

Recherche d'une solution économique et durable à la
problématique d'érosion littorale à Pointe-aux-Outardes

Rapport de recherche No R-990

Octobre 2008



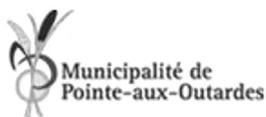
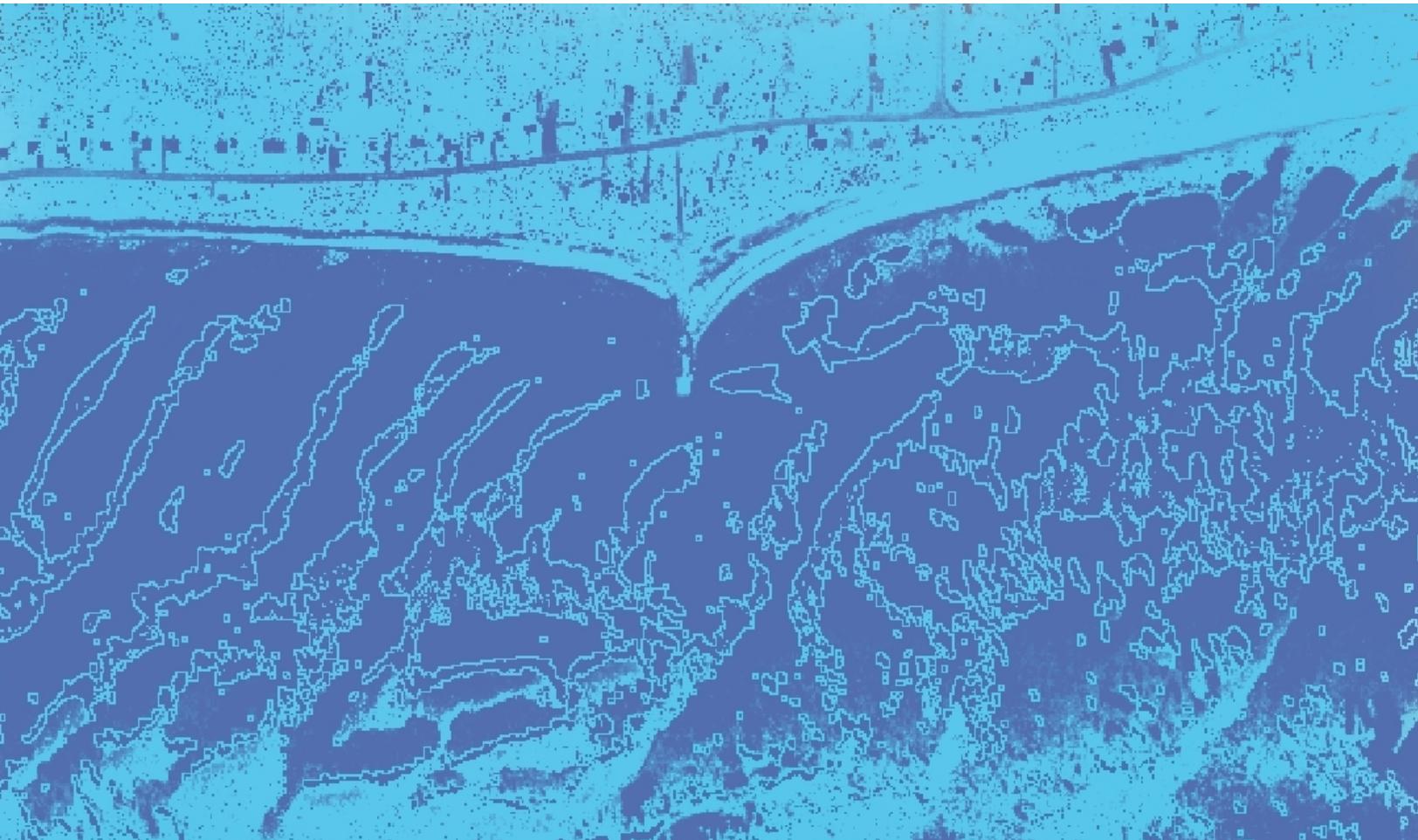
INRS

Université d'avant-garde

Recherche d'une solution économique et durable à la problématique d'érosion littorale à Pointe-aux-Outardes

Document principal

Rapport de recherche INRS-ETE #R990 et Aquapraxix Inc. #10136-100 - Octobre 2008

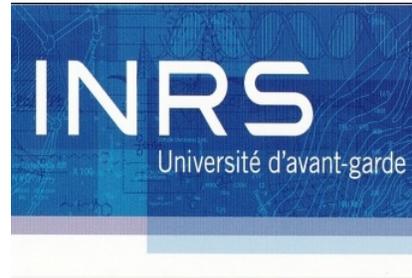


**Recherche d'une solution
économique et durable
à la problématique d'érosion littorale
à Pointe-aux-Outardes**

Pour le compte de la
Municipalité de Pointe-aux-Outardes
en collaboration avec le
Ministère de la Sécurité publique
OURANOS
et divers partenaires

**Rapport de recherche INRS-ETE R990
et Aquapraxis Inc. 10136-100**

Octobre 2008



Référence pour fins de citation : Leclerc, M. et P. Dupuis (2008). *Recherche d'une solution économique et durable à la problématique d'érosion littorale à Pointe-aux-Outardes*. Pour le compte de la Ville de Pointe-aux-Outardes et du Ministère de la Sécurité publique, en collaboration avec OURANOS et divers partenaires. Rapport de recherche INRS-ETE R990 et Aquapraxis Inc. 10136-100. 220 pages + 9 annexes. Octobre.

© INRS-ETE et Aquapraxis Inc., 2008

isbn : 978-2-89146-573-1

Le mandat

Subissant depuis de nombreuses années une érosion significative de ses côtes, la municipalité de Pointe-aux-Outardes a mandaté l'INRS-ETE pour analyser différents types de solutions pouvant pallier à cette problématique d'érosion des berges qui menace l'existence de plusieurs résidences et infrastructures implantées en berges et donc exposées à cet aléa.

En partenariat avec le Service de l'Atténuation des Risques (SAR) du Ministère de la Sécurité publique, le mandat visait aussi à expérimenter l'approche *d'analyse coûts/avantages* (ACA) ainsi que *l'analyse multi-critères* (AMC) dans une perspective de prévention et de réponse durable aux risques naturels.

Remarque : le présent rapport a donné lieu à un apport complémentaire par la firme Écoressources¹ spécialisée en économie de l'environnement qui a permis de rectifier à la marge certaines approches retenues ici par rapport avec la méthodologie classique d'analyse coûts/avantages. Ces éléments nouveaux ont notamment trait aux éléments intangibles de la problématique et ne sont pas intégrés ici. Ils sont documentés dans un résumé complémentaire qui reprend essentiellement les éléments présentés ici, sauf le volet technique. Toutefois, les conclusions ainsi obtenues ne modifient pas celles présentées ici. Le lecteur est donc renvoyé à ce document (Écoressources, 2009) pour de plus amples détails.

¹ ÉcoRessources Consultants (2009), Révision de la partie économique et synthèse du rapport Recherche d'une solution économique et durable à la problématique d'érosion littorale à Pointe-aux-Outardes, pour le compte du Ministère de la Sécurité publique, 29 pages.

Les options possibles

Trois types de mesure possibles. Trois types d'approches de base ont été explorées :

- Le *retrait simple* sans intervention physique visant à atténuer ou contrôler les processus d'érosion
- Les *protections dures* sans égard particulier pour leur impact sur l'équilibre morpho-sédimentaire de la côte
- Les *stabilisations douces* (recharge de plage seule ou associée à des épis ou brise-lames d'avant-côte) incluant les approches brevetées dites « *stabilisatrices de courant* » visant au rétablissement d'un équilibre sédimentaire dynamique

Une combinaison de ces approches de base s'avère une *solution mixte* et une nomenclature spéciale a été développée pour faciliter l'identification des solutions (Option R pour retrait, option P pour protection, option MX pour mixte avec protection et retrait)

Segmentation de la côte. Afin de mieux situer les segments de côte où sont considérées les différentes mesures, une segmentation de celle-ci a été effectuée. Nous y référons ci-après.



Remarques sur l'analyse coûts/avantages En analyse coûts/avantages, on cherche à établir l'ensemble des coûts et des avantages de diverses options de façon à préciser les bénéfices nets d'un projet et à comparer entre elles les différentes options de solutions. Cette démarche permet ainsi de déterminer l'avantage net de l'intervention alors que la comparaison des options vise à aider les décideurs à choisir l'option la plus avantageuse sur le plan des coûts et des bénéfices.

Bien que l'analyse coûts/avantages s'exprime en termes monétaires exclusivement, elle ne constitue pas une analyse financière en tant que telle. Normalement, elle vise seulement à établir les coûts et les avantages des options pour l'ensemble de la société sans préciser les conséquences financières pour chacun des acteurs. Toutefois, les données requises pour aborder cette question importante peuvent en bonne partie être extraites des résultats de l'analyse économique, ce qui fut fait et qui est rapporté ici, afin de mettre en lumière le facteur d'équité entre les acteurs que nous considérons comme un élément important de décision.

De même, en analyse coûts/avantages, une seule option de référence est normalement considérée et à laquelle toutes les autres options sont comparées. Nous avons opté pour en définir deux qui font partie des approches classiques habituellement appliquées bien que la deuxième option de

référence mentionnée (P3, enrochements) ci-après aurait aussi pu être considérée comme toute autre solution technique. Ce faisant, *l'avantage net* d'une solution alternative par rapport à une option de référence est ainsi rendu plus difficile à déterminer étant donné cette double base de comparaison. En pratique, la méthode d'analyse et la présentation de toutes les options demeurent strictement les mêmes et leur comparaison peut aussi être effectuée sans égard à leur statut particulier.

Moyennant certaines hypothèses, toutes les options ont été définies temporellement sur un horizon de 30 ans et leurs coûts ont été estimés, puis actualisés en *valeur présente nette* (4%/an) pour fins de comparaison sur le plan économique. Des calculs de sensibilité complémentaires ont été réalisés afin de faire ressortir l'impact d'un taux d'actualisation différent (2% et 6%) ainsi que d'autres facteurs comme le coût des matériaux, les paramètres des programmes gouvernementaux ou l'impact des changements climatiques. Ces données de sensibilité ne font pas partie du présent rapport mais elles pourront être rendues disponibles et considérées avant toute prise de décision.

Les options de référence. Deux *options de référence*, considérées dans la bibliographie technique comme des solutions ultimes, ont donc été définies et analysées (voir la figure précédente pour la délimitation des secteurs visés):

- Le *retrait général progressif assisté financièrement* (Option R1 ou Rréf) par les pouvoirs publics (Programme général d'assistance financière – Volet Mouvements de sols) lequel vise à la fois les individus (bâtiments résidentiels) et la Municipalité (infrastructures). Cette option s'appliquerait aux segments D (Labrie Est Village) et F (Labrie Est – Usage mixte). En plus des bâtiments, deux segments de la rue Labrie Est sont visés pour être déplacés vers le nord (minimum 60 m): une partie de D (0,7 km) jouxtant le Chemin principal et E au complet (0,9 km).
- La *protection linéaire en enrochements* (Option P3 ou Préf) qui pourrait donner lieu à un PAS (Protocole d'Application de Solutions d'atténuation). Cette option s'appliquerait aux segments D, E et F (3,9 km).

Les options alternatives. Plusieurs alternatives aux options de référence ont été examinées, chacune comportant une part variable des différents types de mesures offertes, y compris celles de référence. Seuls l'empierrement linéaire (sauf comme option de référence) et les brise-lames d'avant-côte semblent à écarter à Pointe-aux-Outardes, pour les raisons citées à l'Annexe H : Profils de plage en équilibre et protection des berges) soit à cause des conséquences indésirables associées à ce type de mesure (impacts sur la morphologie des côtes et le bilan sédimentaire, effets de bout, coûts d'entretien), ou à cause de l'absence de conditions propices. De même, l'option de recharge de plage uniquement n'a pas été retenue pour le même type de raison, l'absence de conditions propices à la rétention du matériau sur les plages.

Les options retenues pour analyse sont constituées d'un mélange variable de champs d'épis et de retrait progressif selon le segment de côte considéré:

1. *Champs d'épis conventionnels uniquement* assorti d'une *recharge de sable initiale et périodique de plage* (Option P1) visant le rétablissement le plus tôt possible d'un équilibre morpho-sédimentaire. L'option a été définie pour l'entièreté des segments D, E et F (3,9 km).
2. *Champ d'épis de type Holmberg dits « stabilisateurs de courants » avec recharge initiale et périodique de plage* (Option P2). L'option est aussi définie pour les segments D, E et F (3,9 km).

3. *Champs d'épis conventionnels (3) dit Équilibré avec recharge initiale de plage seulement* (Option P4) qui maintient un apport sédimentaire minimum de 20 000 m³/an à partir de segments de côtes érodables mais inhabitées (E et G); les épis viseraient deux segments menacés à court et moyen termes à l'est du Chemin principal (D et partie de F) en plus de chercher à compenser l'impact des empièvements linéaires vers le Parc nature (extrémité ouest du segment A). L'option comporte le retrait partiel (voirie, réseaux de services) de la rue Labrie Est sur 0,9 km, soit le segment E.
4. *Variante de P4 avec des épis Holmberg* (P5).
5. *Champs d'épis Réduit* (P6) qui vise les mêmes objectifs et utilise les mêmes mesures que P4 sauf celui de retenir le sable en transit avant sa sortie du système et de chercher à compenser les impacts de l'empièchement linéaire sur la rue Labrie Ouest. L'extrémité ouest du segment A est donc retirée de l'option P4.
6. *Solution mixte* (MX1) comportant un seul champ d'épis à l'est du quai municipal (segment D, Labrie Est - Village); les segments E et F seraient traités par des mesures de retrait des bâtiments (mixité d'usages résidentiel et de villégiature) et de la rue Labrie.

Hypothèses concernant la recharge initiale de plage. Tous les scénarios de type épis incluent l'aménagement d'accès pour la construction et les opérations d'entretien. Nous posons l'hypothèse que, sans être idéal pour une recharge stable de plage, le matériau sableux formant les talus serait adéquat pour ce faire et, le cas échéant, le déblai d'excavation pour aménager les accès pourrait servir à cette fin au moment de la mise en place d'épis. Plusieurs terrains actuellement vacants se prêteraient à cette fonction. Il semble également opportun que certains de ces chemins soient conservés et aménagés, afin de faciliter l'accès à la côte à l'ensemble de la communauté et permettre éventuellement d'accéder aux ouvrages pour leur entretien lorsque requis. En plusieurs sites, les talus existants devraient être reprofilés afin de les ramener à une pente d'équilibre favorisant la revégétalisation. Là aussi, du sable de recharge pourrait être rendu disponible. Du point de vue économique, ces matériaux constitueraient une contribution tangible devant être escomptée en valeur monétaire et s'ajoutant aux autres items des options. Toutefois, on s'attend à ce que ces items forment une contribution en nature de la communauté des riverains et de la municipalité et soit comptabilisée monétairement dans le montage financier.

Traitement des variantes. Il existe une multitude de variantes pouvant être dérivées des options de base retenues pour l'analyse. Les implications propres à chacune d'elles dépendent de plusieurs facteurs dont la quantification demeure parfois incertaine à l'étape présente. Les options présentées ont donc été définies et quantifiées au meilleur de nos connaissances actuelles, notamment au niveau des possibilités d'intervention, du dimensionnement caractéristique des ouvrages, et en nous appuyant sur des valeurs couramment utilisées pour les paramètres de base. Ces paramètres visent notamment le contexte économique, le bilan sédimentaire, l'évolution des taux de recul, la dimension et les coûts unitaires des matériaux, ou les paramètres des programmes d'assistance financière. Les valeurs retenues ont cependant été appliquées uniformément pour tous les scénarios.

Approche de présélection

Une analyse axée sur le développement durable. Le développement durable tente d'adresser simultanément les dimensions économique, sociale et environnementale de projets afin de trouver une approche dite « soutenable » (*sustainable*) à long terme. L'analyse des options a donc été

réalisée sur un horizon minimum de 30 ans, période cadrant le volet d'actualisation des coûts, mais aussi afin d'incarner cette préoccupation pour le *développement durable* et *l'économie de moyens à long terme*, notamment au niveau des coûts récurrents.

La prise en compte de la *dimension sociale* considère les aspects intangibles (paysage, sentiment de sécurité, accessibilité aux rives) mais elle n'est pas étrangère aussi aux aspects financiers. En plus de monétariser ces aspects, elle s'effectue aussi en considérant la question de *l'équité* et de la *concertation* entre les parties prenantes (équilibre des coûts et avantages pour chacune des parties).

De même, la *question environnementale* est adressée à double titre : d'abord, par le souci (certaines options) de compenser les impacts d'interventions antérieures (empiètements); ensuite, par la perspective de rétablir un équilibre morpho-sédimentaire dynamique propice au maintien d'usages récréotouristiques (plages) et des habitats coquilliers présents sur la batture, lesquels représentent un enjeu écologique et financier important pour la communauté et les cueilleurs. Toutefois, la présente étude ne constitue pas une étude d'impact environnemental proprement dite, étude qui devra être réalisée pour fins d'autorisation si une option d'intervention structurelle était finalement retenue.

Les conséquences intangibles : approche multi-critères. Les approches purement économiques cherchent à « monétariser » toutes les conséquences des options par souci d'homogénéité, bien que certaines incidences ne sont pas aisément traduisibles en valeur monétaire (ex : valeur d'une vue directe sur la mer, paix sociale). Nous nous sommes pliés à cette exigence en attribuant une telle valeur à ces différents items en liant cette évaluation aux options. Devant les difficultés de cette approche et ses incertitudes, notre choix méthodologique s'est également portée sur une approche multi-critères qui combine en valeur adimensionnelle les items monétaires et intangibles. La critériologie retenue est assortie d'une pondération explicite qui reflète le jugement des auteurs seulement, et indirectement celui du Comité de concertation auquel elles ont été soumises.

Les critères d'évaluation : un choix concerté. Un Comité de concertation (CC) formé de la plupart des intervenants potentiels au dossier (parties prenantes, gestionnaires, décideurs, spécialistes) a immédiatement été mobilisé en début de mandat afin de mettre en place un processus d'accompagnement et de cheminement collectif (Gestion participative). Ce comité a été saisi d'une liste de critères devant refléter leur compréhension du dossier et les valeurs qu'ils privilégient. Sept (7) critères ont été retenus par le CC et paramétrisés par l'équipe d'analyse avec différents jeux et formules de pondérations explicitement décrits dans ce rapport. Ce sont :

1. *L'efficacité par rapport au risque résiduel*
2. *L'économie de moyens*
3. *L'équité entre les intervenants*
4. *Les impacts écologiques et hydro-sédimentaires*
5. *La durabilité*
6. *Les possibilités de synergie pour la mise en valeur de la côte*
7. *L'impact social et la concertation*

Analyse économique des options

Ci-après nous résumons dans un premier tableau synthèse le coût global de toutes les options (de référence ou alternatives) en *valeur présente nette* (actualisée à 4% en 2008) qui inclut la valeur monétaire des contributions en nature. Le tableau correspondant du rapport principal (Tableau 37) précise aussi l'imputation et la nature de ces coûts et contributions. Les chiffres cités ci-après comportent donc parfois des contributions en nature attendues du secteur riverain. Le deuxième tableau synthèse présente les résultats de l'analyse multi-critères laquelle inclut une prise en compte dominante des aspects économiques et de l'équité. Pour le bilan économique des options seulement, les scénarios qui se démarquent *a priori* sont :

1. R1 (ou Rréf) : *Retrait progressif généralisé assisté financièrement* (3,62 M\$)
2. P4 : *Champs d'épis conventionnels seulement* (3), option dite *Équilibrée, avec recharge initiale de plage seulement* (2,4 M\$)
3. P6 : *Champs d'épis*, option dite *Réduite* (option P4 sans mesure de stabilisation à l'ouest du quai municipal) (2,85 M\$)
4. MX1 : *Solution mixte* comportant à la fois des épis à l'est du quai et des mesures de retrait graduel à l'extrémité est de la rue Labrie (3,53 M\$)

Analyse multi-critères des options

Lorsqu'on considère les critères d'évaluation des options (**Erreur! Source du renvoi introuvable.**) qui incluent, rappelons-le, le volet économique, la somme des avantages apportés et le bilan des inconvénients permettent de démarquer quelque peu l'option P6 (cote de 74%), les trois autres options se qualifiant un peu moins bien (66-74%). Toutefois, cette évaluation est strictement basée sur le jugement propre des auteurs (*via* le jeu de paramètres et de pondérations des critères) et n'engage donc que l'opinion de ceux-ci.

Bien que les options P4 (*Épis Équilibré*) et P6 (*Épis Réduit*) se distinguent assez peu l'une de l'autre sur le plan des critères globaux (74% vs 76%), *la solution P4 semble préférable à P6 si l'approche retenue devait se porter principalement vers la stabilisation*. En effet, l'option P6 ne permet pas d'entreprendre le processus de remédiation aux impacts des stabilisations antérieures en enrochement à l'ouest du quai, ni de retenir le sable de recharge des épis et des plages avant sa sortie de la cellule morphosédimentaire. Cette composante de l'option P4, soustraite dans P6, pourrait cependant être mise en œuvre séparément dans la mesure où d'autres souscripteurs pourraient y voir leur intérêt.

Toutefois, l'implication financière et en nature du village implique un esprit communautaire et une cohésion sociale suffisantes pour couvrir une part satisfaisante de coûts, financiers ou en nature de toute option structurelle. Nous ne pouvons que poser l'hypothèse de cette cohésion.

Tableau synthèse des options : Bilan en valeur actualisée de l'ACA et des mesures applicables (1 de 2)
Les valeurs entre parenthèses sont des gains

| Symbole | Désignation | Descriptif | Protections Zones | Bilan de l'ACA en M\$ | Autres avantages en M\$ | Mesures | | | | | |
|---------------------------|--|---|----------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------|------------------|-------------|---|--------------|
| | | | | | | Allocation de départ | Retrait bâtiment | Retrait route | Épis | Recharge | Empierrement |
| | | | | | | Unités M\$ | Unités M\$ | km M\$ | km M\$ | m ³ /m – km M\$ | km M\$ |
| R1 ou Rréf | Retrait généralisé assisté | Mesures de retrait seulement incluant 1,56 km de rue Labrie Est | D+E+F | 3,62 | 1,08 | 5 0,41 | 31 1,32 | 1,56 0,96 | Aucun | Aucun | Aucun |
| P1 | Épis conven- tionnels partout | 20 épis sur 3,9 km- Recharges initiale et périodique (20 Km ³ /an)- Contribution riveraine à 50% | D+E+F | 7,3 | (1,55) | Aucun | Aucun | Aucun | 3,9 2,34 | 90 m ³ /m 3,9 6,94 | Aucun |
| P2 | Épis Holmberg partout | 20 épis Holmberg sur 3,9 km - Recharge initiale et périodique (20 Km ³ /an)- Contribution riveraine à 50% | D+E+F | 18,3 | (1,55) | Aucun | Aucun | Aucun | 3,9 2,34 | 3,9 6,94 | Aucun |
| P3 ou Préf | Empierre- ments partout | Empierrement conventionnel sur 3,9 km - Aucun retrait - Recharge initiale et périodique | D+E+F | 25,1 | 7,6 | Aucun | Aucun | Aucun | Aucun | 15,6m ³ /m/an 3,9 10,4 | 3,9 7,5 |

Note : Les montants sont exprimés en valeur présente nette actualisée à 2008 au taux de 4%/an.

Tableau synthèse (suite): Bilan en valeur présente nette de l'ACA et des mesures applicables (2 de 2) –
Les valeurs entre parenthèses sont des gains

| Symbole | Désignation | Descriptif | Protections Zones | Bilan de l'ACA en M\$ | Autres avantages en M\$ | Mesures | | | | | |
|------------|-------------------------------|--|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|------------------|---------------|-------------|-------------------------------------|--------------|
| | | | | | | Allocation de départ | Retrait bâtiment | Retrait route | Épis | Recharge | Empierrement |
| | | | | | | Unités M\$ | Unités M\$ | km M\$ | Km M\$ | Type – km M\$ | km M\$ |
| P4 | Épis conventionnels Équilibré | 12 épis conventionnels dont 1 avant le Parc Nature - Recharge initiale - Contribution riveraine à 50% - Retrait rue 0,9 km | A+D+ F | 2,4 | (1,55) | Aucun | Aucun | 0,9 0,63 | 2,4 1,65 | 90 m ³ /m 2,4 2,16 | Aucun |
| P5 | Épis Holmberg Équilibré | 12 épis dont 1 avant le Parc Nature - Recharge initiale - Contribution riveraine à 50% - Retrait rue Labrie sur 0,9 km | A+D+ F | 9,26 | (1,55) | Aucun | Aucun | 0,9 0,63 | 2,4 8,3 | 90 m ³ /m 2,4 2,16 | Aucun |
| P6 | Épis conventionnels Réduit | 11 épis (sauf celui avant le Parc Nature) - Recharge initiale - Contribution riveraine à 50% - Retrait rue Labrie sur 0,9 km | D+F | 2,85 | (0,82) | Aucun | Aucun | 0,9 0,63 | 2,2 1,33 | 90 m ³ /m 2,2 1,97 | Aucun |
| MX1 | Épis conventionnels + Retrait | 8 épis – Recharge initiale - Contribution riveraine à 50%- Retrait rue Labrie sur 1,4 km - Retrait partiel des résidences | D | 3,53 | (0,28) | 3 0,18 | 13 0,61 | 1,4 1,17 | 1,5 0,91 | 90 m ³ /m 1,5 1,35 | Aucun |

Note : Les montants sont exprimés en valeur présente nette actualisée à 2008 au taux de 4%/an.

Tableau synthèse de l'analyse multi-critères des options (En gris, une pré-sélection des options les plus avantageuses)

| SCÉNARIOS ► CRITÈRES ▼ | R1 ou Rréf | P1 | P2 | P3 ou Préf | P4 | P5 | P6 | MX1 |
|---------------------------------------|---------------|-----------|-----------|---------------|------------|-----------|------------|------------|
| Critères de base | | | | | | | | |
| #1 Coût d'ensemble | 100% | 0% | 0% | 0% | 81% | 0% | 87% | 84% |
| #2 Durabilité | 100% | 80% | 70% | 20% | 80% | 80% | 70% | 85% |
| #3 Risque résiduel | 100% | 70% | 70% | 40% | 80% | 75% | 80% | 80% |
| #4 Équité | 85% | 80% | 40% | 0% | 100% | 40% | 100% | 100% |
| #5 Environnement - Bilan sédimentaire | 50% | 50% | 50% | 10% | 90% | 90% | 80% | 90% |
| #6 Synergie - Mise en valeur | 50% | 80% | 80% | 30% | 90% | 90% | 80% | 80% |
| #7 Impact social | 20% | 100% | 100% | 50% | 100% | 100% | 90% | 40% |
| Critères globaux | | | | | | | | |
| #1 Poids décisif sur le coût | 68% | 0% | 0% | 0% | 73% | 0% | 72% | 66% |
| #2 Poids majoritaire sur le coût | 93% | 20% | 18% | 6% | 83% | 21% | 85% | 85% |
| #3 Moyenne géométrique pondérée | 56% | 0% | 0% | 0% | 73% | 0% | 72% | 66% |
| #4 Moyenne arithmétique pondérée | 48% | 0% | 0% | 0% | 66% | 0% | 73% | 58% |
| MOYENNE - CRITÈRES GLOBAUX | 66% | 5% | 4% | 1% | 74% | 5% | 76% | 69% |

Note : les pourcentages attribués aux critères dépendent dans la mesure du possible de variables explicites. Autrement un justificatif est fourni dans le rapport. Une valeur de 100% signifie une parfaite concordance avec le critère.

L'option de référence R1 (Retrait assisté) présente le moins bon bilan parmi toutes les options. L'avantage financier reviendrait surtout à la Municipalité, dont l'implication monétaire ne serait requise que pour le déplacement de deux segments de la rue Labrie Est. Toutefois, l'option ne procure pas de réponse définitive à la problématique puisque le retrait progressif devra se poursuivre longtemps après l'horizon de 30 ans retenu. Cette option paraît aussi plus difficile à faire accepter socialement et à mettre en œuvre, du moins pour les riverains visés, à cause des coûts reliés aux items non-admissibles à l'assistance financière et à la perte d'avantages reliés à la réduction de l'accessibilité au littoral et à la perte de terrain.

Enfin, l'*option MX1 (Un seul champ d'épis et retrait partiel)* se positionne aussi assez favorablement. En fait, les options P4, P6 et MX1 ne se distinguent que par l'importance relative mise sur la stabilisation –vs- le retrait.

Examen des options les plus avantageuses

Les principaux éléments de décision pour chacune d'elles (avantages, inconvénients) sont résumés ci-après :

Option R1 (Retrait progressif) : c'est la moins coûteuse des options pour la Municipalité. Les deux déplacements de la rue Labrie Est ne sont requis que dans 5 ans (E) et 15 ans (partie de D), de sorte qu'à court terme, les engagements financiers seraient minimes puisque les coûts du retrait seraient assumés par les riverains et le gouvernement. Dans cette option les propriétaires se voient relocalisés loin de la cote et perdent ainsi tous les avantages liés aux propriétés riveraines tels l'accès immédiat à la plage et la vue du large. Si les bâtiments sont ainsi protégés par leur retrait, les terrains sont irrémédiablement perdus. L'option R1 pose des difficultés de mise en œuvre dans la mesure où elle implique des tensions sociales importantes et récurrentes sur l'horizon de 30 ans de l'étude, et aussi par la suite. L'option ne comporte aucune mesure visant la stabilisation du régime sédimentaire de la côte de sorte que la problématique actuelle de l'érosion, en bonne partie reliée à des causes anthropiques incontrôlées, continuera de se dégrader, et possiblement se répercuter sur l'habitat des rives et l'activité de cueillette. Enfin, l'option n'offre que peu de perspectives de mise en valeur du littoral pour la communauté.

Option P4 (Épis Équilibré). Cette option permet de conserver les terrains et avantages pour les propriétaires riverains en plus d'offrir plusieurs accès au littoral à l'ensemble de la communauté. Une portion importante des coûts devrait cependant être assumée par le secteur riverain sous la forme d'une contribution en nature significative (50% du total) à la recharge de plage. Cet apport est formé par les déblais tirés des chemins d'accès et du reprofilage de talus actuellement instables. C'est évidemment une hypothèse importante qui devra être validée auprès de la population riveraine, mais puisque plusieurs riverains n'ont peut-être pas les moyens de participer monétairement à la solution de ce problème, cette hypothèse ouvre une perspective plus équitable pour l'ensemble des parties prenantes. L'option a aussi le grand avantage de ne causer aucun véritable dérangement qui serait associé à des mesures de retrait.

L'option P4 permet aussi de rétablir un équilibre sédimentaire dynamique acceptable et de minimiser, voire de compenser des impacts environnementaux générés par les activités humaines autour de la péninsule et à Pointe-aux-Outardes même. En réhabilitant ou protégeant les plages sur le front de mer, et en prévoyant plusieurs points d'accès pour la communauté, l'option P4 comporte une contrepartie importante positive pour les autres contribuables de la Municipalité, un avantage qui pourrait se traduire par un projet de mise en valeur récréotouristique. En contribuant à la renaturalisation du littoral, ce projet viendrait compléter le travail effectué par le

Parc Nature et donnerait un nouvel élan à cette infrastructure touristique d'interprétation écologique. La synergie est également possible dans l'optique de la mise en place prochaine d'une Zone de Protection Marine (ZPM) qui contribuera à la mise en valeur durable de la batture et de l'estuaire de la rivière aux Outardes.

Toutefois, il n'est pas assuré que le segment de côte à l'ouest du quai municipal, déjà protégé en empièvements linéaires, soit admissible pour un Protocole d'Application de Solutions à cause de la quasi-absence de vulnérabilité résidentielle en berges et du caractère surtout commercial et privé des infrastructures touristiques présentes au bout de la rue Labrie Ouest (Parc Nature). En revanche, le cercle des contributeurs à la solution P4 pourrait être élargi à la communauté et aux entreprises locales et régionales, mais cette possibilité n'a pas été escomptée dans les calculs d'équité.

Option P6 (Épis Réduit). Cette option est une variante de P4 sans aucune mesure à escompter à l'ouest du quai municipal. Elle est certes moins coûteuse à cause de sa portée réduite. Toutefois, on y perdrait les avantages possibles pour le secteur Labrie Ouest (segment A), notamment, la rétention du sable de recharge déposé à l'est du quai municipal avant sa sortie du système côtier, la protection additionnelle pour les empièvements linéaires (fragiles) actuellement en place le long de ce segment, ainsi que le maintien d'habitats coquilliers.

Option MX1 (Épis dans le village + retrait du bâti à l'est): Comme P6, cette option comporte la plupart des avantages de type hydro-sédimentaires de P4, mais à un degré moindre, puisque la stabilisation de berges ne couvre que le segment « village » (D) de la rue Labrie Est. Aucune protection n'est comprise dans cette option pour l'extrémité est de la rue Labrie (E et F). Ce projet ne permet pas d'envisager la remédiation aux impacts négatifs de l'empièchement linéaire jouxtant la rue Labrie ouest (A). La progression de l'érosion à l'est (F) forcera l'application progressive mais récurrente sur l'ensemble de la période de référence (30 ans à venir) des mesures de retrait du bâti à cet endroit.

La stabilisation des berges et le retrait de la rue Labrie de l'option MX1 impliquent certes une contribution de la communauté inférieure aux options P4 et P6 à cause de la portée réduite de la stabilisation, mais les riverains déplacés devraient assumer une part importante des coûts directs (items non admissibles à l'aide financière), une conséquence qui n'est pas toujours acceptable compte tenu des ressources financières limitées dont certains disposent. De plus, des tensions sociales inévitables sont à prévoir qui peuvent avoir pour effet de diviser la communauté.

Analyse de sensibilité au taux d'actualisation et aux changements climatiques. Une analyse de sensibilité des coûts et avantages (monétarisés) des différentes options a été conduite afin d'en mesurer l'influence sur l'ordonnancement économique des options du point de vue de la société dans son ensemble, sans égard à l'équité. Le taux d'actualisation de base (4%/an) a été majoré ou minoré de 2%/an ainsi qu'il est indiqué de procéder dans une ACA. Il en est ressorti une influence généralement faible de ce facteur pour les options *a priori* les plus avantageuses, avec des valeurs comprises dans les marges d'incertitude des coûts de référence. Seul l'option de retrait se trouve impactée plus fortement par ce facteur sans toutefois modifier l'ordonnancement.

Concernant les changements climatiques, leur influence n'a été prise en compte qu'au niveau des mesures de retrait (modulation des taux de recul des berges à la hausse (pessimiste) ou à la baisse (optimiste). Là encore, l'influence est sensible mais demeure dans les marges d'incertitude. Ces résultats ne sont pas livrés ici.

L'érosion : constats relatifs aux processus physiques

Avant d'aboutir aux résultats précédents, une série d'analyses du contexte physique ont conduit aux constats rapportés ci-après.

Évolution des apports sédimentaires. Une donnée importante de l'érosion à Pointe-aux-Outardes est représentée par le *bilan sédimentaire*, résultant des flux de sédiments et des processus d'accumulation-érosion observés à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire. Il a été estimé sommairement que le transport de sédiments vers l'estuaire de la rivière aux-Outardes et la batture au large des côtes s'établit aujourd'hui à environ 37 000 m³/an en moyenne par rapport à une valeur estimée à 20 000 m³/an au début des années 1990, une progression obtenue à même l'expansion vers l'est des segments de côte en érosion. Les taux de recul des berges s'établissent typiquement à 1,2 m/an. Si la tendance actuelle se maintient, le volume d'apport pourrait bien atteindre et plafonner à près de 60 000 m³/an d'ici une décennie lorsque l'ensemble de la côte visée sera soumise à l'érosion active.

Dans l'hypothèse pessimiste mais réaliste des changements climatiques anticipés (voir plus loin), le recul des côtes pourrait même s'accélérer pour apporter jusqu'à 80 000 m³/an soit plus du double de l'apport actuel et le quadruple de l'apport de 1990. Il est possible que les apports historiques de sédiments par l'érosion aient pu être inférieurs à 5000 m³/an autrefois mais cette hypothèse reste à démontrer.

Des impacts anthropiques cumulatifs. Plusieurs facteurs anthropiques ont pu contribuer à l'accélération de ce phénomène naturel :

- le harnachement des rivières qui a modifié le régime hydrologique saisonnier des estuaires, et donc leur régime sédimentaire,
- les protections dures linéaires implantées à la pièce sans considération pour l'équilibre morpho-sédimentaire des plages,
- les changements climatiques, l'élévation du niveau de la mer et l'absence occasionnelle de glace hivernale dans l'estuaire,
- un mode d'occupation du territoire qui ne tient pas compte de contraintes liées à l'infiltration d'eau dans des sols indurés et sa résurgence dans les talus,
- des usages invasifs et dommageables de la plage (circulation motorisée).

Les causes sont donc systémiques, cumulatives et principalement associées aux impacts anthropiques directs ou indirects et leur responsabilité relative est impossible à déterminer

Les changements climatiques. Suite à des consultations avec des spécialistes des changements climatiques d'Ouranos, il a été établi que le taux de recul des berges actuel reflète une période particulièrement active depuis près d'une décennie, en partie liée à des tempêtes plus fréquentes et à la disparition graduelle de la banquise côtière et dans un degré moindre, au relèvement graduel du niveau des mers.

Notre hypothèse de base a été de maintenir les taux de recul futurs au niveau observé dans la dernière décennie comme indicative de la tendance à long terme. Il est aussi possible que la tendance observée récemment s'accélère ou revienne à des niveaux plus faibles observés antérieurement. Dans le premier cas, nous avons induit une augmentation linéaire sur 30 ans culminant à 150% des taux actuels à la fin. Dans l'autre cas, une diminution à 66% des taux actuels a été assumée.

La principale conséquence des changements climatiques (version pessimiste) serait de précipiter l'application des mesures de retrait ou de rehausser les paramètres de dimensionnement des ouvrages de stabilisation, ce qui, dans les deux cas, entraînerait des hausses de coût par rapport aux hypothèses de base. L'hypothèse optimiste inverserait la conséquence. Selon le principe de précaution, il semble indiqué de considérer l'hypothèse pessimiste en priorité. D'ailleurs, les observations récentes dans le domaine des changements climatiques tendent à démontrer que c'est l'hypothèse pessimiste qui semble s'imposer dans cette évolution. Les résultats d'analyse de l'impact de ce facteur sur la décision à prendre ne sont pas livrés ici. Ils seront présentés aux décideurs au moment voulu.

L'analyse des caractéristiques de l'aléa. Plusieurs analyses qualitatives et quantitatives ont été réalisées afin de déterminer les principales caractéristiques des processus physiques à l'origine de l'érosion et de la vulnérabilité du milieu côtier à ce processus : *marées, vagues et surcotes liées au passage des dépressions atmosphériques*. Ces facteurs sont modulés par la *faible profondeur de la batture* et par la *granulométrie des matériaux* présents arrachés aux talus. Il en résulte un équilibre complexe qui doit être bien compris afin de maximiser les chances de réussite lors de l'implantation de tout ouvrage de stabilisation faisant appel à l'enrochement, aux épis ou à toute autre approche. Il est donc indiqué de soutirer un maximum d'information des conditions actuelles : impact du quai municipal, morphologie de la batture, granulométrie du sable et pente des plages, etc).

Certains constats proviennent d'une analyse visuelle, parfois subjective, de la topographie et de la bathymétrie, en s'appuyant sur des jeux de couleurs imposés aux élévations. D'autres constats proviennent d'un traitement poussé de séries temporelles d'observation de vents, de vagues et de niveau d'eau. Finalement, d'autres constats proviennent de l'application de formules théoriques ou de modèles, qui viennent conforter certaines des analyses qualitatives réalisées antérieurement. Ces méthodes d'analyse et de calcul font d'ailleurs l'objet de plusieurs annexes à ce rapport. La présentation des méthodes permet d'une part de divulguer l'approche retenue, établie au meilleur des connaissances des auteurs, et ouvre ainsi la porte à toute contribution externe qui permettrait de les bonifier. D'autre part, les exemples de calculs appliqués au cas de Pointe-aux-Outardes peuvent servir de gabarit pour d'autres ACA similaires.

L'analyse du cas de Pointe-aux-Outardes permet ainsi de formuler les constats suivants :

Constat #1 : Le marnage (différence entre la haute et la basse mers) d'une marée moyenne à Baie-Comeau est de 2,9 m et il est de 4,2 m pour les grandes marées. Un tel marnage tend à disqualifier certaines méthodes de protection des côtes comme les brise-lames d'avant-côte (*offshore*) qui, d'après l'expérience, ne sont valables que pour des marnages inférieurs à 1 m.

Constat #2 : Les niveaux haut et bas atteints par la marée sont respectivement de +1,5 m (géodésique) et -1,3 m pour la marée moyenne et de +2,3 m et -1,8 m pour une grande marée.

Constat #3 : L'analyse des surcotes indique une surélévation du plan d'eau pouvant atteindre 0,7 m. Ajoutée à la cote de +2,3 m associée aux grandes marées, ceci signifie que le niveau d'eau peut atteindre la cote 3 m en conditions extrêmes. Toute protection utilisant de l'enrochement, y compris les épis conventionnels, doit être réalisée en considérant cette cote de 3,0 m. La probabilité qu'il y ait simultanément de grande marée et de surcote importante demeure toutefois faible et limitée dans le temps à la phase de marée haute.

Constat #4 : D'après l'analyse statistique des extrêmes annuels de niveau d'eau, la période de retour associée à un niveau d'eau de 3 m serait de 50 ans. Comme les statistiques sont réalisées sur un ensemble de données présentant une composante déterministe importante (marée), les

résultats de ces analyses statistiques doivent être considérés comme indicatifs de la période de retour.

Constat #5 : La largeur de plage située entre le pied des talus et la cote géodésique 0 m varie entre 20 et 50 m. Il apparaît souhaitable que cette largeur soit d'au moins 30 m (par inspection des conditions d'engraissement de plage créées localement par la présence du quai).

Constat #6 : La largeur des micro-terrasses qui subsistent aujourd'hui varie entre 5 et 15 m. Pour une recharge de plage éventuelle, une valeur minimale de 15 m devrait donc être considérée.

Constat #7 : L'ensemble de données disponibles d'enregistrements de vagues dans l'estuaire du Saint-Laurent est extraordinairement pauvre et il faut se rabattre sur un modèle de transformation du vent en vagues pour obtenir une série de données de vagues horaires qui permettent l'utilisation subséquente de formules d'analyse et de dimensionnement.

Constat #8 : Le régime des vagues généré en eau profonde, au large de l'estran de Pointe-aux-Outardes et en un point qui maximise les hauteurs de vagues provenant du sud-ouest et de l'est, indique que l'intensité de la vague (Hauteur de vague significative) pour un non-dépassement de 99,9% (12 heures par an) varie entre 3 et 4 m. La vague la plus forte était de 5,4 m. Compte tenu qu'il s'agit de vagues générées, ces valeurs sont considérées représentatives des conditions locales.

Constat #9 : L'analyse des mesures de vagues réalisées par l'ISMER en 2001 sur l'estran tend à démontrer que l'atténuation des vagues générées au large en eau profonde (35 à 60%) est très significative avant d'atteindre le site du capteur situé à 230 m de la rive. La vague de dimensionnement, pour le calcul d'enrochements (pour les épis conventionnels, par exemple) doit donc être évaluée en considérant cet aspect.

Constat #10 : Au plan hydrodynamique, l'interprétation d'une image satellitaire et l'analyse des données LIDAR (balayage topographique par laser aéroporté) permettent de déduire qu'au baissant la vidange est orientée NO-SE près de l'estuaire de la rivière aux Outardes et que cette zone est surélevée par rapport à l'estran situé plus à l'est. La vidange est orientée NE-SO tout juste à l'ouest du quai. Il y a variation graduelle de l'orientation des chenaux de vidange entre ces deux points. L'orientation des courants devient approximativement normale à la côte (axe N-S), à environ 1 km à l'ouest du quai.

Constat #11 : Idéalement, un modèle hydrodynamique devrait être utilisé pour mieux décrire le patron d'écoulement durant certaines phases du cycle des marées, et pour différentes conditions de débit de la rivière aux Outardes.

Constat #12 : L'identification visuelle de la zone active pour le transport des sédiments, basée sur la recherche d'une différence observable dans la bathymétrie de l'estran, a donné une distance de l'ordre de 130 m à partir du pied de talus pour la zone située à l'est du quai. Cet ordre de grandeur de la zone active semble corroboré par des calculs théoriques qui font l'objet de l'annexe I.

Constat #13 : Il ne faut pas confondre cette zone de transport actif avec celle de 25 m, établie par Génivar dans son étude pour le compte d'Hydro-Québec, et qui identifie la haute plage impactée par les vagues de tempêtes.

Constat #14 : L'influence du quai municipal sur la topographie locale s'avère très instructive, en indiquant que le transit sédimentaire dominant procède d'est en ouest. Il nous renseigne également sur la largeur de plage (distance entre le pied de talus et la cote 0 m) qui serait souhaitable. Finalement, la zone d'engraissement s'établit sur deux fois sa longueur effective

(longueur calculée à partir de la largeur de plage souhaitable. Dans le cas de Pointe-aux-Outardes, on considère souhaitable que les épis soient distants de 3 fois leur longueur effective. Cette séparation s'inscrit à l'intérieur des limites théoriques couramment acceptées dans la bibliographie qui sont entre 2 et 4 fois la longueur.

La vulnérabilité : constats

Caractéristiques de la vulnérabilité. L'analyse a pris en compte les principaux éléments vulnérables exposés à l'érosion : résidences, infrastructures de services publics, certains enjeux économiques importants comme le Parc Nature, la cueillette des myes, ainsi que l'enjeu écologique de la batture.

Secteur résidentiel. La prise en compte de la vulnérabilité des résidences est individualisée (par adresse civique) dans cette étude. La plupart des données sont puisées au rôle d'évaluation (2004-2007) y compris les dimensions caractéristiques des lots, dont la profondeur détermine en partie l'exposition au recul des talus. D'autres caractérisations sur le terrain ont permis de mesurer l'exposition réelle des bâtiments d'après leur marge de recul par rapport au haut de talus et l'état d'activation de l'érosion des talus et des micro-terrasses au pied de ceux-ci.

Toutes les résidences situées du côté sud de la rue Labrie Est (à l'est du quai municipal) ont été incluses dans l'analyse (adresses 150 à 392). Au total, ces résidences sont au nombre de 64 unités pour une valeur au rôle totale de 2,86M\$ se répartissant ainsi : 0,41M\$ pour les terrains et 2,45M\$ pour les bâtiments. Si l'on ne considère que les bâtiments résidentiels admissibles à l'assistance financière, le nombre d'immeubles s'établit à 49. La valeur totale de ces immeubles est de 2,56K\$ et leur valeur moyenne est estimée à 52K\$ au rôle d'évaluation; elle est escomptée à 87,1K\$ en valeur de remplacement. Au parc résidentiel s'ajoute un commerce de produits de la mer, 7 terrains vacants du côté de la mer et 7 chalets, maisons mobiles ou unités non catégorisées.

Ces 49 résidences disposent de marges de recul très variables, allant de 4 m à 129 m. Quatre de celles-ci sont virtuellement perdues actuellement à cause de leur trop grande proximité des hauts de talus (<7 m) qui ne permet pas leur déplacement sécuritaire. Dans l'hypothèse du retrait graduel, les bâtiments qui pourraient encore et devraient éventuellement être déplacés sont au nombre de 31. Huit de ceux-ci devraient l'être d'ici cinq ans, six les cinq années suivantes, et ainsi de suite jusqu'en 2038 (Scénario Retrait généralisé R1). Parmi ces 31 résidences, un peu plus de la moitié ne disposent pas de suffisamment d'espace sur le même terrain pour rester sur celui-ci, si une profondeur minimum de 60 m pour les lots est appliquée. Toutefois, les changements climatiques (hypothèse pessimiste) pourraient accélérer considérablement ce processus de délocalisation résidentielle.

Infrastructures publiques : Près de 1,6 km de la rue Labrie Est seront directement exposés à l'érosion à court et moyen termes (dans l'horizon de 30 ans de l'étude). À court terme (5 ans), un segment de 0,9 km bordé de terrains vacants est menacé (les segment E entre le 194 et le 324 Labrie est). À plus long terme (15-20 ans), le défaut stabiliser les berges commencerait à menacer assez rapidement un segment de 0,7 km plus au centre du village (Partie du segment D, du Chemin principal à l'adresse 236). Nous avons considéré ici le coût de reconstruction au km linéaire de ces infrastructures comme indication du coût de cette vulnérabilité, valeur qui s'applique dans l'hypothèse où l'on devrait déplacer ces segments. Sont inclus ici la voirie, l'aqueduc, et tous les réseaux filaires. Le coût unitaire se monte à 0,85 M\$/km.

Écosystème de la batture et cueillette des myes. Les habitats diversifiés (marais intertidal) de la batture supportent un écosystème productif et très diversifié. Il s'agit d'un atout important pour toute la région de sorte qu'il est question de désigner tout le secteur de l'estuaire aux Outardes Zone de Protection Marine (ZPM). Le même secteur a d'ailleurs été récemment désigné Réserve de la Biosphère de l'UNESCO visant à souligner la richesse écologique et le rapport harmonieux entre l'homme et la nature de ce secteur. De plus, la ressource halieutique (cueillette des myes) représente un apport économique d'appoint intéressant pour des dizaines de cueilleurs autorisés (plus de trente) qui écoulent leur produit sur les marchés. On estime cet enjeu économique à plus de 300K\$/an à Pointe-aux-Outardes.

Mais, il semble que les volumes des cueillettes tendent à diminuer au fil des années sans que l'on puisse pointer une cause en particulier à cette tendance. Le lien entre les habitats coquilliers et l'équilibre morphosédimentaire de la côte et de l'estran n'est pas évident à établir au stade actuel de nos connaissances. On peut toutefois supposer que le maintien d'un bilan sédimentaire équilibré devrait favoriser le maintien de cette exploitation, du moins stabiliser la valeur et la disponibilité des habitats, cette hypothèse restant toutefois à valider au niveau écologique. Dans l'hypothèse où une option de stabilisation de berges serait retenue, un suivi de l'évolution morphosédimentaire de la batture à l'échelle de la cellule nous semble hautement indiqué. Ce suivi devrait s'accompagner d'un suivi écologique des habitats coquilliers. On peut également supposer que toute mesure entraînant ou aggravant le déséquilibre sédimentaire actuel pourrait s'avérer préjudiciable à la ressource.

Infrastructures récréo-touristiques : La principale infrastructure de ce type est représentée par le Parc Nature. Localisé à l'extrémité ouest de la cellule morphosédimentaire de la pointe aux Outardes, ses côtes sont tributaires à la fois des apports sédimentaires de l'estuaire aux Outardes et des côtes en érosion. Elles subissent également l'attaque des vagues et des effets de bout reliés à l'empierrement linéaire de la rue Labrie ouest.

Le Parc Nature est très actif en saison estivale en offrant diverses activités d'interprétation du milieu côtier, à la fois sur les plans écologique et physique. Son niveau d'activité varie d'année en année mais son chiffre d'affaires annuel (entrées au guichet, projets de caractérisation) ajouté à des campagnes de financement fructueuses représentent des apports économiques appréciables pour Pointe-aux-Outardes. Le Parc Nature caresse des projets de mise en valeur importants qui pourraient grandement bénéficier d'une synergie avec la Réserve de la Biosphère de l'UNESCO, de la mise en place d'une ZPM et d'un programme de stabilisation de berges. L'option P4 (Épis Équilibré) prévoit d'ailleurs de placer des épis (au minimum un seul plus important que ceux recommandés à l'est) au bout de l'empierrement linéaire (Labrie ouest) afin de contrôler les impacts pervers de celui-ci (effet de bout) au niveau du Parc Nature et entreprendre la réhabilitation de la plage à l'ouest du quai municipal.

Éléments de conception d'ouvrages de stabilisation

Sans présumer de la décision qui sera finalement prise, nous avons jugé à propos de publier ici les résultats techniques pertinents aux stratégies de protection envisagées. Celles-ci s'appuient sur la bibliographie la plus récente en matière de génie côtier. Les références principales sont le « *Coastal Engineering Manual* » du *U.S Army Corps of Engineers* et le « *Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering* » publié par le *Construction Industry Research and Information Association (CIRIA)* et le *Centre for Civil Engineering Research and Codes (CUR)*. À ces volumineux ouvrages se greffent des rapports spécialisés comme le "Guide du

dimensionnement du *riprap* produit par la Société d'Énergie de la Baie James » qui abordent des types particuliers de protection.

La détermination des conditions maritimes à Pointe-aux-Outardes (voir les constats ci-haut) a permis d'identifier les solutions techniques qui s'avèrent les plus intéressantes, basées sur les constats suivants :

Constat #1 : le quai municipal a répondu à la façon d'un épi en captant le sable et en réorientant la plage pour répondre aux sollicitations d'importance;

Constat #2 : le quai s'avère un prototype en vraie grandeur de ce qui pourrait être obtenu en implantant des épis dimensionnés de façon similaire;

Constat #3 : il existe des dépôts de sable à proximité (en rive ou sur la péninsule Manicouagan) qui permettent une recharge de plage adaptée aux forces en présence;

Constat #4 : les fortes marées font en sorte que l'utilisation de brise-lames d'avant-côte (*offshore*) n'est pas recommandée. En effet, dans la bibliographie, on indique que ces ouvrages doivent être considérés lorsque la marée ne dépasse pas 1 m. D'ailleurs, une photographie satellitaire montrant un tel type d'ouvrage construit à Pointe-Lebel semble confirmer cette assertion, d'autant plus que les brise-lames semblent assortis d'enrochements linéaires en rive. Il s'agirait ici, d'un système mixte de stabilisation;

Constat #5 : les ouvrages en enrochement de grande portée ou, *a fortiori*, construits à la pièce, pour protéger les talus de Pointe-aux-Outardes ont généré des érosions importantes aux extrémités (effets de bout) et la perte de la plage située en face. De plus, ceux-ci apparaissent mal conçus et sous-dimensionnés (taille des matériaux) de sorte qu'ils représentent désormais des éléments vulnérables à l'érosion et requièrent un entretien périodique coûteux;

Constat #6 : si une approche de stabilisation douce de berges était finalement préconisée, cette protection devrait être réalisée en tenant compte dans toute la mesure du possible des processus côtiers à l'échelle de l'ensemble de la cellule morphosédimentaire identifiée, du moins jusqu'au quai existant.

En conséquence de quoi, les options de champ d'épis analysées (P4, P6 ou MX1) pour stabiliser les berges semblent représenter des solutions potentiellement efficaces, quoi qu'à des degrés divers, dans la mesure où les constats énumérés et les paramètres de dimensionnement qui en découlent sont pris en compte rigoureusement. L'approche comporte l'implantation d'épis pour contrôler le transport littoral et favoriser la rétention locale de sédiments et une recharge de plage initiale afin d'éviter l'interruption brutale des apports sédimentaires en aval de la cellule et sur la batture adjacente.

1. Largeur de la plage sèche de 15 m implantée à la cote 3 m
2. Recharge de la plage qui respecte les principes d'un profil d'équilibre tel que décrit dans l'Annexe H : Profils de plage en équilibre et protection des berges
3. Implantation d'épis d'une longueur totale maximale de 90 m, incluant la plage sèche, qui laisse une bande d'environ 40 m au large pour le transport littoral longitudinal
4. Distance entre les épis d'environ 200 m, correspondant à un peu plus de trois fois la longueur effective de l'ouvrage (60 m), soit une zone d'influence comparable à celle du quai municipal.

Il est important de noter que les volumes de sable requis pour la recharge de plage dépendent étroitement de la granulométrie des matériaux disponibles, leur diamètre médian

particulièrement. La valeur escomptée pour l'étude est établie à partir de la taille moyenne des matériaux bruts disponibles en rive ou dans les sablières locales. L'emploi de sable plus grossier (brut ou tamisé) peut toutefois influencer considérablement à la baisse les volumes de recharge requis et donc rabattre les coûts directs de l'option. Une analyse économique complémentaire est donc tout à fait indiquée en vue d'optimiser le coût de cette composante majeure de l'option. On pourrait affirmer la même chose pour les épis conventionnels en enrochement dont la taille des matériaux peut influencer l'efficacité, la durabilité et donc, le coût. Encore là il y a matière à optimiser.

Remarque : Il convient aussi de mentionner qu'il s'agit d'une approche mixte de protection, concept décrit depuis peu dans la littérature et que nous sommes dans une zone bien particulière caractérisée par un fort marnage (écarts des niveaux minimum et maximum) de la marée. Les caractéristiques suggérées s'appuient sur une démarche logique et cohérente, et qui est expliquée à l'annexe H du rapport. La complexité des phénomènes en cause fait toutefois en sorte qu'on ne peut garantir le résultat. D'ailleurs, l'occurrence d'une tempête exceptionnelle, dépassant les limites retenues pour réaliser un dimensionnement économique, peut tout chambarder. Gardons à l'esprit que la nature reste maître, et tout au plus, pouvons-nous maximiser nos chances de nous prémunir contre les effets dommageables de certains événements extrêmes.

Emphase sur les principes de gouvernance participative

La mouvance du développement durable. L'approche de concertation et de développement durable préconisée dans cette étude s'inspire des principes de gouvernance participative énoncés dans la Politique nationale de l'eau (2004) et de la Politique de Développement durable (2006) les deux adoptées unanimement à l'Assemblée nationale du Québec. Elle répond également aux exigences du nouveau cadre de prévention des risques du Ministère de la Sécurité publique à cet égard. Ces politiques ont donné lieu à la mise en place d'un grand nombre de structures légères de *gestion participative* telles que les organisations de bassin versant (OBV) qui œuvrent en concertation à la gestion intégrée de l'eau à l'échelle des bassins versants, l'unité de gestion naturelle des cours d'eau. Il en résulte des actions concertées qui permettent souvent aux intervenants d'atteindre leurs objectifs en tablant sur des synergies, tout en permettant d'éviter la mise en place de situations conflictuelles forçant la conciliation. La table de concertation mise en place pour la présente étude émane de cette philosophie.

Un pari audacieux pour une question existentielle collective. Dans le cas présent de Pointe-aux-Outardes, et si une des options de stabilisation de berges était finalement retenue, les auteurs ont misé sur la cohésion et la solidarité de la communauté ainsi que sur les possibilités de concertation entre les intervenants. Le but était de minimiser les coûts, de dispenser les avantages au plus grand nombre d'intervenants possibles, de leur offrir des perspectives favorables et durables à long terme, en plus de minimiser les conflits d'usage potentiels. L'application de toute option de stabilisation nécessitera une mobilisation de la communauté autour de ce projet, y compris des entreprises locales et régionales, ainsi que des instances décisionnelles. À défaut de satisfaire à ces conditions minimales de saine gouvernance, les perspectives sont beaucoup moins encourageantes pour la communauté et pourraient forcer celle-ci à se replier vers des solutions de retrait beaucoup plus douloureuses à mettre en œuvre.

Résultats relatifs à la méthodologie d'analyse

Comme il a été mentionné, la présente étude poursuivait des objectifs méthodologiques explicites (les approches d'analyse : ACA et AMC) et implicites (modélisation numérique des processus). Les paragraphes suivants font un bref bilan de l'exercice.

L'analyse coûts/avantages. Strictement parlant, l'analyse coûts/avantages appliquée ici (le rapport de la firme Écoressources (2008) la désigne sous le vocable d'ACA approximative) se différencie d'une ACA classique à quelques niveaux, notamment par une monétarisation plus rigoureuse des éléments intangibles, par la définition et le rôle de l'option de référence (ne rien faire), par l'approche comparative des options et d'autres aspects plus secondaires. Nous ne sommes pas en désaccord avec les remarques de la firme bien que nous n'ayons pas eu tout le loisir de les implanter dans notre étude.

En revanche, notre approche issue d'une démarche d'ingénierie et de gouvernance participative comporte un volet technique très important, en plus de certaines questions d'ordre financier traitées sous l'angle de l'équité. D'autres questions relatives à la sensibilité des résultats à des paramètres importants tels que le taux d'actualisation ou le changement climatique, ou encore le nombre d'options de référence (deux ici) forment aussi des distinctions importantes par rapport à une ACA classique.

L'approche multi-critères a également pu être testée avec, elle aussi, quelques bémols par rapport au cadre méthodologique, notamment par rapport à l'origine des paramètres des critères et des pondérations. En revanche, la méthode appliquée a été exposée en toute transparence au Comité de concertation qui l'a implicitement avalisée.

Par ailleurs, l'étude a nécessité le développement inédit d'outils spécialisés et modularisés de type tableur sur Microsoft Excel^{MD}. Au moment de la prise de décision, ces outils devraient permettre de répondre rapidement à plusieurs des questions qui se posent encore par rapport à la sensibilité aux paramètres majeurs de l'étude en plus de faire ressortir les avantages nets des options présentées sur l'une ou l'autre des options de référence. Ces outils prennent en compte les dossiers individuels des résidents, à partir du rôle d'évaluation municipale, et leurs paramètres d'exposition à l'érosion. Ils intègrent également l'aspect dynamique de la problématique par la projection des conséquences dans le futur et leur actualisation en *valeur présente nette*. L'analyse multi-critères, axée à la fois sur les valeurs monétaires intangibles et l'évaluation du bilan sédimentaire, y est également implantée, elle aussi assortie de réserves quand à l'approche retenue qui n'est pas nécessairement conforme à l'état de l'art en cette matière.

Toutefois, nous n'allons pas jusqu'à prétendre à une nouvelle norme concernant ces méthodologies d'analyse, les présentes approches se voulant expérimentales.

Recommandation : à la lumière de la présente étude, il semble indiqué de revoir les termes de référence inhérents aux études d'ACA – Risques naturels à venir afin de minimiser l'effort et les délais impliqués dans leur réalisation et d'en optimiser la portée.

La modélisation des processus physiques. Les auteurs se sont interrogés à savoir jusqu'où, dans le contexte de pré-faisabilité d'une analyse économique, devraient être poussées les modélisations relatives aux processus physiques et au dimensionnement des ouvrages de stabilisation dont la mise en œuvre demeure incertaine. D'emblée, nous croyons que l'insertion harmonieuse de structures lourdes, et possiblement vulnérables aux puissantes forces de la mer, ne peut s'effectuer dans l'improvisation empirique ou procéder de simples avis d'experts. La mobilisation d'outils de modélisation appropriés semble donc tout à fait indiquée pour mieux

cerner la magnitude des forces en présence et maximiser les chances de succès à long terme. De plus, un minimum d'études techniques est nécessaire pour évaluer, quoique sommairement, les coûts de ces ouvrages. De surcroît, la considération d'options de stabilisation douce pose un problème additionnel de complexité qui ne peut être résolu qu'en modélisation.

Recommandation : Dans le contexte d'une ACA, il nous a semblé indiqué de disposer a priori d'analyses préliminaires par modèles jusqu'au point où les grands paramètres de dimensionnement sont identifiés et raisonnablement quantifiés. Assortie d'interprétations géomorphologiques poussées, la modélisation numérique est un outil à privilégier avant la réalisation de l'ACA technique. Par la suite, à l'étape de la réalisation des plans et devis, d'autres calculs plus poussés sont requis afin de contribuer au dimensionnement final des ouvrages.

Recommandation : Malheureusement, on compte très peu d'experts du domaine du génie côtier au Québec et il semble indiqué d'investir dans ce genre d'expertise, et s'il le faut, de mettre en place des équipes universitaires afin de conduire les recherches appropriées et former une relève pour faire face adéquatement aux conséquences de l'érosion et des changements climatiques.

COLLABORATEURS

Analyses, avis techniques

Pour l'Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement

Responsable du projet, protocole d'analyse coûts-avantages (ACA), communications, rédaction et édition du rapport

Michel Leclerc, ing., Ph.D., Professeur honoraire - Hydraulique environnementale

Dynamique côtière, avis

Bernard Long, Ph.D., Professeur en sédimentologie

Géomatique

Pierre-Luc Fortin, B.Sc., Géographe, inscrit à la Maîtrise en Sciences de la Terre (Risques naturels)

Pour Aquap Praxis Inc.

Analyse et synthèse des processus d'érosion, détermination des scénarios techniques, génie côtier, rédaction du rapport

Pierre Dupuis, ing. M.Sc., Hydraulique

Pour le Ministère de la Sécurité publique (Service de l'Atténuation des risques)

Répondant principal

Jean-Denis Bouchard, M.Sc., Géologue

Conseiller

François Morneau, M.Sc., Géomorphologue

Suivi du dossier

Line Arsenault,

OURANOS

Changements climatiques et érosion côtière, avis

Jean-Pierre Savard, M.Sc., chercheur

Méthodologie d'analyse coûts-avantages, avis

Claude Desjarlais, M.A., économiste

Université du Québec à Rimouski

Dynamique côtière, exposition aux aléas, avis technique

Pascal Bernatchez, M.Sc., Ph.D.

Comité de concertation

En plus de certaines personnes mentionnées précédemment, le Comité de concertation était formé de :

Pour la Ville de Pointe-aux-Outardes

Responsabilité administrative, communications

Louise Durand, Mairesse

Dania Hovington, secrétaire-trésorière

Support technique

Maxime Whissell, technicien en urbanisme

Le Conseil municipal

Pour le ministère de la Sécurité publique en région

Gilles Gaudreault, conseiller en Sécurité civile, répondant régional

Josée Desgagné, conseillère en Sécurité civile, répondante régionale (3^{ième} rencontre et suivantes)

Pour le Ministère des Pêches et Océans

Jean Morrissette, M.Sc., Biologiste

Pour le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

Marilou Tremblay, B.Sc., biologiste, répondante régionale

Jean Sylvain, B.Sc., biologiste M.Sc., génie civil, répondant, Direction des Évaluations environnementales

Pour le Parc Nature de Pointe-aux-Outardes

Danielle Saint-Laurent, Directrice

Pour le Comité de citoyens de Pointe-aux-Outardes

Mme Marcelle Tremblay

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE EXÉCUTIF

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | MISE EN CONTEXTE ET PORTÉE DE L'ÉTUDE | 1 |
| 1.1 | Le Comité de concertation | 1 |
| 1.2 | État de la situation | 1 |
| 1.3 | Mise en contexte et historique | 3 |
| 1.3.1 | 1980 | 4 |
| 1.3.2 | 1987-88 : la région se mobilise | 4 |
| 1.3.3 | 1989-1991 : on déplore l'insuffisance de l'action sectorielle et la pression monte | 5 |
| 1.4 | Que retenir de cette époque ? | 7 |
| 1.5 | Critères d'évaluation des options et portée de l'étude | 7 |
| 1.6 | Objectifs généraux | 8 |
| 1.7 | Solutions envisagées <i>a priori</i> | 8 |
| 2 | MÉTHODOLOGIE | 9 |
| 2.1 | Comité de concertation | 11 |
| 2.2 | Résumer le contexte et établir un jeu de critères d'évaluation | 11 |
| 2.3 | Portée des conséquences à prendre en compte | 12 |
| 2.4 | Portrait de l'érosion, des facteurs physiques qui la favorisent | 13 |
| 2.5 | Portrait de la vulnérabilité | 14 |
| 2.6 | Exposition à l'érosion | 14 |
| 2.7 | Les options de référence | 15 |
| 2.8 | Les options alternatives | 15 |
| 2.9 | Comparer les options et proposer une stratégie intégrée | 16 |
| 3 | ÉTUDES ANTÉRIEURES : UN PARADIGME ÉVOLUTIF D'ANALYSE | 17 |
| 4 | PORTRAIT DE L'ÉROSION | 23 |
| 4.1 | Bibliographie pertinente | 23 |
| 4.2 | Description du terrain | 23 |
| 4.2.1 | Délimitation du secteur d'étude et courants résiduels | 23 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.2.2 | Données disponibles sur le terrain | 24 |
| 4.2.3 | Caractérisations effectuées | 25 |
| 4.3 | Caractéristiques topographiques | 25 |
| 4.4 | État actuel de la côte | 29 |
| 4.5 | Bilan sédimentaire : apports nets dus à l'érosion | 30 |
| 4.5.1 | Approche | 30 |
| 4.5.2 | Apport net au bilan sédimentaire de 2008 | 32 |
| 4.5.3 | Prévision sur l'horizon 30 ans : une hémorragie appréhendée | 33 |
| 4.5.4 | Causes possibles | 35 |
| 4.6 | En résumé | 36 |
| 5 | SOLLICITATIONS HYDRODYNAMIQUES | 37 |
| 5.1 | L'estran de la péninsule de Manicouagan | 37 |
| 5.1.1 | Particularités de l'estran | 39 |
| 5.1.2 | Système de dunes situé à l'ouest du quai | 40 |
| 5.1.3 | Profil type de l'estran | 42 |
| 5.1.4 | Recherche de la zone active de transport de sédiments | 43 |
| 5.1.5 | Zone de transport actif : résumé | 47 |
| 5.2 | Les marées | 48 |
| 5.3 | Surcotes et décotes | 50 |
| 5.4 | Analyse statistique des niveaux extrêmes | 51 |
| 5.4.1 | Résumé - Paramètres de dimensionnement - Marée | 53 |
| 5.5 | Le régime des vagues en eau profonde | 53 |
| 5.5.1 | Mesures du régime des vagues dans l'estuaire du Saint-Laurent | 53 |
| 5.5.2 | Génération du régime des vagues à partir du vent | 54 |
| 5.6 | Régime des vagues en eau peu profonde | 60 |
| 5.6.1 | Mesures réalisées sur la bature | 60 |
| 5.6.2 | Comparaison avec les vagues générées en eau profonde | 61 |
| 5.7 | Propagation des vagues vers la rive (modèle bi-dimensionnel) | 63 |
| 5.7.1 | Résultats à niveau d'eau extrême haut | 63 |
| 5.7.2 | Hauteurs de vagues retenues pour le dimensionnement d'ouvrages | 65 |
| 5.8 | Circulation hydrodynamique | 65 |
| 5.8.1 | Courants au flot | 65 |
| 5.8.2 | Courants au baissant (jusant) | 66 |
| 5.9 | En résumé | 67 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 6 | PORTRAIT DE LA VULNÉRABILITÉ | 71 |
| 6.1 | Composantes retenues – Portée de l'étude | 71 |
| 6.2 | Données disponibles sur la vulnérabilité - Faits saillants | 71 |
| 6.2.1 | Secteur résidentiel | 71 |
| 6.2.2 | Les résidences secondaires, maisons mobiles et terrains inoccupés | 71 |
| 6.2.3 | Les infrastructures municipales de voirie et les réseaux de services | 72 |
| 6.2.4 | L'écosystème de la batture de Manicouagan : un milieu riche et diversifié | 72 |
| 6.2.5 | L'érosion et les habitats coquilliers | 73 |
| 6.2.6 | Les infrastructures et usages récréo-touristiques : le Parc Nature | 73 |
| 6.3 | L'exposition résidentielle à l'érosion | 76 |
| 6.4 | Statistiques relatives à la vulnérabilité résidentielle et à l'exposition à l'érosion | 77 |
| 6.5 | Types de conséquences considérées : monétarisation | 79 |
| 6.5.1 | Les conséquences sanitaires | 79 |
| 6.5.2 | Les dommages directs | 79 |
| 6.5.3 | Les dommages indirects | 79 |
| 6.5.4 | Les dommages d'incertitude | 80 |
| 6.5.5 | Les dommages intangibles et inconvenients | 80 |
| 6.5.6 | Les plages | 81 |
| 6.5.7 | Le paysage côtier | 82 |
| 7 | INVENTAIRE DES TYPES DE SOLUTIONS : CONTEXTE D'APPLICATION | 83 |
| 7.1 | Le Programme général d'indemnisation – Mouvements de sols (PGMS) | 84 |
| 7.2 | Les Protocoles d'Application de Solutions (PAS) | 84 |
| 7.3 | L'allocation de départ | 85 |
| 7.3.1 | Principe | 85 |
| 7.3.2 | Avantages | 86 |
| 7.3.3 | Désavantages | 86 |
| 7.4 | Déplacement du bâtiment en préservant les avantages du site sur le même terrain ou à proximité | 87 |
| 7.4.1 | Principe | 87 |
| 7.4.2 | Avantages | 87 |
| 7.4.3 | Désavantages | 88 |
| 7.5 | Solutions structurelles : mesures douces ou dures ? | 88 |
| 7.6 | Empierrement linéaire | 90 |
| 7.6.1 | Principe | 90 |
| 7.6.2 | Avantages | 90 |
| 7.6.3 | Désavantages | 90 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| 7.7 | Protection par des champs d'épis | 91 |
| 7.7.1 | Principe | 91 |
| 7.7.2 | Avantages | 91 |
| 7.7.3 | Désavantages | 92 |
| 7.8 | Recharge de plage | 93 |
| 7.9 | Résumé | 94 |
| 8 | MODÈLE D'ANALYSE COÛTS/AVANTAGES - PARAMÉTRISATION | 96 |
| 8.1 | Paramètres temporels : l'actualisation | 96 |
| 8.2 | Paramètres économiques (PE) | 97 |
| 8.3 | Paramètres physiques du retrait (PP) | 98 |
| 8.4 | Paramètres fiscaux (FISC) | 99 |
| 8.5 | Paramètres – Programme général d'assistance – Volet Mouvements de sol (PGMS) | 99 |
| 8.6 | Retrait des bâtiments: mesures visant la vulnérabilité allocation de départ (AD) et déplacement de bâtiment (DB) | 100 |
| 8.7 | Mesures de protection : empierrement linéaire - Paramètres retenus | 101 |
| 8.8 | Mesures de ré-équilibrage : Épis – Paramètres retenus | 102 |
| 8.9 | Mesures de ré-équilibrage : Recharge compensatoire – Paramètres retenus | 104 |
| 8.10 | Mesures de retrait : déplacement de la rue Labrie | 105 |
| 8.11 | Impact des changements climatiques | 106 |
| 8.12 | Paramètres reliés aux avantages intangibles et aux dommages indirects | 107 |
| 8.12.1 | Cueillette des myes | 107 |
| 8.12.2 | Les plages | 108 |
| 8.12.3 | Le paysage côtier | 109 |
| 8.13 | Paramètres de l'analyse multi-critères | 110 |
| 8.13.1 | Rappel des critères | 111 |
| 8.13.2 | Critère Coût : C_S | 111 |
| 8.13.3 | Critère Durabilité : C_D | 112 |
| 8.13.4 | Critère Risque résiduel : C_R | 113 |
| 8.13.5 | Critère Équité : C_E | 114 |
| 8.13.6 | Critère Impacts environnementaux - Bilan sédimentaire : C_i | 115 |
| 8.13.7 | Critère Synergie - Mise en valeur : C_V | 116 |
| 8.13.8 | Critère Impact social : C_S | 117 |
| 8.14 | Critères globaux | 118 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 8.14.1 | Critère G_1 : Poids décisif sur le coût | 119 |
| 8.14.2 | Critère G_2 : Poids majoritaire sur le coût | 119 |
| 8.14.3 | Critère G_3 : Moyenne géométrique pondérée | 119 |
| 8.14.4 | Critère G_4 : Moyenne arithmétique pondérée | 120 |
| 8.14.5 | Critère ultime G_g : Moyenne des critères globaux | 120 |
| 8.15 | Résumé | 120 |
| 9 | SCÉNARIOS CONSIDÉRÉS | 122 |
| 9.1 | Scénarios de référence | 122 |
| 9.2 | Zones d'application | 123 |
| 9.3 | Option P1 : champ d'épis conventionnels (20) partout (3,9 km) | 124 |
| 9.3.1 | Objectifs recherchés | 124 |
| 9.3.2 | Caractéristiques générales de l'option | 124 |
| 9.3.3 | Traitements spécifiques | 124 |
| 9.3.4 | Estimation des impacts sur la vulnérabilité et les avantages identifiés – Risque résiduel | 125 |
| 9.3.5 | Bilan des coûts et avantages | 125 |
| 9.3.6 | Contraintes et limitations | 125 |
| 9.3.7 | Avantages et/ou inconvénients pour les parties prenantes | 126 |
| 9.3.8 | Équité – Répartition des coûts et des avantages | 127 |
| 9.3.9 | Variantes possibles | 127 |
| 9.4 | Option P2 : Champ d'épis (20) de type Holmberg partout | 128 |
| 9.4.1 | Objectifs recherchés | 128 |
| 9.4.2 | Caractéristiques générales de l'option | 128 |
| 9.4.3 | Traitements spécifiques | 128 |
| 9.4.4 | Estimation des impacts sur la vulnérabilité et les avantages – Risque résiduel | 129 |
| 9.4.5 | Bilan des coûts et avantages | 129 |
| 9.4.6 | Contraintes et limitations | 129 |
| 9.4.7 | Avantages et/ou inconvénients pour les parties prenantes | 130 |
| 9.4.8 | Équité – Répartition des coûts et des avantages | 130 |
| 9.4.9 | Variantes possibles | 131 |
| 9.5 | Scénario de référence P3 ou P_{réf}: Empièrrement linéaire généralisé | 131 |
| 9.5.1 | Objectifs recherchés | 131 |
| 9.5.2 | Caractéristiques générales de l'option | 131 |
| 9.5.3 | Risque résiduel | 132 |
| 9.5.4 | Bilan des coûts et avantages | 132 |
| 9.5.5 | Variantes possibles | 133 |
| 9.6 | Option P4 : Champ d'épis conventionnels (12) – Équilibré – Retrait partiel de la rue Labrie Est | 134 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 9.6.1 | Objectifs recherchés | 134 |
| 9.6.2 | Caractéristiques générales de l'option | 134 |
| 9.6.3 | Traitements spécifiques | 134 |
| 9.6.4 | Estimation des impacts sur la vulnérabilité – Risque résiduel | 135 |
| 9.6.5 | Bilan des coûts et avantages | 135 |
| 9.6.6 | Contraintes et limitations | 135 |
| 9.6.7 | Avantages et/ou inconvénients | 135 |
| 9.6.8 | Équité – Répartition des coûts et avantages entre les parties prenantes | 136 |
| 9.6.9 | Variantes possibles (P4.1, P4.2) | 136 |
| 9.7 | Option P5 : Champ d'épis Holmberg (12) – Équilibré | 138 |
| 9.7.1 | Objectifs recherchés | 138 |
| 9.7.2 | Caractéristiques générales de l'option | 138 |
| 9.7.3 | Traitements spécifiques | 138 |
| 9.7.4 | Estimation des impacts sur la vulnérabilité – Risque résiduel | 139 |
| 9.7.5 | Bilan des coûts et avantages | 139 |
| 9.7.6 | Contraintes et limitations | 139 |
| 9.7.7 | Avantages et/ou inconvénients pour les parties prenantes | 139 |
| 9.7.8 | Équité – Répartition des coûts pour les parties prenantes | 141 |
| 9.7.9 | Variantes possibles | 141 |
| 9.8 | Option P6 : Champ d'épis conventionnels (11) – Réduit – Retrait partiel de la rue Labrie Est | 141 |
| 9.8.1 | Objectifs recherchés | 141 |
| 9.8.2 | Caractéristiques générales de l'option et traitements spécifiques | 141 |
| 9.8.3 | Estimation des impacts sur la vulnérabilité – Risque résiduel | 141 |
| 9.8.4 | Bilan des coûts et avantages | 141 |
| 9.8.5 | Contraintes et limitations | 142 |
| 9.8.6 | Avantages et/ou inconvénients | 142 |
| 9.8.7 | Équité – Répartition des coûts pour les parties prenantes | 142 |
| 9.9 | Option de référence - Retrait généralisé graduel avec assistance financière du PGMS – Scénario R1 ou R_{réf} 144 | |
| 9.9.1 | Objectifs recherchés | 144 |
| 9.9.2 | Caractéristiques générales de l'option | 144 |
| 9.9.3 | Traitements spécifiques | 145 |
| 9.9.4 | Estimation des impacts sur la vulnérabilité – Risque résiduel | 145 |
| 9.9.5 | Coûts estimés de réalisation | 146 |
| 9.9.6 | Contraintes et limitations | 146 |
| 9.9.7 | Avantages et/ou inconvénients pour les parties prenantes | 146 |
| 9.9.8 | Équité – Répartition des coûts pour les parties prenantes | 149 |
| 9.9.9 | Variantes possibles | 149 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| 9.10 | Option mixte MX1 – Protection minimale par un champ d'épis (7)- Retrait partiel de la rue Labrie et de résidences exposées | 149 |
| 9.10.1 | Objectifs recherchés | 149 |
| 9.10.2 | Caractéristiques générales de l'option | 150 |
| 9.10.3 | Traitements spécifiques | 150 |
| 9.10.4 | Estimation des impacts sur la vulnérabilité – Risque résiduel | 151 |
| 9.10.5 | Bilan des coûts et avantages | 151 |
| 9.10.6 | Contraintes et limitations | 151 |
| 9.10.7 | Avantages et/ou inconvénients pour les parties prenantes | 153 |
| 9.10.8 | Équité – Répartition des coûts pour les parties prenantes | 153 |
| 9.10.9 | Variantes possibles | 153 |
| 9.11 | Résumé | 153 |
| 10 | SYNTHÈSE DE L'ANALYSE – COMPARAISON DES OPTIONS | 155 |
| 10.1 | Analyse comparative des bilans des options | 155 |
| 10.2 | Sensibilité des options au taux d'actualisation | 156 |
| 10.3 | Analyse multi-critères | 160 |
| 10.4 | En résumé | 162 |
| 11 | CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS | 163 |
| 11.1 | Sur la pré-sélection des options les plus avantageuses | 163 |
| 11.2 | Sur le portrait de la situation | 163 |
| 11.3 | Constats relatifs à l'hydrodynamique et à la réponse sédimentaire | 164 |
| 11.4 | Sur la conception préliminaire des ouvrages | 166 |
| 11.5 | Sur l'approche d'analyse coût-avantages | 167 |
| 11.6 | Sur la gouvernance participative | 169 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 170 |
| | ANNEXE A : GLOSSAIRE DU RISQUE | 174 |
| | ANNEXE B : CALCULS RELATIFS À L'ÉROSION ET À L'EXPOSITION DES ÉLÉMENTS VULNÉRABLES | 175 |
| | ANNEXE C : ESTRAN DE LA POINTE-AUX-OUTARDES – IMAGERIE LIDAR | 176 |
| | ANNEXE D : ANALYSES DU SIGNAL DE MARÉE | 177 |

ANNEXE E : GENERATION DES VAGUES AVEC UNE SERIE DE VENTS HORAIRES178

**ANNEXE F : ÉPISODES DE TEMPETES – VAGUES SUPERIEURES A 3 M -
AMPLITUDE DE LA MAREE A BAIE-COMEAU ET RIMOUSKI** 179

**ANNEXE G : DISTRIBUTION DES VAGUES GÉNÉRÉES AU LARGE DE POINTE-
AUX-OUTARDES** 180

ANNEXE H : PROFILS DE PLAGE EN ÉQUILIBRE ET PROTECTION DES BERGES181

**ANNEXE I : CALCUL DES VOLUMES THEORIQUES REQUIS POUR LA RECHARGE
DE LA PLAGE DE POINTE-AUX-OUTARDES** 182

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Péninsule de Manicouagan – Toponymie et cellules sédimentaires (Source, MSP, 2006)..... | 4 |
| Figure 2 : Méthodologie de l'étude..... | 10 |
| Figure 3 : Schéma explicatif de la technique Holmberg d'après le mémoire du Comité de citoyens de Pointe-aux-Outardes (2005). L'échelle du croquis est distordue par rapport aux dimensions suggérées pour Pointe-aux-Outardes | 22 |
| Figure 4: Variante de la technique Holmberg - Technique Geotube (Source : www.geotube.com)..... | 22 |
| Figure 5: Cellules et processus hydro-sédimentaires de la batture de Manicouagan (MSP, 2005)..... | 24 |
| Figure 6: Topographie générale (LIDAR) des côtes de la Pointe-aux-Outardes (rue Labrie Est). | 25 |
| Figure 7: LIDAR dans la région du quai municipal - Sections transversales en face des propriétés..... | 26 |
| Figure 8: Profil transversal de la côte au droit du 238 Labrie Est - Valeur de la pente en vert - Autres indications de niveau | 27 |
| Figure 9: Exemple de profil transversal de la côte présentant encore une micro-terrasse (altitude de 3,3 m, largeur de 10 m) protectrice en pied de talus | 28 |
| Figure 10: État actuel du milieu côtier - Pointe-aux-Outardes..... | 29 |
| Figure 11 : Classification des pentes d'après le critère d'équilibre retenu (33 degrés) | 30 |
| Figure 12 : Paramètres de l'érosion à Pointe-aux-Outardes (1996-2003) – Extrait de Dubois <i>et al.</i> (2005) | 32 |
| Figure 13: Prévision de l'évolution des apports sédimentaires nets par l'érosion à Pointe-Aux-Outardes | 35 |
| Figure 14 : Carte marine de la région de la péninsule de Manicouagan | 38 |
| Figure 15 : Image de synthèse du relevé LIDAR effectué à l'été 2007 | 38 |
| Figure 16 : Image de synthèse à haute résolution de l'estran Pointe-aux-Outardes | 39 |
| Figure 17 : Particularités morphologiques propres à l'estran de Pointe-aux-Outardes..... | 40 |
| Figure 18 : Transect permettant d'évaluer la distance entre les dunes situées à l'ouest du quai ... | 41 |
| Figure 19 : Caractéristiques des dunes à l'ouest du quai municipal | 41 |
| Figure 20 : Vue en plan d'une section superposée sur les relevés LIDAR de l'estran | 42 |
| Figure 21 : Vue en profil d'une section superposée sur les relevés LIDAR de l'estran | 42 |
| Figure 22 : Agrandissement vertical de la zone de l'estran et pentes approximatives..... | 43 |
| Figure 23 : Grille de 9 m de résolution – Cotes du fond entre -2 et 2 m..... | 44 |
| Figure 24 : Délimitation subjective des deux zones bathymétriques distinctes | 45 |
| Figure 25 : Localisation et profils d'un transect dans la zone proximale à la berge..... | 46 |
| Figure 26 : Comparaison des signaux de marée de Baie-Comeau et Rimouski | 48 |
| Figure 27 : Signal de marée (référence géodésique) mesuré à Baie-Comeau (1969-1991)..... | 49 |
| Figure 28 : Variation du niveau d'eau moyen à Baie-Comeau – Marée filtrée | 50 |
| Figure 29 : Effets d'une surcote sur l'onde de marée (22-29 janvier 1971) | 51 |

| | |
|--|-----|
| Figure 30 : Ajustement des niveaux extrêmes annuels à la loi Log-Pearson III..... | 52 |
| Figure 31 : Localisation des mouillages de bouées mesurant les vagues (SDMM)..... | 54 |
| Figure 32 : Radiales et fetch effectif en eau profonde au large de la Péninsule de Manicouagan..... | 55 |
| Figure 33 : Régime des vagues généré pour Pointe-aux-Outardes | 56 |
| Figure 34 : Pourcentage de non-dépassement de la hauteur de vagues significative..... | 56 |
| Figure 35 : Épisode de fortes vagues et niveau d'eau (11 janvier 1977) | 59 |
| Figure 36 : Capteur de pression installé à l'été 2001 sur l'estran de la péninsule de Manicouagan Tiré de Karakiewicz <i>et al.</i> , 2001 | 60 |
| Figure 37 : Marée mesurée et hauteur d'eau au dessus du capteur de pression Tiré de Karakiewicz <i>et al.</i> , 2001..... | 60 |
| Figure 38 : Hauteur de vague significative enregistrée en octobre 2001 Tiré de Karakiewicz, Romanczyk et Roy, 2001 | 61 |
| Figure 39 : Comparaison des hauteurs de vagues générées en eau profonde et mesurées sur l'estran en octobre 2001. | 63 |
| Figure 40 : Train de vagues de 5 m en eau profonde provenant du sud..... | 64 |
| Figure 41 : Hauteur de vagues correspondant à la Figure 40..... | 64 |
| Figure 42 : Courants de vidange de la batture (jusant) inférés par interprétation de l'orientation des dépressions – Image originale tirée de Google Earth | 65 |
| Figure 43 : Chenaux de vidange visibles à niveau bas et limite de la plage sèche | 66 |
| Figure 44 : Présence d'une flèche littorale visible au large | 67 |
| Figure 45 : Nombre de résidences susceptibles d'être déplacées (sud de la rue Labrie) sur l'horizon de l'étude – Indication de disponibilité de terrain sur le même lot | 78 |
| Figure 46 : Taux d'utilisation des approches douces de stabilisation de berges –vs- les approches dures par USACE (2003) – Extrait du Coastal Engineering Manual (Volume V). | 89 |
| Figure 47 : Effet de type épi procuré par le quai municipal de Pointe-aux-Outardes..... | 92 |
| Figure 48 : Critère de base Coût global..... | 112 |
| Figure 49 : Critère de base Durabilité..... | 113 |
| Figure 50 : Critère Équité..... | 114 |
| Figure 51: Segmentation du milieu côtier pour fins d'analyse - Pointe-aux-Outardes..... | 123 |
| Figure 52: Prévission de l'évolution des apports sédimentaires nets selon le scénario | 138 |
| Figure 53 : Segmentation du territoire d'étude pour les tableaux suivants..... | 156 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----|
| Tableau 1 : Caractéristiques de la marée pour Baie-Comeau et Rimouski | 49 |
| Tableau 2 : Niveaux d'eau extrêmes établis par ajustements à des lois statistiques d'extrêmes ... | 52 |
| Tableau 3 : Distribution pour toutes les années – Tous les niveaux d'eau | 57 |
| Tableau 4 : Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre 2 et 3 m | 58 |
| Tableau 5 : Historique du Parc Nature depuis sa création et développements anticipés | 75 |
| Tableau 6 : Coefficient d'actualisation durant la période de référence – Taux d'actualisation de 4%/an..... | 97 |
| Tableau 7 : Paramètres économiques : jeux PP de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence | 98 |
| Tableau 8 : Paramètres physiques PP: jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence | 98 |
| Tableau 9 : Paramètres fiscaux FISC: jeu de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence.. | 99 |
| Tableau 10 : Paramètres d'assistance financière (PGMS): jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence..... | 100 |
| Tableau 11 : Paramètres d'assistance financière pour le retrait des bâtiments résidentiels (PGMS): jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence..... | 100 |
| Tableau 12 : Paramètres retenus comme représentatifs de l'empierrement : jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence..... | 101 |
| Tableau 13 : Paramètres retenus comme représentatifs des épis ou stabilisateurs de courants : jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence..... | 103 |
| Tableau 14 : Paramètres retenus comme représentatifs de la recharge compensatoire : jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence | 106 |
| Tableau 15 : Paramètres du retrait de la rue Labrie Est : jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence..... | 106 |
| Tableau 16 : Paramètres de modulation des taux de recul en fonction des changements climatiques: jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence..... | 107 |
| Tableau 17 : Paramètres de modulation cumulative de la perte de la ressource en myes selon l'option générale - Jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence..... | 108 |
| Tableau 18 : Paramètres de modulation de la disponibilité et l'accessibilité des plages selon l'option générale - Jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence..... | 109 |
| Tableau 19 : Paramètres relatifs au paysage côtier selon l'option générale - Jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence..... | 110 |
| Tableau 20 : Liste et définition des critères de base utilisés pour classer les solutions proposées | 111 |
| Tableau 21 : Valeur du critère efficacité attribuée aux différents types de solution..... | 113 |
| Tableau 22 : Critère Impacts environnementaux et bilan sédimentaire | 116 |
| Tableau 23 : Critère Synergie – Mise en valeur..... | 116 |
| Tableau 24 : Critère Synergie – Impact social | 117 |
| Tableau 25 : Résumé des critères globaux appliqués..... | 118 |

| | |
|---|-----|
| Tableau 26 : Poids retenus pour relativiser l'importance de critères de base | 119 |
| Tableau 27: Coût en M\$ du scénario P1 – Épis conventionnels partout. Les montants indiqués sont en <i>valeur présente nette</i> . Une valeur négative indique un gain..... | 126 |
| Tableau 28 : Coût en M\$ du scénario P2 – Épis Holmberg généralisé. Les montants indiqués sont en <i>valeur présente nette</i> . Une valeur négative indique un gain | 130 |
| Tableau 29 : Coût en M\$ du scénario de protection de référence P3 ou Préf – Empierrement conventionnel généralisé avec recharge compensatoire annuelle Les montants indiqués sont en <i>valeur présente nette</i> . Une valeur négative indique un gain | 133 |
| Tableau 30 : Coût du scénario en M\$ – Champ d'épis Équilibré avec retrait partiel de la rue Labrie Est – Scénario P4. Les montants indiqués sont en <i>valeur présente nette</i> . Une valeur négative indique un gain | 137 |
| Tableau 31 : Coût en M\$ du scénario de protection – Champ d'épis Holmberg (Option Équilibrée) avec retrait partiel de la rue Labrie Est – Scénario P5. Les montants indiqués sont en <i>valeur présente nette</i> . Une valeur négative indique un gain..... | 140 |
| Tableau 32 : Coût en M\$ du scénario de protection – Champ d'épis Réduit avec retrait partiel de la rue Labrie Est – Scénario P6. Les montants indiqués sont en <i>valeur présente nette</i> . Une valeur négative indique un gain | 143 |
| Tableau 33 : Coûts du scénario de référence– Retrait généralisé avec assistance financière du PGMS – Scénario R ₁ ou R _{réf} . Les montants indiqués sont en <i>valeur présente nette</i> . Une valeur entre parenthèse indique un gain..... | 148 |
| Tableau 34 : Coûts en M\$ du scénario de référence MX1– Combinaison de champ d'épis et de mesures de retrait avec assistance financière du PGMS. Les montants indiqués sont en <i>valeur présente nette</i> (VPN). Une valeur en parenthèse indique un gain. | 152 |
| Tableau 35 : Bilan en valeur actualisée de l'ACA et des mesures applicables (1 de 2) Les valeurs entre parenthèses sont des gains..... | 157 |
| Tableau 36 : Analyse de sensibilité du coût des options (en M\$) et de leur ordonnancement par rapport au taux d'actualisation (TA) - Δ% est l'écart en % par rapport à la base de comparaison | 159 |
| Tableau 37 : Résultats de l'analyse multi-critères des options – Les colonnes en gris représentent les deux options les plus avantageuses..... | 161 |



1 Mise en contexte et portée de l'étude

1.1 Le Comité de concertation

Question de transparence et d'efficacité, il est de plus en plus courant et indiqué d'assortir la recherche de solutions à des problématiques de risque d'un Comité de concertation assez large dont le mandat est :

1. *d'accompagner l'équipe d'analyse dans son cheminement formel*
2. *de proposer des avenues complémentaires permettant de bonifier les options*
3. *de mettre en évidence les enjeux les plus directement touchés*
4. *de participer à la mise en œuvre de l'option retenue tant sur le plan financier qu'à d'autres niveaux (administration, communications, par exemple)*

En fait, comme nous le verrons plus loin, la formation d'un tel comité a constitué la première étape de notre protocole (voir le chapitre 2, page 8). Toutefois, le Comité de concertation n'a pas pour but de se substituer aux instances décisionnelles, en particulier celles ayant à statuer sur les aspects économiques et financiers. Par contre, plusieurs membres ont le loisir, voire le pouvoir de diligenter la mise en œuvre des mesures les plus avantageuses pour les parties. C'est dans cet esprit qu'a été réuni l'aréopage d'intervenants mentionnés dans les pages de crédit au début de ce rapport. Leur rôle est sommairement indiqué au même endroit.

1.2 État de la situation

Le secteur côtier de Pointe-aux-Outardes localisé sur la péninsule de Manicouagan – Haute-Côte-Nord subit depuis des années des reculs importants de ses rives par l'érosion et les mouvements de sol gravitaires. L'ensemble de cette problématique est largement documenté dans Dubois *et al.* (2005). Ces phénomènes menacent à terme l'intégrité des propriétés qui y sont implantées, d'abord au niveau des terrains puis des résidences elles-mêmes. Les infrastructures publiques sont également menacées. Les causes directes de l'érosion s'avèrent multiples et complexes. Elles mettent en cause, simultanément ou séparément, les surcotes reliées aux épisodes de tempêtes, les marées de syzygie (marées de vives-eaux), l'action des vagues de tempête sur le littoral, l'équilibre précaire du bilan sédimentaire ainsi que l'évolution à long terme du niveau moyen des mers. De plus, les changements climatiques appréhendés changeront fort probablement la magnitude et la fréquence d'occurrence de ces phénomènes. La nature meuble de certains dépôts de surface favorise ces processus érosifs. La vulnérabilité des propriétés situées en rive est donc



indéniable, voire même prévisible dans le temps dans la mesure où l'on peut estimer approximativement la séquence des phases de recul de la rive.

La recherche de solutions préventives, qu'elles visent le retrait, la stabilisation de berges (douce ou dure) et/ou une combinaison de ces objectifs, est d'abord basée sur la comparaison des impacts et des coûts actuels et à venir des différentes options, l'une de ces options formant un *scénario de référence*. Cette recherche doit être entreprise dans une perspective de *développement durable*², c'est-à-dire, en privilégiant l'efficacité à long terme des solutions proposées, leur acceptabilité sur le plan environnemental, un rapport coûts/avantages favorable pour toutes les parties, et bien sûr, l'équité sur le plan social.

Diverses approches remédiatrices ont déjà été évoquées dans divers rapports ou sont répertoriées dans des manuels spécialisés (ex : USACE, 2003) traitant de la stabilisation de berges et l'un des buts du présent projet est de les passer en revue dans une optique d'étude de pré-faisabilité. Le rationnel d'aide à la décision prend appui sur une *analyse coûts-avantages* (ACA) dynamique.

La présente étude n'entend pas procéder à l'évaluation environnementale des options, cette étape devant être franchie lorsqu'aura été sélectionnée l'option la plus avantageuse par les parties prenantes, si celle-ci est de nature à occasionner des impacts environnementaux. En effet, l'option retenue suite à cette étude ne donnera pas nécessairement lieu à une évaluation environnementale si les mesures privilégiées devaient s'orienter vers le retrait de la côte des bâtiments et infrastructures. Dans le cas contraire, un avis de projet devrait donc être émis afin que le volet « Étude d'impact » puisse être mis en œuvre aussitôt qu'une option de stabilisation serait retenue.

Le *risque* (notamment par sa définition actuarielle) est classiquement composé d'une probabilité annuelle d'aléas (*hasards*) qui est multipliée par les coûts associés aux conséquences de leur réalisation dans un milieu vulnérable et exposé (Ouellette *et al.*, 1985; CSA, 1991). Le risque est ainsi traduit en un coût moyen annuel, toutes classes d'événements ponctuels confondues. Aujourd'hui, le risque est plutôt présenté comme une combinaison d'aléas et de vulnérabilité (UNISDR, 2006), y compris au ministère de la Sécurité publique (MSP, 2007).

Contrairement à la plupart des aléas naturels, traités statistiquement à cause de l'incertitude de leur survenue (crues, embâcles, séismes), les processus d'érosion côtière sont, de par leur nature, beaucoup plus prévisibles à terme, car continus dans le temps, et ils peuvent être traités en considérant une fréquence annuelle de réalisation. Ils autorisent donc des approches plus déterministes. Si les taux de recul du trait de côte peuvent varier de manière quelque peu incertaine en fonction des facteurs qui la produisent, les calculs de risque sont effectués sur la base de moyennes historiques annuelles.

Quant aux *conséquences* associées à la *vulnérabilité*, elles incluent notamment la perte de terrain, les dommages directs aux bâtiments, l'érosion de la valeur marchande, ce qui affecte simultanément le patrimoine des individus et l'assiette fiscale des pouvoirs locaux. Songeons également à la réduction de la durée de vie des infrastructures publiques et aux impacts

² Une définition de certaines expressions est proposée à l'Annexe A : Glossaire extrait d'un document de politique du Ministère de la Sécurité publique portant sur un cadre de référence en gestion des risques de sinistres



environnementaux, sans compter les tensions sociales qui résultent aussi de ces phénomènes. Toutes ces conséquences sont liées jusqu'à un certain point au degré d'*exposition* des composantes visées par rapport à l'aléa.

Plusieurs études conduites ces dernières années sur l'ensemble du littoral de la Côte-Nord du Saint-Laurent (recensées dans Dubois *et al.*, 2005) ont permis de mieux cerner l'ampleur de cette problématique et d'apporter des éléments de réponse préventive (Règlement de contrôle intérimaire ou RCI des berges exposées) à cette problématique. Des ébauches de solutions potentielles douces pour la réduction des risques actuels ont été identifiées, voire expérimentées en certains endroits particulièrement vulnérables, mais leur mise en œuvre à plus grande échelle nécessite une vue plus précise du contexte d'application, et une meilleure justification notamment sur le plan des enjeux économiques et financiers (rentabilité des interventions) et de l'efficacité présumée des moyens envisagés. De plus, chacune des solutions envisagées n'apporte pas toujours à elle seule la réponse définitive recherchée. Un scénario d'intervention pertinent doit donc émaner d'une stratégie intégrée et concertée par opposition à des interventions ponctuelles et isolées.

1.3 Mise en contexte et historique

La Figure 1 montre la région d'étude à l'intérieur de laquelle doit être délimité le secteur où une solution intégrée au risque d'érosion doit être définie. Ci-après nous allons reconstituer les divers événements qui ont présidé aux premières interventions en stabilisation de berges dans la péninsule de Manicouagan. L'emphase est mise sur le processus décisionnel et sur le choix des critères présidant aux décisions. Il est notable aussi que l'empierrement linéaire traditionnel, a souvent été considéré automatiquement comme la seule solution à ce problème, sans doute à tort. Pour cette raison, cette option doit être prise en compte comme une option de référence sans présumer de son adéquation.

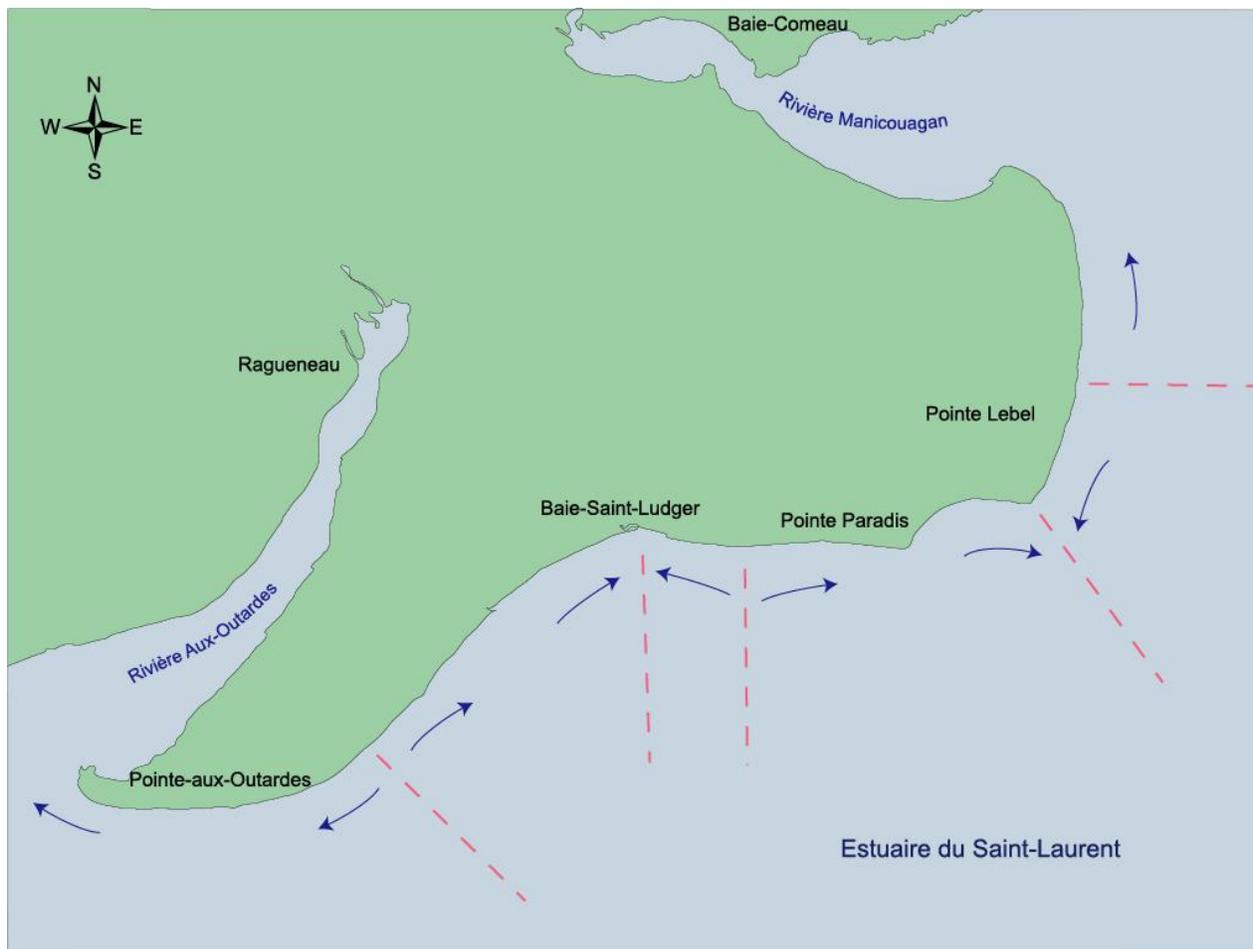


Figure 1 : Péninsule de Manicouagan – Toponymie et cellules sédimentaires (Source, MSP, 2006)

1.3.1 1980

Dès 1980, J.D. Allard du MRN (Service de Géotechnique) signale que des processus d'érosion très actifs dans la péninsule de Manicouagan, notamment à Pointe-aux-Outardes et Baie-Saint-Ludger vont tôt ou tard nécessiter des interventions soit de type structurel (empierrements) ou administratif (relocalisations). En formulant des doutes sur la pérennité d'ouvrages lourds dans le secteur où des argiles sensibles sont présentes, Allard opte plutôt pour une relocalisation des bâtiments en admettant toutefois que les processus d'érosion se poursuivront et devraient tôt ou tard nécessiter des aménagements particuliers.

1.3.2 1987-88 : la région se mobilise

En réponse à une rencontre de représentation (9 novembre 1987) avec le maire G.H. Gagné de Ragueneau (jusqu'à récemment préfet de la MRC Manicouagan), le ministre responsable du Bureau de la Protection civile (G. Rocheleau) l'invite à soulever la question au prochain Sommet socio-économique de la région et ouvre la porte à la formation d'un Comité présidant à la réalisation de travaux. Suite à diverses représentations, le Directeur général par intérim du Bureau de Protection civile du Québec recommande en avril 1988 la formation d'un Comité de travail



régional chargé de faire le point sur la situation, de déterminer des solutions possibles et leurs coûts. Doivent aussi en faire partie des représentants des ministères de l'Environnement, des Transports, des Affaires municipales et de la Protection civile. La décision de créer ce Comité est prise le 4 mai 1988.

Lors de la première réunion du Comité de travail (20 juillet 1988), des « suggestions » apparaissent d'emblée et forment consensus: exiger un « ticket modérateur » (comprendre une participation financière des intéressés) aux particuliers et aux municipalités en demande pour la réalisation de travaux de stabilisation de berges; évaluer les travaux à réaliser sur la base du *rapport coût des travaux/ valeur des biens à protéger* comme critère d'estimation de leur pertinence (admissibilité), et de manière plus générale, se doter de critères généraux d'intervention pour l'ensemble de cette problématique.

Lors de sa deuxième réunion (août 1988), le Comité reconnaît aussi que le critère *sécurité* (routes et/ou résidences menacées à court terme) doit être considéré pour prioriser les interventions quelle qu'en soit la nature. On y insiste sur la contribution attendue des riverains et municipalités aux interventions, sur le besoin de mettre en place des mesures préventives ainsi que sur le coût d'entretien récurrent des ouvrages structurels. Diverses recommandations adressées aux différents ministères présents au Comité sont formulées en octobre dont celles visant la mise en place de mesures préventives et la création d'un programme spécial pour résoudre en urgence les problématiques de la MRC de Manicouagan.

Un sous-comité chargé d'inventorier les problématiques sur l'ensemble de la Côte Nord souligne l'ampleur de la problématique et revient sur la nécessité de se doter de critères d'évaluation explicites pour établir des priorités et juger de la pertinence des actions proposées. D'autres sous-comité (Environnement, Affaires municipales) appuient l'approche de zonage et de réglementation (ex : contrôle intérimaire) de l'utilisation du territoire côtier vulnérable à l'érosion.

En octobre 1988, pendant le Sommet socio-économique de la région, le ministère des Transports qui a reçu le mandat de maître d'œuvre des mesures de stabilisation de berges s'engage à injecter 6 M\$ dans de telles mesures dans le secteur de la péninsule de Manicouagan, sommes surtout consacrées à la protection des équipements routiers.

1.3.3 1989-1991 : on déplore l'insuffisance de l'action sectorielle et la pression monte

L'Entente régionale de développement du 5 mai 1989 (1990-1993) consacre l'attribution d'une somme de 6M\$ pour résoudre les problématiques de Ragueneau, Pointe-aux-Outardes et Pointe-Label.

Lors de la quatrième réunion du Comité régional (13 juin 1989), certains soulignent le caractère sectoriel des actions préconisées à ce jour par le ministère des Transports qui privilégie la protection du réseau routier. On y souhaite la mise en place d'un programme provincial multi-sectoriel muni de budgets et de ressources propres, et capable d'adresser la problématique des mouvements de sol de manière intégrée. En septembre 1990, le Ministère de la Sécurité publique (Direction de la Sécurité civile) avait aussi publié une note de service reprenant ce constat et soulignant le besoin de mettre en œuvre un programme d'assistance financière adressé aux particuliers devenus à risque imminent. Cette position est entérinée par le ministre des Transports en novembre 1990 dans une lettre adressée au ministre de la Sécurité publique.



De leur côté, les intervenants régionaux déplorent que les sommes allouées par le Ministère des Transports (6M\$) soient uniquement dévolues au réseau routier sans référence au patrimoine des individus et aux infrastructures municipales.

Le Service des Politiques et Programmes du MSP émet en 1991 une note dans laquelle le bien-fondé de sa participation dans la problématique des mouvements de sol est reconnu. On y insiste sur l'importance du critère « *sécurité des personnes et des biens menacés à court terme* » qui préside à sa mission. La loi sur la Protection des biens et personnes ne permet toutefois pas d'intervenir en mesures préventives, ce qui pourrait être requis dans certains cas de relocalisation. Une déclaration d'imminence (urgence, besoin à court terme) est requise.

Pendant tout ce temps, de nombreux échanges de lettres soulignent l'urgence d'intervenir (les actions terrain se font attendre) en stabilisation de berges autour de la péninsule de Manicouagan. La confusion règne sur le rôle respectif des agents sectoriels gouvernementaux, ainsi que sur les priorités et critères à retenir pour les établir (ex : réseau routier -vs- patrimoine individuel et municipal). La pression monte en vue de la tenue de la Biennale de la Côte-Nord (25-26 octobre 1991) où cette problématique sera de nouveau mise de l'avant par la MRC de Manicouagan (voir bibliographie)

Lors de la tenue de la Biennale de la Côte-Nord, les fiches d'allocution ministérielles préparées par le gouvernement fixent les priorités d'intervention autour du réseau routier mais reconnaissent qu'un montant additionnel devra être consenti pour d' « autres interventions » de nature urgente, particulièrement adressées à la réduction de la vulnérabilité ou à prévenir sa croissance. Ainsi, comme exigences, on désire que le milieu se responsabilise et assume sa part du financement des actions. Un zonage (schéma d'aménagement) des secteurs à risque est exigé assorti de mesures d'interdiction de s'y construire. De fortes pressions sont exercées sur le gouvernement pour augmenter sa contribution à un niveau permettant d'adresser, avec des solutions structurales dures, toutes les problématiques identifiées autour de la péninsule. Le gouvernement se campe sur ses positions.

Suite à la Biennale, une réunion spéciale donnant suite aux annonces a été tenue à Baie-Comeau en présence des ministères et maires de la région. Le MSP rappelle les critères d'évaluation retenus pour prioriser les interventions (décret d'assistance financière) dans le secteur : 1) *protection des biens et personnes menacés de façon évidente à court terme (imminence)*; 2) *résidences principales considérées exclusivement*; 3) *protection de la route*; 4) *taux de recul local par rapport à la position des éléments exposés*. Le gouvernement n'escompte pas d'emblée de contribution financière du milieu (municipalités et citoyens).

Finalement, suite à la signature d'un protocole d'entente entre le Ministère des Transports et le Ministère de la Sécurité publique, celui-ci prévoyant le partage des coûts entre le premier (protection des routes) et le deuxième (protection des biens hors route), des travaux sont entrepris au cours de l'exercice 1992. D'autres travaux se succéderont au cours de la décennie.



1.4 Que retenir de cette époque ?

Il ne semble pas que les décisions subséquentes relatives aux travaux de stabilisation des berges autour du littoral de l'estuaire et du golfe Saint-Laurent aient tellement changé de philosophie jusqu'à une période récente.

Il faut retenir de ceci que les critères ayant présidé à la définition des priorités d'action (du moins dans la péninsule de Manicouagan) relevaient beaucoup plus d'une vision sectorielle du risque par les ministères et qu'une contribution du milieu à la résolution de son problème, bien que souhaitée, n'a pas été toujours exigée (équité, imputabilité). L'urgence a été considérée comme le critère prépondérant sans trop d'égards pour les coûts pour la société. Ainsi, aucune considération relative au rapport coût/avantages n'a été prise en compte, si ce n'est le simple rapport en les enjeux et les coûts de protection. Enfin, l'efficacité des solutions techniques exigées (systématiquement des empierrements linéaires) n'a jamais été vraiment remise en question, notamment en termes d'impacts, pourtant réels, sur la dynamique côtière du secteur dans son ensemble.

Ces constats mettent en évidence le besoin de développer une approche intégrée, et surtout concertée, qui tiendrait compte en priorité des valeurs de base de la communauté, mais aussi de critères logiques, explicites et formant consensus parmi les intervenants.

1.5 Critères d'évaluation des options et portée de l'étude

Le traitement des critères (ex : évaluation, pondérations) sera exposé plus loin dans ce rapport (Section 8.13, Paramètres de l'analyse multi-critères », page 110). Suite aux premières rencontres du Comité de concertation, les critères suivants se sont imposés d'emblée :

1. *L'économie de moyens*
2. *L'équité entre les intervenants*
3. *Des impacts environnementaux minimums et si possible favorables*
4. *L'efficacité par rapport au risque résiduel*
5. *La durabilité*
6. *La prise en compte de l'équilibre sédimentaire de la côte*

À ces critères, s'ajoutent:

7. Les possibilités de *synergie* pour la mise en valeur de la côte (impacts favorables)
8. *L'impact social* minimum, qui découle de l'équité et de la minimisation des impacts

Ces deux derniers critères ont pris de l'importance en cours d'étude. Ils ont donc été proposés et ajoutés à ceux acceptés au départ par le Comité de concertation. Une définition plus précise des critères et leur interprétation sera fournie à la section 8.13 déjà mentionnée.



1.6 Objectifs généraux

Dans l'optique d'une approche intégrée du risque préconisant le développement durable, l'objectif général de ce projet est donc de :

Rechercher une solution intégrée, efficace techniquement, avantageuse économiquement, durable, équitable et environnementalement favorable qui permet de gérer le risque d'érosion côtière à Pointe-aux-Outardes dans le meilleur intérêt des parties concernées.

Le projet vise également à :

contribuer au développement d'une approche générique d'analyse coûts-avantages (ACA) applicable aux cas similaires observés dans l'estuaire et le golfe Saint-Laurent.

Les objectifs spécifiques poursuivis sont explicités au chapitre suivant (Méthodologie). Il convient cependant de mentionner qu'il s'agit d'une étude ACA élargie car elle comprend également un volet technique important concernant l'érosion des berges et les forces qui la produisent. Cet amalgame était nécessaire compte tenu du mandat décrit ci-haut et de la complexité des phénomènes à étudier et à maîtriser.

1.7 Solutions envisagées a priori

En analyse coûts avantages, il est recommandé de concentrer les analyses détaillées sur certaines options plus réalistes et d'éliminer *a priori* les options à l'évidence trop coûteuses ou irréalisables. Les types de solution considérées *a priori* comme faisables et qui seront explorées dans les chapitres subséquents sont :

1. Les différentes mesures de *retrait* pour le bâti et les infrastructures (Une première option de référence)
2. Les mesures de stabilisation dites « *douces* » comme la recharge de plage en sable et/ou l'implantation d'épis de différents types, conventionnels (en enrochement), ou brevetés comme les procédés Stabi-Plage ou Holmberg visant le ré-équilibre du bilan sédimentaire et la réhabilitation des plages
3. Les mesures de protection traditionnelles qualifiées de « *dures* » comme les empierrements linéaires en rive (une deuxième option de référence)
4. Toute combinaison de ces mesures de base.

Contrairement à une ACA normale dans laquelle on définit une et une seule option de référence, on considère ici les options 1 et 3 comme des *options de référence* car elles représentent actuellement les réponses des autorités publiques sujettes aux balises des programmes gouvernementaux d'assistance financière.



2 Méthodologie

Le contenu de ce chapitre n'est pas nécessaire à la compréhension des chapitres d'analyse subséquents. Ce traitement est inclus afin de présenter une vision synthétique du cheminement réalisé. Le lecteur peut donc s'en exempter.

Dans le contexte général décrit précédemment, les objectifs spécifiques sont :

1. *Former un Comité de concertation*
2. *Définir le contexte particulier et, en concertation avec les divers intervenants, déterminer les critères d'évaluation applicable aux options de solutions.*
3. *Déterminer la portée de la zone d'étude et des types de conséquence à considérer*
4. *Établir le portrait de l'érosion*
5. *Déterminer les paramètres physiques de conception des solutions techniques*
6. *Établir le portrait de la vulnérabilité et de son exposition à l'érosion*
7. *Définir et analyser les coûts et avantages (ACA) des options traditionnelles de solution (options de référence).*
8. *Définir et analyser (ACA) les options alternatives*
9. *Comparer et évaluer les options à l'aide des critères retenus*
10. *Recommander la ou les options les plus avantageuses*

Afin de répondre à ces objectifs spécifiques, nous proposons de réaliser les activités décrites ci-après et résumées à la Figure 2.

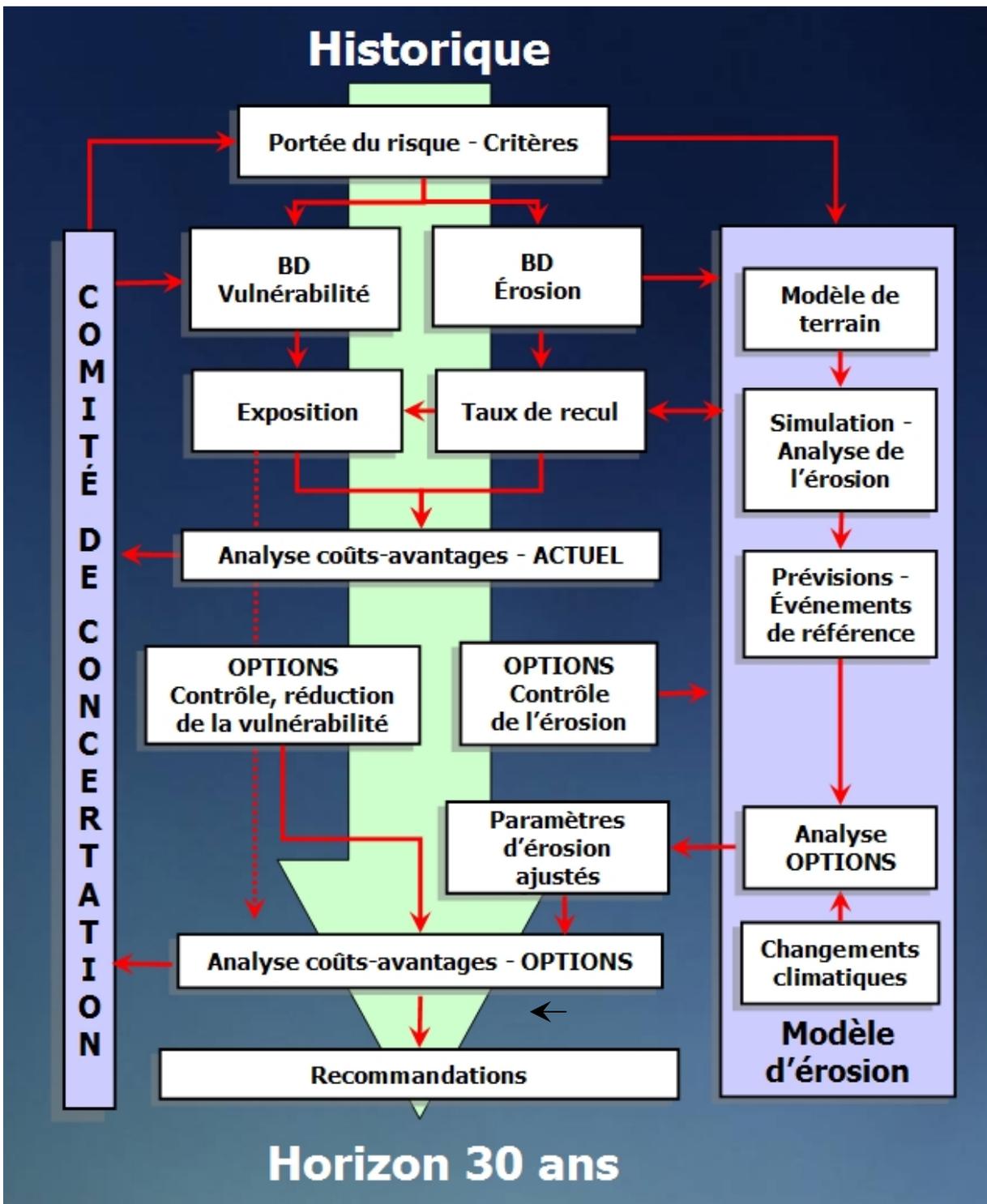


Figure 2 : Méthodologie de l'étude



2.1 Comité de concertation

Tel que l'indiquent les premières pages précédant ce rapport, le Comité (ou Table) de concertation est formé de représentants d'organismes directement impliqués dans la problématique :

1. Conseil municipal et administration de Pointe-aux-Outardes
2. Ministères provinciaux (Sécurité publique, Environnement, Développement durable et Parcs, Transport)
3. Ministère fédéral de Pêches et Océans
4. Municipalité régionale de Comté (MRC) de Manicouagan
5. Comité de Citoyens de Pointe-aux-Outardes
6. Parc Nature

Son rôle est d'accompagner l'équipe d'analyse, d'établir un consensus sur l'option à privilégier et de diligenter son application. Certains organismes ont été recrutés en cours de réalisation de l'étude lorsque leur implication est apparue nécessaire. Quatre rencontres régulières ont été tenues durant l'étude aux étapes charnières:

1. Une rencontre de démarrage pour proposer et approuver le jeu de critères d'évaluation et sélectionner les types de solutions à considérer
2. Deux rencontres subséquentes pour prendre acte de la progression des travaux et rectifier le tir si nécessaire
3. Une rencontre finale pour prendre connaissance du rapport final et entreprendre la mobilisation vers la solution.

2.2 Résumer le contexte et établir un jeu de critères d'évaluation

Il est d'abord requis de délimiter la portée spatiale des processus morphodynamiques côtiers à considérer et de sélectionner les critères qui permettront ultérieurement d'évaluer la pertinence des divers types de solution proposées.

Le premier aspect prend appui sur les connaissances actuellement disponibles pour établir les limites naturelles des processus côtiers du secteur d'étude et la zone à problème. Cette étape est fondamentale afin de rechercher des solutions tenant compte d'une dynamique d'ensemble associée à la morphologie côtière. La zone à analyser déborde habituellement de la zone problématique. Cette activité détermine :

- L'échelle spatiale, locale ou régionale, requise pour analyser les phénomènes d'érosion
- La revue bibliographique relative à la problématique locale
- La collecte de données pertinentes relatives à l'érosion
- La mobilisation des outils d'analyse et de traitement et des bases de données géomatiques existants



- L'identification des activités humaines et des éléments à risque et le type de vulnérabilité dans la zone problématique

La détermination de critères d'évaluation du risque et des solutions identifiées est une étape très importante qui permet d'établir l'acceptabilité, pour les parties concernées, des solutions identifiées. Les critères retenus ont été introduits précédemment.

2.3 Portée des conséquences à prendre en compte

Dans la plupart des études de risque, les dommages considérés se limitent souvent aux coûts directs d'indemnisation ou d'intervention qui sont pris en charge par l'intervenant principal au dossier, habituellement le palier supérieur de gouvernement. Ce dernier peut ainsi mesurer l'intérêt relatif, pour lui-même, de solutions de remédiation d'après le rapport coûts/bénéfices sectoriel qui le concerne. Par contre, les autres intervenants doivent aussi se livrer à une démarche similaire pour mesurer les conséquences des scénarios pour eux-mêmes.

Ici, la portée effective des conséquences se doit d'inclure un ensemble élargi d'intervenants (ici riverains, municipalité et autres parties) qui assument aussi une part (équité) des divers dommages ou coûts. Les rubriques de coûts et de conséquences retenues pour cette étude, tous intervenants confondus, sont :

1. les coûts directs reliés aux mesures de retrait du bâti et des infrastructures (assistance financière, coûts non admissibles, etc.) pour tous les intervenants
2. l'impact sur la valeur des propriétés riveraines et l'assiette fiscale reliée
3. certaines conséquences intangibles (non monétarisables) comme la perte ou le maintien d'une plage³
4. les coûts de construction et d'entretien et la valeur résiduelle des ouvrages à la fin de la période de référence
5. les enjeux satellites comme l'activité touristique à Pointe-aux-Outardes et la cueillette extensive des myes

S'il est souhaitable d'uniformiser les conséquences en termes monétaires, nous croyons que certaines composantes plutôt reliées à l'environnement ou à la vie humaine doivent être considérées en tant que telles car difficilement monnayables. Il n'est donc pas question, à ce stade de notre analyse, de ramener toutes les conséquences en unités monétaires équivalentes pour des raisons de commodité de calcul. De plus, les marges d'incertitude qui entachent les estimations monétaires de facteurs intangibles peuvent affaiblir les calculs dédiés aux éléments plus tangibles.

³ Quand l'objet concerné donne lieu à une activité commerciale, certaines études attribuent une valeur monétaire à des éléments plutôt intangibles (ex : valeur de remplacement). Nous y avons renoncé ici.



2.4 Portrait de l'érosion, des facteurs physiques qui la favorisent

Le calcul du risque nécessite de connaître l'évolution et/ou la probabilité des aléas en cause. Des études très élaborées ont déjà permis de cerner la plupart des facteurs d'aléas responsables de l'érosion et même de les quantifier pour la zone d'étude (Dubois *et al.*, 2005). En corollaire, une base de données complète de cette problématique est déjà disponible au MSP et cette étude y a puisé toute l'information nécessaire.

Évolution des marges de recul. Dans un premier temps, les données sur l'évolution du trait de côte sont confrontées à la position des bâtiments, et la *marge de recul* obtenue permet de quantifier leur *exposition*, et éventuellement prédire l'année probable où les étapes critiques du retrait devraient être engagées (Hypothèse Retrait : déplacement du bâtiment, allocation de départ et perte du bâtiment). Ainsi, les conséquences peuvent être escomptées dans un horizon temporel probable connu.

La prise en compte des données géoréférencées sur l'érosion côtière conservées dans un système d'information géographique (SIG) existant actuellement constitue la première étape de cette activité. Une collaboration avec le MSP, détenteur de ces données, a donc été engagée. Les jeux de données pertinents sont principalement : *les photographies aériennes, les orthophotographies, la topographie des rivages et du terrain adjacent (LIDAR), la bathymétrie proximale et pélagique, la nature et la granulométrie des dépôts meubles, la position évolutive du trait de côte, etc.*

Données sur les causes explicatives. Dans un second temps, les données de *niveaux d'eau (marées, surcotes de tempête), de vent et de vagues* sont mobilisées en vue d'établir certains paramètres de référence pour le dimensionnement, le cas échéant, des ouvrages de stabilisation.

Le bilan sédimentaire : un passage obligé. L'analyse des processus côtiers ne pourrait se limiter à l'usage réducteur d'une seule variable formée par les *taux de recul* des berges. L'évolution des berges (basses terrasses et plages) est le résultat d'apports en sédiments associés à l'érosion, du transport littoral et de la présence de sites d'accumulation ou de perte. L'équilibre morphologique d'un milieu comme la Pointe aux Outardes forme un tout indissociable. Les facteurs qui contrôlent cette dynamique sont nombreux et il serait présomptueux de prétendre la contrôler avec des solutions simplistes. Il est donc important de ne jamais perdre de vue la notion d'équilibre dynamique des processus étudiés et de mettre de l'avant le principe de *bilan sédimentaire équilibré* dans l'évaluation des solutions.

Changements climatiques. Enfin, il est vraisemblable que les *changements climatiques* anticipés pourraient accélérer l'érosion et précipiter les conséquences de cet aléa. La dynamique des processus en cause fait donc l'objet d'hypothèses raisonnables pour mieux apprécier la valeur du risque à long terme. En pratique, cette prise en compte exige une modulation progressive des taux de reculs à partir des valeurs historiques connues. Cette opération peut avoir pour effet d'augmenter l'urgence d'agir, et partant, les coûts associés.

En résumé, Résumer le portrait de l'érosion et de ses causes en mettant l'accent sur l'évolution future des côtes, l'établissement de paramètres de dimensionnement d'ouvrages de stabilisation, l'interaction avec l'équilibre hydro-sédimentaire de la côte et l'impact possible des changements climatiques.



2.5 Portrait de la vulnérabilité

Cette activité sert plus tard à estimer les dommages et conséquences de l'érosion sur les composantes vulnérables exposées. Il faut donc caractériser la vulnérabilité. La méthodologie s'appuie sur le rôle d'évaluation 2004-2007⁴ du secteur à l'étude (la rue Labrie ici) portée sur un support géomatique. La base de données spatialisée porte surtout sur les immeubles (les infrastructures sont traitées autrement), incluant leur valeur de remplacement ou au rôle d'évaluation municipal, leur position dans le terrain (marge de recul, exposition), le type d'occupation (admissibilité aux programmes d'assistance), la largeur du lot en rive et sa profondeur, qui sont les principaux déterminants du risque et des mesures de retrait. Des caractérisations complémentaires portant sur les marges de recul actuelles et la largeur des micro-terrasses résiduelles ont été effectuées afin, dans certains cas, de mieux situer dans le temps les phases successives de l'érosion, notamment l'activation de l'érosion des talus qui suit la perte du couvert végétal.

2.6 Exposition à l'érosion

C'est cette activité qui permet de lier l'application des mesures ultimes de retrait à un échéancier et évaluer dynamiquement ce type d'option. Quantifier l'*exposition* dans le cas de l'érosion revient à mettre en relation la marge de recul (distance minimum entre le bâtiment et le haut du talus en érosion) et le taux de recul moyen. Il en ressort un ou des *délai(s)* ou *période(s) de sursis* au-delà desquels les mesures de retrait peuvent ou doivent être enclenchées. La méthode de calcul est décrite à l'Annexe B : Calculs relatifs à l'érosion et à l'exposition des éléments vulnérables. C'est la base du calcul économique des options de retrait sur le long terme (30 ans ici).

L'*exposition* est apparue au fil de certaines études passées (ex : Inondations à Châteauguay, crues du Saguenay) comme une variable charnière entre l'aléa et la vulnérabilité. Pour les inondations, le *niveau d'eau* extrême et sa *probabilité* expriment l'aléa tandis que la *hauteur de submersion* des résidences permet d'en évaluer les conséquences en termes de dommages directs. Il existe des relations fonctionnelles liant ces dommages à la submersion : ce sont des courbes de vulnérabilité à la submersion (voir Leclerc *et al.*, 2005; Bonnifait et Leclerc, 2004). Pour l'érosion, une approche similaire est appliquée, l'exposition étant représentée par la *marge de recul* en fonction du temps.

⁴ Une mise à jour du rôle d'évaluation a été effectuée au début de 2008, mais les résultats présentés reposent sur le rôle antérieur.



2.7 Les options de référence

En ACA, deux jeux d'options sont normalement définis : une option dite *de référence* et les *options alternatives*. L'option de référence se définit par l'approche normalement appliquée dans le contexte de l'érosion. Les options alternatives sont des approches nouvelles, possiblement expérimentales, qui doivent être comparées à la ou aux options de référence. Deux possibilités d'*options de référence*, parfois présentées comme ultimes dans la bibliographie récente, s'imposent *a priori* :

1. Le *retrait général graduel assisté financièrement* dans le cadre du Programme général d'assistance financière – Volet Mouvement de sols (PGMS)
2. L'*empierrément linéaire* généralisé financé conjointement par le gouvernement et la Municipalité dans le cadre d'un Protocole d'Application de solution (PAS)

Bien que l'empierrément linéaire soit de plus en plus considéré avec prudence, cette option a été retenue comme scénario de référence car elle correspond encore aujourd'hui à une réponse courante ultime pour protéger « à tout prix » certaines infrastructures routières ou enjeux importants (ports). Elle a été largement utilisée autour de la péninsule de Manicouagan, tant par les particuliers que par les autorités publiques, y compris à Pointe-aux-Outardes même.

En dépit de ce statut particulier, les options de référence sont analysées exactement de la même manière que les options alternatives.

L'analyse de ces options s'effectue dans un cadre géoréférencé et individualisé au niveau de chaque immeuble. Pour chacune des options, et des parties prenantes (équité), on calcule les coûts et on évalue les conséquences intangibles (non-monétaires) associés à l'érosion et/ou la mesure préconisée. L'analyse est évolutive sur une période de référence de trente (30) ans. Pour les items monétaires, le calcul s'effectue *en valeur présente nette*, ce qui implique l'actualisation des valeurs futures sur la période de référence.

En résumé, évaluer les coûts directs actualisés et les conséquences intangibles de l'érosion dans l'hypothèse où l'une ou l'autre des solutions traditionnelles (options de référence) serait retenue.

2.8 Les options alternatives

Concernant les scénarios alternatifs, ils peuvent être constitués d'une combinaison de mesures de retrait et de stabilisation de berges, dures ou douces. Les options de référence traditionnelles laissent peu de place aux approches de stabilisation douces permettant de stabiliser les berges à un coût comparatif intéressant par rapport aux solutions dures, tout en évitant les perturbations sociales reliées aux mesures de retrait. C'est pourquoi, les options alternatives doivent inclure à des degrés divers des segments de côte à stabiliser en tenant compte de l'équilibre hydro-sédimentaire.

Si les options considérées ici ne laissent aucun espace pour de nouveaux empierréments linéaires, elles n'excluent toutefois pas les mesures de retrait pour certains segments de la côte. L'exercice



consiste à définir et analyser différents assemblages de ces mesures de retrait et/ou de stabilisation douce. Le Chapitre 7 fait l'inventaire de tous ces types de mesures.

Dans cette étude, les solutions douces telles que les épis, stabilisateurs de courants et recharge de plage recevront un traitement prioritaire. Par contre, l'analyse ne va pas jusqu'au dimensionnement détaillé, cette étape devant être réservée aux suites à donner à ce projet.

Remarque : étant donné le nombre de degrés de liberté considérés pour définir un scénario, une multitude de ceux-ci peuvent émerger (explosion combinatoire). Nous avons simplement choisi de baliser l'ensemble des possibilités avec quelques options en essayant autant que possible d'utiliser des valeurs de paramètres standardisés (ex : les programmes d'assistance, le coût unitaire des matériaux, etc.). Une étude de sensibilité aux divers paramètres permettra dans une phase ultérieure de mesurer leur impact sur certaines options ressortant comme plus avantageuses à la fin. De même, des variantes sensiblement différentes de l'option privilégiée peuvent aussi surgir de l'exercice. La présente activité vise surtout à dégrossir le problème et à pointer les options qui se démarquent de l'ensemble des possibilités.

En résumé, *Définir et analyser globalement les solutions alternatives aux options traditionnelles.*

2.9 Comparer les options et proposer une stratégie intégrée

À la lumière des résultats obtenus au niveau de chacune des options envisagées, de référence ou alternatives, une analyse comparative est effectuée. Sans aller jusqu'à faire ressortir l'avantage net (économique) d'une alternative par rapport à une option de référence pour l'ensemble de la société, la comparaison s'effectue en appliquant une approche multi-critères qui combine des résultats monétaires et intangibles (non monétaires). Les critères d'évaluation ont fait l'objet d'un consensus à la table de concertation.

La comparaison des options prend comme base les options de référence auxquelles s'ajoutent les options alternatives définies à l'activité précédente. En pratique, les options de référence reçoivent exactement le même traitement que les alternatives et elles sont évaluées avec les mêmes critères.

La définition et la paramétrisation des critères (valeur alloué à un aspect) sont basées sur le seul jugement des auteurs et ne découlent pas d'une démarche « scientifique ». En revanche, les critères sont clairement explicités et les données de base nécessaires pour les recalculer sont fournies. La définition des critères et leur paramétrisation sont donnés à la section 8.12 (page 107).

À ce stade, mis à part les avis du Comité de concertation, l'étude *ne prévoyait pas conduire des consultations formelles élargies visant à valider l'acceptabilité sociale* des stratégies d'interventions identifiées. Les résultats doivent cependant être présentés à la population.

En résumé, *comparer toutes les options analysées à l'aide d'une approche multi-critères et recommander la ou les options les plus avantageuses.*



3 Études antérieures : un paradigme évolutif d'analyse

Ci-après, on trouve une courte recension de documents relatifs à l'érosion et aux méthodes de remédiation proposées ou appliquées au cours des dernières décennies dans la région de la péninsule de Manicouagan.

Déjà, il y a trente ans, Allard (1980) du ministère de l'Énergie et des ressources rédigeait un avis technique signalant que des secteurs du littoral du Saint-Laurent bordant les municipalités de Pointe-aux-Outardes et de Baie-Saint-Ludger sont soumis à de l'érosion importante. Si une protection de berge en enrochement pouvait être envisagée, l'auteur jugeait plus opportun de considérer la relocalisation des bâtiments présents dont la valeur, du moins à l'époque, ne semblait pas justifier la mise en œuvre de mesures de protection lourdes. De plus, il y est signalé que l'implication probable du tassement d'un ouvrage lourd sur l'efficacité des couches drainantes sous-jacentes et en parois latérales devrait entraîner des vérifications périodiques, ce qui laissait planer un doute sur la faisabilité technique d'interventions lourdes.

Des perturbations de l'écosystème de la batture par la dynamique côtière sont signalées par l'Association touristique régionale Manicouagan (1984) et un lien est établi avec certaines actions humaines.

En 1991, lors de la Biennale de la Côte-Nord, la MRC de Manicouagan procède à un rappel des engagements gouvernementaux pris depuis 1988 en vue de solutionner la problématique de l'érosion dans le territoire et insiste sur l'urgence d'agir. Le document rappelle aussi les engagements du milieu par rapport à ce problème y compris les aménagements en enrochement, l'approche courante à cette époque, réalisés par les particuliers, et les mesures préventives (schéma d'aménagement) adoptées par les autorités locales.

En 1992, un projet de stabilisation des berges de la péninsule de Manicouagan et de la région de Ragueneau était proposé et donnait lieu à une demande de soustraction à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement, une étape que l'on tente parfois d'éviter lorsque l'urgence ou l'imminence de dommages importants appellent une solution immédiate.

Bien que les aménagements hydroélectriques des rivières de la Côte-Nord entraînent une modulation importante du régime hydrologique et morphosédimentaire de leur estuaire, des projets de suréquipement des complexes hydro-électriques présents sur les rivières de la péninsule (Manicouagan et aux Outardes) sont planifiés. Les études d'inventaires sont nombreuses afin de préparer les études d'impact correspondantes. Ainsi, CSSA Consultants Ltée (1993) a procédé à un inventaire des connaissances des composantes biophysiques de l'estuaire de la rivière aux Outardes.

Étant donné les effets indésirables des enrochements linéaires parfois constatés autour de la péninsule, on commence à envisager d'autres options comme la mise en place d'épis. ROCHE Ltée (1997) en examine la faisabilité pour la baie Saint-Ludger dans l'optique naissante d'une analyse coûts-avantages. L'intérêt de cette étude réside aussi dans la reconnaissance des effets



pervers mentionnés (tels les effets de bout ou l'accélération du transit littoral) et la recherche d'alternatives qui tiennent compte de la dynamique sédimentaire. Aussi, il est intéressant de retrouver une analyse des processus sédimentologiques ayant cours dans la cellule hydrosédimentaire de Saint-Ludger (nature des matériaux érodés, leur répartition entre le transit et les pertes vers la batture, climat des vagues, données marégraphiques, etc.) et un estimé du bilan sédimentaire permettant d'évaluer la faisabilité d'y implanter des épis. Nous considérons ce rapport comme un document précurseur du présent compte-rendu.

Dans le même ordre d'idée, d'autres questionnements font surface en relation avec les impacts des enrochements systématiques préconisés *a priori* pour contrôler l'érosion. Ainsi Savard (1997) attire l'attention des autorités gouvernementales sur la compréhension élargie qu'on doit avoir sur les processus d'érosion côtière et sur l'impact, parfois irréversible, que peuvent avoir des mesures de stabilisation inappropriées, tels que les enrochements linéaires.

Parallèlement à cette mouvance, on commence à se rendre compte du potentiel écologique des estuaires de rivière et des battures adjacentes, de sorte que la question de la mise en place d'une zone de protection marine (ZPM) pilote est soulevée. Naturam Environnement a procédé en 1999 à une caractérisation biophysique, socio-économique et à la détermination des enjeux dans un secteur potentiel pour une telle zone dans portion ouest de la MRC Manicouagan. La préoccupation rejoint la communauté régionale lors d'un colloque régional sur l'érosion des berges à Baie-Comeau en 1999. Le *leitmotiv* du colloque est la gestion intégrée des interventions en milieu marin présentée comme une alternative aux gestes sectoriels et aux interventions à la pièce préconisées alors par divers intervenants.

À cette époque, le manque de connaissances de base sur les processus hydrosédimentaires caractérisant les milieux littoraux de la Côte-Nord devient préoccupant et retarde, voire empêche jusqu'à un certain point la conception de mesures d'atténuation appropriées aux différents contextes côtiers. P. Bernatchez est alors recruté pour réaliser une caractérisation globale de ces processus, recherche qui a fait l'objet de sa thèse de doctorat en 2003. Celle-ci porte sur l'évolution ancienne et récente du complexe Manicouagan-Outardes. Il établit les processus qui contribuent au régime sédimentaire, notamment l'érosion côtière et en fait une caractérisation monitorée à long terme. Plusieurs des constats ou interprétations de ce rapport sont des reprises des conclusions de Bernatchez.

Différents avis techniques ont été préparés par le même auteur, notamment celui de 2000 (Bernatchez, 2000a) qui présente au CRD de la Côte-Nord un bilan des connaissances et des lacunes à combler concernant l'érosion du littoral de la Côte-Nord de l'estuaire maritime et du golfe Saint-Laurent. Bernatchez (2000b) a aussi produit divers avis particuliers sur les conditions prévalant autour à la péninsule Manicouagan, notamment sur l'évolution récente des falaises littorales à Pointe-Lebel (taux et mode de recul).

L'idée des champs d'épis continue de faire son chemin comme alternative aux enrochements. Ainsi ARGUS Inc. (2001) dépose une étude portant sur des expériences à petite échelle d'épis réalisées dans la région de Sept-Îles afin d'en faire le bilan du point de vue du coût, de la faisabilité et de l'efficacité. De leur côté, Roy *et al.* (2003) préconisent les épis végétaux inspirés des fascines Maltais-Savard qui ont commencé à être expérimentés; ils publient à cet effet un guide de construction disponible sur le réseau internet. Ce système léger de protection de berges nécessite la mise en place de multiples structures végétales (fascines) en travers du haut de plage



qui favorisent la rétention du sable en transit littoral, surtout celui attribuable aux processus éoliens. Ce procédé est inspiré des techniques de pêche en fascines traditionnellement utilisées à Pointe-aux-Outardes. Quoiqu'efficaces pour favoriser les processus « constructeurs » du haut de plage, leur durabilité est faible face aux tempêtes les plus énergétiques et aux processus glaciels en hiver. Une remise en place est requise à chaque année. L'intérêt de la technique est de s'inscrire en douceur dans la dynamique naturelle du littoral, de ne coûter que très peu en matériaux (trunks d'arbre, branches) et main d'œuvre (corvées de bénévolat).

Le constat des impacts reliés aux empièvements linéaires à Pointe-Lebel donne lieu à un suivi topographique à long terme (quinquennal de 2002 à 2006). Une série annuelle de rapports intérimaires est publiée par Génivar (2004-2007) où les bilans y sont dressés.

En 2006, le Ministère de la Sécurité publique commence à préconiser plus ouvertement une démarche élargie pour aborder la question de l'érosion et tente une application préliminaire à Pointe-aux-Outardes. Structurée sommairement sous la forme d'une Analyse Coûts-Avantages (ACA), l'étude résume et compare divers scénarios préliminaires alors considérés pour résoudre de manière intégrée la problématique de l'érosion côtière à Pointe-aux-Outardes. Il y est question soit de retrait préventif, soit de mesures de protection douces sous la forme de champs d'épis placés en fonction des processus sédimentaires à l'échelle de la cellule. La dynamique d'ensemble de la côte servant de base à l'analyse pour les interventions physiques est démontrée; on y trouve une représentation des principales cellules morphosédimentaires présentes dans la péninsule de Manicouagan. Il est maintenant admis que ces cellules forment une assise essentielle pour la conception de mesures visant à maintenir à la fois l'intégrité de la côte et l'équilibre de son budget sédimentaire. Les auteurs du présent rapport reconnaissent l'importance de cette étude dans leur propre cheminement.

En dépit des multiples constats relatifs aux effets pervers des enrochements systématiques, et des multiples tentatives de mettre à l'essai de nouvelles approches plus respectueuses des processus sédimentaires, Génivar (2006) dépose une étude d'impact d'une protection linéaire en enrochement des berges de la rivière aux Outardes à Ragueneau. Menée dans les règles de l'art du moment et respectueuse de la réglementation environnementale, l'étude comporte malgré tout des faiblesses inhérentes au processus de prise de décision en la matière. Nous nous attardons quelque peu sur cette étude car elle représente un cas de figure récent d'étude qui recommande l'un de nos scénarios de référence pour Ragueneau (P3 ou Préf; voir la section 9.5, « Scénario de référence P3 ou P_{réf}: Empièchement linéaire généralisé », page 131).

D'abord, on ne peut passer sous silence que la prise en considération d'alternatives à la protection classique en enrochement est faite très sommairement en vue de se plier à une exigence comprise dans toute étude d'impact formelle. La protection des berges dans cette municipalité implique le maintien d'une infrastructure stratégique (route 138) qui justifierait *a priori* des coûts beaucoup plus importants que les enjeux d'occupation résidentielle locale. Le coût important des enrochements (1585\$/m selon l'estimé) se justifie ainsi. Le coût qualifié d'excessif du retrait des résidences en berges conduit à disqualifier cette option *a priori*. C'est donc sur la base d'une comparaison sommaire de scénarios et de l'intérêt stratégique (régional) des infrastructures routières impliquées que le choix d'enrochement est effectué.

Sur le plan des critères de décision, c'est donc l'urgence d'agir par rapport à la portée économique considérable des enjeux (transport routier régional) qui détermine l'analyse. Aurait-on analysé de



la même manière la problématique de Pointe-aux-Outardes qui ne comporte pas un tel enjeu stratégique? La question est posée mais les processus courants, surtout dictés par la réglementation environnementale, ne comportent que des exigences minimales par rapport à l'examen d'alternatives douces ou des mesures de retrait (ces dernières ne nécessiteraient pas en principe d'évaluation environnementale).

L'étude de Génivar (2006) est aussi intéressante par rapport aux questions d'équité, de partage des coûts et d'imputabilité. La prise en compte des intérêts et rôles particuliers des intervenants s'effectue au niveau du partage des responsabilités entre le ministère des Transports (route régionale) et la Municipalité (voirie et berges municipales). S'il est fait mention dans le rapport de l'impact favorable des travaux réalisés sur la valeur du patrimoine des individus (et aussi des inconvénients en phase de construction), on ne tient pas compte de cette considération importante dans un quelconque bilan des coûts et avantages qui permettrait de mobiliser davantage la contribution des bénéficiaires individuels. D'ailleurs, la construction de voies d'accès à la grève est présentée comme un inconvénient des travaux pour les riverains, dommages qui doit être compensé alors que les protections ont justement pour but de protéger le bâti et donnent lieu à une plus-value foncière.

Tout se passe comme si tout l'investissement ne devait provenir que des divers paliers supérieurs de gouvernement (concept d'état Providence?). Au minimum, on mentionne que l'intérêt d'intervenir par ajout d'enrochement pourrait être remis en question sur une section particulière de la côte s'il s'avérait que le rapport coût/bénéfice sur cette section n'était pas avantageux vis-à-vis d'une autre option. Cette phase de remise en question n'interviendrait cependant que dans l'année précédant les travaux déjà planifiés (pratiquement à l'étape des plans et devis) d'un programme échelonné sur un horizon de plus de 10 ans. Il est permis de s'interroger sur le bien fondé d'une telle approche coûts/avantages lorsqu'appliquée à l'étape de la mise en œuvre des ouvrages alors que les attentes du milieu ont déjà été consolidées par des engagements politiques et financiers.

Dans les questions soumises par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) suite au dépôt de ce rapport, la justification préalable du projet par rapport à d'autres solutions (ex : relocalisation de riverains) ou reliée au rapport coût/bénéfices section par section est identifiée comme un élément insuffisant de l'étude d'impact, qui doit être mieux documenté par des réponses additionnelles. Les réponses fournies par le Consultant ne vont pas beaucoup plus loin finalement que ce qui était déjà inclus dans le rapport, l'approche coût/avantages ne faisant pas vraiment partie de la tradition dans le domaine.

La question des changements climatiques est également traitée en reconnaissant l'influence significative que ceux-ci pourraient exercer sur l'augmentation de la fréquence et de l'amplitude des surcotes de la mer dans la région d'étude, les auteurs proposent diverses justifications pour ne pas prendre en compte ce facteur, par exemple, l'orientation de l'estuaire par rapport aux vents de tempête, l'effet protecteur de la batture, le relèvement isostatique graduel de la côte, la résistance prouvée des ouvrages existants, la durée de vie des ouvrages proposés par rapport aux influences climatiques. Par contre, on ne retrouve pas d'analyses plus poussées permettant de quantifier plus précisément les paramètres de l'aléa et de dimensionner plus judicieusement les ouvrages. On ne retrouve pas de préoccupation sérieuse pour l'équilibre morphosédimentaire de l'estuaire aux Outardes en lien avec les ouvrages proposés.



Enfin, mentionnons la proposition du Comité de citoyens de Pointe-aux-Outardes (2007; 2008), assortie d'une lettre personnelle de M. Dick Holmberg, qui a été expédiée récemment à la ministre des Affaires municipales et des Régions (Nathalie Normandeau). Si cette proposition ne peut être qualifiée d'étude comme les documents précédents, elle comporte une réflexion légitime, en phase avec les constats présentés plus haut et dont la présente étude prend acte :

1. Le questionnement des approches traditionnelles dures (enrochements) par rapport aux impacts environnementaux associés
2. Un énoncé de valeurs environnementales de base et un plaidoyer pour la conservation ou la réhabilitation de composantes du milieu naturel (plages, écosystème)
3. Une sensibilité manifeste par rapport aux conséquences humaines et sociales des solutions de retrait simple associé à la « fermeture du village » dans l'esprit des auteurs (impact social)
4. Un plaidoyer en faveur de l'expérimentation de solutions nouvelles douces et respectueuses des processus naturels de la batture, notamment par l'entremise d'épis « stabilisateurs de courants » perçus comme différents des épis conventionnels en enrochement.

Ces constats font l'objet d'un consensus grandissant, non seulement dans la communauté mais parmi les spécialistes, quoi que semblent en penser les initiateurs du projet pilote. Le type d'approche préconisé dans ce projet pilote (stabilisateurs de courants Holmberg ou Stabi-Plage, Geotube, Terratube) fait donc plus loin l'objet d'une évaluation sur le même pied que toute autre solution de protection afin de jeter un éclairage différent sur la proposition et rendre justice aux efforts du Comité.

Il est cependant à noter que les documents disponibles sont très généraux (lettre de M. Holmberg, sites internet) et ne comportent que des indications qualitatives concernant le mécanisme d'action (stabilisation de courants, vitesse réduite, sédimentation accrue), les paramètres d'implantation (les deux lieux d'implantation ne sont pas fournis), l'efficacité et la durabilité de cet ouvrage dans notre type de climat (impacts des glaces), les coûts d'entretien ainsi que les besoins en recharge de plage au moment de l'implantation et périodiquement par la suite. La possibilité d'atteindre le résultat souhaité avec des épis conventionnels de géométrie similaire n'est pas envisagée.

Par contre, une indication sur les coûts est fournie pour l'implantation de deux cellules de 150 m chacune formées de deux « boudins » de 80 m perpendiculaires à la rive (un autre en rive sur 150 m) sans qu'il soit précisé si ces deux dispositifs (4 boudins perpendiculaires) constituent l'entièreté de l'intervention proposée ou une phase préliminaire devant être suivie par d'autres permettant de stabiliser l'ensemble de la côte menacée. Le dispositif est illustré à la Figure 3.

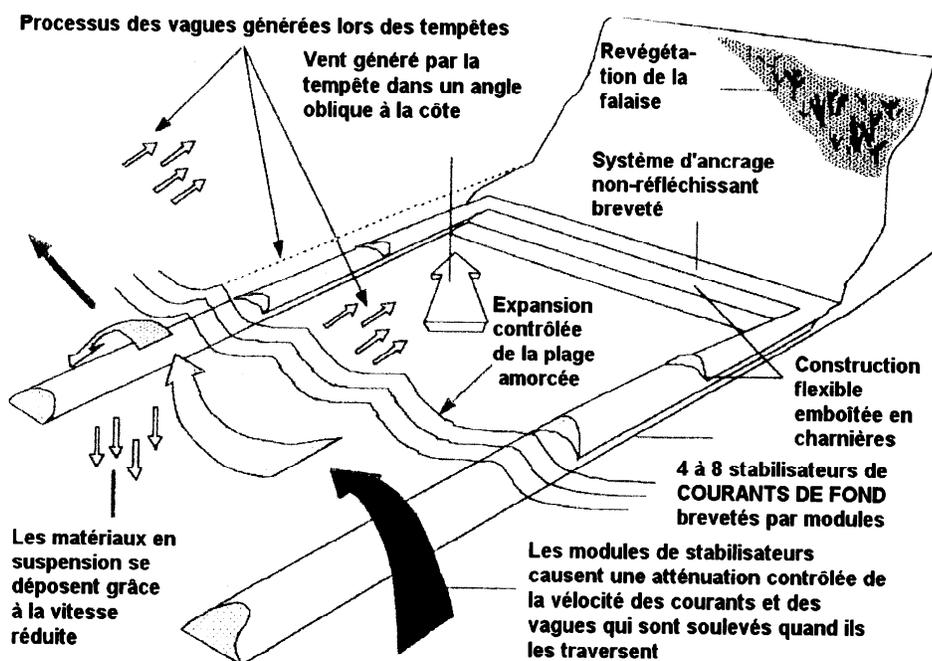


Figure 3 : Schéma explicatif de la technique Holmberg d'après le mémoire du Comité de citoyens de Pointe-aux-Outardes (2005).

L'échelle du croquis est distordue par rapport aux dimensions suggérées pour Pointe-aux-Outardes

La Figure 4 montre un tel dispositif (Geotube : www.Geotube.com) dont le principe est similaire.

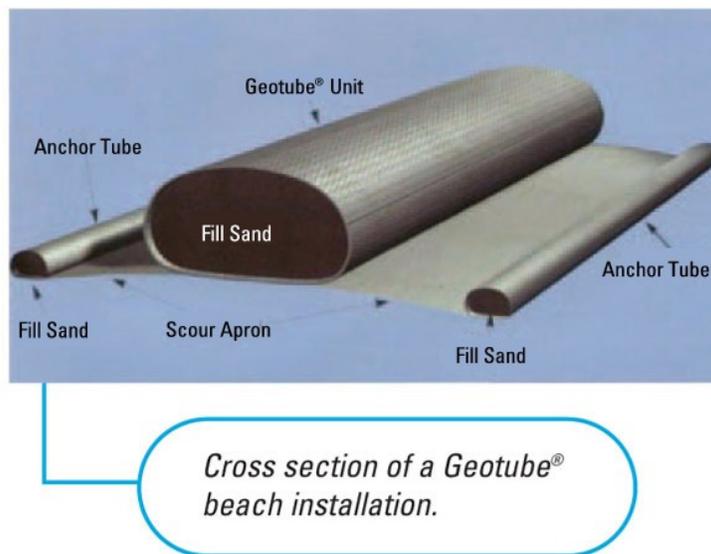


Figure 4: Variante de la technique Holmberg - Technique Geotube (Source : www.geotube.com)



4 Portrait de l'érosion

Ce chapitre regroupe les jeux de données et les éléments de connaissance actuels permettant de mieux comprendre les processus côtiers ayant à court à Pointe-aux-Outardes. Une revue des données de terrain (topographie, évolution du trait de côte et taux de recul, etc.) est d'abord effectuée. Le bilan sédimentaire de la côte, à l'échelle de la cellule morpho-sédimentaire naturelle est ensuite établi et fait l'objet d'une projection sur la période de référence de l'étude (30 ans). L'impact des changements climatiques y est aussi introduit.

La détermination des valeurs de référence critiques concernant le dimensionnement des ouvrages sera traitée au chapitre suivant.

4.1 Bibliographie pertinente

Les principaux documents consultés pour le portrait de l'érosion sont tirés du rapport du Comité technique sur l'érosion (Dubois *et al.*, 2005) dont divers éléments sont repris par le MSP (2005) dans un bilan propre à la batture de la péninsule de Manicouagan ainsi que lors de divers colloques régionaux axés sur l'érosion, notamment les présentations par P. Bernatchez. De nombreux documents visuels (photographies, vidéos) fournis par les riverains ont aussi été consultés.

4.2 Description du terrain

4.2.1 Délimitation du secteur d'étude et courants résiduels

Conformément aux recommandations formulées dans de nombreuses publications récentes portant sur la dynamique côtière (notamment, EID Méditerranée et Service Maritime et de Navigation de Languedoc-Roussillon, 2005), la cellule morphologique dans son ensemble doit être l'unité spatiale retenue pour analyser les processus d'érosion. Selon le Comité technique sur l'érosion (Dubois *et al.*, 2005; MSP, 2005), il existe une cellule morphologique qui définit le bilan sédimentaire de la côte sur la batture ouest de la péninsule Manicouagan. À l'est, cette cellule est délimitée par l'embouchure du ruisseau nommé Le Gros Ruisseau (Anse de Grosse Pointe sur les cartes topographiques numériques Topo Canada) située à près de 400 m à l'est du petit rond-point de la rue Labrie Est. En procédant vers l'ouest, elle couvre toute la côte jusqu'à l'estuaire de la rivière aux Outardes, ce qui inclut le Parc nature de Pointe-aux-Outardes (voir la Figure 5).

D'après ces études, des mouvements sédimentaires peuvent se diriger vers l'est à l'occasion, mais le transit sédimentaire net s'effectue dans la direction ouest pour la cellule de Pointe-aux-Outardes. Il n'est pas exclu que la grande cellule hydro-sédimentaire de la batture ouest de la péninsule de Manicouagan soit constitués de deux sous-ensembles dont le comportement pourrait



être lié à l'action contradictoire des facteurs régissant l'érosion et le transport littoral. Mais la tendance nette des mouvements de plage demeure orientée à l'ouest, liée à la direction dominante des courants marins résiduels (marées) dirigée vers l'ouest. À cet effet, s'ajoutent les courants associés aux vents (mouvement orbital des vagues, courants de retour et de dérive) qui entraînent également un mouvement net vers l'ouest.

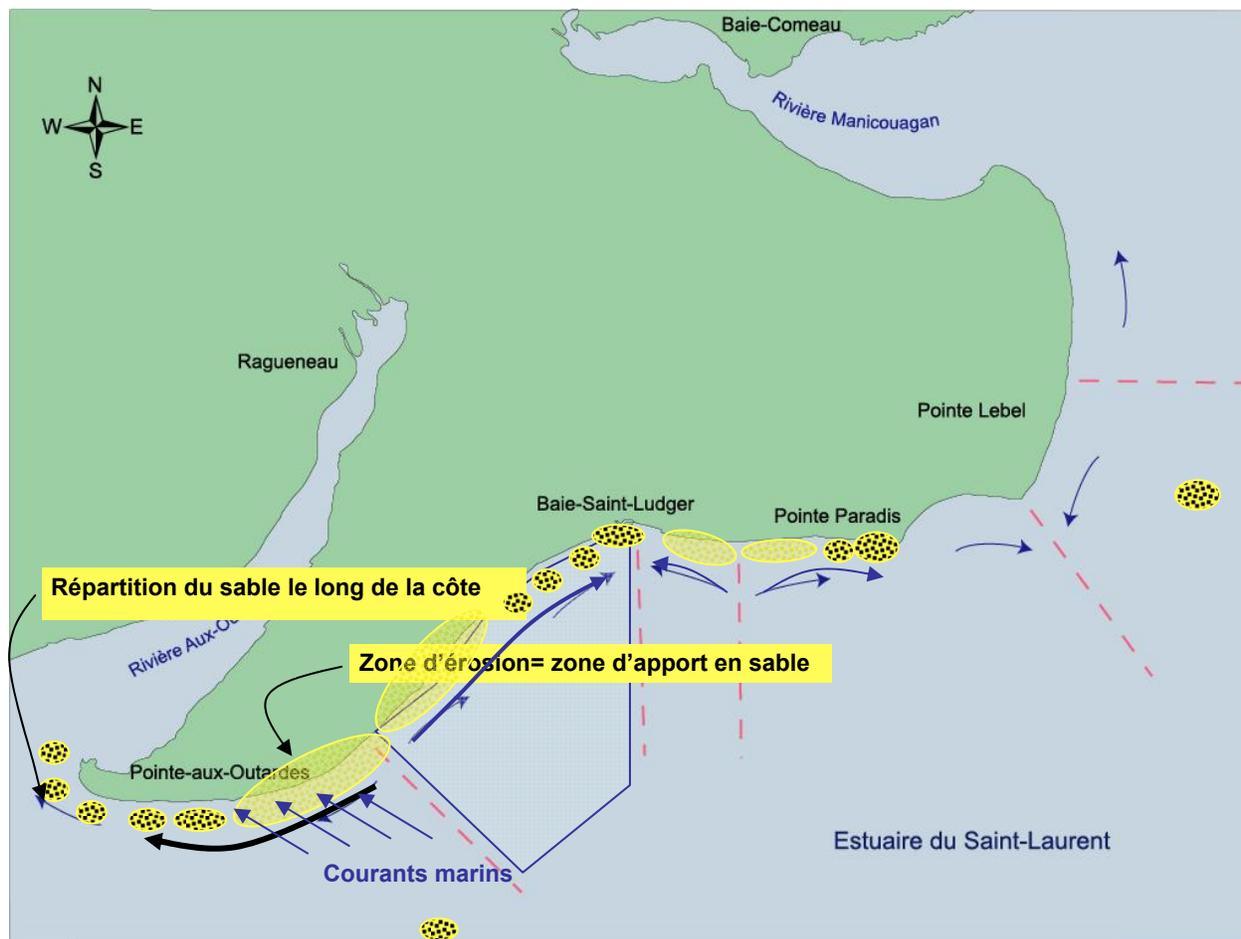


Figure 5: Cellules et processus hydro-sédimentaires de la batture de Manicouagan (MSP, 2005)

Le transport associé à ces processus reprend le sable érodé des talus pour les redistribuer le long de la côte, en rive gauche vers les marais de l'intérieur de l'estuaire aux Outardes, sur la batture extérieure, et ultimement à l'extérieur du système vers le chenal laurentien *via* les courants présents dans l'estuaire de la rivière aux Outardes (marées, crues de la rivière).

4.2.2 Données disponibles sur le terrain

Des relevés fréquents, quelques fois annuels ont été réalisés depuis 1996 par Pascal Bernatchez (Bernatchez, 2003; Dubois, Bernatchez *et al.*, 2005) et des photographies aériennes antérieures ortho-rectifiées ont été analysées afin de mesurer les taux de recul ponctuel et moyen sur l'ensemble du site. L'ensemble de ces données sont colligées et disponibles au Service de l'Atténuation des Risques où elles ont été consultées. Un relevé topographique LIDAR du secteur d'étude (batture, talus, terrasses) est également disponible.



4.2.3 Caractérisations effectuées

Aucune caractérisation additionnelle n'a été réalisée sur le site, les données actuelles ayant été jugées satisfaisantes à ce stade pour la réalisation de cette étude.

4.3 Caractéristiques topographiques

La Figure 6 montre la topographie d'ensemble (extrait du LIDAR) du secteur à l'étude (rue Labrie Est). On constate que la terrasse principale se positionne verticalement entre 8 m et 16 m de l'ouest vers l'est. Le trait de côte présente des renflements ou échancrures principalement associés à des interventions ponctuelles (quai municipal à l'ouest, empièvements linéaires, épis courts) dont certaines s'accompagnent d'effets de bout évidents. D'autres sont attribuables au ruissellement superficiel sur les talus qui produit un ravinement.

Les données topographiques LIDAR sont caractérisées par une densité de points très importante, lourde à traiter numériquement. Il est requis de les traiter afin d'en réduire la redondance à l'échelle locale et pour faciliter les traitements informatiques ultérieurs. Une première classification des valeurs d'altitude a été effectuée afin de faire ressortir les formes de base (haut de talus, trait de côte, haut de plage, niveau moyen des mers). La Figure 7 fournit un exemple de ce traitement dans le secteur du quai municipal. Des transects ont par la suite été générés au droit de chacune des propriétés afin de mesurer localement l'état (pente, hauteur) des talus, de la micro-terrasse (existence, largeur, hauteur) et du haut de plage (pente). Les résultats de cette analyse sont groupés à l'Annexe C : Estran de la Pointe-aux-Outardes – Imagerie LIDAR.

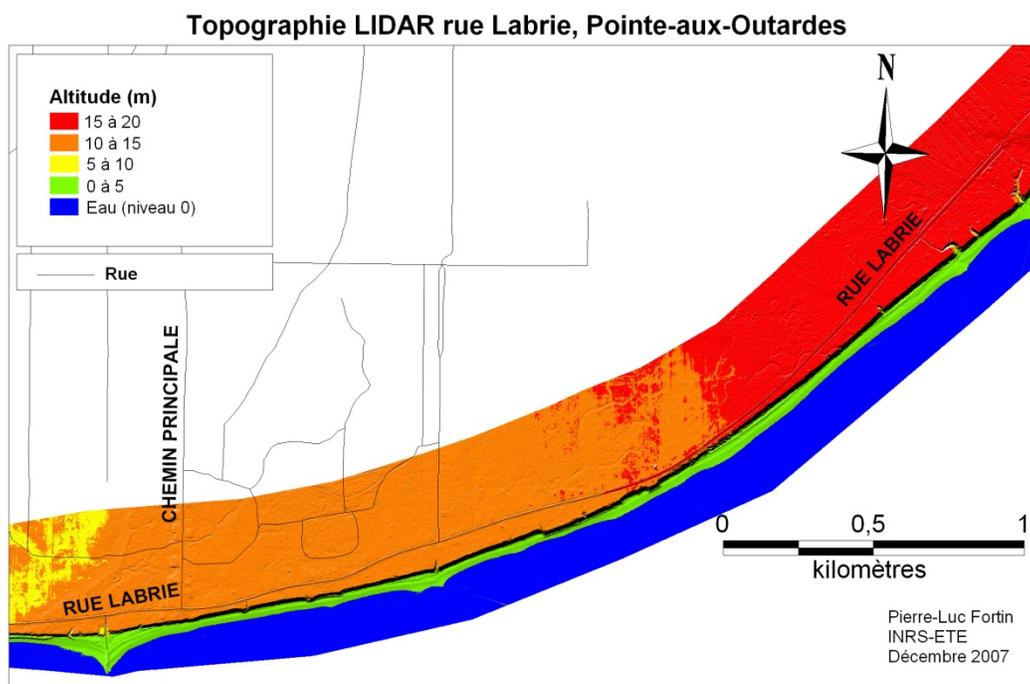


Figure 6: Topographie générale (LIDAR) des côtes de la Pointe-aux-Outardes (rue Labrie Est)

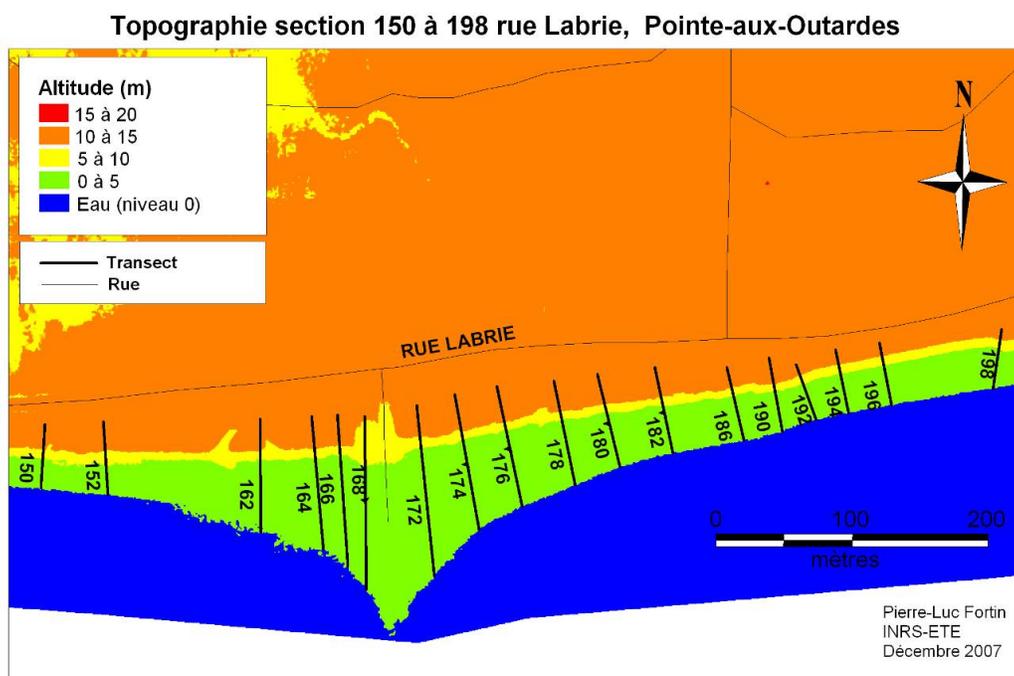


Figure 7: LIDAR dans la région du quai municipal - Sections transversales en face des propriétés

Nous fournissons ci-après (Figure 8) un exemple particulier de transect (en coupe) faisant ressortir des traits particuliers de la côte étudiée. Cette forme de coupe est assez répandue dans le secteur d'étude. Compte tenu que la pente d'équilibre du sable des talus est voisine de 33 degrés (Bernatchez, 2003), on peut observer qu'une bonne proportion du haut de talus (5-10 m) se trouve en équilibre instable. Une portion du haut de talus présente en effet un profil sub-vertical qui peut représenter un danger imminent de mouvement de sol, surtout si la végétation protectrice est absente, ayant décroché de son emprise racinaire sur le talus. Le niveau maximum de la mer peut atteindre la cote géodésique 3,0 m (en considérant le pire des cas de marée extrême et de surélévation du plan d'eau dus aux conditions de tempêtes). On peut constater la vulnérabilité du pied de talus à l'action érosive des vagues. On constate aussi que ce secteur ne dispose plus que d'une basse terrasse très étroite (< 5 m, hauteur de 3,0 m) qui peut encore aider à atténuer l'érosion, mais pour une période très limitée. D'autres conditions moins problématiques sont aussi observées où une large micro-terrasse est encore présente (voir la Figure 9). Par contre, même à cet endroit, le profil abrupt (parfois jusqu'à 60 degrés et plus) du haut de talus rend celui-ci très instable et sujet aux mouvements de masse gravitaires.

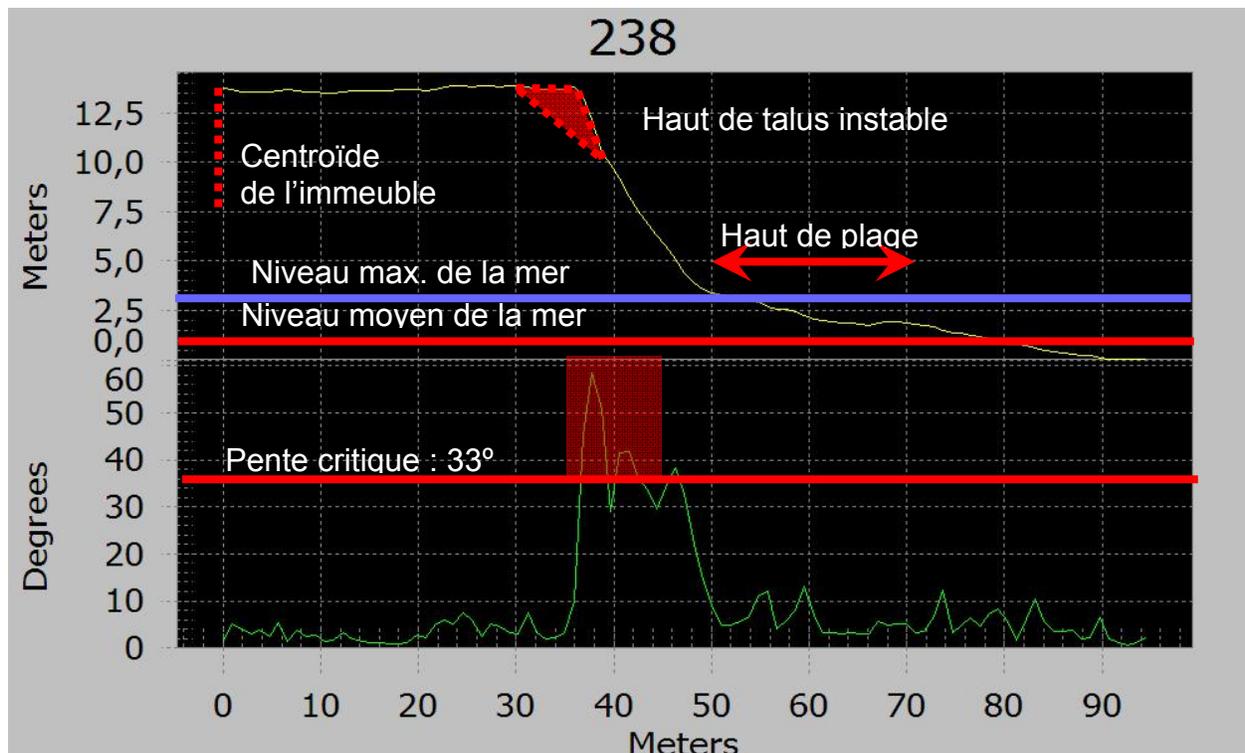


Figure 8: Profil transversal de la côte au droit du 238 Labrie Est - Valeur de la pente en vert - Autres indications de niveau

Un diagnostic est d'ailleurs établi à partir de l'état local actuel des lieux et des taux de recul historiques pour chacune des propriétés afin d'évaluer le mieux possible l'année où des mesures de retrait deviendraient obligatoires pour ne pas perdre le bâtiment ou mettre ses propriétaires en péril.

Les pentes des talus représentant un caractère important de vulnérabilité à l'érosion, une classification visuelle des pentes a été réalisée sur la côte à partir des données LIDAR. La Figure 11 présente le résultat obtenu. Force est de constater qu'il n'existe pas vraiment d'endroit sur la côte où les talus ne sont constitués que de pentes inférieures ou égales à 33 degrés. Les seuls éléments pouvant donner une certaine stabilité aux talus autrement instables serait la présence d'une végétation riveraine dense et bien enracinée ainsi qu'une micro-terrasse protectrice assez large d'une hauteur égale ou supérieure à 3 m. Bien sûr, la présence d'enrochements linéaires peut protéger le pied de talus de l'érosion, mais des processus physiques complètement différents provoquent une érosion intense en bout de protection et l'érosion de la plage en face des ces ouvrages, effets pervers maintenant fort bien documentés et qu'on peut observer à Pointe-aux-Outardes.

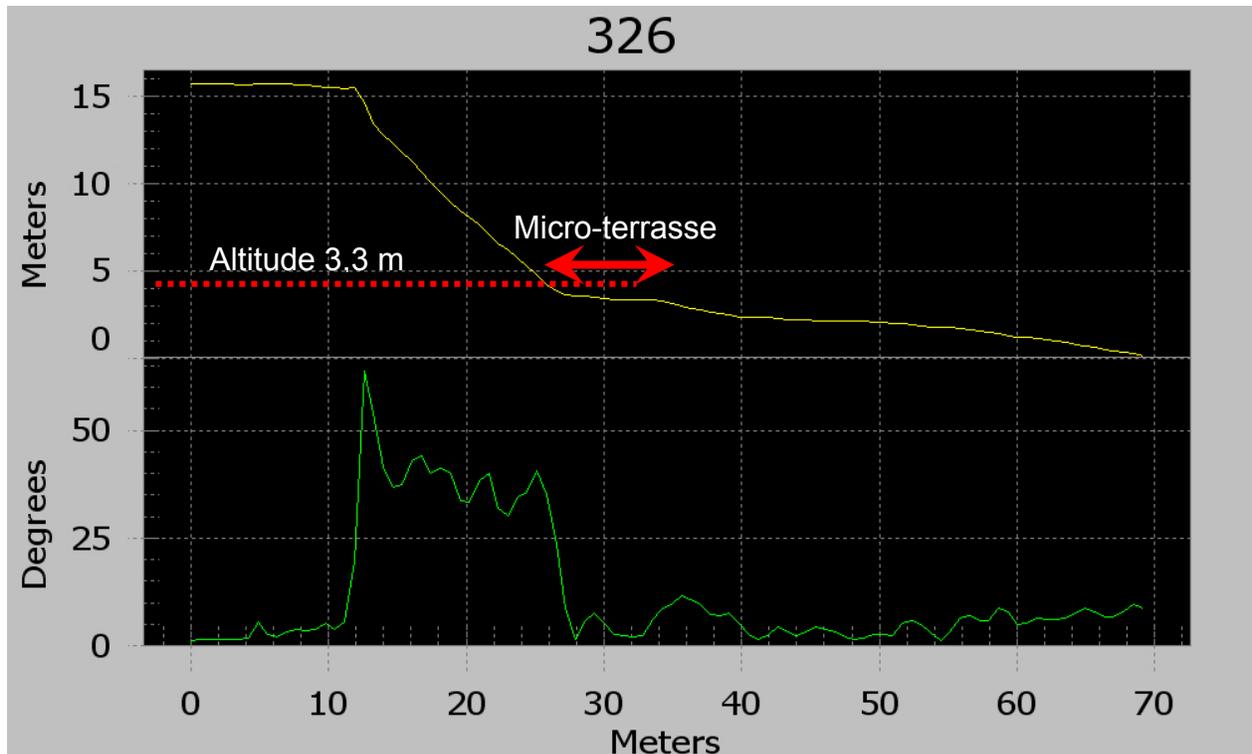


Figure 9: Exemple de profil transversal de la côte présentant encore une micro-terrasse (altitude de 3,3 m, largeur de 10 m) protectrice en pied de talus



4.4 État actuel de la côte

Prenant en considération les jeux de données précédents, il est possible de dresser un portrait sommaire de l'état actuel du milieu côtier (Figure 10). On distingue un long empierrement linéaire à l'ouest du quai municipal et quelques empierrements ponctuels disséminés à l'ouest du quai. Plusieurs segments sont actuellement en érosion active entrecoupés d'autres qui sont sur le point de s'activer à court ou moyen termes. À l'extrême ouest (Parc Nature), des hauts-fonds sont indicatifs d'une zone de déposition résultant d'une dynamique complexe de transport littoral.

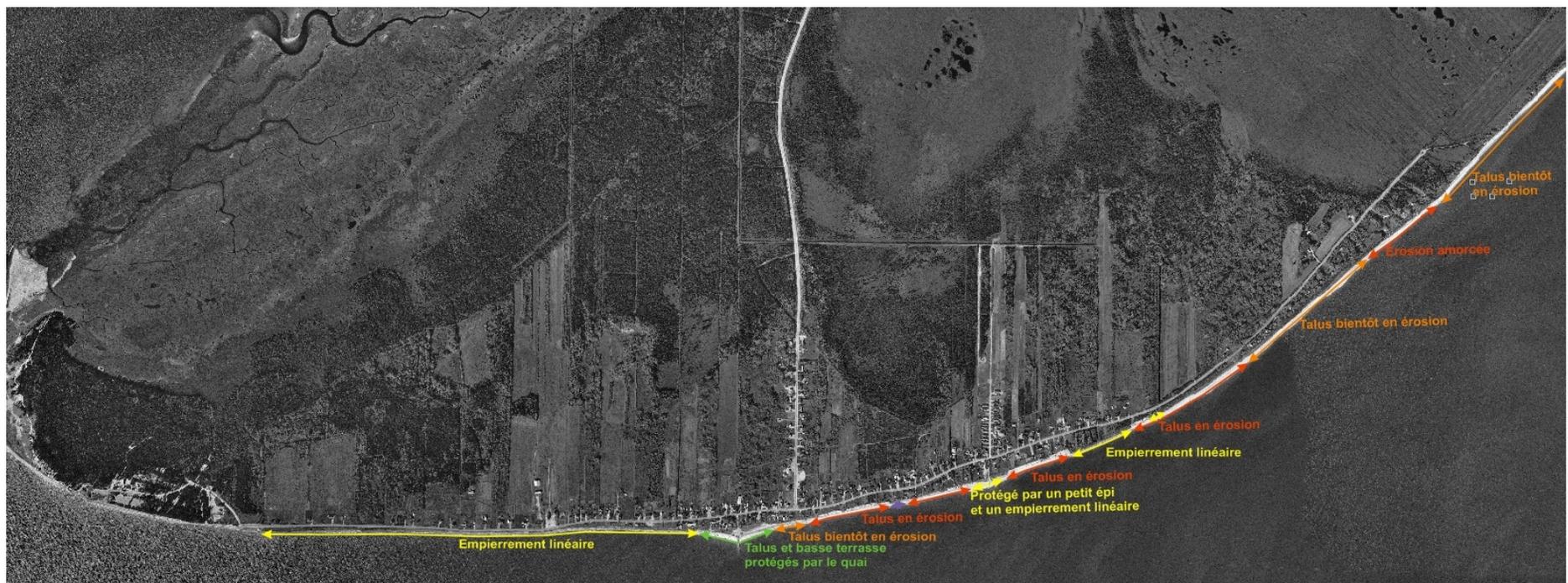


Figure 10: État actuel du milieu côtier - Pointe-aux-Outardes



4.5 Bilan sédimentaire : apports nets dus à l'érosion

4.5.1 Approche

Afin de mesurer l'ampleur du processus d'érosion à Pointe-aux-Outardes, l'établissement du bilan sédimentaire apparaît comme une étape essentielle. Idéalement, ce bilan s'effectue en quantifiant les volumes en entrées et sorties de matériaux meubles du système et en considérant leur emmagasinement sur les plages et sur la batture. Les limites du système sont définies longitudinalement par la cellule de Pointe-aux-Outardes, excluant cependant l'estuaire de la rivière aux Outardes comme tel. Transversalement, le bilan s'effectue à partir du haut de talus jusqu'à une « profondeur de fermeture » qui marque l'endroit où l'action du transport de sédiments par les vagues devient négligeable. Dans le cas de Pointe-aux-Outardes, cette profondeur n'est pas évidente à déterminer car elle varie en fonction de la marée, de la faible profondeur de la batture et de son étendue considérable vers le large (près de deux kilomètres).

Inclinaison des pentes rue Labrie, Pointe-aux-Outardes

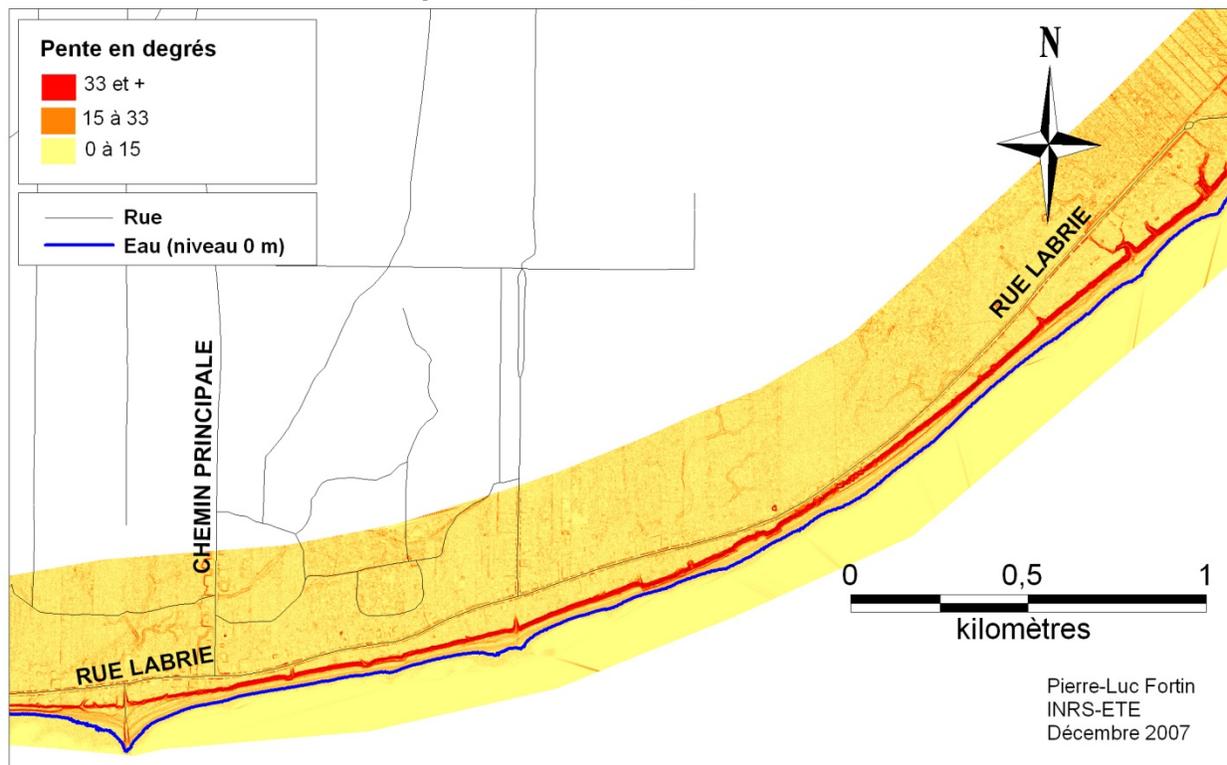


Figure 11 : Classification des pentes d'après le critère d'équilibre retenu (33 degrés)

Pour les fins de cette étude, nous considérons les conditions propices à l'attaque du pied de talus, soit les hauteurs extrêmes du plan d'eau (une cote 3,0 m en tenant compte des surcotes de vent et les cotes de 2,3 m pour les niveaux de marée haute extrêmes). Les profils d'équilibre d'une plage à Pointe-aux-Outardes sont donc établis en suivant la méthodologie usuelle, à savoir le niveau de



marée haute pour une grande marée (cote 2,3 m). La largeur de la plage sèche (sensiblement horizontale et à une cote supérieure au niveau de grande marée haute) est inférée de la largeur mesurée pour les tronçons de côte apparaissant stables et pour lesquels cette caractéristique est présente. La largeur minimum serait de 15 m. Le bilan s'effectue ainsi :

Entrées :

- Apport net à la limite amont (est) de la cellule par le Gros ruisseau qui est négligé à cause de la faible superficie du bassin versant qui contribue aux apports
- Apports par l'érosion des talus tributaires définis par leur hauteur, leur taux de recul moyen local (m/an) et leur fraction de particules fines susceptibles d'être emportées par les courants et les vagues, et qui n'offrent aucun potentiel de rétention sur les plages (matière organique, argile, silt)
- Apports transitoires en provenance de la batture (processus constructifs)

Sorties

- Pertes vers l'estuaire aux Outardes (transport longitudinal vers l'extérieur de la cellule)
- Pertes transitoires vers la batture (transport transversal, processus destructifs)

L'emmagasinement de sable dans le système (ici, il s'agit de la plage) forme une troisième composante qui sert à fermer le bilan des entrées et les sorties. Dans le bilan établi pour Pointe-aux-Outardes, la principale composante est, selon toute évidence, l'apport par l'érosion.

Une plage est considérée en équilibre sur une base annuelle si son bilan d'entrées-sorties est nul. Cette hypothèse est difficilement vérifiable sans au moins deux relevés topographiques précis et homogènes dans le temps (phase saisonnière, précision) car on observe fréquemment un phénomène de reconstruction de la plage en été (prépondérance des phénomènes constructifs) sous l'influence de vagues de beau temps, qui est suivi d'une phase destructive en hiver sous l'influence des vagues de tempêtes. L'analyse du phénomène est encore plus complexe, si l'on doit tenir compte de la variabilité des conditions subies d'une année à l'autre.

Lorsque le système est considéré comme étant en équilibre (bilan sur 5 ou 10 ans), alors la perte vers l'extérieur du système (estuaire, batture) est contrebalancée par les apports en première approximation, ce qui revient à considérer les plages en équilibre dynamique (pas d'emmagasinement, pas de perte nette).

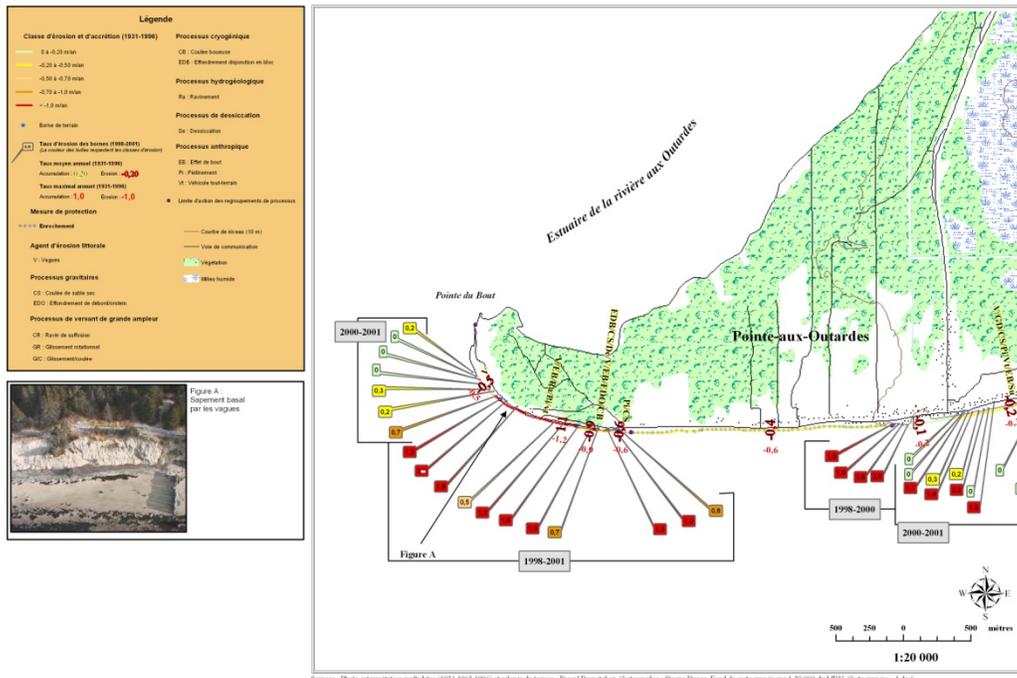
L'apport annuel total en sable dû à l'érosion est obtenu par la formule suivante :

$$\text{Apport local} = \text{Hauteur de talus} \times \text{Taux de recul} \times \text{Largeur du lot}$$

Les calculs sont effectués à l'échelle du lot (données du rôle d'évaluation), pour toutes les variables. L'apport représenté par le recul de la micro-terrasse au pied des talus (haut de plage) n'a pas été pris en compte mais il pourrait représenter, là où le phénomène est présent, autour de 10% de l'apport potentiel local, une fois l'érosion du talus activée. Les données sur les taux de recul sont extraites d'un rapport présenté à la Conférence régionale des Élus (CRÉ) (Dubois *et al.*, 2005); elles sont illustrées à la Figure 12. Des observations plus récentes par Bernatchez de l'UQAR (réseau d'observations annuelles de repères de trait de côte) sont aussi prises en compte pour actualiser le portrait de la situation.



Évolution côtière de la péninsule Manicouagan, secteur de Pointe-aux-Outardes (1931-2001)



L'apport net d'un talus au transit littoral est plus faible que le volume érodé brut puisqu'on doit tenir compte de la perte de la fraction fine offrant peu de possibilités de rétention sur la plage. Les dépôts meubles fins érodés et évacués vers la batture sont considérés comme des sorties nettes du système. Pour l'ensemble du secteur situé entre le quai de Pointe-aux-Outardes et l'extrémité est de la rue Labrie, un taux de perte de 10% vers la batture est appliqué (Bernard Long, INRS-ETE, Communication personnelle, 2008). Ce matériau va plutôt se déposer en couches fines sur l'ensemble de la batture et on assume que l'action glacielle se charge chaque printemps de les transporter vers le large (ROCHE, 1997; Grant et Provencher, 2007). Les dépôts argileux plus présents et qui affleurent dans les talus du segment situé à l'est du rond-point de la rue Labrie Est, diminuent fortement le taux de rétention de ces apports sur les plages. En conséquence, un taux de perte directe de 50% vers la batture est appliqué. À ce jour, l'érosion de ces talus n'est pas encore amorcée et leur prise en compte est fonction de leur date possible d'activation (0-10 ans).

Dans le bilan présenté ici, la composante « apport net » par l'érosion représente donc à elle seule la grande majorité du bilan sédimentaire de la côte à Pointe-aux-Outardes. C'est pourquoi, nous préférons faire référence à l'apport net de l'érosion au bilan sédimentaire dans ce qui suit.

4.5.2 Apport net au bilan sédimentaire de 2008

Basées sur les moyennes ponctuelles de taux de recul observées depuis 1996, et l'état d'activation des talus en 2008, l'apport net au bilan sédimentaire contribuant au transit littoral (plages) se situe à **37 000 m³/an**. Bien qu'il eut été possible de reconstituer en détails l'évolution de ces



apports au cours de la période d'observation 1996-2008 à partir des caractérisations disponibles de taux de recul au fil du temps, et de la position des repères de trait de côte, nous avons choisi plus simplement de rétro-projeter (extrapoler) les tendances actuelles (courbe d'évolution) dans le passé. Cette opération a permis d'inférer à **20 000 m³/an** le niveau d'apports nets qui aurait eu cours au milieu des années 90'. Force est de constater à prime abord que le phénomène d'érosion s'accroît d'année en année à la faveur de l'activation progressive des talus qui, si elle ne change pas les taux de recul moyens, accroît la longueur du segment de côte contributeur de sédiments.

L'époque antérieure à 1996 a vraisemblablement connu une évolution comparable qui fut stoppée par la mise en place d'empierrements linaires du côté ouest du quai municipal. Il est cependant difficile d'estimer les volumes nets d'apports en sable fournis par la côte avant l'empierrement, peu de données publiques étant disponibles pour ce faire. Cependant, Long (Bernard Long, INRS-ETE, Communication personnelle, 2008) indique que les taux de recul moyens observés de la côte jouxtant la rue Labrie Ouest étaient alors typiquement de 1,2 m/an, une valeur similaire à celles observées à l'est aujourd'hui. Par contre, la hauteur inférieure des talus du secteur Ouest (environ 10 m ou moins) apportait une contribution inférieure à celle provenant des talus du secteur Est (13-16 m). Il est aussi à noter que, dans le bilan sédimentaire de ce segment de côte, l'abaissement progressif du profil de plage consécutif à l'implantation d'empierrements a pu représenter transitoirement un portion importante du bilan.

Si l'on remonte encore dans l'histoire, selon de nombreux témoignages de résidents, l'érosion au cours des nombreuses décennies ayant précédé l'activation des talus était relativement faible comparée à la situation présente, ce qui nous porte à croire, sous toutes réserves, que le bilan des apports sédimentaires nets devait se situer à environ **5000 m³/an**, voire moins, sans que ne soient compromises l'existence et la stabilité du profil de la plage.

4.5.3 Prévision sur l'horizon 30 ans : une hémorragie appréhendée

Afin d'établir une prévision sur l'horizon de référence de l'étude (2038), des hypothèses doivent être posées, notamment par rapport à la séquence d'activation des talus, à l'évolution des taux de recul par rapport aux observations existantes et à l'impact possible des changements climatiques sur l'équilibre de la batture.

Dans le premier cas (activation des talus), l'observation minutieuse de l'état des micro-terrasses (largeur résiduelle, hauteur) et de leur évolution récente (tendance lourde) a permis de prédire l'année probable où les micro-terrasses disparaîtraient complètement, donnant prise à l'activation de l'érosion des talus par l'action combinée des vagues, des événements de grande marée et/ou des surcotes. Les documents consultés sont principalement les séquences vidéographiques oblique et verticale disponibles au MSP et réalisées en 2006 à partir d'un hélicoptère et la base de données disponible au MSP sur les taux de recul. En pratique, l'apport net est calculé seulement à partir de l'année où le talus est sensé s'activer, s'il ne l'est pas déjà. Le taux de recul appliqué alors est la valeur moyenne observée sur la côte à proximité. Sur l'horizon de 30 ans, toute la côte formant le front de mer de la cellule hydro-sédimentaire serait alors en recul.

Concernant les changements climatiques, ceux-ci pourraient changer la donne considérablement en étant accompagnés d'un relèvement différentiel du niveau de la mer par rapport à la batture (1,2 mm/an) de la disparition ou de l'influence décroissante de la banquise côtière (qui peut avoir



un effet protecteur) et de l'accroissement de la fréquence des événements de tempête ayant prise sur les côtes. Dans ce contexte, il est nécessaire de mesurer la sensibilité du bilan sédimentaire à ce facteur. Jean-Pierre Savard (Ouranos, Communication personnelle, 2008), suggère de considérer deux alternatives aux paramètres actuels d'érosion : une amplification par un facteur de 150% des taux de recul actuels à la fin de la période de référence (2038), et une diminution par un facteur de 67%, la première valeur étant sans doute plus vraisemblable. Un scénario « diminution » a été considéré parce que les taux de recul actuels, considérés comme élevés vis-à-vis des taux historiques, pourraient ne refléter qu'une situation temporaire dans l'évolution dynamique du trait de côte. Pour les fins du calcul, le rythme d'augmentation du taux de recul des talus a été posé linéaire entre aujourd'hui et la fin de la période de référence.

Ces hypothèses posées, il est possible d'estimer l'évolution possible des apports nets au bilan sédimentaire sur la période de référence. La Figure 13 montre les résultats de ce calcul. Si la valeur actuelle des apports se situe à 37 000 m³/an (autour de 40 000 m³/an si l'on inclut la micro-terrasse et les pertes de matériaux fins vers la batture), cette valeur serait susceptible d'évoluer vers un plafond de **55 000 m³/an** dans 10 ans seulement, valeur qui pourrait se maintenir au voisinage de **60 000 m³/an** pour les vingt années suivantes, la longueur totale des segments de côte en érosion étant plafonnée par la longueur non protégée du trait de côte de la cellule.

Si l'hypothèse pessimiste des changements climatiques se confirmait, toutes ces valeurs seraient majorées : 63 000 m³/an dans 10 ans et 85 000 m³/an à la fin de la période de référence de 30 ans (2038). À l'opposé, même un ralentissement des conséquences des changements climatiques ne réussirait pas à ralentir les apports sédimentaires qui continueraient d'augmenter à 50 000 m³/an en 2018 pour ensuite diminuer au niveau d'aujourd'hui en 2038. Toutefois, l'avis des spécialistes du climat tend malheureusement à accréditer le scénario le plus pessimiste, ou dans le meilleur des cas, celui perpétuant la situation existante.

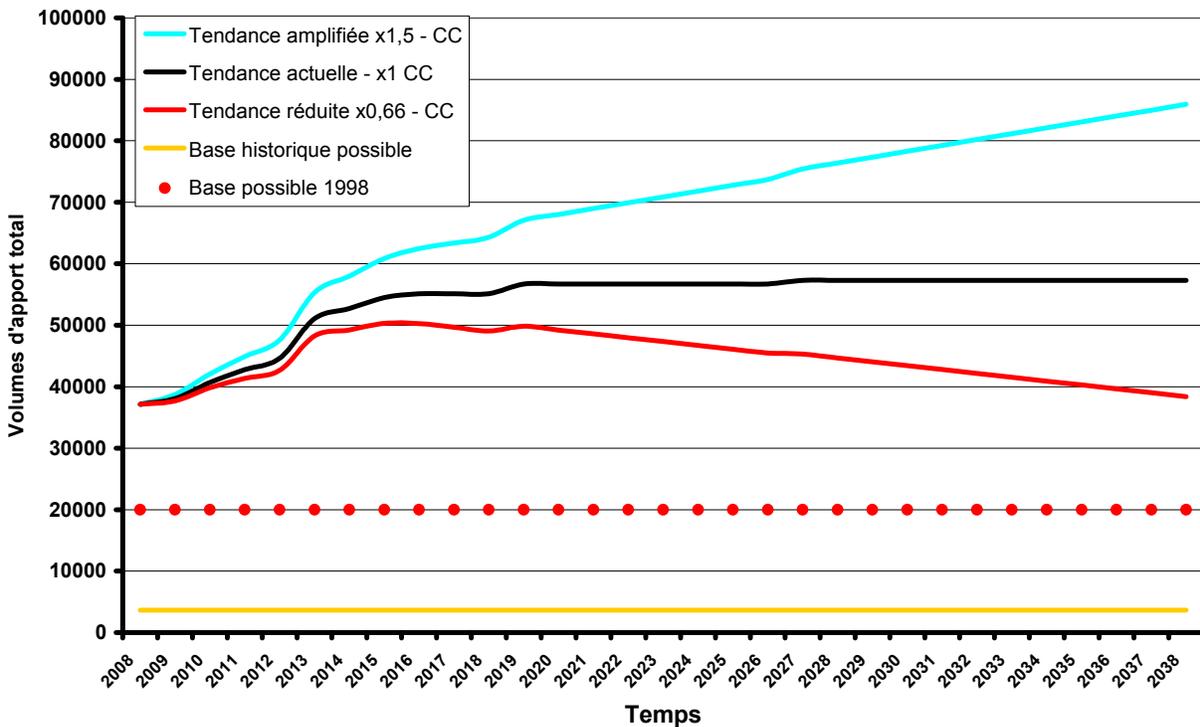


Figure 13: Prédiction de l'évolution des apports sédimentaires nets par l'érosion à Pointe-Aux-Outardes

4.5.4 Causes possibles

Les causes possibles de cette évolution accélérée, potentiellement catastrophique, de la côte par rapport aux conditions historiques sont multiples et parfois hypothétiques, dans le sens qu'aucune étude particulière et publique n'est disponible pour porter un véritable diagnostic sur la genèse de la problématique. La plupart des facteurs identifiés sont cependant d'origine anthropique et s'inscrivent dans une suite logique d'impacts environnementaux cumulatifs d'interventions à la pièce ou n'ayant donné lieu à aucune mesure d'atténuation. On peut mentionner les facteurs souvent mentionnés dans la bibliographie:

- Perturbations de l'équilibre hydro-sédimentaire de l'estuaire de la rivière aux Outardes relié aux activités humaines (urbanisation, exploitation des ressources hydriques, modifications du régime hydrique)
- Implantation et modifications apportées au quai municipal (rétention transitoire du transit sédimentaire littoral)
- Empierrements linéaires ou ponctuels le long de la côte (accélération du transit, réduction de la capacité de rétention locale au niveau de la plage, effets de bout, érosion de la plage)
- Circulation motorisée sur la plage et le haut de plage qui détruit la végétation protectrice et fragilise les dépôts secs



- Perforations ponctuelles et/ou linéaires de la couche de sol « indurée » imperméable qui favorisent l'infiltration d'eau superficielle à partir des talus, la percolation sur les couches d'argiles sous-jacentes et la résurgence au milieu des talus. Ceci favorise le décrochement de la végétation protectrice
- Changements climatiques qui accélèrent l'érosion.

On ne peut désigner des coupables de cet état de fait mais force est de constater que les causes de l'érosion à Pointe-aux-Outardes sont systémiques et résultent d'activités humaines volontaires dont les conséquences étaient inconnues, ignorées ou négligées. La solution recherchée devra tenir compte de la complexité de ces causes, de l'équilibre fragile de la cellule hydro-sédimentaire déjà fortement perturbé ainsi que des aléas qu'elle subit actuellement.

Elle s'appuie forcément sur une connaissance des conditions hydrodynamiques actuelles et passées. L'analyse de ces conditions est l'objet du prochain chapitre.

4.6 En résumé

L'établissement du bilan sédimentaire de la cellule couvrant le secteur de la rue Labrie à Pointe-aux-Outardes indique que l'apport net de matériaux dû à l'érosion se situerait aux environs de **37 000 m³/an en 2008** et que cette valeur croîtrait rapidement vers un plafond de **55 000 m³/an en 2018** alors que tous les segments de côte vulnérables à cet aléa se seraient activés. L'incertitude reliée aux changements climatiques pourrait porter la valeur de 2018 à **65 000 m³/an**, chiffre qui pourrait continuer de croître à **85 000 m³/an** en considérant une accélération linéaire des taux de recul moyen par un facteur de 1,5 sur 30 ans. L'hypothèse optimiste, soit une diminution des taux de recul à 67% du taux actuel sur la même période ne réussirait pas à compenser l'apport lié à l'augmentation de la longueur des segments activés.

Ce portrait sédimentaire suggère que la Pointe-aux-Outardes subit actuellement une **perte massive** du sable de ses côtes qui résulte d'un déséquilibre morphosédimentaire mis en place au cours des décennies précédentes, sans doute relié à l'accumulation de causes anthropiques principalement. On ne peut qu'en conclure que c'est le sort d'une bonne partie de la communauté qui est en cause ici et que le défaut d'adopter les mesures de stabilisation appropriées en compromettrait sérieusement la pérennité des installations résidentielles et infrastructures présentes.

Les causes de cet état de fait sont multiples et elles se sont mises en place graduellement au cours de l'histoire : *mode d'occupation du territoire, perturbations du régime hydrique, fausses protections, interventions à la pièce sans considération de l'équilibre de la batture, circulation motorisée sur la plage*. Il en est résulté une situation typique d'*impacts environnementaux cumulatifs* dont aucun intervenant particulier ne peut à lui seul porter la responsabilité.



5 Sollicitations hydrodynamiques

Les phénomènes hydrodynamiques responsables de l'érosion des berges ont été l'objet de maintes publications les décrivant sous un angle qualitatif. L'élaboration de solutions pour la protection ou le ré-équilibre sédimentaire des côtes doit toutefois s'appuyer sur l'expérience passée (bonne ou mauvaise) et sur une formulation scientifique développée et acceptée par les spécialistes du domaine maritime. Les formules élaborées par ces spécialistes sont basées sur des analyses approfondies et sont débattues lors de colloques et symposiums spécialisés. La paramétrisation adéquate de ces formules permet de les particulariser en fonction de conditions propres à chaque site étudié. Cette particularisation s'effectue entre autres par l'analyse de séries temporelles de niveau d'eau, de vagues et de vent au site d'intérêt.

Ce chapitre présente d'abord une caractérisation de l'estran de la péninsule de Manicouagan. Des analyses suivent, qui permettent de caractériser les marées, d'évaluer l'importance des surcotes dues aux tempêtes et d'estimer les hauteurs et la provenance des vagues en eau profonde et près des rives pour cette région. Les résultats obtenus sont par la suite utilisés pour obtenir une première évaluation des volumes de matériau requis améliorer la protection de la côte. Ce dernier aspect est traité au chapitre 7 « Inventaire des types de solutions : contexte d'application ».

5.1 L'estran de la péninsule de Manicouagan

Au Québec, on confond souvent la batture (dont la définition est censée être une zone constituée de rochers sur lesquels viennent se briser les vagues) et l'estran qui est la partie du littoral qui est couverte et recouverte par la marée, donc la zone située entre les niveaux connus des plus basses et plus hautes mers. La Figure 14 présente la carte marine de la région, sur laquelle sont identifiées les « battures » de Manicouagan, qui pourraient être qualifiées d'estran. Dans la suite du texte, les deux définitions seront acceptées pour décrire cette zone. L'aéroport de Pointe-Lebel est également identifié sur cette figure. Les données de vents de la station météorologique située à cet aéroport sont nécessaires pour établir le climat des vagues.

La péninsule de Manicouagan est caractérisée par un large estran de faible profondeur et faible pente, qui s'étend vers le large sur une distance qui peut atteindre deux kilomètres. Les profondeurs chutent ensuite rapidement vers le fond du chenal laurentien dont la cote géodésique est inférieure à -300 m.

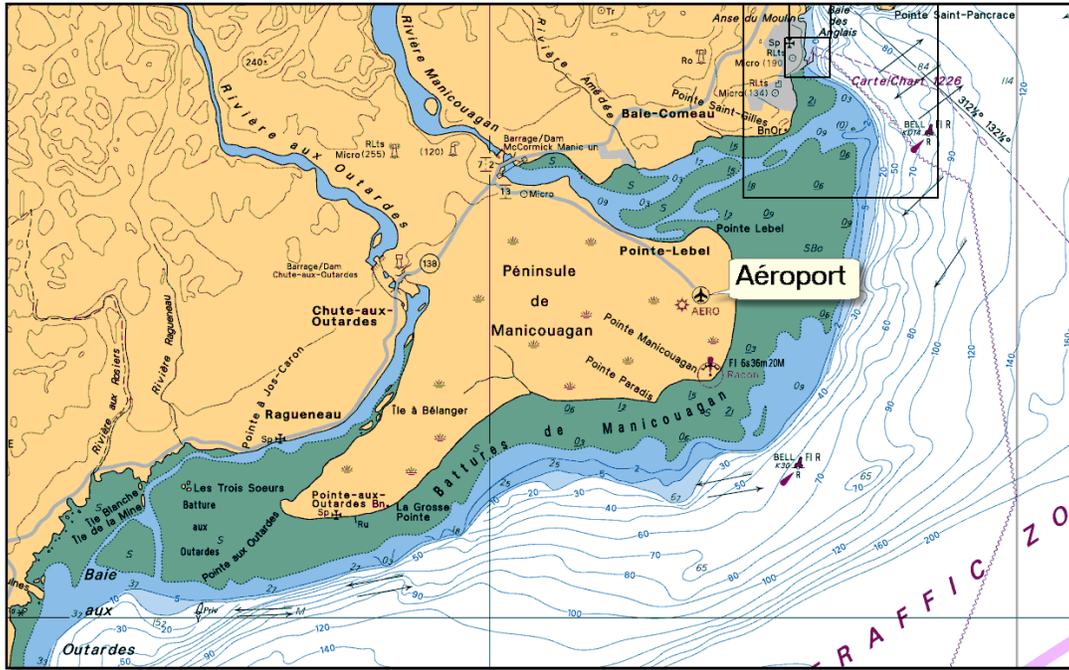


Figure 14 : Carte marine de la région de la péninsule de Manicouagan

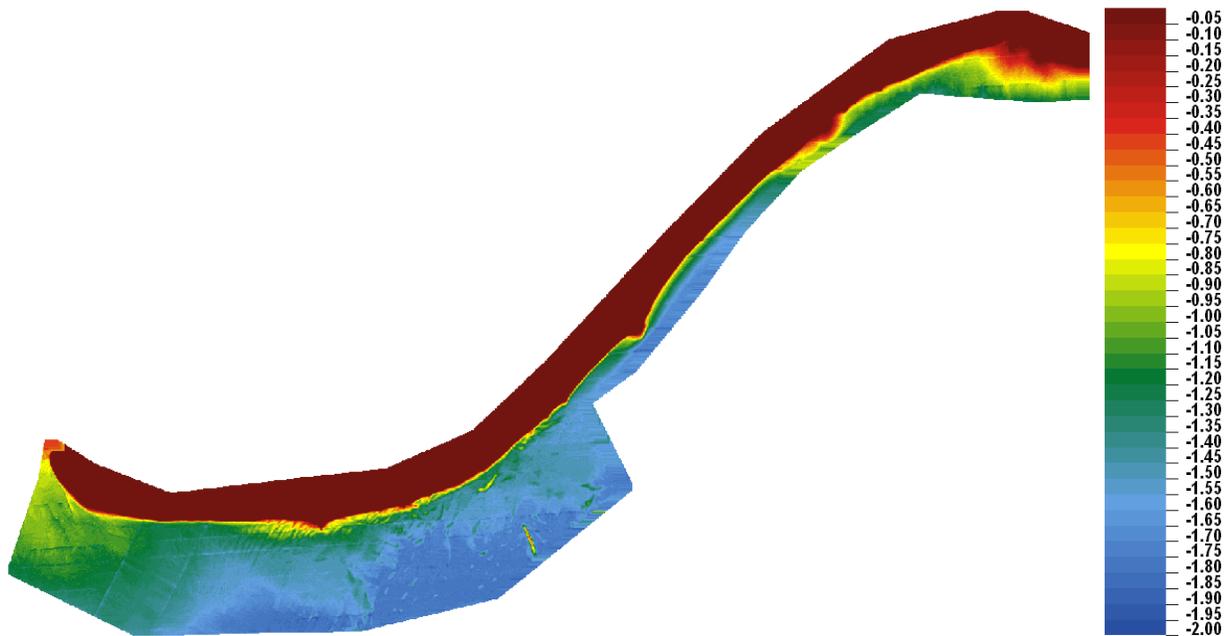


Figure 15 : Image de synthèse du relevé LIDAR effectué à l'été 2007

Un relevé LIDAR qui couvre partiellement l'estran a été effectué à l'été 2007. La Figure 15 est le résultat d'un traitement de lissage générant une grille dont les cellules ont 9 m de côté. La Figure 16 présente une image de synthèse à haute résolution produite par la firme ayant procédé au relevé LIDAR. Le lecteur qui désire étudier la bathymétrie de l'estran de façon plus



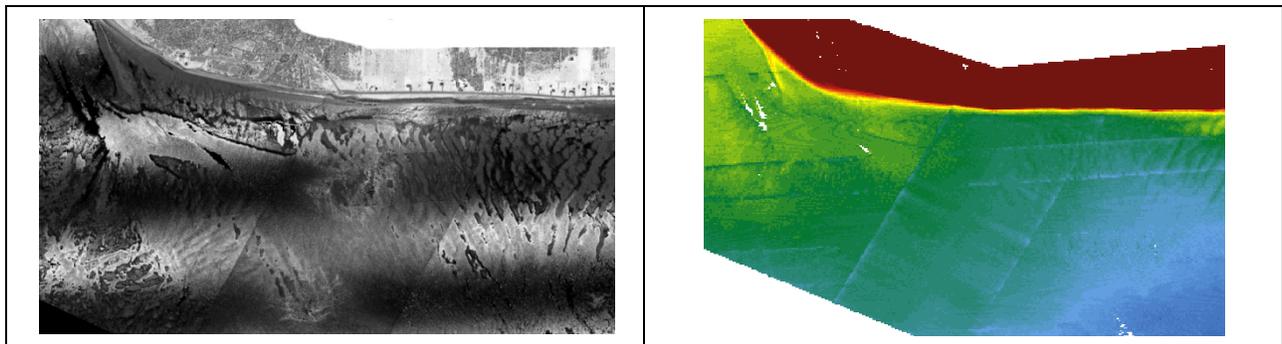
approfondie est prié de consulter la version électronique du document et d'amplifier le zoom à 500% ou de consulter l'annexe C qui contient des vues choisies de l'estran.



Figure 16 : Image de synthèse à haute résolution de l'estran Pointe-aux-Outardes

5.1.1 Particularités de l'estran

L'analyse de ces figures indique certaines particularités très importantes pour comprendre la dynamique sédimentaire. Elles sont décrites ci-après.



La zone ouest, située près du Parc Nature est à une élévation supérieure (zone en vert pâle). L'orientation des dunes et des chenaux procède du NO vers le SE à gauche de l'image (ouest). Cette orientation vire progressivement du N vers le S et ensuite au NE vers le SO à mesure que l'on progresse vers la droite (est).

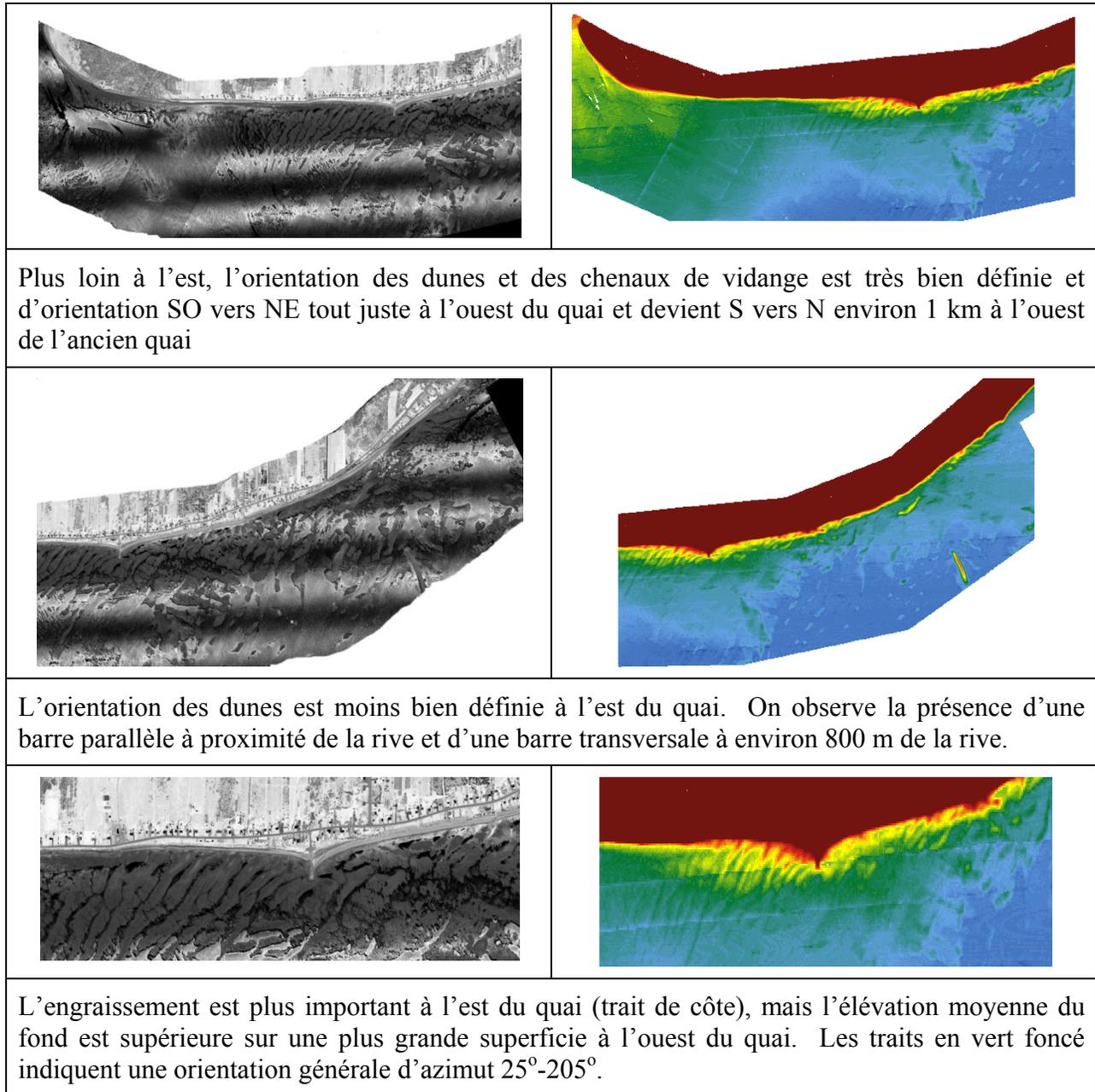


Figure 17 : Particularités morphologiques propres à l'estran de Pointe-aux-Outardes

5.1.2 Système de dunes situé à l'ouest du quai

Quatre transects suivant la crête de dunes et quatre transects approximativement perpendiculaires à ceux-ci sont présentés à l'Annexe C : Estran de la Pointe-aux-Outardes – Imagerie LIDAR. Le transect 5, apparaissant en jaune sur la Figure 18 est celui qui représente le mieux l'espacement entre les dunes. Les crêtes des dunes peuvent être reliées par une droite de pente 450H :1V. Il faut noter que la distance peut varier légèrement, selon l'orientation choisie du transect. L'ordre de grandeur est toutefois correct.

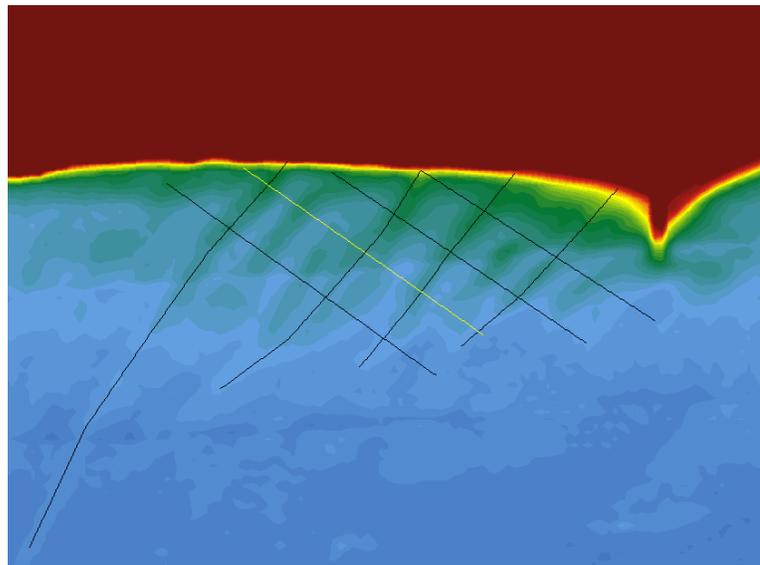


Figure 18 : Transect permettant d'évaluer la distance entre les dunes situées à l'ouest du quai

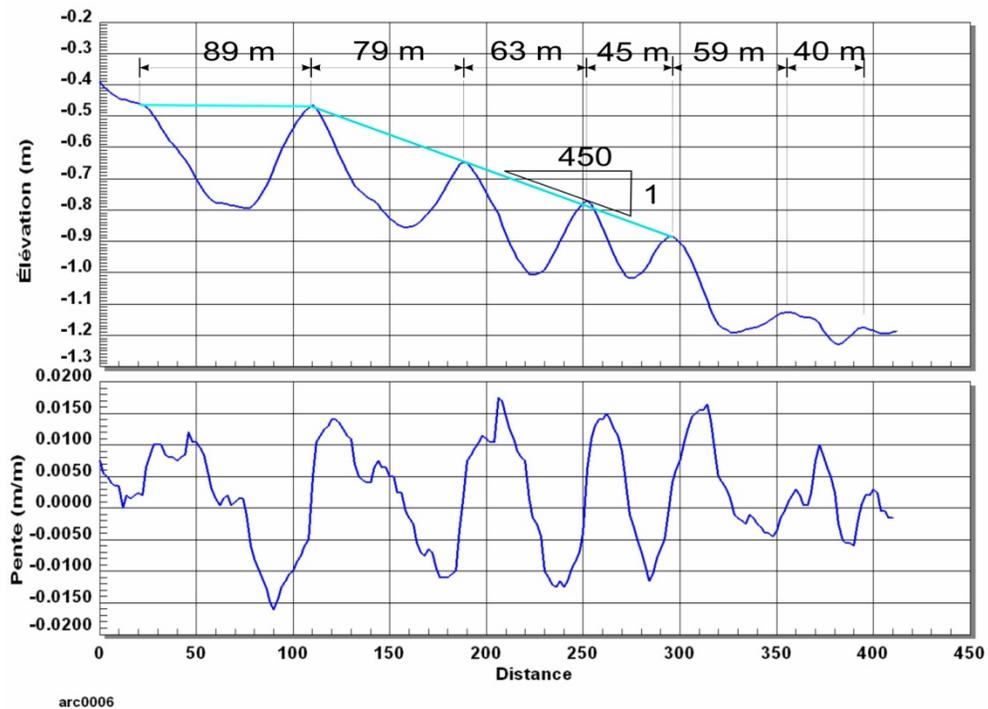


Figure 19 : Caractéristiques des dunes à l'ouest du quai municipal



5.1.3 Profil type de l'estran

La Figure 20 présente un profil type de l'estran dans la région située à l'est du vieux quai.

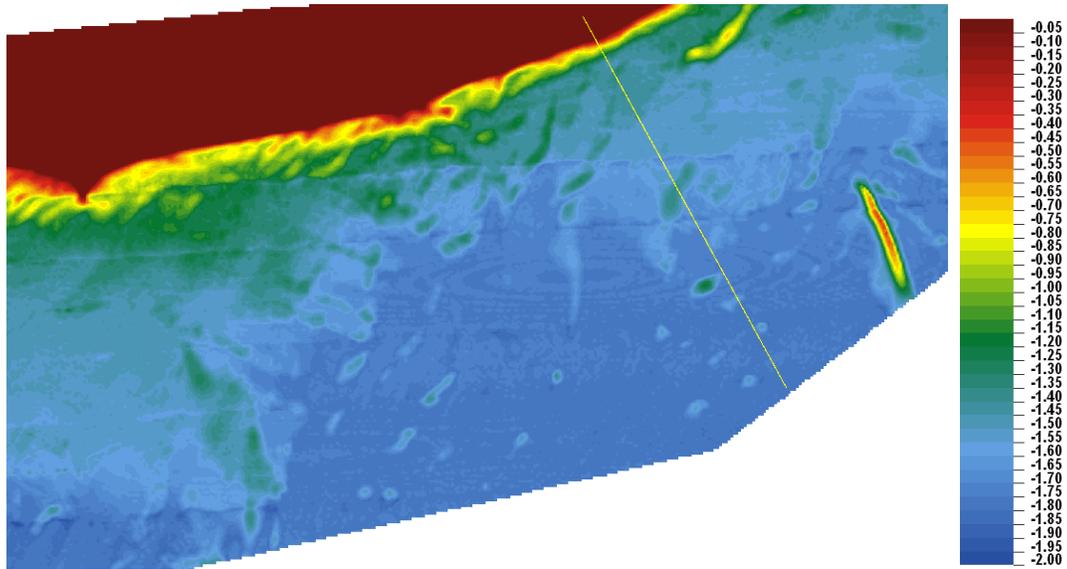


Figure 20 : Vue en plan d'une section superposée sur les relevés LIDAR de l'estran

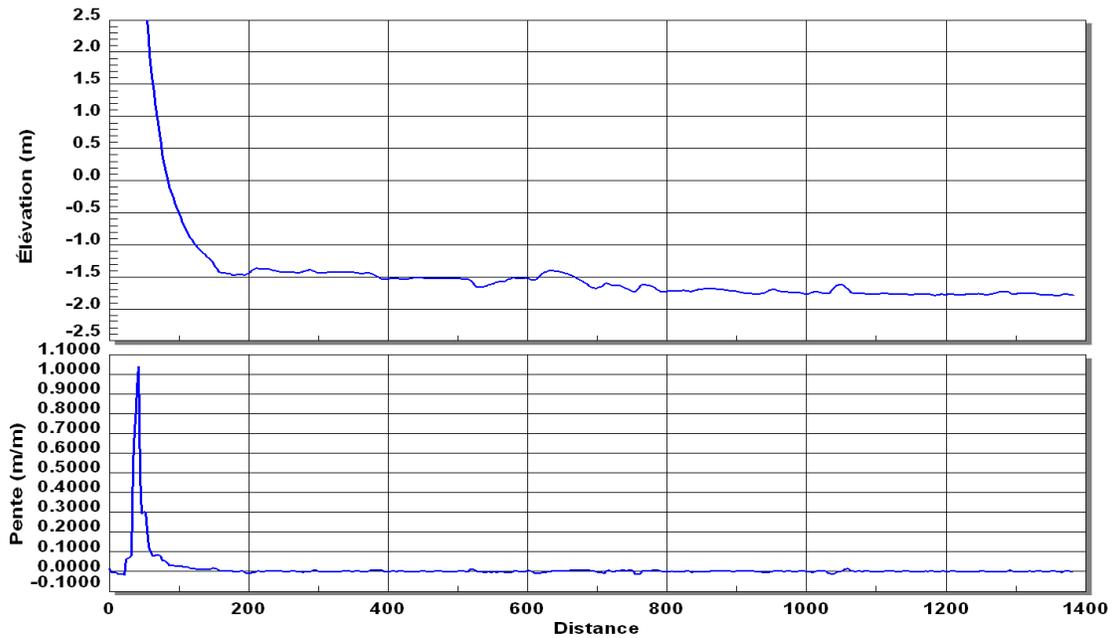


Figure 21 : Vue en profil d'une section superposée sur les relevés LIDAR de l'estran

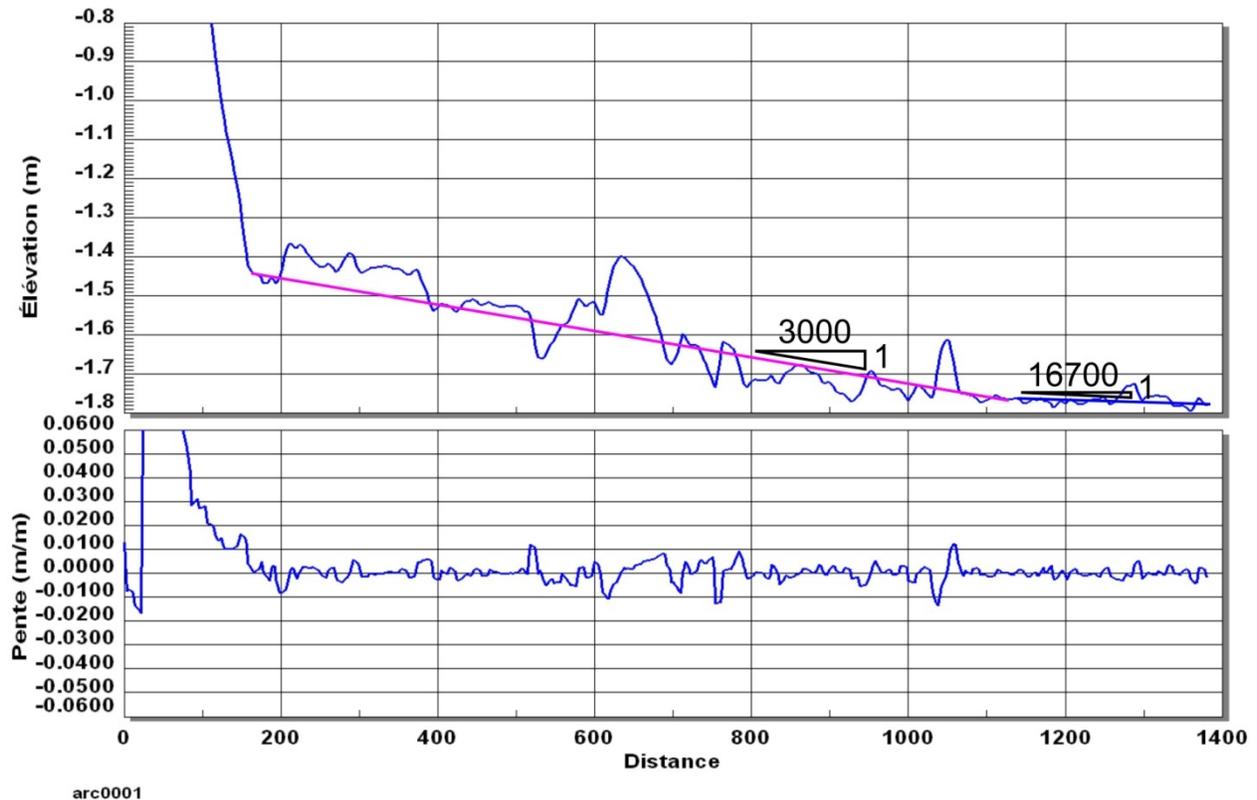


Figure 22 : Agrandissement vertical de la zone de l'estran et pentes approximatives

On observe que la pente de la plage est relativement forte, jusqu'à ce qu'on atteigne la cote - 1,5 m. En s'éloignant vers le large, on rencontre des dépôts qui occasionnent un rehaussement du fond d'une dizaine de cm, 20 cm au plus. La pente moyenne est de l'ordre de 3000 H pour 1V sur environ 800 m. Elle devient cinq fois plus faible à un kilomètre de la rive.

5.1.4 Recherche de la zone active de transport de sédiments

On cherche à obtenir un ordre de grandeur de la zone active du transport de sédiments par observation de la morphologie de l'estran et en consultant l'information recueillie en lien avec l'expérimentation d'épis de fascines en rive (Système d'épis Savard-Maltais ou SESM).

5.1.4.1 Largeur de bande déduite des relevés LIDAR

La Figure 23 illustre la bathymétrie dans l'intervalle des cotes -2 à +2 m (géodésique). Ce choix d'intervalle fait apparaître une bande caractérisée par un vert foncé qui semble, sous toute réserve, identifier ce qui pourrait être la zone active de transport. Pour des profondeurs plus grandes, les structures bathymétriques apparaissent moins évidentes. D'une façon tout à fait subjective, nous avons tracé un trait jaune sur ce que nous estimons être cette limite (Figure 24)

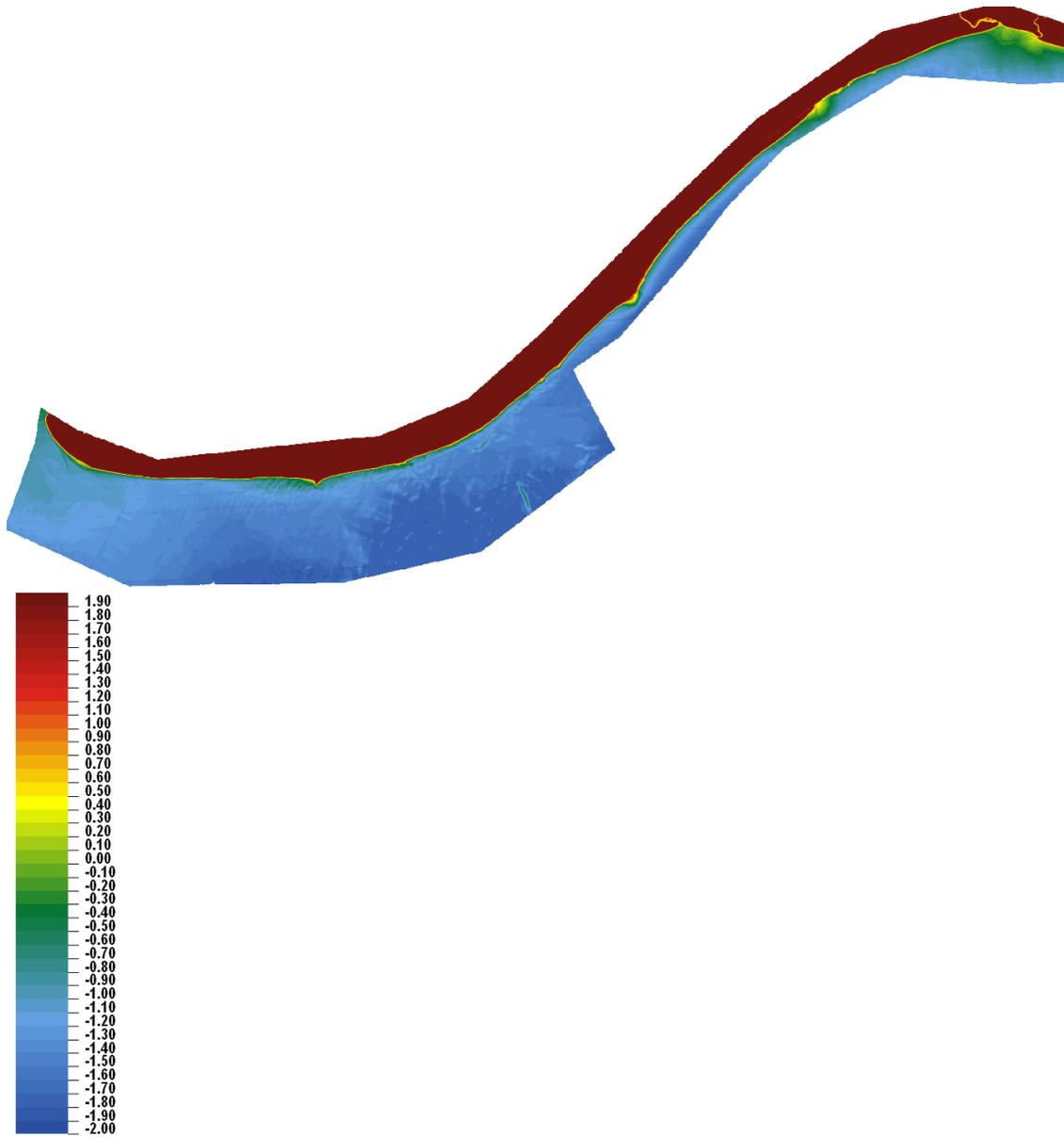


Figure 23 : Grille de 9 m de résolution – Cotes du fond entre -2 et 2 m

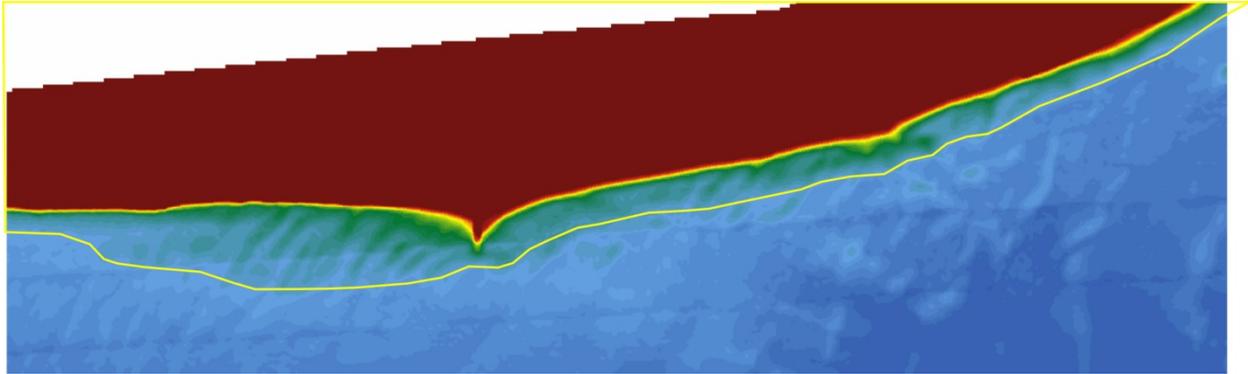
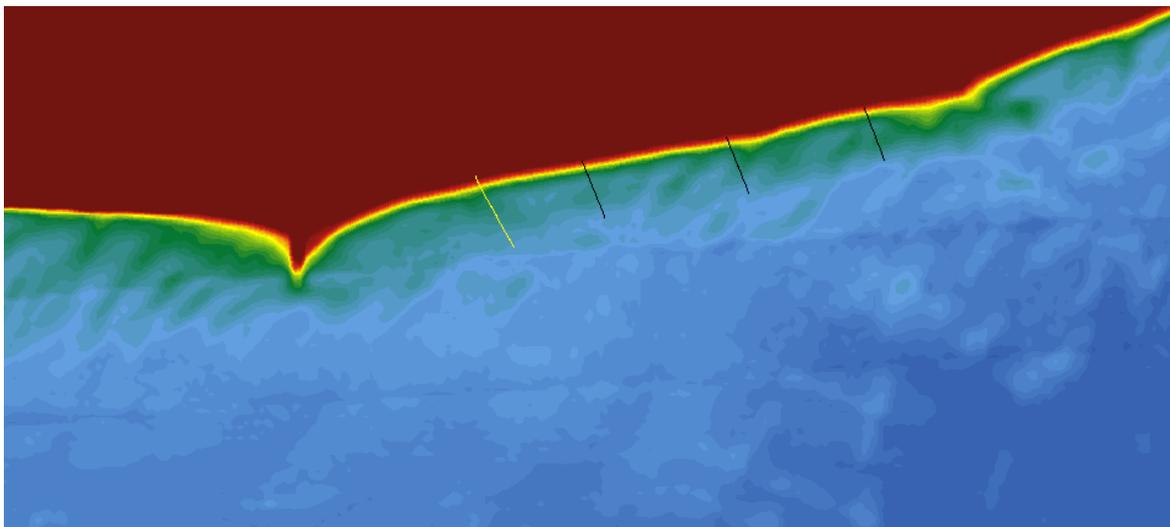


Figure 24 : Délimitation subjective des deux zones bathymétriques distinctes



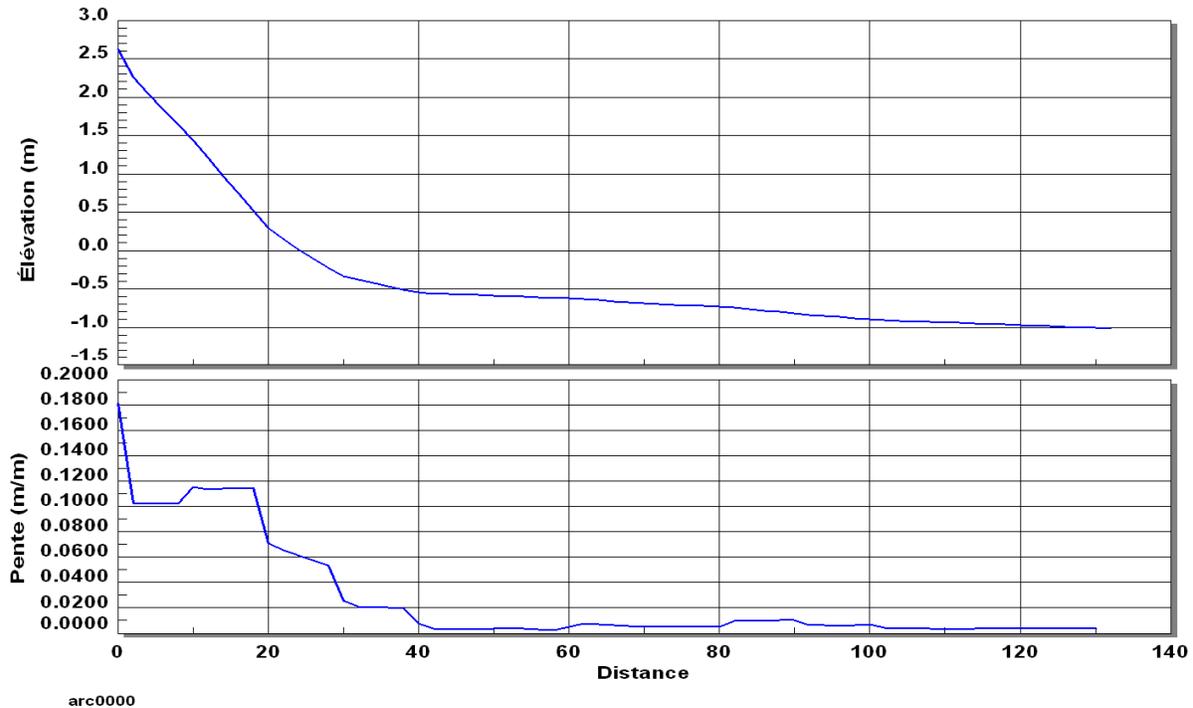


Figure 25 : Localisation et profils d'un transect dans la zone proximale à la berge

Tous les profils peuvent être consultés à l'Annexe C. La Figure 25 permet d'identifier que la limite se situe aux environs de la cote -1 m, qu'à la cote 0 m, la pente est de l'ordre de 16 H pour 1 V. Dix-huit mètres plus au large, à la cote -0,5 m, la pente s'adoucit et varie entre 200 et 300 H pour 1 V. La largeur de cette zone est variable mais est de l'ordre d'environ 130 m.

5.1.4.2 Largeur de la bande active obtenue par relevés

Dans le rapport produit par GÉNIVAR (2002) pour Hydro-Québec et le comité ZIP de la rive nord de l'estuaire, on mentionne, à la page 25 que « Tant à Baie-Saint-Ludger qu'à Pointe-aux-Outardes, les variations de volume sont principalement concentrées dans la bande de 25 m longeant le bas du talus ». Ces relevés ont été réalisés de juin 2000 à décembre 2001.

5.1.4.3 Discussion

Les relevés réalisés par GÉNIVAR (2002) indiquent qu'il existe une bande de forte variation induite par l'implantation des épis SESM sur les premiers 25 m de plage. Cette valeur est intéressante, notamment pour l'élaboration d'une recharge de la plage. L'étude des formes sur l'estran indique une zone qui s'étendrait jusqu'à la profondeur -1,0 m. Ceci donne une largeur d'environ 130 m mais qui est variable. Toute implantation d'épis devrait être faite à l'intérieur de cette bande et leur longueur devrait être sensiblement inférieure à cette valeur pour assurer un transport littoral au large des épis.



5.1.5 Zone de transport actif : résumé

L'étude de l'estran a permis d'établir l'ordre de grandeur des pentes, de reconnaître que le fond est surélevé près de l'embouchure de la rivière aux Outardes et que la zone de transport se situerait dans la bande délimitée par la cote inférieure de -1,0 m. Ces valeurs sont importantes et seront utiles lors de l'étude des variantes de protection.



5.2 Les marées

Les marées sont le produit des forces d'attraction produites par la lune et le soleil ainsi que par le mouvement de rotation de la terre sur elle-même et autour du soleil (Forrester, 1983). Le phénomène étant périodique, il est possible d'analyser une série de mesures de niveau d'eau et d'en tirer des valeurs d'amplitude et de phase qui permettent de caractériser l'importance de la marée en un site précis et même de la prédire avec une relative précision.

Les données disponibles pour Baie-Comeau couvrent la période 1968 à 1991. Les données pour la station de Pointe-au-Père & Rimouski, située sur la rive sud approximativement au même méridien couvrent une période plus longue de deux décennies, de 1958-2006. L'analyse complète des signaux est présentée en annexe (Annexe D : Analyses du signal de marée), où nous reportons l'essentiel des résultats résumés dans cette section. L'analyse a démontré que les signaux de marée enregistrés aux deux sites sont pratiquement similaires, avec un marnage qui est légèrement inférieur pour la station de Baie-Comeau (Figure 26). Cette figure illustre également le caractère variable de l'amplitude de l'onde de marée. Son intensité dépend de la position de la lune par rapport au soleil. Ainsi, les marées sont plus fortes (marées de syzygie ou grandes marées) lorsque la lune et le soleil, en conjonction (nouvelle lune) ou en opposition (pleine lune), conjuguent leurs forces (Forrester, 1983, Thompson, 1984).

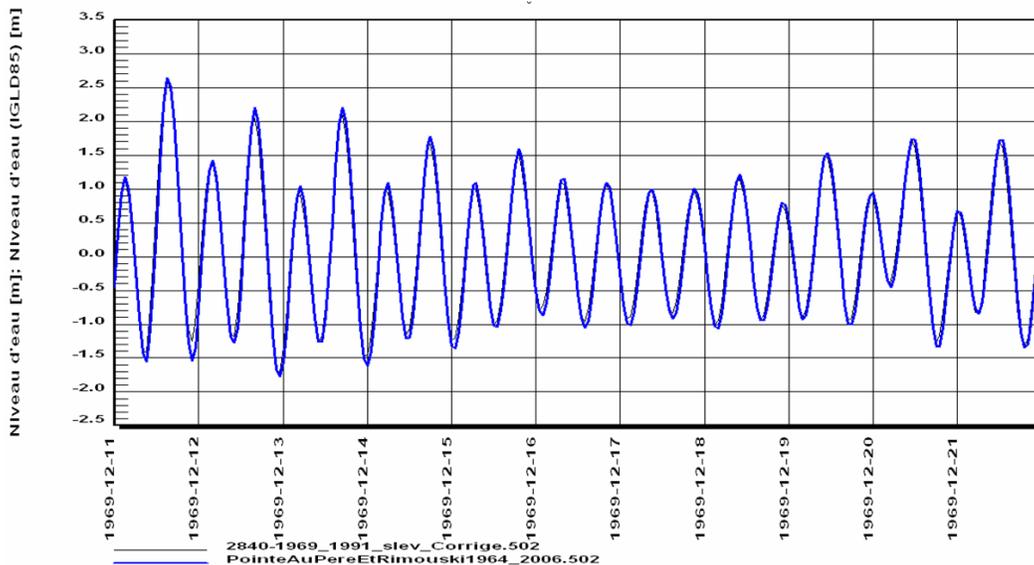


Figure 26 : Comparaison des signaux de marée de Baie-Comeau et Rimouski

La Figure 27 présente le signal de marée enregistré à Baie-Comeau de 1969 à 1991. On observe que les niveaux maximums atteignent parfois la cote (géodésique) 2,5 m et rarement 3,0 m. Le niveau maximum mensuel atteint fréquemment une cote située entre 2,0 et 2,4 m. Le signal en bleu présente les variations du niveau d'eau moyen provoquées par le passage des perturbations atmosphériques (variations barométriques et effets du vent).

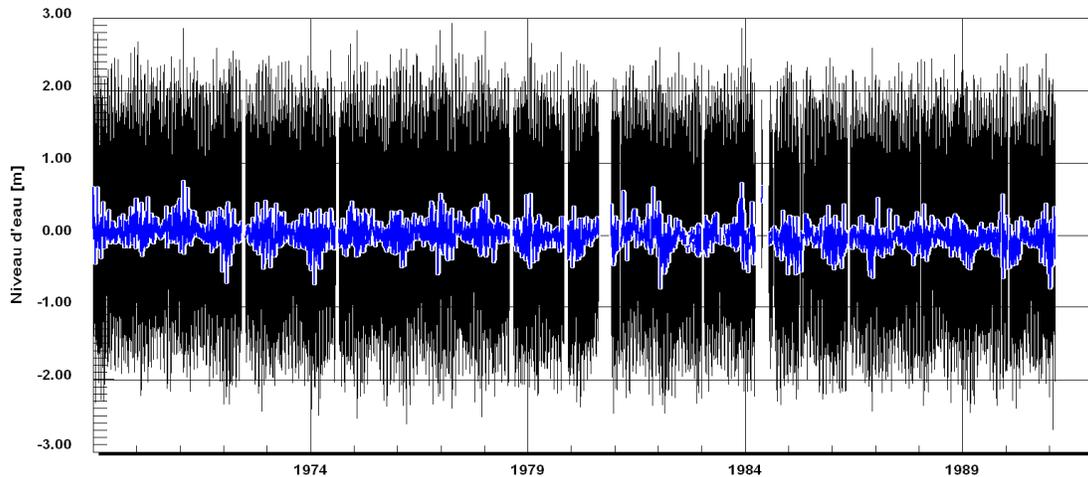


Figure 27 : Signal de marée (référence géodésique) mesuré à Baie-Comeau (1969-1991)

Le Tableau 1, d’une forme similaire au tableau 2 des tables de marées produites par le Service Hydrographique du Canada (SHC), présente les caractéristiques de la marée aux deux sites, obtenues par une analyse harmonique réalisée pour les deux séries temporelles. Les résultats de l’analyse du signal de Rimouski concordent avec les valeurs émises par le Service hydrographique du Canada, entité de Pêches et Océans Canada, dans le volume 3 de la « Table des marées et courants du Canada 2004 ».

Tableau 1 : Caractéristiques de la marée pour Baie-Comeau et Rimouski

| Site | Hauteur | | | | Extrêmes enregistrés | | Niveau moyen de l'eau | Marnage | |
|--------------------|-----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|-----------|-----------------------|---------------|--------------|
| | Pleine mer supérieure | | Basse mer inférieure | | Pleine mer | Basse mer | | Marée moyenne | Grande marée |
| | Marée moyenne | Grande marée | Marée moyenne | Grande marée | | | | | |
| | m | M | m | m | m | m | m | m | |
| Baie-Comeau | 1,5 | 2,3 | -1,3 | -1,8 | 2,93 | -2,69 | 0,0 | 2,9 | 4,2 |
| Rimouski | 1,6 | 2,5 | -1,4 | -2,0 | 3,5 | -3,2 | 0,0 | 3,1 | 4,4 |

L’analyse indique une marée d’amplitude légèrement supérieure pour Rimouski. Le niveau de la pleine mer supérieure grande marée (PMSGM) est de 2,3 m pour Baie-Comeau. C’est cette valeur qui est retenue pour établir la cote à laquelle doit être la plage sèche, notion qui sera décrite ultérieurement dans le chapitre traitant des alternatives de protection. Les niveaux affichés au Tableau 1 font abstraction des variations dues aux surcotes et aux décotes (à l’exception des extrêmes enregistrés). Ces variations sont traitées à la section suivante



5.3 Surcotes et décotes

La Figure 28 illustre la variation du niveau moyen enregistré à la station de Baie-Comeau pour toute la période d'enregistrement. Tel que mentionné à la section précédente, la courbe en bleu illustre la variation du niveau d'eau moyen associée au passage des perturbations atmosphériques et aux effets du vent (surcote due au vent ou « wind setup »). Ce signal est obtenu par l'application du filtre de Doodson $A_{24}A_{24}A_{25}$ qui permet d'éliminer pratiquement toute influence de la marée et d'isoler la contribution des perturbations atmosphériques (vent, pression). On peut ainsi établir les valeurs extrêmes des surcotes.

Pour Baie-Comeau, les valeurs extrêmes de surcotes atteignent occasionnellement une valeur de 0,7 m mais ne dépassent pas 0,8 m. Il faut mentionner que la durée d'une surcote importante est d'au moins un cycle de marée mais que cet événement ne se conjugue pas nécessairement avec les épisodes de grande marée. Pour obtenir une cote exceptionnellement élevée, il faut donc qu'il y ait simultanéité d'une pleine mer supérieure grande marée et du passage d'une dépression importante (Figure 29).

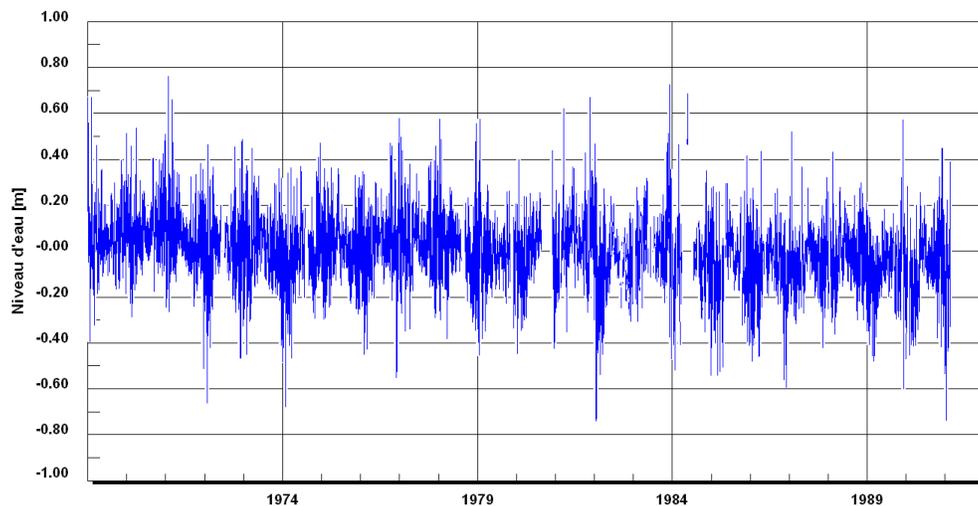


Figure 28 : Variation du niveau d'eau moyen à Baie-Comeau – Marée filtrée

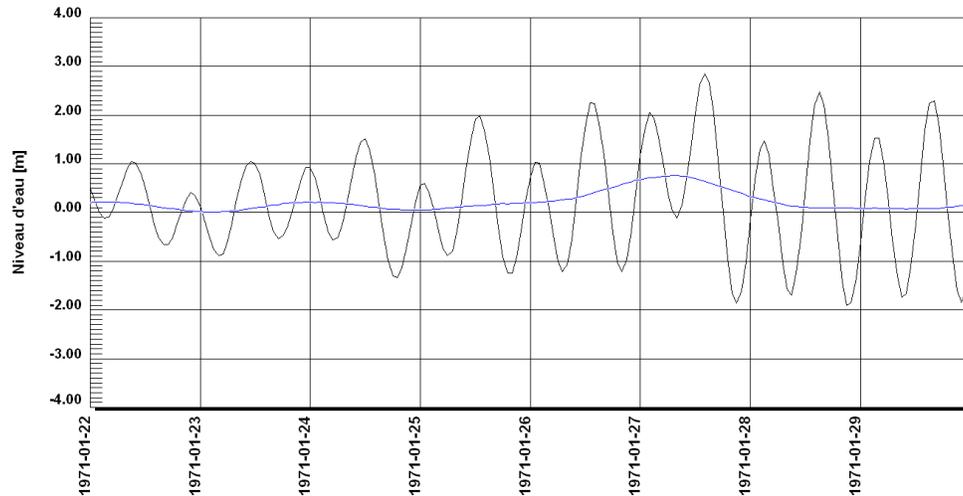


Figure 29 : Effets d'une surcote sur l'onde de marée (22-29 janvier 1971)

5.4 Analyse statistique des niveaux extrêmes

Afin d'évaluer la fréquence des épisodes extrêmes où se conjuguent les deux types d'effet, on peut procéder à l'analyse des valeurs extrêmes de niveau d'eau. D'emblée, établissons qu'une partie du signal de niveau d'eau est déterministe ou prévisible (signal de marée) et qu'une partie est aléatoire (surcotes et effets dus au vent et aux vagues), donc imprévisible à long terme. Les niveaux d'eau extrêmes sont une combinaison de ces deux parties et on peut considérer que les extrêmes annuels sont statistiquement indépendants entre eux et que l'influence de la partie aléatoire des surcotes est suffisante pour induire une répartition qui puisse être ajustée à une loi d'extrêmes. C'est en s'appuyant sur ces prémisses que de tels ajustements ont été réalisés avec les niveaux extrêmes annuels enregistrés à Baie-Comeau et Rimouski. L'ajustement est réalisé avec la méthode des moments et on recherche un alignement des points avec la droite d'ajustement. La Figure 30 présente le résultat obtenu avec un ajustement à la loi Log-Pearson III.

On obtient une relation permettant de prédire les niveaux extrêmes pour différentes périodes de retour. Pour les travaux à Pointe-aux-Outardes, on peut retenir une durée de vie utile de 50 ans et dimensionner avec les valeurs de période de retour correspondante. Le niveau d'eau qui serait atteint pour cette période de retour est d'environ 3,0 m. Ce niveau se compare bien avec le niveau de 2,3 m de la Pleine Mer Supérieure Grande Marée (Tableau 1) auquel on ajouterait une surcote de 0,7 m. Comme les surcotes importantes dépassent rarement 0,7 m (trois épisodes sur 21 ans en consultant la Figure 28), la probabilité qu'une telle surcote se produise en même temps qu'une marée haute extrême est nécessairement plus faible. L'Annexe D : Analyses du signal de marée, contient les ajustements réalisés avec quelques lois d'extrêmes et le Tableau 2 synthétise les résultats obtenus.

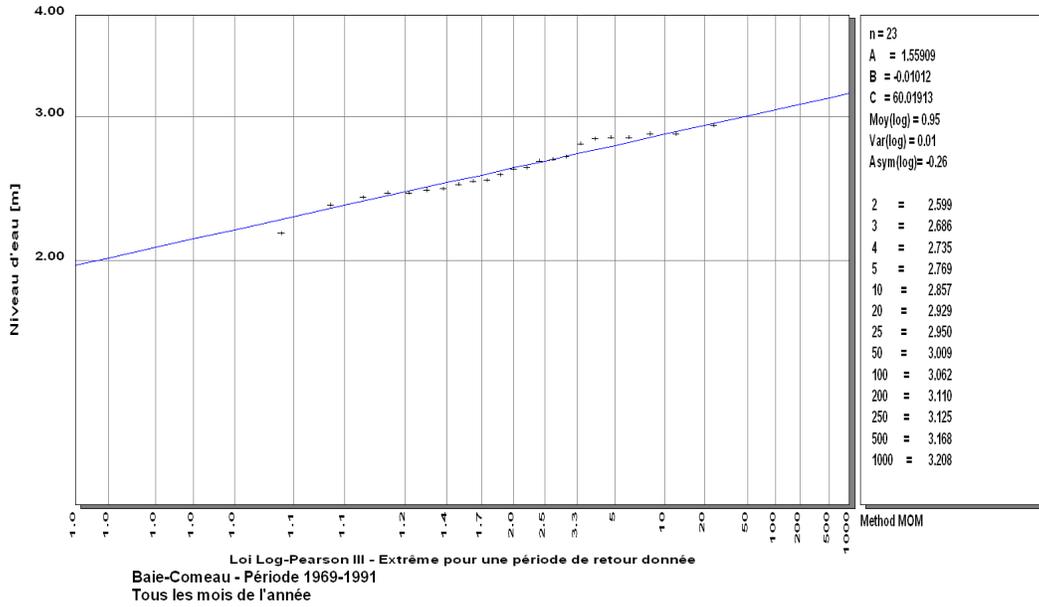


Figure 30 : Ajustement des niveaux extrêmes annuels à la loi Log-Pearson III

Tableau 2 : Niveaux d'eau extrêmes établis par ajustements à des lois statistiques d'extrêmes

| Récurrence | Site | Loi statistique | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|---------|
| | | Log-Pearson III | Log Normal-2 | Weibull |
| 2 ans | Baie-Comeau | 2,6 | 2,59 | 2,60 |
| | Rimouski | 2,71 | 2,71 | 2,72 |
| 5 ans | Baie-Comeau | 2,77 | 2,76 | 2,77 |
| | Rimouski | 2,83 | 2,83 | 2,84 |
| 10 ans | Baie-Comeau | 2,86 | 2,86 | 2,86 |
| | Rimouski | 2,90 | 2,90 | 2,90 |
| 20 ans | Baie-Comeau | 2,93 | 2,94 | 2,92 |
| | Rimouski | 2,95 | 2,95 | 2,95 |
| 25 ans | Baie-Comeau | 2,95 | 2,97 | 2,94 |
| | Rimouski | 2,97 | 2,97 | 3,01 |
| 50 ans | Baie-Comeau | 3,01 | 3,04 | 2,99 |
| | Rimouski | 3,01 | 3,02 | 3,01 |
| 100 ans | Baie-Comeau | 3,06 | 3,10 | 3,04 |
| | Rimouski | 3,06 | 3,06 | 3,04 |



5.4.1 Résumé - Paramètres de dimensionnement - Marée

Pour l'étude des solutions de protection, on retient une valeur de 2,3 m comme étant fréquemment atteinte par les hautes marées du mois, de 2,6 m comme pouvant être atteinte en moyenne une année sur deux, de 2,9 m une année sur 10 et finalement de 3,0 m pour une période de retour de 50 ans.

5.5 Le régime des vagues en eau profonde

Près des côtes, ce qu'on appelle le « *climat des vagues* » est fortement influencé par le relief bathymétrique lorsque les profondeurs sont faibles, une atténuation importante de la hauteur et de l'espacement des vagues se produisant. Or, l'amplitude, la période des vagues et même leur direction de propagation sont des paramètres importants servant à décrire l'importance des sollicitations hydrodynamiques ayant cours sur la plage et le pied de talus. Les conditions particulières de la péninsule Manicouagan, décrites à la section 5.1, font en sorte qu'il faut d'abord établir quel est le régime des vagues en eau profonde pour ensuite, avec l'aide d'un modèle de propagation, calculer la déformation des vagues en eau peu profonde.

5.5.1 Mesures du régime des vagues dans l'estuaire du Saint-Laurent

On recourt normalement aux mesures directes pour analyser le régime des vagues et, le cas échéant, valider les modèles. La localisation des mouillages des bouées qui servent à enregistrer les vagues est disponible sur le site du Service des Données sur le Milieu Marin d'Environnement Canada (SDMM), sont indiqués à la Figure 31. On constate qu'il n'existe pas de relevés de vagues en rive nord du Saint-Laurent dans la région de la péninsule Manicouagan, et que la plupart des mouillages sont localisés en rive sud de l'estuaire.

Pour des raisons que nous verrons par la suite, ces mouillages sont de peu d'utilité pour décrire le régime des vagues pour la rive nord. Notons toutefois le mouillage de Mont-Louis qui est le seul couvrant une période prolongée et qui s'avère intéressant pour cerner la distribution des vagues dans une zone caractérisée par de longs plans d'eau en direction sud-est et sud-ouest.

La caractérisation du régime des vagues qui modèlent les rives de la péninsule Manicouagan requiert d'obtenir d'abord le régime des vagues en eau profonde, tout juste au large des battures. Ces vagues se propagent ensuite vers les berges, subissant des transformations tout au long de leur parcours au-dessus de l'estran long de quelques kilomètres et caractérisé par de faibles profondeurs. Les deux prochaines figures illustrent la forme typique de la batture dans la zone d'intérêt. La profondeur n'est que de -1,8 m géodésique à 1,1 km de la rive pour la section présentée.

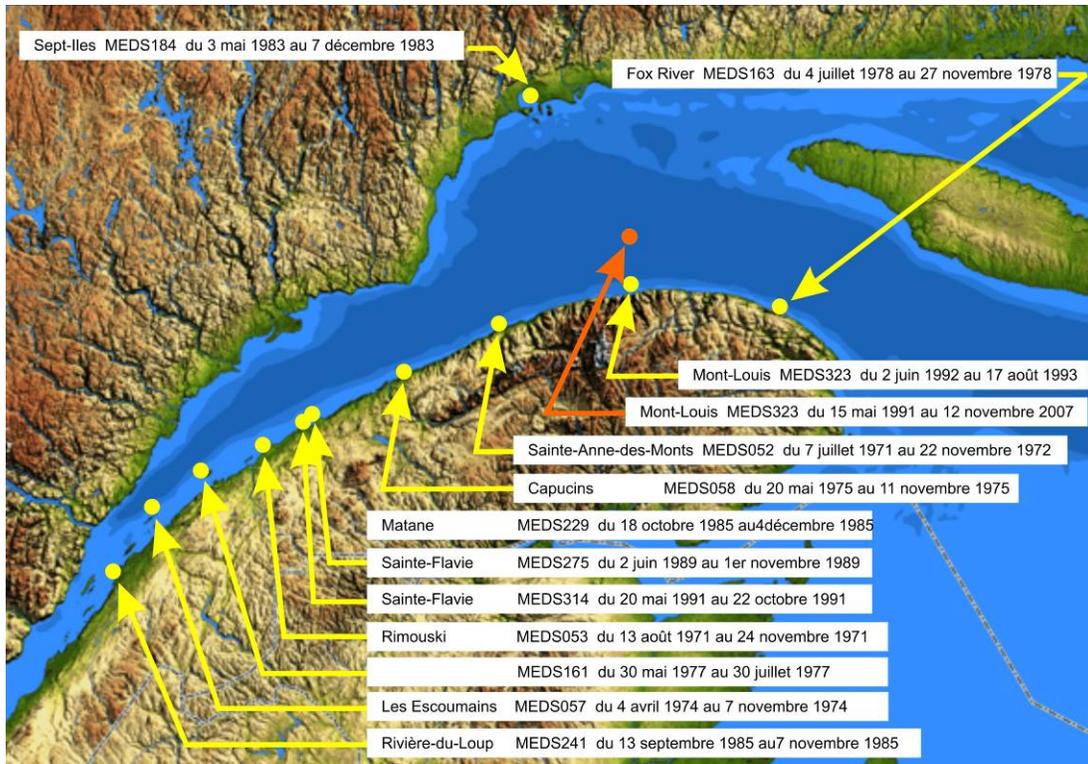


Figure 31 : Localisation des mouillages de bouées mesurant les vagues (SDMM)

La série de mesures doit être suffisamment longue pour qu'on puisse l'analyser statistiquement. Comme une telle série est inexistante, on se rabat sur une reconstitution du régime des vagues à partir de la série de vents horaires mesurés à l'aéroport de Pointe-Lebel et un modèle mathématique de génération des vagues à partir de mesures de vent.

5.5.2 Génération du régime des vagues à partir du vent

Le modèle de génération du régime de vagues est décrit dans Dupuis *et al* (1996) et a été développé et appliqué avec succès pour reconstituer les vagues mesurées sur les grands réservoirs du Complexe La Grande dans le moyen nord québécois. Une description sommaire de la théorie est présentée à l'Annexe E : Génération des vagues avec une série de vents horaires.

5.5.2.1 Données de vent

Les valeurs horaires d'intensité et de direction du vent, mesurées à l'aéroport de Pointe-Lebel, ont été obtenues d'Environnement Canada. La série débute en 1964 et se termine à la fin de 2006. Ces valeurs sont utilisées en intrant au modèle de génération. Le modèle requiert également d'établir la longueur effective du plan d'eau sur lequel le vent a pris pour générer la vague. Cette longueur effective dépend forcément de la direction du vent.

5.5.2.2 Calcul du fetch



La Figure 32 présente les radiales tracées à partir d'un point focal situé en eau profonde près de la péninsule de Manicouagan. La position retenue permet de maximiser les longueurs du fetch effectif (longueur effective soumise aux vents dominants), ce qui donnera un estimé conservateur des hauteurs de vagues en eau profonde, soit avant qu'elles subissent les transformations inhérentes à leur propagation en eau peu profonde.



Figure 32 : Radiales et fetch effectif en eau profonde au large de la Péninsule de Manicouagan

5.5.2.3 Niveaux d'eau

Les conditions d'attaque de la berge, et particulièrement du pied de talus, sont critiques à marée haute et durant les tempêtes. À marée basse, les vagues se brisent sur l'estran et n'ont donc aucun impact en rive. On a vu à la section 5.2, que les niveaux d'eau mesurés à Baie-Comeau ne couvrent que la période 1969-1991. On choisit plutôt les niveaux d'eau (similaires) mesurés à Rimouski pour obtenir une série de niveaux d'eau qui soit aussi longue que celle des vents mesurés à Pointe-Lebel. De plus cette station n'est pas influencée par les courants de rivière comme pourrait l'être celle de Baie-Comeau avec ceux de la rivière Manicouagan.

5.5.2.4 Régime des vagues

Le régime des vagues est donc généré pour la période 1964-2006 avec les données de vent horaire de Pointe-Lebel. Les résultats sont présentés à la Figure 33. On y voit que la hauteur de



vague significative n'a dépassé la valeur de 5 m que 3 fois durant toute la période. La Figure 34 présente les pourcentages de non-dépassement pour chacune des années de la série. La variabilité est forte pour les épisodes peu fréquents, ce qui est normal. La hauteur de vague qui est dépassée 1 % du temps est de l'ordre de 2 m.

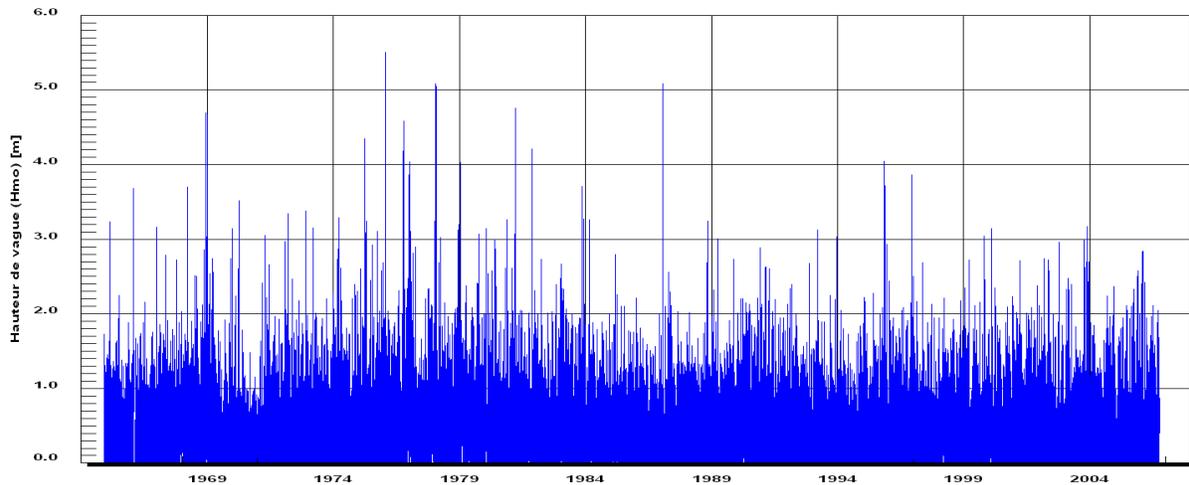


Figure 33 : Régime des vagues généré pour Pointe-aux-Outardes

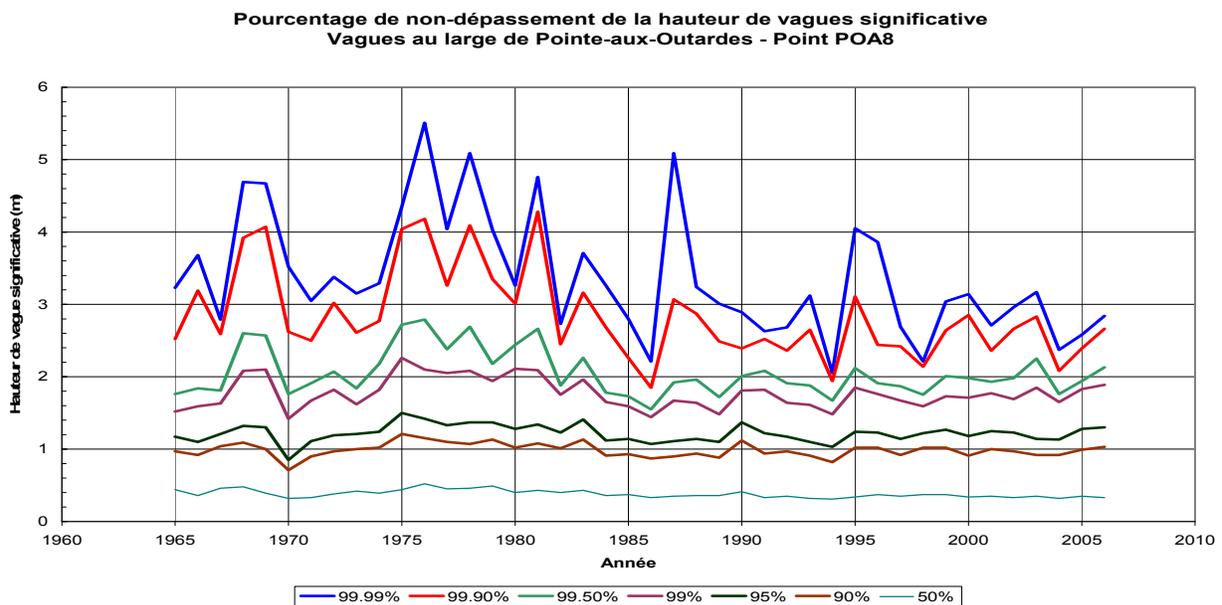


Figure 34 : Pourcentage de non-dépassement de la hauteur de vagues significative



Le Tableau 3 présente la distribution des hauteurs de vagues par tranches de hauteurs de vagues et de direction quelque soit le niveau d'eau alors que le Tableau 4 présente la distribution lorsque le niveau d'eau est supérieur à la cote +2,0 m géodésique. L'annexe G présente les distributions en fonction des autres tranches de niveau d'eau.

Tableau 3 : Distribution pour toutes les années – Tous les niveaux d'eau

| Hauteur de vagues (m) | Provenance (16 secteurs) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | % | Cumul |
|-----------------------|--------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 0.00 | 22695 | 2154 | 2586 | 2411 | 3101 | 1506 | 1429 | 1252 | 2721 | 2164 | 3263 | 4094 | 10695 | 11607 | 14091 | 8179 | 93948 | 25.70 | 25.70 |
| 0.20 | 4803 | 1867 | 4902 | 5780 | 7223 | 2153 | 1891 | 1646 | 4580 | 5288 | 6668 | 7486 | 16108 | 8835 | 10033 | 6646 | 95909 | 26.24 | 51.94 |
| 0.40 | 2472 | 1323 | 3502 | 6542 | 7567 | 1314 | 889 | 715 | 2847 | 5223 | 7499 | 7639 | 11967 | 3456 | 3937 | 2441 | 69333 | 18.97 | 70.90 |
| 0.60 | 1116 | 947 | 2830 | 5604 | 5559 | 765 | 438 | 377 | 1601 | 3388 | 6707 | 4954 | 5989 | 1172 | 1518 | 724 | 43689 | 11.95 | 82.85 |
| 0.80 | 404 | 552 | 2185 | 4124 | 3780 | 442 | 171 | 100 | 857 | 2216 | 5323 | 2640 | 2572 | 348 | 440 | 183 | 26337 | 7.20 | 90.06 |
| 1.00 | 149 | 355 | 1813 | 3284 | 2408 | 244 | 57 | 30 | 518 | 1423 | 3579 | 1205 | 937 | 90 | 119 | 69 | 16280 | 4.45 | 94.51 |
| 1.20 | 55 | 190 | 1214 | 1667 | 1127 | 115 | 15 | 13 | 290 | 884 | 2283 | 626 | 406 | 15 | 23 | 15 | 8938 | 2.44 | 96.96 |
| 1.40 | 9 | 124 | 727 | 792 | 430 | 42 | 8 | 8 | 131 | 541 | 1509 | 277 | 133 | 7 | 5 | 4 | 4747 | 1.30 | 98.25 |
| 1.60 | 1 | 77 | 458 | 457 | 219 | 11 | 3 | 2 | 72 | 317 | 938 | 156 | 62 | 3 | 1 | 2 | 2779 | 0.76 | 99.01 |
| 1.80 | 2 | 34 | 342 | 222 | 100 | 4 | 2 | 0 | 25 | 229 | 463 | 66 | 21 | 0 | 1 | 0 | 1511 | 0.41 | 99.43 |
| 2.00 | 2 | 12 | 174 | 139 | 44 | 1 | 0 | 0 | 4 | 102 | 241 | 24 | 10 | 0 | 0 | 0 | 753 | 0.21 | 99.63 |
| 2.20 | 0 | 9 | 100 | 107 | 21 | 0 | 0 | 0 | 8 | 39 | 111 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 406 | 0.11 | 99.74 |
| 2.40 | 0 | 6 | 82 | 82 | 10 | 1 | 0 | 0 | 2 | 28 | 52 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 269 | 0.07 | 99.82 |
| 2.60 | 0 | 0 | 72 | 64 | 13 | 0 | 0 | 0 | 2 | 17 | 21 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 194 | 0.05 | 99.87 |
| 2.80 | 0 | 2 | 48 | 52 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 139 | 0.04 | 99.91 |
| 3.00 | 0 | 3 | 43 | 48 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 121 | 0.03 | 99.94 |
| 3.20 | 0 | 1 | 15 | 31 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 | 0.01 | 99.96 |
| 3.40 | 0 | 0 | 7 | 14 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 0.01 | 99.96 |
| 3.60 | 0 | 0 | 6 | 19 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0.01 | 99.97 |
| 3.80 | 0 | 0 | 7 | 19 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | 0.01 | 99.98 |
| 4.00 | 0 | 0 | 6 | 15 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 0.01 | 99.99 |
| 4.20 | 0 | 0 | 12 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0.01 | 99.99 |
| 4.40 | 0 | 0 | 1 | 7 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0.00 | 99.99 |
| 4.60 | 0 | 0 | 5 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0.00 | 100.00 |
| 4.80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.00 | 100.00 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.00 | 100.00 |
| 5.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 5.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 5.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| Total | 31708 | 7656 | 21137 | 31497 | 31634 | 6598 | 4903 | 4143 | 13658 | 21888 | 38690 | 29189 | 48900 | 25533 | 30168 | 18263 | 365565 | | |
| Total (%) | 8.67 | 2.09 | 5.78 | 8.62 | 8.65 | 1.80 | 1.34 | 1.13 | 3.74 | 5.99 | 10.58 | 7.98 | 13.38 | 6.98 | 8.25 | 5.00 | 365565 | | |



Tableau 4 Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre 2 et 3 m

| Hauteur de vagues (m) | Provenance (16 secteurs) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | % Cumul | |
|-----------------------|--------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 0.00 | 405 | 39 | 41 | 34 | 29 | 12 | 15 | 9 | 30 | 26 | 59 | 69 | 127 | 149 | 216 | 103 | 1363 | 27.40 | 27.40 |
| 0.20 | 41 | 28 | 79 | 94 | 63 | 20 | 18 | 19 | 51 | 67 | 112 | 91 | 147 | 100 | 163 | 84 | 1177 | 23.66 | 51.06 |
| 0.40 | 48 | 16 | 39 | 88 | 72 | 16 | 13 | 10 | 18 | 32 | 98 | 82 | 142 | 44 | 61 | 33 | 812 | 16.32 | 67.38 |
| 0.60 | 28 | 9 | 51 | 82 | 86 | 12 | 5 | 2 | 20 | 41 | 91 | 52 | 82 | 20 | 19 | 9 | 609 | 12.24 | 79.62 |
| 0.80 | 9 | 5 | 33 | 70 | 44 | 7 | 1 | 1 | 2 | 26 | 75 | 38 | 32 | 12 | 7 | 2 | 364 | 7.32 | 86.93 |
| 1.00 | 10 | 8 | 36 | 48 | 33 | 7 | 1 | 1 | 5 | 9 | 28 | 15 | 19 | 2 | 1 | 1 | 224 | 4.50 | 91.44 |
| 1.20 | 4 | 8 | 23 | 34 | 16 | 0 | 0 | 1 | 7 | 25 | 22 | 20 | 10 | 0 | 0 | 0 | 170 | 3.42 | 94.85 |
| 1.40 | 1 | 5 | 15 | 16 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 22 | 14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 97 | 1.95 | 96.80 |
| 1.60 | 0 | 1 | 15 | 14 | 6 | 0 | 0 | 0 | 2 | 7 | 8 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1.21 | 98.01 |
| 1.80 | 0 | 0 | 13 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 7 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 37 | 0.74 | 98.75 |
| 2.00 | 0 | 0 | 3 | 10 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 0.42 | 99.18 |
| 2.20 | 0 | 1 | 2 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0.36 | 99.54 |
| 2.40 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0.14 | 99.68 |
| 2.60 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.10 | 99.78 |
| 2.80 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.10 | 99.88 |
| 3.00 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.04 | 99.92 |
| 3.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 99.92 |
| 3.40 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.04 | 99.96 |
| 3.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 99.96 |
| 3.80 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.02 | 99.98 |
| 4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 99.98 |
| 4.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.02 | 100.00 |
| 4.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| Total | 546 | 120 | 356 | 515 | 377 | 74 | 53 | 43 | 137 | 245 | 528 | 389 | 566 | 327 | 467 | 232 | 4975 | | |
| Total (%) | 10.97 | 2.41 | 7.16 | 10.35 | 7.58 | 1.49 | 1.07 | 0.86 | 2.75 | 4.92 | 10.61 | 7.82 | 11.38 | 6.57 | 9.39 | 4.66 | 4975 | | |



5.5.2.5 Épisode de fortes vagues en eau profonde

La Figure 35 présente la combinaison d'un épisode de fortes vagues (11 janvier 1977) avec le niveau d'eau correspondant. En suivant le trait jaune, on observe que lorsque la hauteur de vague significative dépassait la valeur de 3,5 m le niveau d'eau était inférieur ou égal à 1,6 m. Lorsque la hauteur de vague était de 4 m, le niveau d'eau était à la cote -1 m. De même, lorsque le niveau d'eau était à son maximum de 2 m (trait vert), la hauteur de vague était à un maximum de 3,4 m. En termes de dommage potentiels en rive, c'est la combinaison de 3,4 m de vagues avec niveau d'eau à 2 m qui donne les pires conditions. On doit également observer que pour ces conditions, la hauteur de vague chute rapidement, ce qui signifie que l'attaque par ces vagues n'a duré qu'un court moment du cycle de marée. La durée joue donc sur le degré de dommages produit par l'événement. Enfin, il faut également considérer la provenance des vagues. Dans le cas de vagues générées par le vent (phénomène le plus fréquent dans les mers intérieures), la direction des vagues est sensiblement la même que celle du vent. On constate que pour l'exemple choisi, le vent provient de l'ENE (azimut 70°). Ces vagues ne sont pas trop problématiques pour Pointe-aux-Outardes car elles doivent parcourir une grande distance sur l'estran et perdent ainsi leur énergie. Pour celles provenant du sud, la distance parcourue sur l'estran sera à son minimum ce qui en maximise la force une fois rendues à la rive.

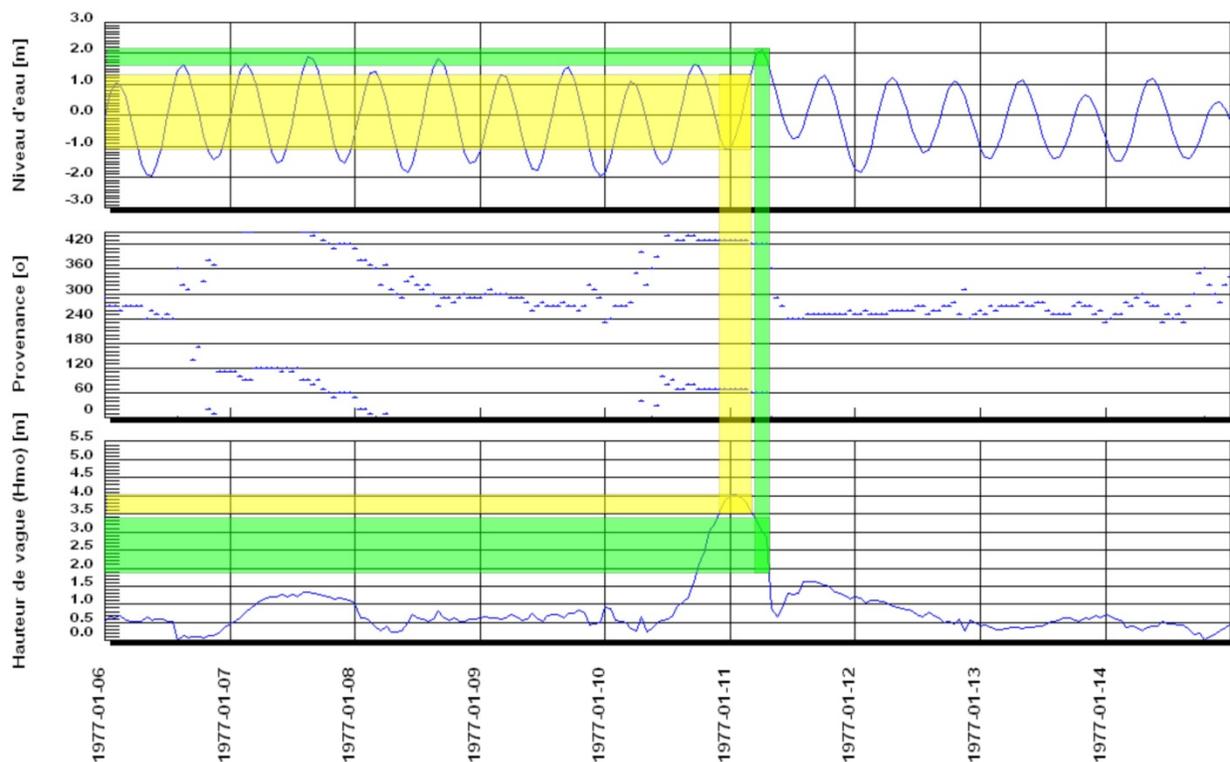


Figure 35 : Épisode de fortes vagues et niveau d'eau (11 janvier 1977)

Cependant, comme que la vague déferle lorsque sa hauteur atteint environ 80% de la profondeur d'eau et que la cote du fond de l'estran est *grosso modo* à -1,5 m, un niveau d'eau à la cote 2 m induit une profondeur totale de 3,5 m et donc une hauteur de vague au déferlement de $0,8 \times 3,5$ m soit 2,8 m. En pratique, puisque ces vagues doivent parcourir un trajet de plus d'un kilomètre sur



l'estran, le frottement avec le fond doit également contribuer à affaiblir la vague. Sur l'estran, la vague subit des transformations car elle se propage en milieu de profondeur intermédiaire ou faible. Cet aspect est abordé à la section suivante.

5.6 Régime des vagues en eau peu profonde

Les vagues en eau profonde subissent des transformations (amortissement) lorsqu'elles se propagent en milieu de faible profondeur. Des mesures ont été réalisées en 2001 sur l'estran de la Péninsule de Manicouagan par Karakiewicz *et al.* (2001; Rapport ISMER et Comité ZIP de la rive nord de l'estuaire). Les mesures sont comparées à celles prédites en zone profonde pour évaluer l'importance de l'amortissement.

5.6.1 Mesures réalisées sur la batture

La Figure 36 présente le capteur de pression installé en 2001 par l'ISMER et le comité ZIP de l'estuaire de rive nord. Il s'agit d'une jauge de mesure de pression de modèle « DOBIE », fabriquée par la compagnie NIWA. La jauge a été placée à 230 m de la cote, en face des ouvrages SESM (voir Karakiewicz *et al.*, 2001) à la coordonnée MTM : Easting : 236 741 Northing : 5 434 867 et à la cote - ,705 m.



Figure 36 : Capteur de pression installé à l'été 2001 sur l'estran de la péninsule de Manicouagan
Tiré de Karakiewicz *et al.*, 2001

La jauge était à 0,48 m au-dessus du niveau de la batture. La cote de la batture est donc évaluée à -1,185 m. Ce calcul est corroboré par les valeurs moyennes de colonne d'eau relevées par le capteur et illustrées à la Figure 37 (environ 3,4 m de colonne d'eau le 17 octobre –vs- une cote de 2,5 m pour la marée).

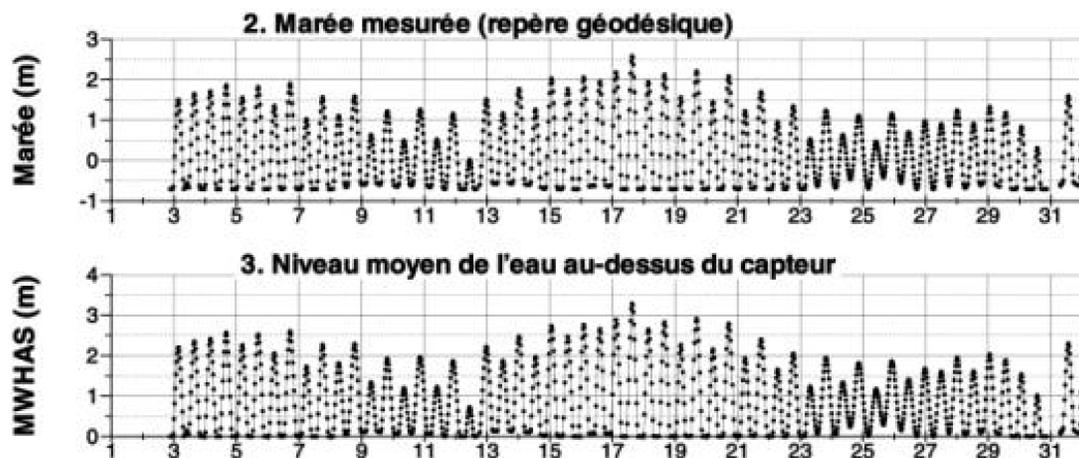


Figure 37 : Marée mesurée et hauteur d'eau au-dessus du capteur de pression
Tiré de Karakiewicz *et al.*, 2001



5.6.1.1 Vagues mesurées

Dans la figure précédente, on détecte trois événements significatifs (Figure 38), deux dont la vague possède une hauteur significative d'environ 0,8 m et un événement pour lequel la valeur atteint 1,0 m. Par inspection de la Figure 36, seules les périodes durant lesquelles l'appareil est submergé de façon appréciable pourront produire des valeurs de hauteurs de vagues significatives d'importance.



Figure 38 : Hauteur de vague significative enregistrée en octobre 2001
Tiré de Karakiewicz, Romanczyk et Roy, 2001

5.6.2 Comparaison avec les vagues générées en eau profonde

Les hauteurs de vagues enregistrées par l'ISMER sont comparées avec les niveaux d'eau du fleuve mesurés à Rimouski et la série temporelle de hauteurs de vagues significatives générées en eau profonde. Les points de mesures de la Figure 38 ont été intégrés à la Figure 39 sous forme de carrés rouges. On constate la quasi-coïncidence des points mesurés avec l'étale de marée haute. Ceci est logique, compte tenu que l'instrument est surélevé par rapport au fond et qu'il est à découvert à marée basse. D'ailleurs le moment le plus propice pour la lecture est effectivement à l'étale de marée haute, moment durant lequel la hauteur de colonne d'eau au dessus du senseur est à son maximum.

5.6.2.1 Hauteur de vague significative maximale

L'élévation de la batture, au site de mesure est de -1,185 m. La colonne d'eau, lorsque la marée atteint la cote 1,0 m est de 2,18 m. La hauteur maximale de la vague pouvant être mesurée en absence de déferlement est de l'ordre de 0,78 fois la profondeur d'eau, soit 1,7 m. Cette valeur augmente à 2,5 m lorsque le niveau d'eau atteint la cote 2,0 m. La surélévation du capteur de 0,48 m donne des colonnes d'eau respectives de 1,7 m et 2,7 au-dessus du senseur. Le capteur peut donc capter le signal de chacune des vagues sans le tronquer en autant que la hauteur de vague ne dépasse pas ces valeurs de colonne d'eau.

5.6.2.2 Épisodes significatifs

Certains épisodes sont étudiés dans le but de dégager certains enseignements de base quant à l'importance de l'amortissement des vagues sur l'estran (voir la Figure 39).



Épisode du 17 octobre 2001 : La vague vient du secteur ENE et doit parcourir une distance importante sur l'estran. La hauteur de vague mesurée vaut environ 50% de la hauteur de vague calculée en eau profonde.

Premier épisode du 18 octobre 2001 : La vague provient du secteur OSO. Bien que la valeur calculée en eau profonde soit inférieure à celle du 17 octobre, la hauteur de vagues mesurées est supérieure et atteint 1,0 m. La hauteur de vague au site de mesures vaut environ 66% de la hauteur calculée en eau profonde.

Second épisode du 18 octobre 2001 : La vague provient de l'ouest. La hauteur de vague mesurée diminue rapidement par rapport à la vague mesurée 12 heures plus tôt. Cette chute s'explique probablement par l'effet d'écran de la rive nord du fleuve à l'ouest de la Péninsule de Manicouagan (Figure 14 : Carte marine de la région de la péninsule de Manicouagan, page 38) et une réfraction importante du train de vagues qui provoque une dissipation d'énergie.

Épisodes du 22 au 27 octobre 2001 inclus : Tous les épisodes de vagues sont enregistrés alors que le niveau d'eau ne dépasse pas la cote 1,0 m. Les vagues mesurées par le capteur sont faibles. Notons que les 23 et 24 octobre, la provenance d'un azimut de 60 degrés n'a occasionné que de faibles vagues sur la batture.

Épisode du 26 octobre 2001 : Pour cet épisode, le niveau d'eau était de 0,8 m, donnant une profondeur d'eau variant entre 1,9 et 2,4 m sur l'estran. Les vents provenaient du secteur 240 (OSO) et la hauteur de vague significative mesurée ne valait que 0,5 m alors que la valeur calculée en eau profonde valait 0,7 m.

Épisode du 29 octobre 2001 : Pour cet épisode, les vents proviennent du secteur 240 (OSO), la hauteur de vague significative mesurée est de l'ordre de 0,7 m et la valeur calculée en eau profonde est 1,6 m.

Discussion : Seul l'événement du 17 octobre a produit des hauteurs de vague significative relativement élevées lorsque les vents provenaient du nord-est. Le niveau d'eau était cependant de plus de 2 m. Lorsque le niveau était plutôt de 1,0 m les hauteurs de vagues sont faibles pour cette provenance. Pour les vents provenant du sud-ouest, les hauteurs de vagues mesurées varient entre 40 et 70 % des valeurs générées en eau profonde. Un modèle permettant la propagation des vagues sur l'estran est requis pour confirmer l'importance cet amortissement.

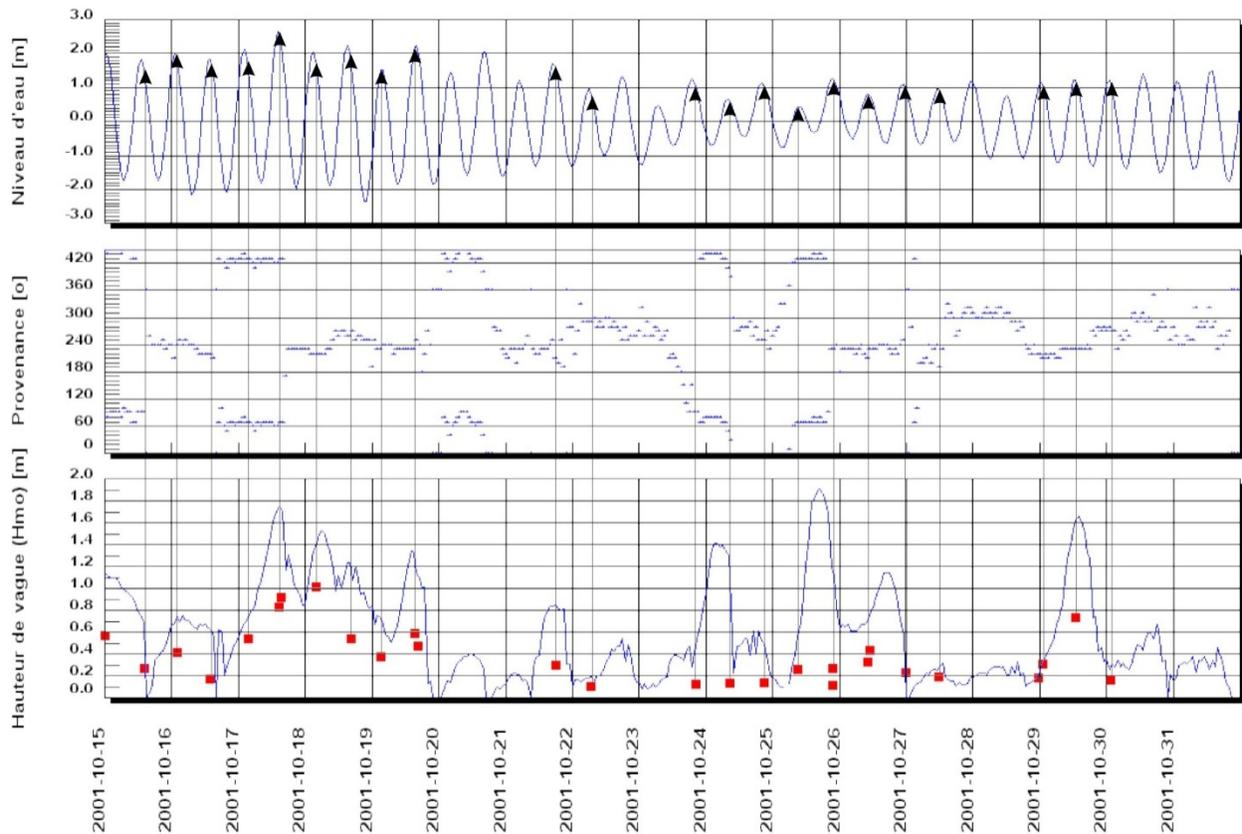


Figure 39 : Comparaison des hauteurs de vagues générées en eau profonde et mesurées sur l'éstran en octobre 2001.

5.7 Propagation des vagues vers la rive (modèle bi-dimensionnel)

Le modèle REF-DIF1 (Kirby *et al.*, Université du Delaware, USA) est utilisé pour évaluer la transformation des vagues sur l'éstran. Il s'agit d'un modèle bidimensionnel de propagation des vagues qui tient compte de la réfraction et de la diffraction des vagues, comme son nom l'indique. Il est l'un des modèles présentés et proposés dans le *Coastal Engineering Manual*. Les calculs sont réalisés pour les conditions extrêmes afin d'établir les hauteurs de vagues extrêmes qui pourraient sévir près de la rive.

5.7.1 Résultats à niveau d'eau extrême haut

Nous retenons un niveau de la mer à la cote 3,0 m, niveau rarement atteint à Pointe-aux-Outardes. On impose une hauteur de vague de 5 m en eau profonde et un angle d'attaque de 0 degré, soit un train de vagues qui vient du sud afin de minimiser la longueur de parcours sur l'éstran. On considère une cambrure de 0,06 qui survient lorsque la mer est complètement levée. On obtient une longueur d'onde de 83 m en eau profonde. La période de la vague peut alors être établie à 7,3 s. La Figure 40 présente la propagation du train de vagues sur l'éstran. La Figure 41 présente la hauteur de vagues correspondante. On constate une diminution initiale importante de la hauteur



de vague à la limite sud de la batture. Près de la rive, la hauteur de vague peut atteindre 2,2 m soit 44% de sa valeur en eau profonde. Cette valeur est de l'ordre de grandeur de celui observé pour les vagues mesurées en eau peu profonde (Section 5.6).

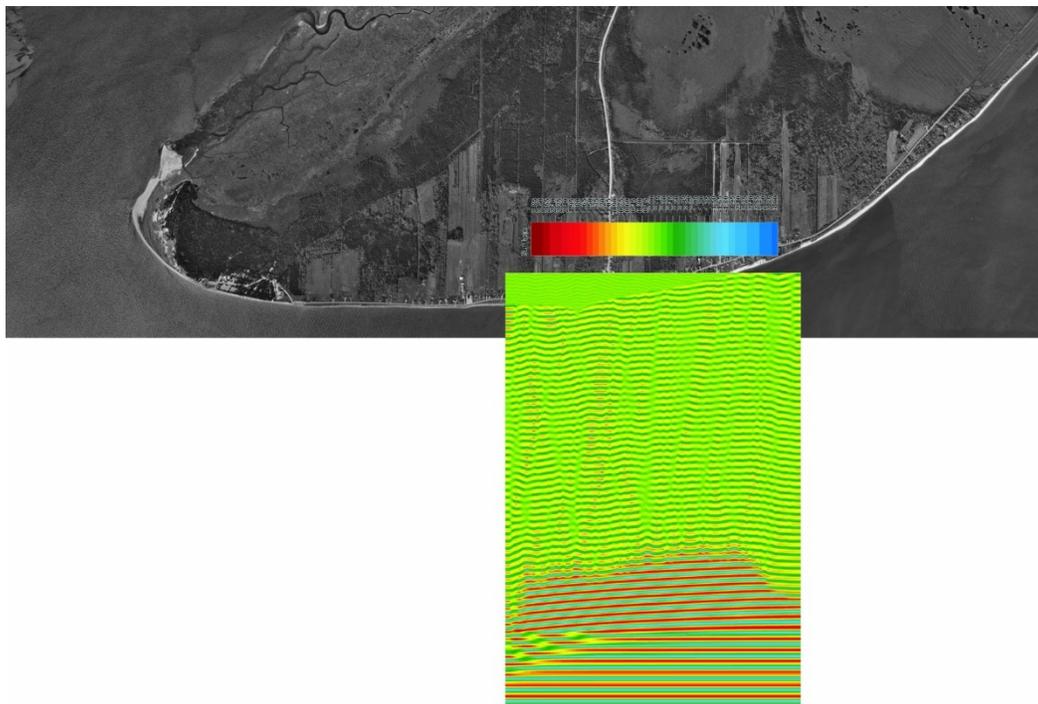


Figure 40 : Train de vagues de 5 m en eau profonde provenant du sud

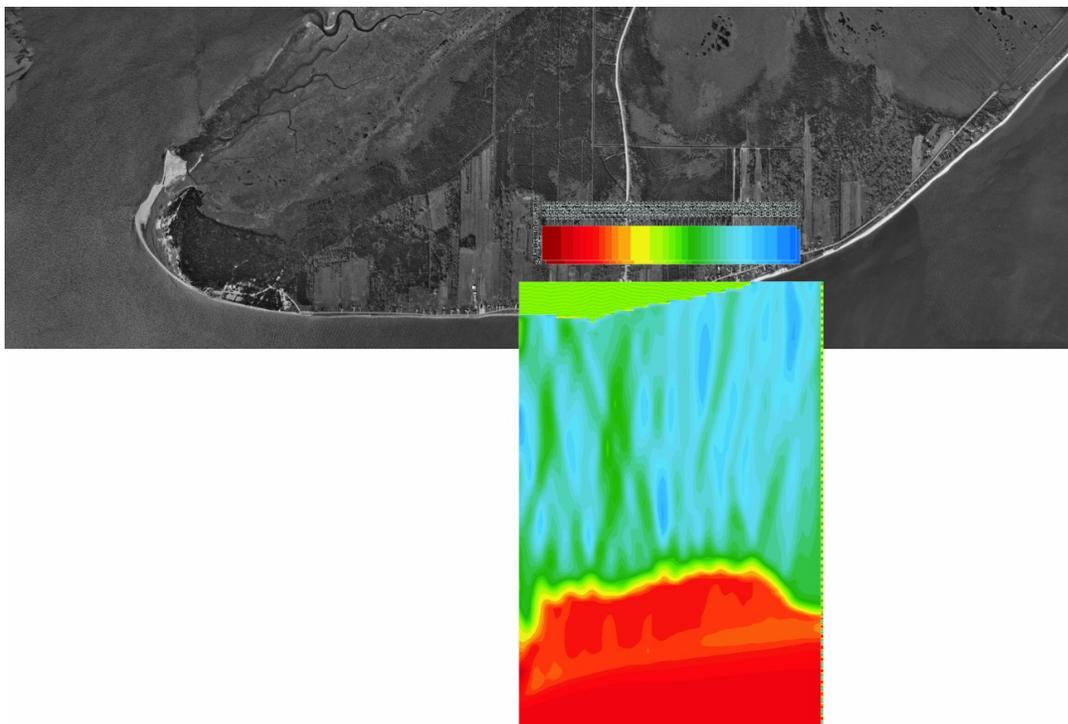


Figure 41 : Hauteur de vagues correspondant à la Figure 40



5.7.2 Hauteurs de vagues retenues pour le dimensionnement d'ouvrages

Les résultats obtenus à la section précédente permettent de retenir une valeur de hauteur de vague significative de 2,2 m pour le dimensionnement d'ouvrages. Advenant la construction d'épis, le musoir devrait être dimensionné pour une vague de 2,5 m.

5.8 Circulation hydrodynamique

À notre connaissance, il n'existe pas d'étude portant sur la circulation hydrodynamique de péninsule de Manicouagan. Une telle étude déborde du mandat actuel mais pourrait fournir un apport de données fort utile pour compléter une étude de dimensionnement d'ouvrages de stabilisation de berges. Cependant, l'inspection de la Figure 42, (fond de carte tiré de Google Earth), permet déjà de déduire l'orientation des courants de vidange de l'estran en phase de jusant (baissant).



Figure 42 : Courants de vidange de la batture (jusant) inférés par interprétation de l'orientation des dépressions – Image originale tirée de Google Earth

5.8.1 Courants au flot

Au flot, (à marée montante), l'onde de marée remonte le Chenal Laurentien (profondeur de plus de 200 m et plus) à grande vitesse, typiquement 50 m/s. En effet, il s'agit d'une onde longue, et sa célérité est proportionnelle à la racine carrée de la profondeur d'eau :

$$C = \sqrt{gh}$$

Avec,

C la célérité de l'onde en m/s,



g l'accélération gravitationnelle ($9,8 \text{ m/s}^2$),
 h la profondeur d'eau.

Pratiquement, il y a formation d'une lame d'eau au large de l'estran qui l'envahit rapidement.

5.8.2 Courants au baissant (jusant)

Au jusant (marée baissante), le niveau baisse rapidement à la limite extérieure de l'estran, laissant une masse d'eau sur la batture. Cette masse cherche à l'évacuer préférentiellement *via* les chenaux visibles sur l'image satellite de la Figure 42. La Figure 43 illustre bien les chenaux visibles près d'un épi en enrochement à Pointe-aux-Outardes.



Figure 43 : Chenaux de vidange visibles à niveau bas et limite de la plage sèche

La Figure 44 indique la présence d'une flèche littorale. La masse d'eau située entre la rive et la flèche doit forcément suivre un parcours parallèle à la rive durant la vidange. Ces notions permettent d'inférer la direction préférentielle de l'écoulement au jusant. Ces directions ont été portées l'image de la Figure 42.



Figure 44 : Présence d'une flèche littorale visible au large

Sur la Figure 42, la présence de chenaux servant à vidanger la batture près du parc Nature est évidente. Ils sont orientés du nord-ouest vers le sud-est et drainent une partie de la zone située dans l'estuaire de la rivière aux Outardes. Ceci est corroboré par l'élévation accrue de la zone ouest observable par inspection de la Figure 15. Tout juste à l'ouest de l'ancien quai, les chenaux sont larges et peu profonds mais d'orientation nord-est vers sud-est. Entre ces deux régions, il y a une réorientation graduelle des chenaux. La zone de direction nord-sud est située environ 1 km à l'ouest du quai.

Des chenaux d'importance sont visibles environ 1 km à l'est du quai et d'orientation nord-est vers sud-ouest.

L'idéal serait de pouvoir représenter la circulation de cette région en prenant en considération l'effet de la rivière aux Outardes et les cycles de marées. Advenant la réalisation d'une recharge de la plage et la construction d'épis, il serait judicieux de procéder à une telle étude. On pourrait alors mieux cerner l'influence houle-courants se produisant notamment près de l'estuaire de la rivière aux Outardes.

5.9 En résumé

L'analyse du cas de Pointe-aux-Outardes détaillée dans les annexes fournies permet ainsi de formuler les constats suivants :

1. Le marnage (différence entre la haute et la basse mer) d'une marée moyenne à Baie-Comeau est de 2,9 m et il est de 4,2 m pour les grandes marées. Un tel marnage tend à disqualifier certaines méthodes de protection des côtes comme les brise-lames d'avant-côte (*offshore*) qui, d'après l'expérience, ne sont valables que pour des marnages inférieurs au mètre.



2. Les niveaux haut et bas atteints par la marée sont respectivement de +1,5 m et -1,3 m pour la marée moyenne et de +2,3 m et -1,8 m pour une grande marée.
3. L'analyse des surcotes de tempête indique une surélévation du plan d'eau pouvant atteindre 0,7 m. Ajoutée à la cote de +2,3 m associée aux grandes marées, ceci signifie que le niveau d'eau peut atteindre la cote 3 m en conditions extrêmes. Toute protection comprenant de l'enrochement (y compris les épis conventionnels) doit être réalisée en considérant cette cote de 3,0 m. La probabilité qu'il y ait simultanéité de ces deux événements est toutefois faible.
4. D'après l'analyse statistique des extrêmes annuels de niveau d'eau, la période de retour associée à un tel événement serait de 50 ans. Comme les statistiques sont réalisées sur un ensemble de données présentant une composante déterministe, les résultats de ces analyses doivent être considérés comme indicatifs.
5. La largeur de plage (sèche + mouillée) située entre le pied du talus et la cote géodésique 0 varie entre 20 et 50 m. Il apparaît souhaitable que cette largeur soit d'au moins 30 m (par inspection des conditions d'engrèvement de plage créées localement par la présence du quai).
6. La largeur des micro-terrasses qui subsistent aujourd'hui varie entre 5 et 15 m. Pour une recharge de plage éventuelle, une valeur minimale de 15 m devrait donc être considérée.
7. L'ensemble de données disponibles d'enregistrements de vagues dans l'estuaire du Saint-Laurent est extraordinairement pauvre et il faut se rabattre sur un modèle de transformation du vent en vagues pour obtenir une série de données de vagues horaires qui permettent l'utilisation subséquente de formules d'analyse et de dimensionnement.
8. Le régime des vagues généré en eau profonde, au large de l'estran de Pointe-aux-Outardes et en un point qui maximise les hauteurs de vagues provenant du sud-ouest et de l'est, indique que l'intensité de la vague (Hauteur de vague significative) pour un non-dépassement de 99,9% (12 heures par an pour le dimensionnement) varie entre 3 et 4 m. La vague la plus forte était de 5,4 m. Compte tenu qu'il s'agit de vagues générées pour le lieu, ces valeurs sont représentatives des conditions locales.
9. L'analyse des mesures réalisées par l'ISMER en 2001 sur l'estran tend à démontrer que l'atténuation des vagues générées au large en eau profonde est très significative avant d'atteindre le site du capteur (35 à 60%) situé à 230 m de la rive. La vague de dimensionnement, pour le calcul d'enrochements (pour les épis conventionnels, par exemple) doit donc être évaluée en considérant cet aspect.
10. L'utilisation du modèle REFDIF-1 permet de confirmer une atténuation significative de la vague produite en eau profonde dans sa progression sur l'estran. Pour une hauteur de vague de 5 m en eau profonde, la hauteur de vague en rive serait de l'ordre de 2,2 m à niveau de marée haut extrême (3 m).
11. Au plan hydrodynamique, l'interprétation de l'image satellite et l'analyse des données LIDAR permettent de déduire qu'au baissant la vidange de la marée est orientée NO-SE près de l'estuaire de la rivière aux Outardes et que cette zone est surélevée par rapport à l'estran situé plus à l'est. La vidange est orientée NE-SO tout juste à l'ouest du quai. Il y a variation graduelle de l'orientation des chenaux de vidange entre ces deux points. L'orientation N-S, approximativement normale à la côte, se situe environ 1 km à l'ouest du quai.



12. Idéalement, un modèle hydrodynamique devrait être utilisé pour mieux décrire le patron d'écoulement durant certaines phases du cycle de la marée et pour différentes valeurs de débit de la rivière aux Outardes.
13. L'identification visuelle de la zone active pour le transport des sédiments, basée sur la recherche d'une différence observable dans la bathymétrie de l'estran, a donné une distance de l'ordre de 130 m à partir du pied de talus pour la zone située à l'est du quai. Cet ordre de grandeur de la zone active semble corroboré par des calculs théoriques qui font l'objet de l'annexe H.
14. L'influence du quai municipal sur la topographie locale s'avère très instructive, en indiquant que le transit sédimentaire dominant procède d'est en ouest. Il nous enseigne également sur la largeur de plage (distance entre le pied de talus et la cote 0.0 m) qui serait souhaitable. Finalement, la zone d'engraissement s'établit sur deux fois sa longueur effective (longueur calculée à partir de la largeur de plage souhaitable). Dans le cas de Pointe-aux-Outardes, on considère souhaitable que les épis soient distants de 3 fois leur longueur. Cette séparation s'inscrit à l'intérieur des limites théoriques qui sont entre 2 et 4 fois la longueur de l'épi.

Les stratégies de protection envisagées s'appuient sur la littérature récente en matière de génie maritime. Les références principales sont le « *Coastal Engineering Manual* » du *U.S Army Corps of Engineers* et le « *Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering* » publié par le *Construction Industry Research and Information Association (CIRIA)* et le *Centre for Civil Engineering Research and Codes (CUR)*. À ces volumineux ouvrages se greffent des rapports spécialisés comme le « Guide du dimensionnement du riprap produit par la Société d'Énergie de la Baie James » qui abordent des types particuliers de protection. La plupart des traitements numériques relatifs au dimensionnement sont détaillés dans les différentes annexes et ne sont pas nécessairement rapportés dans ce chapitre. Nous en faisons état ici.

La détermination des conditions maritimes à Pointe-aux-Outardes (voir les constats ci-haut) a permis d'identifier les solutions qui s'avèrent les plus intéressantes. Nous constatons :

1. Que le quai municipal répond aux sollicitations à la façon d'un épi en captant le sable et en réorientant la plage pour répondre aux forces de la mer et que cet ouvrage s'avère un prototype à l'échelle naturelle de ce qui peut être obtenu en implantant des épis;
2. Qu'il existe des dépôts de sable à proximité (talus, sablières) qui permettent une recharge de plage avec un minimum de transport;
3. Que les fortes marées font en sorte que l'utilisation de brise-lames offshore n'est pas recommandée. En effet, dans la littérature on indique que ces ouvrages doivent être considérés lorsque le marnage de la marée ne dépasse pas 1 m. L'image satellitaire illustrant ce type d'ouvrage construit à Pointe-Lebel n'apparaît pas concluant, car il semble y avoir également de l'enrochement en rive. Il s'agirait ici, d'un système mixte;
4. Que les ouvrages en enrochement de grande portée ou construits à la pièce pour protéger le talus ont créé des érosions importantes aux extrémités (effets de bout) et la perte de la plage située en face de ces ouvrages a été observée.
5. Que si la protection du talus par des épis est préconisée, cette protection doit être réalisée en tenant de la portée des processus physiques à l'échelle de la cellule.



Recommandation : Par conséquent, et nonobstant leur coût d'implantation, les options de champ d'épis (P4 ou MX1) pour stabiliser les berges représentent une solution intéressante et potentiellement efficace dans la mesure où les constats énumérés et les paramètres de dimensionnement qui en découlent sont pris en compte. L'approche comporte l'implantation d'épis pour contrôler le transport littoral et favoriser la rétention locale de sédiments et une recharge de plage initiale afin d'éviter l'interruption brutale des apports sédimentaires en aval de la cellule et sur la batture adjacente.

Les dimensions caractéristiques seraient les suivantes :

1. Une largeur de la plage sèche de 15 m;
2. Une recharge initiale de plage qui respecte les principes d'un profil d'équilibre tel que décrit dans l'annexe H;
3. L'implantation d'épis d'une longueur totale maximale de 90 m, incluant la plage sèche, qui laisse une bande d'environ 40 m au large pour le transport littoral longitudinal;
4. Une distance entre les épis d'environ 225 m, correspondant à trois fois la longueur effective de l'ouvrage (75 m), soit une zone d'influence comparable à celle du quai.

Les volumes de sable requis pour la recharge de plage dépendent étroitement de la granulométrie des matériaux disponibles. La valeur escomptée pour l'étude est établie à partir de la taille moyenne des matériaux bruts disponibles en rive ou dans les sablières locales. L'emploi de matériaux sableux plus grossiers (bruts ou tamisés) peut jouer considérablement sur les volumes de recharge et donc sur le coût de l'option. Une analyse économique complémentaire est donc tout à fait indiquée en vue d'optimiser le coût de cette composante majeure de l'option.

Il convient de mentionner qu'il s'agit d'une approche mixte de protection, concept décrit depuis peu dans la littérature et que nous sommes dans une zone bien particulière caractérisée par un fort marnage de la marée. Les caractéristiques suggérées s'appuient sur une démarche logique et cohérente qui est expliquée à l'annexe H du rapport. La complexité des phénomènes fait toutefois en sorte qu'on ne peut garantir le résultat. D'ailleurs, l'occurrence d'une tempête exceptionnelle (par sa période de retour), dépassant les limites retenues pour réaliser un dimensionnement économique, peut tout chambarder. C'est d'ailleurs pourquoi la prise en compte de coûts récurrents d'entretien est prévue dans l'analyse économique.

Gardons toutefois à l'esprit que la Nature demeure toujours le maître du jeu, et tout au plus pouvons-nous améliorer nos chances de nous prémunir contre les effets dévastateurs de certains événements.



6 Portrait de la vulnérabilité

6.1 Composantes retenues – Portée de l'étude

Les composantes du milieu ou usages sensibles à l'érosion et aux mesures de stabilisation, et retenues pour l'étude sont :

1. Les résidences principales incluant le terrain et le bâtiment principal
2. Les résidences secondaires, maisons mobiles et terrains vacants
3. Les infrastructures municipales de voirie
4. Les réseaux de services tels l'eau, l'électricité, le téléphone et la câblodistribution
5. L'écosystème de la batture et les ressources halieutiques
6. Les usages économiques
7. Les infrastructures et usages récréotouristiques

6.2 Données disponibles sur la vulnérabilité - Faits saillants

6.2.1 Secteur résidentiel

Toutes les résidences situées du côté sud de la rue Labrie ont été incluses dans l'analyse (adresses 150 à 392). Au total, ces résidences sont au nombre de 64 unités pour une valeur au rôle totale de 2,86 M\$ se répartissant ainsi : 0,41 M\$ pour les terrains et 2,45 M\$ pour les bâtiments. Si l'on ne considère que les bâtiments résidentiels admissibles à l'assistance financière, le nombre d'immeubles tombe à 49 K\$. La valeur totale de ces immeubles est de 2,55 K\$ et leur valeur moyenne est estimée à 52 K\$ au rôle d'évaluation; elle est escomptée à 87,1 K\$ en valeur de remplacement. Au parc résidentiel s'ajoute un commerce de produits de la mer.

6.2.2 Les résidences secondaires, maisons mobiles et terrains inoccupés

Ces entités, lorsqu'exposées à l'érosion, peuvent bien sûr subir des dommages directs ou d'incertitude. Ainsi, on compte 7 terrains vacants du côté de la mer, 7 chalets, maisons mobiles ou unités non identifiées. Par contre, leur prise en compte n'est pas considérée dans l'application du programme d'assistance financière (PGMS) en cas d'imminence de sinistre. On pourrait les considérer seulement dans l'hypothèse où on choisirait de procéder à la relocalisation globale de la population d'un segment de rue et que ces propriétés devraient être expropriées. Autrement, leur prise en compte s'effectue à compte de propriétaire.



6.2.3 Les infrastructures municipales de voirie et les réseaux de services

Dans le secteur considéré (rue Labrie est), on compte 3,4 km de rue desservie par un réseau d'aqueduc (pas d'égouts sanitaire ou pluvial) et par les réseaux d'électricité, de téléphone et de câblodistribution. La valeur de ces équipements peut se mesurer par unité de distance linéaire, selon la valeur résiduelle dépréciée et en tenant compte de leur mode de financement. On peut aussi en mesurer la valeur par le coût de remplacement ou de déplacement. Dans ce cas, une valeur se montant à 650 K\$/km pour la rue et l'aqueduc (excluant l'acquisition des terrains, le cas échéant) est appliquée. Afin d'estimer le coût du terrain requis pour construire une rue, un coût unitaire de 3\$/m² a été retenu⁶. En assumant une emprise de rue de 15 m, on obtient un coût de terrain pour l'emprise de rue de 45 K\$/km. Au total, un coût estimé à environ 700 K\$/km doit être assumé pour une nouvelle rue construite dans le même type de sol que celui rencontré dans le secteur visé.

Par ailleurs, on arrive à un coût estimé de 68 K\$/km pour le réseau électrique, principalement pour l'installation des poteaux et du filage⁷. En extrapolant les coûts de filage aux autres réseaux, les coûts pourraient s'élever à 24 K\$/km pour chacun d'eux, ce qui donne un total de 116 K\$/km pour l'ensemble des réseaux.

Donc, pour l'ensemble des coûts des réseaux visés, on estime un montant unitaire de **850 K\$/km** en incluant les dépenses administratives reliées aux acquisitions, à la conception et à la surveillance de travaux.

6.2.4 L'écosystème de la batture de Manicouagan : un milieu riche et diversifié

Tel que rapporté par Grant et Provencher (2007) et de nombreuses études antérieures (notamment, Naturam Environnement, 1999) l'ensemble de la batture de la péninsule de Manicouagan constitue un milieu écologique très productif et très diversifié. Il est donc apparu opportun de désigner ce secteur de la côte comme devant faire partie d'une Zone de Protection marine (ZPM ; Naturam Environnement, 1999). Ce n'est pas notre intention ici de broser le portrait de cet écosystème, le lecteur étant renvoyé à la bibliographie pertinente pour accéder à cette information. Il est toutefois important de réaliser que la disponibilité et la qualité des habitats qui supportent cette biodiversité est liée en partie aux processus physiques côtiers, notamment, à la mobilité et à la granulométrie des substrats présents. Les interactions entre les différentes composantes de la

⁵ D'après un estimé obtenu en 2005 par la Municipalité auprès de la firme R. et G. Saint-Laurent Inc. de Baie-Comeau pour une relocalisation de 830 m de la rue Labrie, incluant la préparation du site, le pavage, le service d'aqueduc et l'organisation du drainage (coût estimé à 530K\$ pour 830 m de rue). L'acquisition le cas échéant des terrains n'est pas incluse.

⁶ L'estimé de 3\$/m² a été obtenu d'après la valeur moyenne au rôle des terrains résidentiels de la rue Labrie Est

⁷ D'après un estimé fourni par Hydro-Québec qui inclut l'enlèvement des poteaux donc des réseaux existants



faune benthique d'intérêt économique et les autres strates de l'écosystème, entre autres les zostères (*Zostera marina*, L.) sont importantes et tributaires des apports en sédiments.

6.2.5 L'érosion et les habitats coquilliers

Parmi les activités commerciales autorisées reliées aux ressources de la batture, c'est la cueillette des myes communes qui retient le plus l'attention. En subissant ou bénéficiant des conséquences de l'érosion ou de mesures de stabilisation de berges, la cueillette des myes pourrait être affectée, sans qu'on puisse dans l'état actuel de nos connaissances inférer de leur caractère favorable ou défavorable. Il faut donc dès maintenant envisager la possibilité d'évaluer l'impact et procéder au suivi écologique des mesures proposées pour Pointe-aux-Outardes sur les habitats si une solution technique était finalement retenue.

Tel que rapporté dans GÉNIVAR (2006), la mye commune est un bivalve filtreur rencontré de façon prépondérante sur la batture en zone intertidale et près du littoral. Sur le plan biologique, la mye commune fraierait en mai et juin et les larves seraient observées dans les eaux littorales de juin à août. La phase pélagique des larves dure de 3 à 4 semaines. Ensuite, les myes deviennent benthiques, mais demeurent mobiles jusqu'à une longueur de 2,0 à 2,5 cm. Par la suite, elles se sédentarisent dans le substrat pour poursuivre leur croissance. Il semble que la mye privilégie les substrats sableux plus grossiers que ceux adoptés par la zostère marine (250 µm selon Grant et Provencher, 2007). Le devenir des quantités importantes de sédiments érodés de la côte selon les différentes fractions granulométriques pourrait favoriser l'une ou l'autre de ces espèces en influençant leurs habitats.

D'après les principaux acteurs visés par la cueillette (Coquillages Nordiques, Forestville; Association des cueilleurs, Communications personnelles, 2007), un revenu annuel de près de 5000\$ est procuré aux cueilleurs dont le nombre se situe autour de 30 actuellement. Le revenu total est donc typiquement de 150 000\$/an. À ce montant s'ajoutent les prestations d'assurance emploi auxquelles donnent droit les revenus de la cueillette, soit maximale le même montant (150 000\$/an). Au total, la cueillette des myes a été escomptée à 300 000\$/an ce qui représente un apport monétaire très significatif pour une communauté comme Pointe-aux-Outardes. Bien sûr, les revenus mentionnés ici sont ceux directement liés à la cueillette. Leur commercialisation apporte également une plus-value aux grossistes et aux détaillants. Cette plus-value n'a pas été prise en compte, la portée économique de l'activité ayant été restreinte à la communauté immédiate. Un commerce spécialisé dans les fruits de mer a aussi pignon sur rue sur la rue Labrie près du quai municipal. Son volume d'activité commerciale n'a pas été déterminé.

Nous verrons un peu plus loin dans ce chapitre (dommages indirects) comment les diverses options de solution sont considérées par rapport à leur impact sur cet enjeu.

6.2.6 Les infrastructures et usages récréo-touristiques : le Parc Nature

La Parc nature constitue la principale infrastructure récréo-touristique de Pointe-aux-Outardes et il est situé à l'extrémité ouest de la pointe. Les autorités du Parc Nature ont brossé un tableau élaboré de l'histoire de cette infrastructure touristique importante pour la communauté (Tableau 5). Celui-ci a été créé en 1969 et a donné lieu à des investissements publics importants pour ses principales infrastructures (3 M\$) jusqu'en 1982. Dès 1982, on note le début de la mise en place de structures de protection de berges dans la foulée de l'installation d'infrastructures touristiques.



À la même époque, sont entrepris des études visant la caractérisation faunique du secteur, lesquels se poursuivent jusqu'à aujourd'hui en collaboration avec divers intervenants comme Pêches et Océans Canada. Le Parc a remporté au fil des ans de nombreux prix régionaux et nationaux (15). Il participe à la renommée touristique de la région plus d'en être l'ambassadeur dans de nombreux congrès et colloque.

Le Parc compte actuellement deux emplois permanents et entre 10 et 15 emplois saisonniers. De 1986 à 2005, 1 773 M\$ ont été obtenus en subvention ce qui a permis la création de plus de 200 emplois saisonniers. Le Parc nature participe activement à l'économie régionale en octroyant chaque année différents contrats de biens et service à des entreprises régionales. La valeur environnementale du Parc est unique pour le Québec : 7 milieux naturels distincts présents sur une superficie de moins de 1 km², notamment, le marais salé quatrième en importance au Québec pour sa superficie, plus de 50% des espèces d'oiseaux du Québec et une flore et une faune d'une impressionnante diversité et productivité.

Son chiffre d'affaires varie selon l'achalandage et les activités de financement telles que : le souper-bénéfice (plus de 200 convives), le fonds de protection et de mise en valeur du Parc, les contrats et les subventions reçues. 2006 qui fut pourtant une année assez calme de ce point de vue a produit un chiffre d'affaires dépassant 211 K\$. Certaines années, le chiffre d'affaires a avoisiné le demi-million de \$. La valeur des infrastructures est estimée à 583 K\$.

Il semble évident que la prise en considération de cette infrastructure est indiquée dans tout projet visant la stabilisation des berges à Pointe-aux-Outardes, principalement à cause de l'impact, favorable ou pas, que pourraient avoir de telles protections sur le bilan sédimentaire de la pointe et le risque d'érosion. Comme nous le verrons plus loin, certaines options considèrent la mise en place d'épis (localisation exacte à déterminer) à l'extrémité des empièvements de la rue Labrie Ouest en vue de favoriser la rétention des sédiments à cet endroit et la réhabilitation des plages.

Enfin, un projet à l'effet de développer le potentiel d'interprétation écologique de ce site a été préparé (CÉPRO / GENIVAR et Option Aménagement, 2006) pour le compte du Parc Nature en vue de accélérer la mise en valeur du site actuel. Il y est mentionné que le Parc Nature souhaite élargir son offre récréo-aquatique en implantant un Centre unique au Québec d'éducation sur la dynamique du littoral marin, couvrant l'érosion des berges, la Zone de Protection marine (ZPM), la réserve aquatique, les marées et le secteur des coquillages, sur le site même du Parc Nature de Pointe-aux-Outardes.



Tableau 5 : Historique du Parc Nature depuis sa création et développements anticipés

| | | | |
|-----------|---|--------------|--|
| 1969-1982 | Acquisition de lots par le Ministère du tourisme de la chasse et de la pêche (MTCP) et investissement de plus de 3 000 000 \$ pour installation d'infrastructures (bloc sanitaire, stationnement et chemin d'accès) | 1990 | Projet de relance (CRD / corporation municipale de Pointe-aux-Outardes) |
| 1982 | Construction d'un mur de soutènement (protection des berges et terrain), d'un chemin d'accès au parc, de tours d'observation sur le marais et la rivière | 1992-1993 | Campagne de financement : 413 626 \$ (incluant la contribution du gouvernement provincial, le gouvernement fédéral s'étant retiré) |
| 1983-1984 | Études préliminaires du potentiel faunique et floristique du parc (bénévoles du CÉGEP, option techniques en aménagement cynégétique et halieutique (TACH)) Subvention du gouvernement fédéral, notamment étude sur le potentiel écologique de la pointe aux Outardes (collaboration ATRM, Ministère des loisirs de la chasse et de la pêche (MLCP) et CÉGEP) | 1993 | Infrastructures et aménagements (358 164 \$ / protection et mise en valeur du site du parc : Trottoirs de bois, amélioration des sentiers pédestres, réparation des tours d'observation existantes, belvédères pour l'observation des oiseaux et mammifères, guérite d'accueil et d'information, aménagement de l'aire de jeu pour adultes et enfants, clôtures empêchant les VTT de détruire la végétation et améliorations pour l'accès des personnes à mobilité réduite) |
| 1985 | Subvention fédérale : avis et recommandation sur la mise en valeur de Pointe-aux-Outardes Cession des titres de propriétés des îles de Ragueneau de la compagnie QUNO comme participation au projet du Parc Avis et recommandation de la municipalité de Pointe-aux-Outardes concernant la mise en valeur écologique et touristique de la pointe du bout (Pointe-aux-Outardes) | 1994 | Pont de 47 mètres facilitant l'accès au boisé (patio en pavé uni pour les tables de pique-nique, tonnelle à l'entrée de la plantation de pins, plancher sous la marquise, installation d'une signalisation touristique originale, installation de panneaux historiques, en collaboration avec Pierre Frenette, historien du CÉGEP de Baie-Comeau, et du ministère de la Culture et des Communications, installation de panneaux fauniques, en collaboration avec la Fondation de la Faune (tous les panneaux ont été conçus et réalisés par la firme Blizz'Art Communication), planification et réalisation d'un guide de formation adapté aux richesses environnementales et à l'histoire du parc, pour le personnel, collaboration avec Radio-Canada et réalisation d'un vidéo promotionnel de 12 minutes, grâce à la collaboration du ministère Tourisme et Faune et laboratoire environnemental avec la firme G.D.G. afin de contrer les taons à chevreuil sur le site |
| 1985-1986 | Subvention du MLCP : conception d'un plan directeur de développement Création de la Corporation du parc d'interprétation naturel de Pointe-aux-Outardes (charte 1986-02-20) Concertation par le CRD et les instances du milieu | 1995 | Trottoirs de bois sur une distance totale de 4 778 pieds (1,5 km) et aménagement paysager |
| 1987 | Travaux d'aménagement (accès au marais au moyen de trottoirs de bois) Nouvelle dénomination sociale : Parc régional de Pointe-aux-Outardes | 1994 | Participation financière (Bureau fédéral de développement régional (Québec) / 26 700 \$: module dans l'aire de jeu des enfants, guérite d'accueil et ajout de plus de 200 mètres de trottoirs de bois) |
| 1987-1988 | Amélioration des ouvrages existants | 1997 1998 | Création d'un fonds de protection et de mise en valeur du Parc Nature de Pointe-aux-Outardes Changement de dénomination sociale pour Parc Nature de Pointe-aux-Outardes. |
| 1988 | Aménagements (belvédère, trottoirs, clôtures, panneaux, guérite) pour rendre accessible et protéger des sites écologiques d'importance (participation MLCP - Habitats fauniques Canada, Hydro-Québec, corporation municipale de Pointe-aux-Outardes) Entente entre la corporation du parc et le MLCP et l'OPDQ pour présenter un projet de développement à la Conférence socio-économique Projet accepté à la Conférence socio-économique Participation financière prévue : gouvernement provincial 36 %, gouvernement fédéral 36 %, milieu 28 % | | Éléments à souligner dans sa recherche de financement pour la protection de l'environnement <ul style="list-style-type: none"> • Efforts additionnels en partenariat avec le milieu : • 36 individus et entreprises contribuent annuellement (sur un plan de 5 ans) au Fonds de protection et de mise en valeur de l'environnement du Parc Nature de Pointe-aux-Outardes • Un souper bénéfice annuel rassemble chaque année (depuis 1998) plus de 200 personnes et permet de recueillir un montant se situant entre 7000 \$ et 8000 \$ • De 1986 à 1998, Parc Nature de Pointe-aux-Outardes a recueilli plus de 1300 000 \$ en subventions diverses |
| 1989 | Fabrication de trottoirs (fédéral / corporation municipale) | 2000 2006 | Sélection du Parc Nature de Pointe-aux-Outardes par le MPO comme site d'intérêt pour l'établissement d'une ZPM Désignation éminente(1 ^e lecture Gazette) |

Le projet permettrait de :



1. Créer un espace intérieur permettant d'abriter des activités d'animation et d'interprétation
2. Ajuster les aménagements extérieurs en vue de supporter les nouvelles thématiques d'interprétation du **Parc Nature**, soit le phénomène d'érosion des berges et la Zone de Protection Marine (ZPM)

D'après les auteurs de l'étude, la fréquentation annuelle pourrait être portée à 13 760, voire même à 15 500 si le marché de croisiéristes devait se développer dans le secteur de Baie-Comeau. Le projet n'est pas encore concrétisé mais il suit son cours. Si une décision favorable venait à être prise concernant ce projet, il est évident que cette infrastructure pourrait représenter un enjeu complémentaire important vis-à-vis l'érosion (son interprétation, son observation) et les mesures de remédiation à réaliser le cas échéant.

Dans l'état actuel des choses, et malgré le potentiel de ce milieu, l'activité économique liée au Parc Nature demeure limitée et en devenir. D'après Mme Danielle Saint-Laurent, Directrice du Parc, la fréquentation annuelle se chiffre à près de 8 000 visiteurs (incluant les groupes d'écoliers), ce qui génère des revenus au guichet de près de 10 000\$. À cette activité d'accueil et d'interprétation, s'ajoutent des projets d'ordre scientifique qui portent sur la connaissance de l'écologie des milieux marin et côtier et des ressources halieutiques présentes, ces activités étant menées en concertation avec les scientifiques responsables, notamment ceux de Pêches et Océans Canada.

Selon CÉPRO / GENIVAR et Option Aménagement (2006) qui établit des états financiers provisionnels pour le projet de mise en valeur estimé à 1 617 M\$, des revenus annuels de **350 000\$** (2008) peuvent être escomptés. Bien entendu, cet estimé est basé sur plusieurs hypothèses difficiles à valider à cette étape du projet.

Encore plus difficile à évaluer est l'impact économique que pourrait avoir un projet de stabilisation sur la rentabilité du Parc Nature dans son état actuel, et encore moins dans l'hypothèse où le projet mentionné ici serait réalisé. En revanche, on peut faire valoir que la dimension interprétation visée par le projet pourrait trouver son compte avec la mise à l'essai de nouvelles approches de ré-équilibre sédimentaire de la côte. Il existe donc une possibilité de synergie entre l'atténuation des risques et la mise en valeur de la côte sous la forme projetée.

6.3 L'exposition résidentielle à l'érosion

L'exposition à l'érosion, on l'a dit, peut déterminer la séquence d'application des mesures de retrait ou justifier la mise en œuvre de mesures de stabilisation. L'Annexe B : Calculs relatifs à l'érosion et à l'exposition des éléments vulnérables » est dédiée à cette question.

Pour les fins de calcul des délais anticipés avant l'application des mesures, il a été estimé que l'imminence de mouvement de sol obligeant la relocalisation des occupants d'une résidence est atteint lorsque la marge de recul est égale ou inférieure à 2-3 m, soit le recul du talus possible obtenu au cours d'un seul événement sévère. De même, il devient impossible de déplacer un bâtiment en toute sécurité, si sa marge de recul devient inférieure à 7-10 m, cette marge s'expliquant par les conditions géotechniques locales. Pour les infrastructures de voirie et les services publics, la marge de recul a été fixée à 5 m, si celles-ci sont effectivement exposées à l'érosion (pas de stabilisation de berges).



Ces paramètres peuvent être variés dans les programmes de calcul afin d'en mesurer l'effet sur le coût des mesures de retrait.

Pour la voirie publique (rue Labrie Est), une approche similaire est appliquée. Dans tous les cas, un avis d'imminence est requis avant d'activer les mesures de retrait.

6.4 Statistiques relatives à la vulnérabilité résidentielle et à l'exposition à l'érosion

Les 49 résidences constituant notre base d'analyse disposent de marges de recul très variables, allant de 4 m à 129 m avec un écart-type de 31 m. En appliquant les règles définies au paragraphe précédent, et en prenant en compte les taux de recul introduits au chapitre 4 (« Portrait de l'érosion »), il est possible d'estimer le nombre de résidences ayant atteint le state d'imminence nécessitant la relocalisation des occupants, toutes étant naturellement situés du côté pair du chemin (sud). Quatre de celles-ci sont virtuellement perdues actuellement à cause de leur trop grande proximité des hauts de talus (<7 m) qui ne permet pas leur déplacement sécuritaire. Dans l'hypothèse du retrait graduel, les bâtiments qui pourraient encore et devraient éventuellement être déplacés sont au nombre de 31. Huit de ceux-ci devraient l'être d'ici cinq ans, six les cinq années suivantes, et ainsi de suite jusqu'en 2038 (Scénario Retrait généralisé R1). Parmi ces 31 résidences, un peu plus de la moitié ne disposent pas de suffisamment d'espace sur le même terrain pour rester sur celui-ci, si une profondeur minimum de 60 m pour les lots est appliquée. Toutefois, les changements climatiques (hypothèse pessimiste) pourraient accélérer considérablement ce processus de délocalisation résidentielle.

La Figure 45 indique la répartition dans le temps de cette mesure si elle était appliquée à la date probable de survenue de l'imminence. Cette analyse est basée sur des seuils d'imminence respectifs de 2 m et 7 m concernant les marges de recul critiques. Il est aussi à noter que le présent calcul a été effectué en supposant que les conditions climatiques actuelles ne subiront aucune dérive dans le futur. La prise en compte des changements climatiques anticipés (scénario pessimiste) induirait une accélération notable de l'ensemble du scénario de retrait. Les calculs à cet effet ne sont pas rapportés ici.

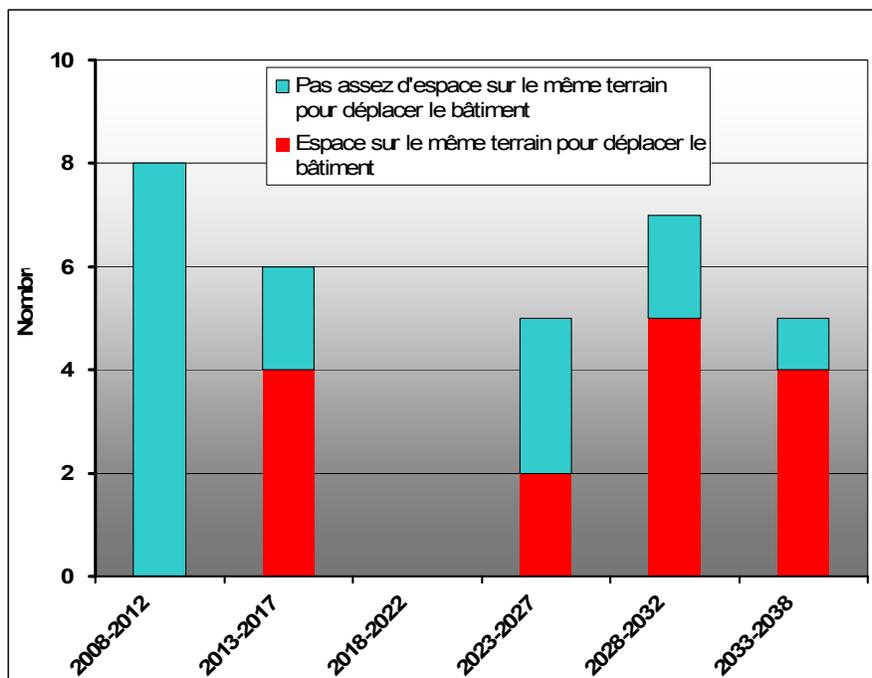


Figure 45 : Nombre de résidences susceptibles d’être déplacées (sud de la rue Labrie) sur l’horizon de l’étude – Indication de disponibilité de terrain sur le même lot

Ainsi, 8 résidences devraient être déplacées d’ici 5 ans, 6 les cinq années suivantes et ainsi de suite. Parmi les 31 résidences à déplacer (le cas échéant), un peu plus de la moitié disposent pas de suffisamment d’espace sur le même terrain pour rester sur celui-ci. La profondeur minimum de terrain requise est constituée d’un minimum de 40 m de marge de recul par rapport au talus existant à laquelle s’ajoute la profondeur du bâtiment et la distance à la rue normée à 10 m à Pointe-aux-Outardes, soit autour de 60 m. En prenant pour seuil, une marge de recul de 100 m, seules 3 résidences auraient encore cette possibilité.

La menace d’érosion pour les bâtiments localisés sur le côté nord de la rue Labrie Est ne les rend vraisemblablement pas sujettes à déplacement avant quelques décennies (plus de 30 ans). Toutefois, un segment de 0,7 km de la rue Labrie Est immédiatement à l’est du Chemin principal (dans le secteur D, Figure 51, page 123) pourrait être menacé dans l’horizon de l’étude (15 ans), ce qui forcerait alors un redéploiement laborieux de la voirie municipale, des infrastructures d’eau et des réseaux filaires au nord des bâtiments concernés. Sans que leur déplacement devienne requis par l’érosion, ces bâtiments verraient leur façade arrière devenir la façade avant y compris les garages. Il en est de même pour les entrées de cours qui seraient aussi à refaire. Les bâtiments considérés n’ont pas été inclus dans l’analyse car il n’est pas escompté que leur déplacement serait requis dans l’horizon de l’étude.



6.5 Types de conséquences considérées : monétarisation

6.5.1 Les conséquences sanitaires

Mis à part le stress permanent qui affecte les résidents menacés et qui s'aggrave à chaque tempête, et l'éventualité toujours possible d'un mouvement de sol fortuit pouvant entraîner des pertes de vies humaines (assez improbable), on ne compte pas véritablement d'autres conséquences d'ordre sanitaire reliées à l'érosion côtière. Les conséquences psychologiques sur les résidents sont cependant très réelles et elles entraînent une mobilisation citoyenne importante qui accapare une bonne partie de l'actualité locale. Cet item n'est mentionné que qualitativement dans l'étude et n'est pas monétarisé. Il sera pris en compte dans l'analyse multi-critères au chapitre de l'impact social.

6.5.2 Les dommages directs

Dans le cas de l'érosion, sauf pour la perte de terrain, les dommages directs sont aussi très improbables, dans la mesure où les mesures de protection ou de déplacement des bâtiments sont habituellement appliquées avant l'imminence de perte du bâtiment. Par contre, si la marge de recul requise pour permettre le déplacement du bâtiment n'est plus suffisante, le propriétaire et les autorités doivent alors envisager la démolition du bâtiment, ce qui constitue alors une perte sèche pour les propriétaires qui ne peut être compensée que financièrement, via une indemnisation dite *allocation de départ* (Programme PGMS). La conséquence est donc monétarisable. Par contre, comme les propriétaires reçoivent une compensation, aucune perte n'est escomptée pour ceux-ci, sauf bien sûr le montant des dépenses non admissibles. La perte du bâtiment est donc escomptée comme une dépense de programme pour le gouvernement et une érosion de l'assiette fiscale foncière pour les pouvoirs locaux.

6.5.3 Les dommages indirects

Les dommages indirects sont constitués des pertes financières associées à la suspension ou l'arrêt d'activités commerciales ou professionnelles menées par les sinistrés potentiels menacés par l'imminence de mouvements de sols. Ils sont comptabilisés au cas par cas à cause de la complexité des situations individuelles. Ces conséquences sont donc monétarisables à condition d'examiner chacun des cas individuellement.

À Pointe-aux-Outardes, nous avons ainsi comptabilisé l'impact économique d'options de différents types sur la cueillette de myes et sur l'enjeu que ce coquillage représente en termes de revenus d'appoint tout en étant conscients du caractère un peu plus arbitraire de cet estimé (comparé à d'autres items). Afin d'allouer une valeur monétaire à ce dommage indirect potentiel, nous avons posé comme hypothèse que le maintien d'un équilibre sédimentaire similaire à celui observable à l'état présent, ou mieux, antérieur de 10 ans, par l'entremise de mesures de protection conçues à cette fin (ex : épis avec recharge initiale) est de nature à soutenir la pérennité des habitats coquilliers, donc à maintenir le niveau actuel de revenus d'appoint des cueilleurs. Les options de solution qui aggravent (ex : empierrements), ou simplement qui perpétuent le déséquilibre morpho-sédimentaire actuellement observé, sont considérées comme pouvant



compromettre à long terme les rendements de cueillette, du moins partiellement, et graduellement. Bien entendu, l'hypothèse est posée en considérant « toutes choses étant égales par ailleurs », comme les effets sur cette ressource halieutique du niveau de cueillette, les impacts résiduels des changements morphologiques antérieurs, ou encore, la contamination possible des coquillages comme cela a été observé à l'été 2008 avec l'éclosion massive d'algues rouges.

Pour les fins du calcul, l'effet escompté, soit entre 0% et 100% de perte de cette ressource (représentée par l'enjeu de 300 K\$/an) est étalé linéairement sur la période de référence de 30 ans. Nous verrons plus loin lors de l'exposition des détails des options quels paramètres exacts ont été appliqués à cet égard.

6.5.4 Les dommages d'incertitude

Les dommages d'incertitude peuvent être perçus comme les conséquences financières reliées à l'existence d'une menace (aléa), ou à l'application de mesures ayant pour effet de maintenir à un haut niveau la perception de celle-ci. Ils peuvent se traduire par une perte de valeur marchande de la propriété pour le riverain ainsi que par une érosion progressive de l'assiette fiscale de la Municipalité, avec pour conséquence, une perte d'équité au niveau du financement des services de la Municipalité, au détriment de l'ensemble de la communauté. En revanche, si la Municipalité ne prend pas effectivement acte de la perte de la valeur marchande dans l'établissement du rôle d'évaluation, il en résultera au mieux un niveau de taxation stagnant.

Ces conséquences sont monétarisables en tenant compte d'un pourcentage global de perte de valeur sur l'ensemble d'un secteur. Cette perte est parfois associée à l'expression « désuétude économique ». Dans la mesure du possible, on peut aussi faire évoluer la valeur marchande d'un bâtiment individuel dans le temps en posant certaines hypothèses quant à la perception de l'imminence du risque ou de conséquences majeures sur la propriété elle-même ou sur un secteur résidentiel dans son ensemble.

Par ailleurs, dépendant des hypothèses posées, l'équité des dommages d'incertitude peut s'avérer très différente : soit elle touche principalement le riverain au niveau de son patrimoine (perte de valeur marchande) qui, si la dévaluation est prise en compte dans le rôle d'évaluation, se traduit par une baisse de taxes pour lui-même, mais par une baisse de revenu pour la Municipalité. Dans ce cas, les taux d'indemnisation peuvent aussi en souffrir. Si cette dévaluation n'est pas prise en compte, les taxes payables sont maintenues à leur niveau actuel et la Municipalité maintient son assiette fiscale. Les indemnisations sont aussi maintenues à leur niveau actuel.

6.5.5 Les dommages intangibles et inconforts

Les dommages intangibles ont trait à toutes les modifications naturelles ou anthropiques du milieu et de son utilisation ayant pour conséquence une perte de qualité de vie liée à la jouissance de ses attributs (ex : plage, cueillette des myes, ouverture visuelle sur le paysage). Les inconforts recourent les conséquences secondaires réelles mais souvent considérées comme intangibles de la manifestation de l'érosion et/ou des mesures entreprises pour assurer la sécurité des résidents et de leurs biens, y compris les activités de relocalisation et de déplacement des bâtiments. La monétarisation de ces valeurs considérées comme intangibles est possible par des outils appropriés issus de la science économique (ex : influence de la valeur d'un paysage sur la valeur d'une propriété), bien que le degré d'incertitude de ces estimés ne soit pas comparable à celui obtenu



pour d'autres items (ex : coût du retrait). Il importe donc de demeurer prudent en utilisant des valeurs conservatrices.

Ici, nous retenons deux items, la présence d'une plage relativement accessible à partir du quai municipal et les attributs visuels des propriétés ayant accès directement au paysage côtier. Il n'est pas exagéré d'affirmer que ces deux items, en plus de la cueillette des myes déjà traitée (dommages indirects), constituent la raison d'être du secteur côtier (rue Labrie) du village de Pointe-aux-Outardes, et que toute perte importante de l'un ou l'autre de ces atouts aurait pour conséquence de conduire à une perte importante de qualité de vie pour les résidents de la communauté en plus des riverains. Le défi méthodologique est de monétariser ces avantages fondamentaux pour le village et d'établir l'impact des différentes options sur leur existence.

6.5.6 Les plages

Concernant les plages, nous avons opté pour une méthode similaire à celle proposée par TecSult dans son étude d'ACA sur l'érosion à Sept-Îles. L'approche y est basée sur des hypothèses de fréquentation par la population (en heures par années) qu'on escompte au niveau du salaire horaire moyen de la communauté tel qu'établi par l'Institut de la Statistique du Québec.

Selon TecSult, les plages ont en effet une valeur d'utilisation qui correspond à la valeur totale du temps de loisir que leurs utilisateurs y consacrent. La valeur du temps de loisir des utilisateurs est considérée égale au salaire net de ceux-ci pour une durée équivalente. La valeur totale d'utilisation des plages pour une année correspond au nombre annuel d'utilisateurs multiplié par le nombre annuel d'heures que ces personnes passent sur les plages multiplié par leur salaire horaire net. L'analyse de TecSult distingue deux types d'utilisateurs présentant des caractéristiques différentes, soit les touristes et les utilisateurs locaux. À Pointe-aux-Outardes, On ne compte pas d'infrastructure d'hôtellerie significative dont l'existence serait liée à l'existence d'une plage, de sorte que la fréquentation touristique a été négligée.

Par contre, l'utilisation régulière ou occasionnelle des plages par la communauté est largement répandue, ce milieu servant notamment de sentier pédestre, de points d'accès pour la mise à l'eau d'embarcations de plaisance, en plus de jouxter et de donner accès aux sites de cueillette de myes, également fréquentés pour des fins non commerciales. En appliquant l'approche de TecSult à Sept-Îles, nous estimons que 15% de la population de Pointe-aux-Outardes (10% à Sept-Îles), et sans doute aussi une partie (non escomptée) de la population de la région de Baie-Comeau et de la péninsule Manicouagan sont des usagers de cette plage. Nous ne retenons cependant comme base de calcul que la population de Pointe-aux-Outardes qui est de 1443 habitants (D. Hovington, communication personnelle, 2008). La durée d'utilisation est calculée sur la base de 6 mois (26 semaines entre le milieu du printemps et le milieu de l'automne). La durée hebdomadaire d'utilisation est fixée à 5 heures réparties ainsi : 1 heure la semaine et 4 heures la fin de semaine, soit 130 heures/an. Le revenu moyen net des résidents de Pointe-aux-Outardes est posé égal à 12.00 \$/heure (19,35 \$/heure à l'échelle du Québec) la même valeur qu'à Sept-Îles (ISQ : source TecSult). Nous supposons en effet que les régions métropolitaines de Baie-Comeau et Sept-Îles ont, en tant que chef-lieu, un niveau de développement industriel, commercial et institutionnel comparable. Il résulte de ce calcul que l'avantage moyen par résident-usager de la plage se monte à 1560 \$/an, valeur qui se monte à 338 K\$/an appliquée à toute la population d'usagers potentiels (15% du total) de la population.



Le lien entre cet avantage et la réalisation de l'une ou l'autre des options de solution dépend bien sûr des hypothèses concernant l'évolution probable des plages. Comme nous le verrons, certaines options peuvent entièrement annihiler leur existence à terme (ex : empièvements) tandis que d'autres contribuent à les maintenir en état à des degrés divers (retrait progressif, épis avec recharge initiale). Étant donné que les plages occupent encore une place significative en rive à Pointe-aux-Outardes, aucune solution n'est de nature à augmenter leur taux d'utilisation, sauf si leur portée vise la réhabilitation de segments de plage perdu (ex : le segment enroché entre le quai municipal et le Parc Nature). En revanche, le taux d'utilisation peut être annulé pour l'enrochement massif. Ces paramètres seront précisés avec le traitement des scénarios.

6.5.7 Le paysage côtier

Par rapport au paysage côtier, l'impact est surtout associé à la proximité des bâtiments par rapport à cet attribut et à sa visibilité par rapport au bâtiment principal. Seules les options basées sur le retrait peuvent donc occasionner un impact sensible sur la qualité de la vue d'après la proximité des bâtiments par rapport à la berge. Comme l'ont démontré les transactions de vente de maisons et de terrains à Sept-Îles (Tecsult, 2008), la vue directe sur la rive à une valeur économique pour laquelle les gens sont prêts à payer un supplément. En effet, le prix de vente de bâtiments ou terrains équivalents situés à l'intérieur des terres ou au bord de la mer sont significativement différents. La différence entre ces prix représente la valeur attribuée à la vue. Celle-ci varie de 10K\$ à 15K\$ dans les districts de Gallix, Clarke et Moisie et peut atteindre 20 000 \$ dans le district de la Rive, où la présence des îles pourrait expliquer en partie cette valeur accrue.

Cette recherche est difficile à réaliser à Pointe-aux-Outardes étant donné le faible échantillon disponible concernant les transferts de propriété. Nous avons donc opté pour utiliser prudemment les chiffres de Sept-Îles, plus particulièrement ceux de Gallix (10K\$/unité), village voisin (quartier) dont l'origine (pêcheurs), les attributs paysagers et l'éloignement par rapport à la ville-centre (Baie-Comeau en l'occurrence) semblent similaires. Selon Tecsult (2008), la perte de vue peut être évaluée en multipliant l'avantage estimé pour la vue dans un secteur donné par le nombre de propriétés concernées (terrains ou lots construits) dans ce même secteur. À Pointe-aux-Outardes, seuls les lots habités ont été conservés. Ainsi, 57 propriétés sont potentiellement concernées par cette prise en compte (excluant 7 terrains vacants sur 64 unités), soit les bâtiments habitables situés du côté sud de la rue Labrie, ce qui porte l'enjeu potentiel total à 570 K\$.

Le pourcentage de la perte ou du gain varie en fonction du scénario considéré. Tecsult escompte une perte d'avantage à 25% avec l'option de construction d'épis ou d'enrochements (perte d'attribut visuel « naturel ») et à 100% suite à la mise en œuvre d'une option de retrait planifié. La perte ou le gain de vue a été comptabilisée par Tecsult à l'année de la réalisation des ouvrages pour les scénarios de protection et au fur et à mesure des déplacements anticipés en cas de retrait planifié.

Une approche similaire a été appliquée ici. Les paramètres de modulation selon les options retenues sont introduits en détails au chapitre 8 (Modèle d'analyse coûts/avantages - Paramétrisation).



7 Inventaire des types de solutions : contexte d'application

C'est le mode d'intervention gouvernementale qui détermine le type de financement et la faisabilité environnementale des différents types de solutions considérés ci-après : en *mode d'urgence* lorsque l'imminence des dommages est avérée, ou en *mode prévention* lorsque les dommages sont prévisibles mais n'ont pas encore atteint la phase d'imminence.

Les scénarios administratifs (Retrait principalement), visant l'exposition et la vulnérabilité à l'érosion, peuvent donc correspondre à deux situations principales :

1. L'intervention gouvernementale est faite en mode d'urgence selon les *programmes généraux* pré-établis en cas de sinistre associé à des *mouvements de sol* (PGMS). Il est bien entendu que les mesures visant le retrait sont applicables graduellement selon l'évolution de la situation.
2. L'intervention est réalisée en mode préventif selon un *Protocole d'Application de Solution* (PAS) intégré établi au cas par cas selon les conditions particulières du site d'étude.

Les scénarios de protection sous-tendent une même logique, qu'ils soient couverts par le PGMS ou par un PAS. Dans le premier cas, les coûts des protections sont plafonnés par les valeurs individuelles à protéger et la faisabilité (innocuité pour les voisins et la dynamique d'ensemble du littoral), tandis qu'un PAS peut plus facilement prendre acte d'une logique morphologique d'ensemble et escompter des coûts incluant des économies d'échelle.

Un groupe de solutions conçues de manière adapté aux divers aspects de la problématique constitue un scénario. Dans la section présente, on n'aborde que la description des types de solution possibles et leur contexte d'applicabilité. Leur assemblage sous la forme de scénario fera l'objet de chapitres subséquents.

Ci-après, nous présentons les diverses options envisageables, notamment sur le plan du principe général, et les avantages ou inconvénients, tangibles ou intangibles sont évoqués pour chacun des groupes d'intervenants concernés, en particulier, les *riverains*, la *Municipalité* et les *instances municipales régionales*, le *gouvernement*, et, occasionnellement, d'autres entités visées par les conséquences ou le financement de solutions.



7.1 Le Programme général d'indemnisation – Mouvements de sols (PGMS)

Le Programme général pré-établi d'indemnisation en cas de sinistre relié aux mouvements de sols (PGMS) est un programme en place au cours des dernières années afin d'accélérer la mise en application des mesures de rétablissement suite à un sinistre de ce type. C'est celui qui est applicable actuellement pour l'érosion côtière. Il a surtout pour but de prévenir les dommages liés à un sinistre et, bien sûr, la sécurité des personnes et leur rétablissement dans les meilleures conditions de vie possibles. Une part significative des dépenses inhérentes aux mesures offertes (ex : terrassement en cas de déplacement) sont non admissibles et doivent être assumés par les riverains.

Mobilisant surtout des fonds gouvernementaux, le PGMS vise surtout les particuliers, les commerces et industries, et les municipalités. Par rapport aux individus, les mesures comprises dans ces programmes prévoient des compensations en cas d'urgence (évacuations, séjour temporaire hors de la résidence, par exemple), des *allocations de départ* lorsque la situation est devenue trop dangereuse (concept d'imminence), et éventuellement, une compensation permettant le *déplacement du bâtiment* lorsque la situation le permet. Dans certaines situations, une assistance financière peut même être offerte pour immuniser le bâtiment, ce qui revient pour les cas de mouvement de sol (érosion côtière) imminents à stabiliser les berges. Des mesures sont également prévues pour assister les municipalités qui doivent engager des dépenses urgentes liées aux sinistres.

Tous les paramètres financiers de ces mesures sont bien sûr plafonnés à la plus petite des valeurs formées par l'évaluation municipale ou 100 000\$ excluant les sommes dévolues à l'urgence (habituellement bornées à 5000\$) ayant à l'esprit qu'elles viennent en appui aux sinistrés et qu'elles ne constituent pas une compensation de type « Assurance valeur à neuf ».

Pour ce qui est des mesures de stabilisation de berge, elles peuvent être appliquées et financées publiquement sans autre questionnement lorsque les infrastructures publiques de voirie, plus particulièrement celle de nature transrégionale sont menacées et mettent en péril l'économie et l'accessibilité d'une région. Dans certains cas, le PGMS reconnaît la possibilité de stabiliser les berges d'une propriété individuelle, en plafonnant l'assistance financière offerte d'après les mêmes *quantums* que précédemment. Cependant un avis géotechnique sur la faisabilité et l'innocuité de la mesure pour les voisins immédiats (effets de bout, dynamique côtière d'ensemble) doit être obtenu au préalable, et peu de situations s'y prêtent naturellement dans la pratique, d'autant plus qu'elles impliquent des interventions à la pièce.

7.2 Les Protocoles d'Application de Solutions (PAS)

Les *Protocoles d'Application de Solutions* (appellation non validée) sont formés d'ententes de collaboration (concertation) entre les divers intervenants du milieu afin de procurer une solution préventive intégrée et durable à une problématique de risque naturel, l'érosion dans le cas présent. Principale manifestation du nouveau *Programme d'Atténuation des Risques*, un PAS doit



permettre de maximiser la sécurité des personnes et des biens d'un secteur à un coût inférieur et des avantages comparatifs par rapport à l'application d'un Programme général d'indemnisation présenté à la section précédente et dont l'application s'effectue « à la pièce ». Dans la mesure du possible, l'horizon d'analyse doit s'étendre sur le long terme, typiquement la durée de vie d'ouvrages de stabilisation ou d'infrastructures publiques, soit 30 ans au minimum.

L'approche nécessite une analyse de type ACA (Analyse Coûts-Avantages, ou *Cost/Benefit Analysis*) afin d'en démontrer les avantages comparatifs à long terme. Elle doit donc tenir compte de paramètres économiques évolutifs dans le temps. Étant donné la difficulté pour certains aspects de l'analyse d'en prévoir l'évolution future, des hypothèses raisonnables doivent être formulées et clairement explicitées.

Les types de solutions considérées dans un PAS sont les mêmes que pour le PGMS. Leur mise en œuvre s'effectue cependant dans un contexte plus intégré, à la fois dans l'espace et le temps.

Ci-après, nous présentons chacun des types de mesure, retrait, protection ou stabilisation, en précisant le mieux possible les avantages et désavantages de les mettre en œuvre dans différentes conditions, plus particulièrement le niveau de financement requis, et les alternatives offertes.

7.3 L'allocation de départ

7.3.1 Principe

Une allocation de départ offerte au fur et à mesure que l'imminence de perte des bâtiments par l'érosion se manifeste. Elle se décrit comme suit :

1. Normalement, pas d'offre de relocalisation bien que l'allocation puisse servir à cette fin.
2. Déplacement des bâtiments impossible (non sécuritaire).
3. Démolition requise du bâtiment par le propriétaire
4. Appropriation du littoral par la Municipalité.

En général, il est préférable de déplacer le bâtiment (voir la section suivante) avant la phase d'imminence à cause de l'impact réduit de cette mesure par rapport à une allocation de départ. En général, seuls quelques cas près de l'imminence sont concernés par cette mesure ultime.

Pour les fins de l'évaluation, l'option nécessite une déclaration d'imminence, donc un modèle d'exposition à l'érosion lequel comprend une caractérisation de la position des bâtiments (façade côté mer), la position du haut de talus⁸, la différence des deux formant la « *marge de recul actuelle* », une estimation (moyenne ou locale) des taux de recul et des hypothèses relatives aux paramètres d'imminence (la prochaine tempête? Ou une période en années). À Pointe-aux-

⁸ Il est important de noter ici que la position du haut de talus n'est pas nécessairement la position apparente de celui-ci, mais celle correspondant à l'extrapolation vers le replat de la pente de celui-ci. Ainsi, une partie du haut de talus maintenue en surplomb par la couche superficielle indurée de sol doit être soustraite de la distance apparente



Outardes, la marge de recul limite permettant de déclarer l'imminence se situe autour de 2 m. C'est la valeur de référence retenue pour l'étude.

Les paramètres de compensation sont introduits plus loin. Une variante à l'allocation de départ plafonnée actuellement au minimum de la valeur au rôle ou 100 000\$ serait de bonifier l'offre à *valeur de parité*, soit un compromis entre la valeur au rôle et celle de remplacement. Cette hypothèse est formulée afin de tenir compte que les propriétés ont une *valeur d'utilité* mieux représentée par la valeur de remplacement que par la valeur au rôle cette dernière étant souvent diminuée par la présence du risque et la désuétude économique d'un secteur.

7.3.2 Avantages

Pour la *communauté*, les *utilisateurs (villégiateurs, pêcheurs)*, le *système côtier* et l'*écosystème* :

- Maintien de la dynamique côtière « naturelle » par l'apport en sable érodé pour les zones situées en aval du transit littoral, donc conservation des plages.
- Aucune structure côtière à construire et entretenir dans la zone visée par la relocalisation
- Aucun impact environnemental à évaluer si c'est le seul type de mesure prévue

Pour la *Municipalité et la communauté*: à moyen et long terme, l'abandon de devoir maintenir les infrastructures et services existants dans les secteurs visés accompagne cette solution. La récupération de la propriété des berges par la collectivité permet d'envisager à terme des projets de nature récréo-touristique à condition de respecter les marges de recul minimums requises.

7.3.3 Désavantages

Pour les élus : pression politique constante tant que perdure la problématique et que s'ajoutent des cas imminents requérant la mesure.

Pour les riverains : l'allocation de départ, qui ne couvre actuellement pas plus que la valeur au rôle avec un maximum de 100 000 \$, ne permet pas de recouvrer l'intégralité de la *valeur d'utilité* des immeubles (ou leur valeur de remplacement). De plus, des coûts non-admissibles doivent être escomptés. Les résidents déplacés perdent pour la plupart la vue directe sur le paysage côtier. Par ailleurs, l'application de cette mesure peut sembler un signal de retrait plus généralisé qui risque de compromettre la valeur marchande, voire même la possibilité par les autres propriétaires de se départir des propriétés restantes, même celles non menacées à moyen ou long terme. Une allocation à *valeur de parité* peut rendre la mesure plus acceptable sans cependant éliminer les désavantages mentionnés et l'impact social qui en résulte.

Pour la Municipalité :

- Si le retrait est géré selon les paramètres du PGMS, sans solution de rechange offerte (déplacement, protection), il n'y a pas d'incitatif aux riverains à demeurer dans la municipalité, donc on a potentiellement une perte de contribuables et une érosion de l'assiette fiscale municipale (et scolaire)
- Coût du maintien des infrastructures municipales assumé par un nombre décroissant des contribuables visés, donc transfert d'équité vers l'ensemble de la population, ou taxes plus élevées pour les propriétaires restants



- Dévaluation des résidences les moins menacées à court terme liée au départ graduel des voisins donc érosion de l'assiette fiscale résiduelle

Pour la communauté : tensions sociales, oppositions.

7.4 Déplacement du bâtiment en préservant les avantages du site sur le même terrain ou à proximité

7.4.1 Principe

Applicable aux bâtiments qui peuvent encore être déplacés, soit sur le même terrain, si la dimension de celui-ci permet une implantation respectant le Règlement de Contrôle intérimaire (RCI), ou sur un terrain alloué par la Municipalité permettant autant que possible de restituer une qualité de vie équivalente, ou en dernier ressort, le déplacement en-dehors de la municipalité.

Cette option est prévue au PGMS. Elle doit tenir compte de la sécurité des travailleurs et de leurs équipements lourds lors du déplacement du bâtiment (règles de la Commission de Santé et Sécurité au Travail ou CSST). Ceci implique que la façade du bâtiment ne doit pas être située à moins d'un certain minimum (7-10 m) du haut de talus tel que défini précédemment. 7 m est la valeur de référence retenue pour la côte de Pointe-aux-Outardes.

Les paramètres d'indemnisation sont typiquement les mêmes que l'allocation de départ, soit le minimum de la valeur au rôle de la propriété ou de 100 000 \$, ainsi qu'un montant de 5000 \$ pour les déplacements temporaires pendant la durée des travaux. Des coûts non admissibles doivent être assumés par les propriétaires.

7.4.2 Avantages

Pour les riverains : lorsqu'il est possible de déplacer le bâtiment sur le même terrain, la mesure a pour principale caractéristique de maintenir les avantages de l'occupation du lieu par le propriétaire occupant et de sécuriser ses biens à long terme. De plus, la valeur marchande est préservée intégralement, voire appréciée, étant donné le niveau de sécurité obtenu et la qualité du site. Si la taille du terrain ne le permet pas, mais qu'une alternative sécuritaire et acceptable peut être offerte dans le voisinage immédiat, cette mesure paraît relativement équitable. Elle a au moins le mérite de préserver le tissu social.

Pour la Municipalité : la mesure permet de maintenir sa population en place ou à proximité en plus de pousser éventuellement à la hausse la valeur marchande des résidences sécurisées, ce qui peut se traduire par un rôle d'évaluation accru et une meilleure équité. Par contre, pour que ces avantages se manifestent, il faut que la mesure puisse être appliquée de manière assez générale et pas seulement pour quelques cas particuliers. Aucun entretien récurrent d'ouvrage n'est requis avec ce type de mesure.

Pour la dynamique côtière, les utilisateurs de la communauté et l'écosystème : comme pour les allocations de départ, toutes les mesures administratives visant le déplacement des bâtiments ont



l'avantage de laisser place à la dynamique côtière naturelle et de maintenir les particularités de la côte, du moins pour les plages.

7.4.3 Désavantages

La mesure peut maintenir une occupation privée de la côte ce qui restreint les possibilités d'utilisation par la communauté au niveau d'équipements récréo-touristiques collectifs. Moins sans doute que l'allocation de départ, ce genre de mesure rencontre habituellement des résistances importantes dans les communautés visées, ce qui en complique l'application.

La mise en œuvre d'une telle mesure implique une logistique importante (enlèvement des fils notamment, trafic suspendu..) qui, pour donner lieu à des économies d'échelle, nécessite le déplacement de plus d'un bâtiment à la fois (convoi) ce qui ne correspond pas nécessairement au rythme naturel de retrait dicté par l'érosion. Enfin, la mesure n'est que transitoire car elle ne fait que reporter le problème dans le temps, jusqu'à ce que le recul du trait de côte ne représente à nouveau une menace aux bâtiments. Si les plages peuvent bénéficier d'une option de retrait, il n'en est pas nécessairement de même pour la récolte des myes; nous croyons que la dynamique côtière continuerait d'être très perturbée (rupture d'équilibre) et en constante augmentation d'apports de sédiments vers la batture. Cette évolution peut constituer un risque important pour la valeur et la disponibilité des habitats coquilliers, donc de la ressource.

7.5 Solutions structurelles : mesures douces ou dures ?

Les mesures structurelles visent, par des aménagements particuliers de protection côtière, à atténuer, voire stopper l'érosion dans les zones vulnérables et exposées. La planification de tels aménagements est un processus laborieux aux conséquences parfois imprévues, car les processus côtiers sont parmi les plus complexes à analyser. La construction de tels ouvrages est coûteuse et il n'est pas toujours possible d'en garantir l'efficacité et la durabilité, car on doit ajuster l'importance de la protection (des coûts) avec la probabilité d'occurrence d'un événement exceptionnel. Comme il est statistiquement toujours possible qu'un événement plus important que celui retenu pour le dimensionnement se produise, on ne peut garantir la pérennité des ouvrages. Les ouvrages côtiers diminuent donc le risque de dommages mais jamais ils ne pourront les éliminer entièrement. Dans le même ordre d'idée, un dimensionnement d'ouvrage moins exigeant peut entraîner des coûts d'entretien plus importants et plus fréquents.

En aménagement côtier, on distingue désormais les approches dites « dures » des approches qualifiées de « douces ».

Les approches « *dures* » sont celles qui imposent une protection modifiant fortement le paysage côtier, et induisant aussi des changements appréciables à la dynamique côtière antérieure. La construction de murs verticaux en béton ou l'empierrement linéaire systématique des côtes sont des exemples de cette approche qu'on peut qualifier de traditionnelle, et qui est encore largement utilisée, en dépit d'effets négatifs documentés. Ces effets sournois ont provoqué un questionnement qui a fait en sorte qu'on tend désormais à appliquer des méthodes plus « *douces* », qui tiennent compte de la dynamique côtière et qui cherchent à redonner un milieu en équilibre plus près de conditions « naturelles ». La Figure 46, tirée de la partie V du Coastal Engineering



Manual (CEM) de US Army Corps of Engineers (USACE, 2003), illustre bien le virage au détour de années 70' en faveur de méthodes douces de protection. On constate que, depuis une trentaine d'années, le pourcentage de réhabilitation par l'emploi de méthodes « douces » oscille entre 80 et 90 % aux USA à tout le moins. Le même genre de constat peut être fait du côté européen (voir EID Méditerranée et Service Maritime et de Navigation de Languedoc-Roussillon (2005).

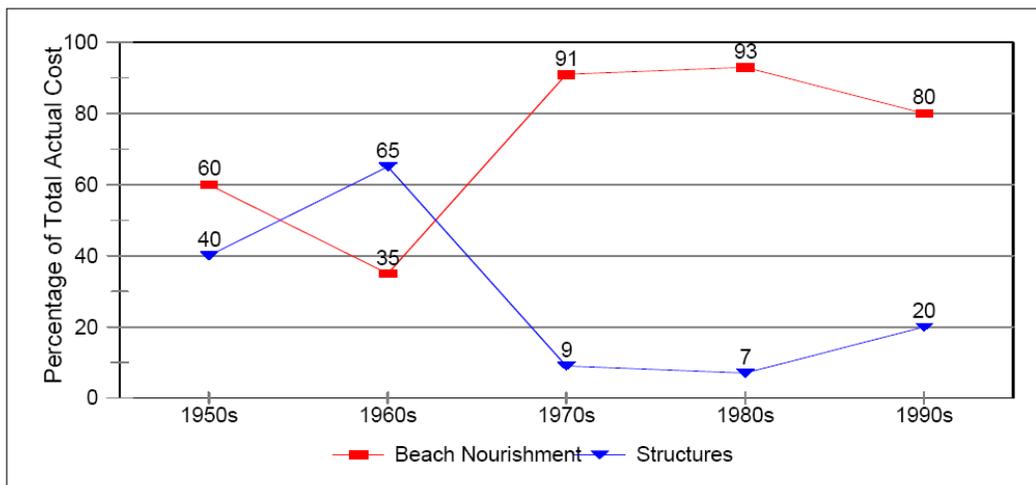


Figure V-3-3. Shift from hard (armored walls, groins, etc.) to soft (beach nourishment) alternatives by the Corps of Engineers (from Hillyer 1996)

Figure 46 : Taux d'utilisation des approches douces de stabilisation de berges –vs- les approches dures par USACE (2003) – Extrait du Coastal Engineering Manual (Volume V).

On doit toutefois garder à l'esprit que tout aménagement, même avec une approche qualifiée de douce, peut générer des phénomènes d'érosion ailleurs sur la côte, (voire au pied même de l'ouvrage). On peut ainsi déplacer la problématique en des sites où d'autres éléments vulnérables sont présents mais ne sont pas actuellement menacés. Dans le pire des cas, c'est tout l'équilibre morphodynamique sédimentaire de la côte qui peut s'en trouver perturbé. Une bonne connaissance du milieu récepteur et une stratégie intégrée qui en tient compte sont des conditions *sine qua non* pour optimiser les probabilités de réussite d'une intervention.

L'élaboration de solutions doit s'appuyer sur une littérature technique reconnue et acceptée qui s'appuie sur des expérimentations sur modèle et en nature. Il existe toute une panoplie de solutions structurelles douces et dures (exemple : celles présentées dans le « *Coastal Engineering Manual* » et certains manuels techniques comme le « *Design of Coastal Revetment Seawalls* » du *United States Army Corps of Engineers*, USACE) qui peuvent être considérées d'abord sur le plan de l'efficacité, de la faisabilité et de l'ordre de grandeur des coûts inhérents.

Dans cette étude, les solutions douces telles que les épis, stabilisateurs de courants et recharge de plage reçoivent un traitement privilégié car elles représentent, à notre avis, une option techniquement viable pour la région de la péninsule de Manicouagan. Par contre, la viabilité économique restera à évaluer. Afin de pouvoir évaluer l'option de référence « Empierrements », ce type de solution est également abordé ci-après.



7.6 Empierrement linéaire

7.6.1 Principe

L'empierrement linéaire consiste à blinder la côte contre les attaques des vagues lors des épisodes de hautes eaux (marée, surcotes) accompagnés par de forts vents (vague).

Un traitement plus élaboré que ce qui suit est proposé à l'Annexe H : Profils de plage en équilibre et protection des berges. Les empierrements linéaires et à plus forte raison, les ouvrages ponctuels (à l'échelle du lot) doivent être perçus comme une solution ultime à l'érosion. Si les empierrements permettent de briser ou amortir les attaques de la côte en dissipant l'énergie des vagues, il en résulte des conséquences environnementales importantes, associées à l'accélération du transit littoral, la moindre n'étant pas la perte rapide de la plage, et éventuellement des perturbations d'habitat pour les écosystèmes du littoral. Comme tout ouvrage de génie, les protections de ce type doivent être très bien calibrées (dimensionnées) pour résister aux conditions locales extrêmes, ce qui peut nécessiter des caractérisations, voire des modélisations assez complexes. Une approche plus empirique peut cependant fonctionner dans certaines circonstances bien qu'il s'avère très difficile dans ce cas de prédire l'efficacité de la mesure, et encore plus d'évaluer l'innocuité environnementale.

7.6.2 Avantages

Bien qu'ayant été largement utilisée jusque dans un passé récent, on compte peu d'avantages liés aux empierrements de sorte que la technique n'a plus très bonne presse dans les milieux spécialisés, notamment par le *US Army Corps of Engineers (Coastal Engineering Manual, 2003)* et les autorités européennes (ex : Guide technique du EID Méditerranée et du Service Maritime et de Navigation de Languedoc-Roussillon, 2005). Ces organismes ainsi que plusieurs autres à travers le monde prennent leurs distances par rapport à cette technique pour privilégier des alternatives plus douces, plus respectueuses de la dynamique littorale naturelle, notamment, l'action alternativement constructive et destructive des vagues, le transport littoral naturel, maritime ou éolien, le bilan sédimentaire de la plage et la morphologie côtière. Au minimum doit-on reconnaître aux empierrements une certaine capacité de protection qui peut s'avérer adéquate dans des conditions très particulières (absence de plage ou indifférence par rapport à son maintien), enjeux régionaux à préserver (ex : route interrégionale), infrastructures portuaires.

7.6.3 Désavantages

Les désavantages principaux sont :

- la durée de vie limitée d'un tel ouvrage qui peut nécessiter des investissements récurrents importants pour son entretien
- les « effets de bout » qui constituent un impact important imposé aux extrémités de l'ouvrage et qui entraînent souvent l'obligation récurrente de prolonger la protection
- La perte de la plage et le déchaussement possible par affouillement de l'ouvrage



- Le coût relativement élevé qui peut rapidement supplanter la valeur des enjeux à protéger
- Les perturbations de l'équilibre sédimentaire de la batture, donc des habitats coquilliers et de la ressource correspondante

Il est difficile de trouver des exemples d'empierrements qui n'ont pas occasionné l'un ou plusieurs de ces impacts.

Enfin, en raison des impacts avérés de cette technique, le processus d'autorisation environnementale d'interventions en milieu hydrique nécessite des études complémentaires et des consultations statutaires de nature à retarder significativement (typiquement 2 ans) la mise œuvre de la mesure.

7.7 Protection par des champs d'épis

7.7.1 Principe

Un traitement plus élaboré que ce qui suit est proposé à l'Annexe H : Profils de plage en équilibre et protection des berges. Plusieurs types de protection de type épis sont proposés dans la bibliographie (ex : USACE, 2003). L'approche va du simple enrochement perpendiculaire à la rive (épis conventionnels), aux brise-lames d'avant-côte (*offshore*) en passant par les stabilisateurs de courant (ex : Holmberg, Stabi-Plage). Elle comprend aussi les ouvrages plus légers comme les épis de fascine dont le mode d'action qualifié de « constructeur » utilise le vent pour rebâtir la plage quand les conditions éoliennes le permettent.

La conception préliminaire des épis examinés pour Pointe-aux-Outardes fera l'objet d'une autre section. On peut toutefois mentionner que la longueur de segment de côte protégée par un épi s'établit à 2 à 4 fois sa longueur effective (USACE, 2003), celle mesurée depuis le haut de plage. Ayant la capacité de ralentir, voire retenir le transit littoral au sein de chaque cellule, l'emploi excessif d'épis peut modifier significativement le transit littoral et perturber l'équilibre sédimentaire (recharge naturelle) des plages situées en aval du segment protégé. Il est donc requis d'accompagner cette mesure au minimum d'une recharge initiale avec du sable dont la granulométrie doit être prise en compte comme paramètre de conception. Le profil de la plage résultante est en effet grandement déterminé par la taille des matériaux dominants. Ce paramètre détermine aussi le volume requis et le coût de la mesure. Il n'est pas exclu aussi qu'une recharge d'appoint doive être réalisée si le transit littoral résiduel s'avère insuffisant à moyen et long termes. Il est donc être requis, du moins à court et moyen termes de maintenir un certain niveau d'apports en érosion (ex : provenant de berges vacantes) afin de minimiser les conséquences possibles de cette approche.

Ici nous en examinons en principe les principaux avantages ou inconvénients.

7.7.2 Avantages

En dissipant une certaine quantité d'énergie des vagues et en ralentissant les courants littoraux par un allongement de leur parcours, les épis retiennent les sédiments en transit et permettent ainsi de régénérer une plage. Le littoral épouse la forme d'une suite de petites anses. Un exemple de l'action résultante d'un épi est donné par la morphologie autour du quai municipal de Pointe-aux-



Outardes (Figure 47). D'une longueur effective typique de 70 m, l'influence du quai se répercute sur près de 210 m, voire plus (l'effet s'estompe asymptotiquement), soit environ 160 m à l'est (amont du transit) et 50 à l'ouest (aval). Ces paramètres s'inscrivent dans la fourchette des valeurs suggérées dans la bibliographie concernant les longueurs de protection.

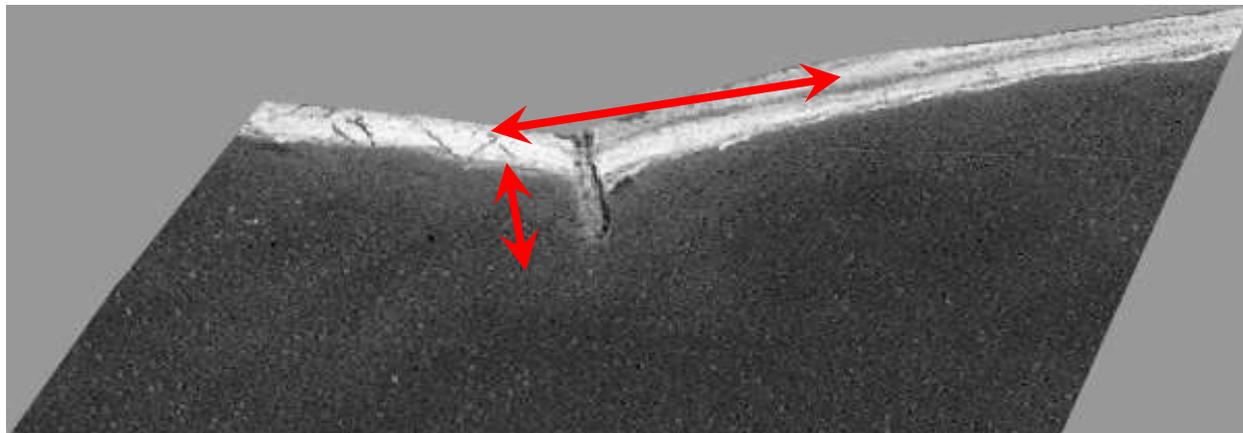


Figure 47 : Effet de type épi procuré par le quai municipal de Pointe-aux-Outardes

Selon les premières indications, le maintien ou la régénération d'une plage pourraient avoir des effets positifs pour les habitats coquilliers présents sur la batture.

La technique de construction d'épis à Pointe-aux-Outardes sous-tend nécessairement la mise en place de chemin d'accès au droit des épis ou à proximité. L'omniprésence d'argiles sensibles sous-jacentes à la plage peut rendre les déplacements de machinerie hasardeux et ceux-ci doivent être minimisés. De là la stratégie de mise en place frontale (vers la mer) plutôt que latérale (*via* la plage) et si possible lorsque la batture est gelée.

Si la communauté le souhaite (souhait escompté dans nos scénarios), de tels accès peuvent être rendus publics pour l'ensemble de la communauté et les visiteurs. Il est également opportun d'utiliser les volumes de sable de déblai pour remblayer la micro-terrasse au pied des talus et secondairement, accélérer l'atteinte de l'équilibre morphologique de la plage autour et entre les épis. Cette contribution est escomptée dans nos scénarios. D'autres précautions pourraient devoir être prises pour la mise en place des épis comme le choix de la saison la plus appropriée.

Un autre avantage important est l'effet du ré-équilibrage du régime sédimentaire recherché sur le maintien d'une disponibilité et d'une qualité d'habitats coquilliers stables sur la batture. Cet avantage doit être escompté sur le maintien des revenus correspondants.

7.7.3 Désavantages

La capacité des épis d'intercepter le transport littoral peut entraîner une rupture d'équilibre sédimentaire dans les zones situées en aval (ouest de la cellule considérée) dans la direction du transport, soit ici le Parc Nature ou la batture en rive gauche de l'estuaire aux Outardes et l'estran. Il faut donc assortir les épis d'une recharge initiale suffisante permettant de compenser au départ l'interception, accélérer l'atteinte du profil d'équilibre et faciliter la reprise d'un transit minimal aussitôt que possible après l'installation des épis.



Encore faut-il qu'il y ait transit sédimentaire de maintenu, celui-ci étant associé aux apports générés par l'érosion résiduelle associée aux talus non protégés. De plus, il est vraisemblable que les événements extrêmes arrachent une partie des sédiments captés entre les épis. Un apport récurrent de sable est donc requis, soit naturellement, ou encore par de la recharge artificielle.

Idéalement, le maintien de zones en érosion active à l'échelle de la grande cellule morpho-sédimentaire est le meilleur moyen pour rendre possible un scénario d'épis à des coûts annuels acceptables. Ce sont évidemment les zones exemptes d'éléments vulnérables (ex : terrains vacants), ou concernées seulement à long terme qui sont les premiers candidats au maintien des conditions actuelles d'érosion.

Une telle forme d'aménagement, si sa longueur dépasse 300 m linéaire au total ou 5000 m² en superficie est normalement soumise au processus d'évaluation environnementale si elle est perçue de manière conventionnelle comme un simple empiètement sur le milieu hydrique. Par contre, dans une perspective de maintien des habitats, de réhabilitation écologique, voire de mise en valeur récréo-aquatique du milieu côtier et de ses ressources coquillières, la perspective pourrait changer et un processus mieux adapté peut être imaginé au niveau gouvernemental. Autrement, le recul rapide des côtes (disparition de la plage, de la micro-terrasse, puis du couvert végétal du talus) risque lui-même d'occasionner des impacts écologiques qu'il faudra plus tard considérer, sans parler de l'obligation de mettre en œuvre à court terme des mesures de délocalisation, avec ses coûts additionnels et ses propres désavantages.

Un autre désavantage peut être représenté par l'impact sur le paysage côtier naturel qui, faut-il l'admettre, s'en trouverait significativement transformé. Cet impact découle d'une appréciation subjective qui doit être mise en rapport avec les bénéfices escomptés, notamment la restauration ou le maintien des plages et la végétalisation des talus qui font aussi partie du paysage de la côte.

Enfin, il faut aussi penser à la contrainte aux déplacements le long du littoral que la présence d'épis impose. Des aménagements complémentaires peuvent aisément être conçus pour minimiser cet inconvénient. Par contre, il ne faudrait pas que ces aménagements, y compris les accès depuis le rue Labrie favorisent l'envahissement de la plage sèche (basse terrasse) par des véhicules tout terrain qui aurait pour effet de détruire la végétation protectrice qui s'y serait établie. Une réglementation restreignant cet usage pourrait être nécessaire.

7.8 Recharge de plage

Il existe des mesures de protection uniquement axées sur la recharge de plage en sable ou en matériaux plus grossiers. La pente d'équilibre de la plage et ses différentes caractéristiques morphologiques comme la plage sèche (basse terrasse) s'établissent en fonction de divers facteurs tels que la *granulométrie des matériaux disponibles sur place, l'angle d'attaque de la vague, les niveaux maximums atteints à marée haute et lors de surcotes de tempête ou l'apport sédimentaire en transit sur la plage*. Il s'agit de processus complexes et aléatoires qui, à la longue conduisent à un équilibre dynamique et fragile. Un traitement plus élaboré que ce qui suit est proposé à l'Annexe H : Profils de plage en équilibre et protection des berges.

La possibilité de ne procéder qu'avec des mesures de recharge de plage a été rapidement écartée à Pointe-aux-Outardes à cause des processus de transport puissants qui y agissent et qui



compromettraient rapidement la pérennité de la solution. La recharge en plage n'est pas exclue pour autant à condition de pouvoir retenir ce sable qui, autrement, partirait rapidement dans le transit littoral associé aux tempêtes. Afin de réduire le transport littoral et de compenser les pertes subies au niveau de la recharge, l'emploi d'épis est considéré. Comme nous l'avons vu à la section précédente, les épis ont pour effet de réorienter le trait de plage face aux trains de vague dominants afin de mieux résister aux attaques de la mer. Par contre, les épis ont aussi la capacité de retenir le transit, privant ainsi les zones en aval d'un précieux apport en sable tant que les cellules entre les épis n'ont pas retrouvé un équilibre sédimentaire plus permanent. Il peut en résulter des effets de bout qui peuvent être évités en réduisant graduellement la longueur des épis près des extrémités des champs d'épis.

C'est pourquoi, pour certains scénarios, la recharge initiale de plage est parfois escomptée au moment de la construction pour établir le plus vite possible un profil équilibré, et de façon récurrente par la suite quand aucun apport « naturel » ne permet de compenser les pertes subies en aval via le transit. Dans d'autres cas, le maintien de secteurs en érosion permettrait de réduire considérablement, voire d'éliminer le besoin de recharges périodiques.

Il est à noter que la granulométrie des matériaux disponibles localement ou importés est fondamentale pour le calcul des profils d'équilibre, donc pour les volumes impliqués. Un sable grossier permettrait de réduire considérablement les volumes requis à cause des pentes d'équilibre plus fortes qui en résultent (donc moins de volume requis). Il y a donc un calcul à faire pour optimiser les volumes de recharge en tenant compte du coût de tamisage du sable acquis sur le marché.

7.9 Résumé

Ce chapitre identifie les diverses mesures ou options offertes pour résoudre le risque d'érosion en général. Généralement ces mesures appartiennent à deux catégories :

1. Les mesures de retrait
2. Les mesures de protection ou de stabilisation du bilan sédimentaire

Les mesures de retrait. Le traitement de ces mesures commence par une description des deux programmes gouvernementaux abordant la question de l'érosion :

1. le Programme général d'Assistance financière – Volet Mouvement de sols (PGMS)
2. le Programme d'Atténuation des Risques (Protocoles d'Application de Solutions ou PAS)

Les mesures offertes par le PGMS peuvent inclure des interventions physiques (protections, stabilisations de berges) mais elles sont considérées sur une base individuelle qui s'oppose à l'approche intégrée requise pour stabiliser le bilan sédimentaire à l'échelle de la cellule hydro-sédimentaire. Ce sont donc les mesures de retrait qui sont surtout visées (pertinentes ici) : l'allocation de départ lorsqu'il est trop tard pour déplacer le bâtiment en toute sécurité, et le déménagement du bâtiment dans un site sécuritaire quand c'est encore possible. C'est l'évolution de la marge de recul des bâtiments par rapport à la position au haut de talus et la stabilité de celui-ci qui détermine le moment ultime d'application.



Les mesures de protection varient :

- des *approches dures* consistant à blinder les côtes pour stopper le recul des talus
- à des *approches plus douces* comprenant la recharge de plage assortie d'épis visant le ré-équilibre du bilan sédimentaire de la côte à l'échelle de la cellule hydro-sédimentaire.

L'expérience des mesures de protection dures en de nombreux endroits (ici comme ailleurs dans le monde) a mis en évidence des conséquences adverses comme la perte de plages, les « effets de bout » qui sont de surcroît assorties de coûts de réparation significatifs et récurrents qui

Les mesures dites douces comprennent des dispositifs tels que les champs d'épis de différents types et la recharge de plage, initiale ou récurrente. Ces mesures interagissent avec les courants littoraux et le régime de vagues à différents stades du cycle de la marée et en fonction des surcotes produites lors des tempêtes. En stabilisant ces processus et en dissipant l'énergie des vagues, les mesures douces retiennent le transit sédimentaire sur les plages aidant ainsi à les reconstruire. Chacune de ces mesures est décrite sur le plan technique afin d'en démontrer le principe de fonctionnement et les critères de dimensionnement.

La complexité des processus en cause exige cependant une bonne connaissance du contexte d'application des mesures de protection et des calculs plus poussés, les approches douces étant sans doute les plus exigeantes à cet égard.

Concernant les champs d'épis qui constituent, comme nous le verrons plus loin, une composante majeure des options les plus avantageuses, les principaux éléments à tenir compte pour en comprendre le fonctionnement et procéder à leur dimensionnement sont introduits.

Avantages et inconvénients. Chacune des mesures est évaluée en général sur le plan des avantages inhérents et aussi des inconvénients qu'ils entraînent, et ce, en fonction des intervenants concernés. Ainsi, les questions d'efficacité, de durabilité, d'impact environnemental et social sont traitées.



8 Modèle d'analyse coûts/avantages - Paramétrisation

Ci-après nous introduisons les jeux de paramètres ou de variables utilisés pour bâtir l'analyse des coûts des divers scénarios. L'implantation des calculs qui sous-tendent les paramètres introduits ci-après a été effectuée dans une série de tableurs Microsoft Excel^{MD} interconnectés et formés des fichiers suivants :

1. *Paramètres.xls* (introduite ci-après),
2. *Analyse de solutions.xls* et
3. *Résultats des solutions.xls*
4. *Érosion et bilan sédimentaire.xls*

Le tout forme une plate-forme intégrée et modulaire, mais spécifique au cas de Pointe-aux-Outardes. La plupart des calculs réalisés dans le tableur d'analyse sont décrits sommairement dans ce chapitre.

Les *paramètres* sont des données de calcul variables dont on doit parfois mesurer l'influence sur la sensibilité des résultats du scénario (ex : le taux d'actualisation). Les *valeurs de référence* des paramètres sont indiquées en bleu dans les tableaux de ce chapitre. Les *variables* du modèle permettent d'activer ou suspendre une mesure particulière sur un tronçon. Le contrôle s'effectue par une feuille particulière du tableur appelée '*Console d'application*' où les adresses des lots individuels représentent la variable indépendante et servent à activer une mesure.

Les avantages et inconvénients de nature intangible ont été introduits et discutés en général au chapitre précédent. Il en sera de nouveau fait mention lors de la discussion des scénarios. Le module *Résultats des solutions.xls* incorpore cependant une analyse multicritères qui permet de prendre en compte de manière agrégée les différents critères et de comparer les solutions entre elles de ce point de vue. Étant donné l'importance de cet aspect, nous en traitons plus explicitement plus loin dans ce chapitre.

8.1 Paramètres temporels : l'actualisation

Les paramètres temporels retenus sont des constantes pour l'étude : la *période de référence* qui se définit par une *Année d'initialisation* et une *Durée*.

La *période de référence* s'échelonne de l'année d'initialisation, soit 2008, à 2038 soit 30 ans. Ce choix s'explique par la durée de vie normale ou souhaitée des ouvrages de protection formant certains scénarios. Cette portée temporelle permet de tenir compte explicitement du critère de durabilité des solutions.



Le *taux d'actualisation* (section suivante) permet de pondérer graduellement à la baisse (ex : 4%/an) les dépenses (ou gains) annuelles à venir, introduisant ainsi une préférence temporelle dans l'évaluation du coût des mesures.

À titre d'exemple, si le taux choisi est 4% (valeur de référence pour l'étude), une dépense future est prise en compte avec un coefficient d'actualisation tel qu'indiqué au Tableau 6. Ainsi une dépense récurrente relativement stable en dollars constants est pondérée d'une valeur décroissante à mesure qu'on s'éloigne dans le temps. Autrement dit il est toujours préférable de retarder une dépense tant qu'on n'y est pas réellement obligé, sous peine de devoir engager des dépenses encore plus importantes. En revanche un investissement « rentable » (associé à un revenu récurrent net stable) a intérêt à être engagé le plus tôt possible étant donné le poids d'actualisation supérieur mis sur les valeurs à court terme.

Dans une ACA classique, il est d'usage de mesurer la sensibilité des résultats à un incrément ou un décrement de ce paramètre. Dans le cas présent, des valeurs de 6%/an et de 2%/an ont été testés. Toutefois, les résultats correspondant ne seront rapportés que très sommairement dans ce rapport, et afin de cadrer leur influence.

Tableau 6 : Coefficient d'actualisation durant la période de référence – Taux d'actualisation de 4%/an

| Années depuis le début du programme/ Coefficient d'actualisation | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0,962 | 0,925 | 0,889 | 0,855 | 0,822 | 0,790 | 0,760 | 0,731 | 0,703 | 0,676 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 0,650 | 0,625 | 0,601 | 0,577 | 0,555 | 0,534 | 0,513 | 0,494 | 0,475 | 0,456 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 0,439 | 0,422 | 0,406 | 0,390 | 0,375 | 0,361 | 0,347 | 0,333 | 0,321 | 0,308 |

Au moment d'assigner une valeur résiduelle à un équipement à la fin de la période de 30 ans, cette valeur est actualisée avec le facteur 0,308 soit autour de 31% de sa valeur initiale, à la condition que ledit équipement a été entretenu convenablement en cours de route.

8.2 Paramètres économiques (PE)

Les paramètres économiques se doivent de traduire la perspective dynamique de l'étude. Mis à part des paramètres permettant d'estimer l'évolution caractéristique de la valeur des immeubles (non utilisé dans le bilan des scénarios), seuls le *taux d'inflation* et le *taux d'actualisation* sont utilisés. Les valeurs considérées sont données au Tableau 7. Le taux d'inflation permet de procéder aux calculs de valeurs futures en tenant compte de l'évolution du coût de la vie (dollars courants). À 0,0%, on exprime ces valeurs en dollars constants de 2008. Le taux d'actualisation



permet de traduire une dépense future en *valeur présente nette*, la base de comparaison ultime des coûts des différents scénarios. Pour la majorité des calculs, c'est le groupe PE1 qui sert de référence, les autres groupes servant à mesurer la sensibilité de certains scénarios aux paramètres économiques.

Il est à noter que la tendance dans la science économique est d'évaluer les projets « environnementaux » avec un taux d'actualisation plus faible (typiquement 4%) que les projets de nature industrielle, financière ou commerciale (7-10%). Ce choix traduit une valeur accrue allouée aux résultats à long terme et à la durabilité des projets. Dans certains cas, le taux d'actualisation peut même être pris inférieur (2%), une valeur qui est d'ailleurs testée dans la présente étude, du moins pour les options paraissant les plus avantageuses. Dans le même ordre d'idée, une valeur de 6% est aussi testée.

Tableau 7 : Paramètres économiques : jeux PP de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres économiques (PE) | PE1 | PE2 | PE3 | PE4 |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Taux d'inflation | 0% | 0% | 0% | 2% |
| Taux d'actualisation | 4% | 2% | 6% | 6% |

8.3 Paramètres physiques du retrait (PP)

Les paramètres physiques visent essentiellement les marges de recul des bâtiments minimales pour que soit activées certaines mesures de retrait : *marge de recul du règlement de contrôle intérimaire (RCI)*, *marge de recul minimale permettant la relocalisation sécuritaire d'un bâtiment*, *marge de recul minimale obligeant l'évacuation* (imminence de mouvement de sol lors d'une prochaine tempête importante). Le Tableau 8 présente les groupes de paramètres utilisés ici. Les valeurs en bleu sont des valeurs de référence.

Tableau 8 : Paramètres physiques PP: jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres physiques (PP) | PP1 | PP2 | PP3 |
|--|-----|-----|-----|
| Marge de recul résiduelle permettant le déplacement sur le même terrain (RCI) en [m] | 40 | 100 | 100 |
| Distance minimale permettant le déplacement du bâtiment en [m] | 7 | 7 | 10 |
| Distance seuil pour imminence [m] | 2 | 2 | 3 |



8.4 Paramètres fiscaux (FISC)

Les paramètres fiscaux (Tableau 9) servent à mesurer l'impact fiscal des mesures, notamment par l'évolution favorable des valeurs foncières en lien avec les protections ou déplacements, ou déficitaire dans le cas de la perte de bâtiments (allocations de départ). Les paramètres concernés sont locaux : *taux des taxes municipale et scolaire* ainsi qu'une estimation du *Rapport entre la valeur au rôle des bâtiments et leur valeur de remplacement*. La valeur de ce dernier (0,6) a été établie suite à des discussions avec les autorités compétentes et elle correspond à une valeur relativement normale pour un secteur ainsi affecté par des aléas naturels et sujet à la désuétude économique (hétérogénéité du bâti et des usages résidentiels). Cette valeur est posée à titre d'hypothèse, aucune étude élaborée ne venant la supporter.

Tableau 9 : Paramètres fiscaux FISC: jeu de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres fiscaux (FISC) | FISC1 |
|--|--------------|
| Taux de la taxe municipale (% de l'évaluation) | 1,35\$/100\$ |
| Taux de la taxe scolaire (% de l'évaluation) | 0,65\$/100\$ |
| Rapport valeur au rôle/ valeur de remplacement | 60% |

8.5 Paramètres – Programme général d'assistance – Volet Mouvements de sol (PGMS)

C'est le Programme général d'assistance financière du Ministère de la Sécurité publique – Volet Mouvements de sol (PGMS) qui règle les mesures d'indemnisation en cas d'obligation de déplacer un bâtiment ou d'allocation de départ associée à la perte imminente d'un bâtiment (Tableau 10).

Le *Coefficient de parité* permet de relever le plafond d'aide vers la valeur de remplacement, 0% maintenant le plafond de la valeur au rôle tandis que 50% permet de bonifier l'offre d'allocation de départ afin de compenser en partie la perte de valeur d'utilité du bâtiment par les propriétaires déplacés. Ce coefficient n'est cependant pas prévu dans le Programme actuel. Le Tableau 10 montre les jeux de paramètres utilisés.

Le jeu PGMS1 reflète les paramètres actuels du programme et il sert de référence. Les coûts non admissibles sont donnés en % de la valeur au rôle et cette valeur est posée comme hypothèse. Les jeux PGMS2 et PGMS3 sont fournis à titre d'hypothèse dans la mesure où les paramètres de ces programmes, sont actuellement en cours d'évaluation pour s'ajuster à la réalité économique de 2008.

Le jeu PGMS4 vise une situation très hypothétique où un programme tel que le PGMS n'existerait pas. Dans ce cas, tous les coûts seraient assumés à 100% par le propriétaire (non admissibles à un



programme), ce qui correspond à une certaine approche du *scénario de référence* en économie. Ce scénario est défini seulement dans le but de contraster les scénarios plus près de la réalité.

Tableau 10 : Paramètres d'assistance financière (PGMS): jeux de valeurs utilisées.
En bleu les valeurs de référence

| Paramètres généraux (PGMS) ▼ | PGMS1 | PGMS2 | PGMS3 | PGMS4 |
|---|------------|------------|------------|---------|
| Plafond d'aide PGMS | 100 000 \$ | 125 000 \$ | 150 000 \$ | 0 \$ |
| Coûts non admissibles pour le riverain en % de l'évaluation | 30% | 30% | 30% | 100% |
| Coefficient de parité | 0% | 50% | 100% | 0% |
| Coût démolition | 5 000 \$ | 6 000 \$ | 7 500 \$ | 5000 \$ |

8.6 Retrait des bâtiments: mesures visant la vulnérabilité allocation de départ (AD) et déplacement de bâtiment (DB)

Le Tableau 11 présente deux paramètres : la plus-value procurée par la mesure du fait de la soustraction du bâtiment de la zone à risque. Le deuxième paramètre permet d'estimer le coût moyen à déboursier (60% de la valeur de remplacement selon M. Héneault de la firme Héneault et Gosselin spécialisée en la matière) pour déplacer un bâtiment dans un rayon relativement court (le même terrain, la même rue). Il est à noter que l'*année probable d'application* pour un immeuble donné est fonction de l'évolution de la marge de recul résiduelle au fil du temps et de marges critiques pré-définies. Plusieurs résidences ne seraient visées qu'au-delà de la période de référence de 30 ans. Des statistiques intéressantes sur le délai d'applicabilité des mesures de retrait sont produites ailleurs dans le rapport (Section 6.4, *Statistiques relatives à la vulnérabilité résidentielle*, page 77).

Tableau 11 : Paramètres d'assistance financière pour le retrait des bâtiments résidentiels (PGMS): jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres - Déplacement de bâtiment (DB) ▼ | |
|---|-----|
| % d'appréciation initiale de la propriété déplacée | 15% |
| Coût en % de la valeur de remplacement du bâtiment pour son déplacement | 60% |



8.7 Mesures de protection : empiérement linéaire - Paramètres retenus

Bien que n'ayant pas nécessairement bonne presse, surtout à cause du coût et des impacts environnementaux, l'hypothèse de l'empiérement se doit d'être considérée comme composante essentielle d'un scénario de référence correspondant à l'approche traditionnelle.

Les paramètres considérés sont fournis au Tableau 12. Le coût unitaire de l'empiérement est de l'ordre de celui indiqué (la valeur de 1,6 M\$/km est souvent suggérée pour estimer ces protections avant les plans et devis) bien que des ouvrages puissent être construits pour beaucoup plus ou beaucoup moins. Tout dépend de l'agressivité locale des vagues lors des conditions extrêmes qui réduit la longévité des protections et oblige des frais de réparation impérieux. Ces frais seront plus ou moins importants selon les paramètres de conception utilisés au départ. C'est pourquoi le coût annuel d'entretien est intimement lié au coût initial de l'ouvrage. Ici nous assumons en moyenne 3% an afin de maintenir l'état de l'ouvrage au-delà de la période de référence. Dans nos calculs, cette hypothèse permet de déduire la valeur de l'ouvrage (actualisée en 2008) du coût du scénario.

Dans la formule actuelle d'équité dans la répartition des coûts directs d'un Protocole d'Application de Solutions (PAS), 75% sont assumés par le Programme d'Atténuation des risques. D'autres hypothèses peuvent aisément être considérées. Question d'équité également, la plus-value procurée aux immeubles bénéficiant d'une protection à long terme doit être escomptée pour ces riverains. 15% d'appréciation nous est apparu comme un minimum. Bien sûr, cette appréciation devra se répercuter sur l'assiette fiscale municipale (et scolaire, ne l'oublions pas).

Enfin, l'empiérement se doit de comporter des mesures de compensation pour la perte potentielle de la plage (si rien d'autre n'est prévu) et une recharge récurrent en sable est une mesure à prévoir si l'on veut éviter d'escompter la perte de la plage, et possiblement les ressources coquillières de la batture, une combinaison de valeurs intangibles et monétaires très importantes pour un milieu de vie comme Pointe-aux-Outardes. Les paramètres de recharge introduits plus loin en tiennent compte.

Aucun effort additionnel n'a été consenti à cette approche.

Tableau 12 : Paramètres retenus comme représentatifs de l'empiérement : jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres d'empiétements (EM) ▼ | |
|---|--------------|
| Coût unitaire (\$/km) | 1 600 000 \$ |
| % du coût de l'ouvrage en entretien annuel | 3% |
| % coût gouvernement | 75% |
| % d'appréciation initiale de la propriété vis-à-vis | 15% |



8.8 Mesures de ré-équilibrage : Épis – Paramètres retenus

Jouissant d'une meilleure presse que les empierrements par les temps qui courent, surtout à cause du coût inférieur et des effets environnementaux jugés généralement favorables, une approche basée sur les épis -- ce qui peut inclure les techniques dites de « stabilisation des courants » (Holmberg – Stabi-Plage – Geotube – Terratube, etc.) -- se doit d'être considérée comme la principale alternative à l'approche traditionnelle de protection en empierrements. Cette approche est basée sur une connaissance plus approfondie de la dynamique naturelle des régions littorales, notamment à l'égard du bilan sédimentaire, du transport littoral et du rôle essentiel des apports sédimentaires dans le maintien d'un équilibre dynamique et fragile. De plus en plus largement utilisée à travers le monde, cette approche a donné lieu à quelques expériences empiriques au Québec au cours de la dernière décennie (Baie Saint-Ludger, Pointe-Lebel, Val-Marguerite, notamment).

Deux types d'épis dirigés vers la mer sont analysés (Tableau 13):

1. champ d'épis de type conventionnel en enrochement, sans empierrement de la côte entre les épis, et avec recharge initiale pour la micro-terrasse et l'établissement d'un profil de plage à l'équilibre.
2. de type « *stabilisateur de courants Holmberg* », incluant la protection de la côte entre les épis, et avec recharge initiale

Le coût unitaire d'un *champ d'épis conventionnels*, de l'ordre de 700 K\$/km, est supérieur aux estimés préliminaires obtenus d'intervenants de la région sur la base d'hypothèses très préliminaires de dimensionnement et de technique de réalisation. Seule l'étape des plans et devis permettra de préciser cet estimé, et possiblement l'amenuiser. Le coût annuel d'entretien est également lié au soin mis dans la conception de ces ouvrages et du milieu dans lequel ils s'insèrent. Ici nous assumons en moyenne de 1%/an du coût de l'ouvrage afin de le maintenir en état au-delà de la période de référence. Dans nos calculs, cette hypothèse permet de déduire la valeur de l'ouvrage (actualisée en valeur présente nette) du coût du scénario.

L'estimé du coût unitaire des *stabilisateurs de courants Holmberg* a été effectué sur la base des données fournies par M. Holmberg lui-même dans sa lettre de 2005 au Comité de citoyens de la Pointe-aux-Outardes. Le projet proposé est présenté comme un essai pilote qui comporte deux cellules de protection (voir la Figure 3, page 22), chacune formée de deux épis perpendiculaires à la côte de 80 m et distants de 150 m (500 pi) l'un de l'autre le long de la côte. La longueur de côte ainsi protégée comprend typiquement l'intérieur de la cellule (150 m) et une portion de côte de chaque côté de la cellule (3 x 80 m au total) pour un grand total de près de 400 m, donc 800 m pour deux cellules si celle-ci ne sont pas contigües, sinon on enlève 160 m.

L'estimé de M. Holmberg en \$US de 2005 indique un coût de réalisation de 2,97 M\$ pour les deux cellules décrites, ce qui donne approximativement 4 M\$/km en incluant des éléments non compris dans l'estimé préliminaire fourni. La lettre de M. Holmberg n'indique pas la portée de la protection obtenue ni son positionnement, mais rien n'indique que ce mode de protection pourrait avoir une portée spatiale supérieure aux épis conventionnels qui est estimée à 2-4 fois la longueur effective des épis selon le USACE (2003) (ex : un facteur 3 pour le quai municipal).



Ici aussi, 75% des coûts initiaux seraient assumés par le Programme d'Atténuation des risques. Les coûts récurrents doivent être assumés par la communauté. D'autres hypothèses peuvent aisément être considérées. Question d'équité également, la plus-value de 15% des propriétés ainsi protégées est apparue comme un minimum. Bien sûr, cette appréciation se répercute sur l'assiette fiscale locale et constitue un item d'équité.

Concernant les segments où installer les épis, diverses configurations ont été considérées :

EP1 (ÉTENDU) : partout entre le quai municipal et l'extrémité est de la rue Labrie et un début de champ d'épis à installer à l'ouest du quai afin de tester (projet pilote) leur capacité de régénération des plages vis-à-vis l'empierrement linéaire

EP2 (ÉQUILIBRÉ) : la même chose sauf un segment central où le rue Labrie jouxte la côte et l'extrémité est de la rue Labrie où la menace direct de l'érosion pour les bâtiments est encore loin

EP3 (RÉDUIT) : la même chose sauf le segment de la rue Labrie du côté est du bout de rue à déplacer (scénario MIXTE) et le projet pilote à l'ouest

EP4 (AUCUN) : Aucun épi (Scénario RETRAIT intégral)

Des scénarios considèrent aussi une protection de type « stabilisateur de courants Holmberg » sur des portions de côte similaires aux champs d'épis conventionnels.

Tableau 13 : Paramètres retenus comme représentatifs des épis ou stabilisateurs de courants : jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres d'épis (EP) ▼ | Conventionnels | Holmberg |
|---|----------------|--------------|
| Coût unitaire (\$/km) | 700 K\$ | 4 M\$ |
| % du coût de l'ouvrage en entretien annuel | 75% | 75% |
| % coût gouvernement | 1% | 1% |
| % d'appréciation initiale de la propriété vis-à-vis | 15% | 15% |



8.9 Mesures de ré-équilibrage : Recharge compensatoire – Paramètres retenus

La recharge de plage en tant que principal moyen de protection contre l'érosion est possible et elle est pratiquée à plusieurs endroits dans le monde. C'est la plage elle-même qui sert à dissiper l'énergie des vagues mais la protection s'effectue la plupart du temps au prix d'une recharge récurrente, généralement suite à la survenue d'une forte tempête. Ce mode de protection n'a pas été retenu dans un premier temps à cause de son caractère récurrent et non durable, et de la logistique et des coûts importants qu'il implique.

En revanche, de concert avec des ouvrages stabilisateurs du transit littoral, la recharge compensatoire vise à rétablir des conditions de plage qui complètent l'action des ouvrages. Deux situations requièrent une recharge compensatoire :

- les *épis*, quel qu'en soit le type,
- et les *empierrements* linéaires

Dans le premier cas (*épis*), on parle surtout d'une *recharge initiale* qui permet de mettre en place une topographie à l'équilibre, du moins d'apporter de l'extérieur le volume de sable requis pour y parvenir rapidement. Un calcul élaboré (Annexe H : Profils de plage en équilibre et protection des berges) mais conservateur a permis d'estimer le besoin en recharge initiale à environ 110 m³/an. La granulométrie des sédiments joue un rôle fondamental sur le profil d'équilibre des plages en déterminant le volume requis, les matériaux plus grossiers résistant mieux à l'action des vagues (processus constructeurs). De plus, les matériaux fins tels que les argiles et les silts ont tendance à être transportés vers l'estran plutôt que de joindre au transport littoral. Ainsi, les apports possibles en provenance de l'extrémité est de la cellule sont composés à 50% d'argile qui est facilement apportée vers la batture extérieure avec les courants de marée. Ailleurs, plus à l'ouest, c'est plutôt 10 % du matériel qui se range dans les particules fines.

Dans le cas des empierrements, c'est définitivement une recharge récurrente importante qui est anticipée afin de maintenir en place une plage qui autrement disparaîtrait rapidement. Si le maintien artificiel d'une plage par une recharge périodique n'était pas prévu avec les empierrements, c'est la perte de la plage qui devrait être escomptée dans l'analyse coûts-avantages. On comprendra que la valeur d'une plage pour une communauté comme Pointe-aux-Outardes soit très importante, tant sur le plan financier, à cause de l'activité de cueillette des coquillages, que pour la qualité de vie de ses citoyens. Il n'est pas question ici de recharge en tant que moyen de protection en soi, cette approche étant, comme nous l'avons dit, récurrente et non durable.

La valeur des paramètres (Tableau 14) escompte 10\$/m³ de sable, ce montant pouvant s'appliquer soit à l'achat de sable sur le marché local, ou encore, à comptabiliser une contribution « en nature » des riverains à la résolution de leur problème. Le montant exact pourrait varier significativement selon la distance du dépôt, la granulométrie naturelle des matériaux disponibles, le besoin de tamisage et la quantité visée si l'acquisition s'effectue sur le marché. Autrement, le montant sert à escompter le sable qui serait prélevé localement sur le littoral (talus) afin d'accéder



aux chantiers d'épis ou d'empièchement, et qui servirait à la recharge compensatoire et à rétablir l'équité de la solution.

La quantité annuelle requise en recharge externe quand la solution bloque l'apport sédimentaire naturel est posée au maximum égale à la quantité érodée en moyenne chaque année par mètre de côte, soit le produit de la hauteur moyenne des talus (10-16 m) par le taux de recul moyen (1,2 m/an), soit 15,6 m³/an/m pour un montant de 156 \$/an/m. Cette valeur est hypothétique et vaut pour les empièchements linéaires (référence). Il est aussi possible que même cette quantité s'avère insuffisante. La recharge périodique requise pour les solutions de type épis posés sur la presque totalité de la cellule hydro-sédimentaire est posée égale au minimum proposé d'apports en sable de 20 000 m³/an résiduels nécessaires à l'équilibre, et qui sont obtenus artificiellement par une cette mesure compensatoire.

Les zones d'application considérées, pour les recharges initiale ou récurrentes correspondent donc aux zones d'implantation et à la nature des diverses mesures de protection.

8.10 Mesures de retrait : déplacement de la rue Labrie

Les seules options possibles pour la rue Labrie Est sont la protection de la côte qui la jouxte, ou le retrait. C'est le retrait qui est traité ici (Tableau 15). La rue Labrie Est peut se subdiviser en trois tronçons dont les caractéristiques particulières invitent à des solutions adaptées :

1. Dans le tronçon situé entre le 178 et le 294, des résidences sont présentes des deux côtés de la rue ce qui en compliquerait le déplacement, en plus d'en multiplier le coût puisque ce déplacement implique aussi que les résidences en rive n'auraient pas été protégées et que tôt ou tard les résidences situées du côté nord devraient être également relocalisées, vraisemblablement au cours de la période de référence (escomptées en 2018 pour les fins de calcul).
2. Dans le tronçon entre le 294 et approximativement le 328, il n'y a pas de bâtiment vulnérable le long de la rue et nous avons le loisir de désigner ce tronçon comme fournisseur de sable de recharge à court et moyen terme. Le tronçon de rue correspondant devrait en conséquence être déplacé le cas échéant, idéalement à plus de 100 m de la côte actuelle, afin d'éviter la zone désignée à risque dans le Règlement de contrôle intérimaire (RCI). Une hypothèse à 60 m est également considérée. Des variantes de cette désignation incluent un sous-tronçon allant jusqu'au 364 ou excluent celui entre le 328 et le 342.
3. Le tronçon extrême est de la rue Labrie comporte, du côté sud, des éléments vulnérables à court, moyen et long termes, selon la distance d'implantation des bâtiments par rapport au talus.



Tableau 14 : Paramètres retenus comme représentatifs de la recharge compensatoire : jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres de recharge compensatoire (RC) ▼ | RC1 | RC2 | RC3 |
|--|------|----------------|----------------------|
| Coût unitaire sable au m ³ | 10\$ | 10\$ | 10\$ |
| Type d'ouvrage à compenser aucun ou fascines=0; épi=1; empierrement=2 | 0 | 1 (épis) | 2 (empierrements) |
| Hauteur moyenne de talus | 13 | | 13 |
| Taux de recul moyen (m/an) | 1,2 | | 1,2 |
| Volume initial (i) ou annuel (a) requis (m ³ /m de côte visée) | 0 | 90-110(i) | 15,6 (a) |
| Coût unitaire au m | 0 | 900-1100\$ (i) | 156\$ (a) |
| Contribution possible des riverains | - | 50% | 0% |

Le coût unitaire du déplacement de la rue Labrie a été estimé à 850 K\$/km (voir la section 6.2.3, page 72). Comme pour toute mesure d'atténuation de risque, l'implication gouvernementale est à niveau de 75%, la balance étant imputée à la Municipalité.

Tableau 15 : Paramètres du retrait de la rue Labrie Est : jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres - Déplacement de la rue Labrie (DR) ▼ | DR1 | DR2 |
|---|-----------|-----------|
| Coût unitaire de déplacement de la rue Labrie (\$/km) | 850 000\$ | 850 000\$ |
| Année d'application | 2008 | 2012 |
| % coût par le gouvernement | 75% | 75% |

8.11 Impact des changements climatiques

L'évolution du climat se doit d'être prise en compte à cause de ses effets aggravants sur le phénomène d'érosion : relèvement du niveau de la mer, tempêtes plus fréquentes et plus énergétiques avec les surcotes et climats de vagues associés, régime des glaces chaotique en hiver. Les dix dernières années ayant été particulièrement dévastatrices en termes d'érosion (taux de recul importants, activation de talus intacts, recul des micro-terrasses) semblent représentatives de ce qui attend les résidents de Pointe-aux-Outardes dans les prochaines décennies (Jean-Pierre Savard, Ouranos, Communication personnelle, 2008). C'est pourquoi le taux de recul moyen des



berges observé depuis dix ans a été conservé en moyenne comme représentatif du scénario de référence par rapport au climat (Tableau 16).

Toutefois, afin de mesurer l'influence d'une situation qui irait en s'améliorant (peu vraisemblable à long terme), ou en s'aggravant, les taux de recul existants peuvent être minorés ou majorés selon le cas par des coefficients de 0,67 ou 1,5, ces valeurs devenant effectives graduellement (linéairement pour les fins de calcul) jusqu'en 2038 à partir de la situation actuelle comme référence (coefficient =1,0).

C'est sous la forme d'analyses de sensibilité que le facteur climat est pris en compte dans les calculs.

Par ailleurs, Ouranos (C. Desjarlais) a produit en 2007 un guide d'analyse coûts-avantages de mesures d'adaptation aux changements climatiques qui a grandement inspiré le traitement économique de ce facteur.

Tableau 16 : Paramètres de modulation des taux de recul en fonction des changements climatiques: jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres - Changements climatiques (CC) ▼ | CC-1X | CC-1,5 | CC-0,66 |
|--|-------|--------|---------|
| Durée de la période de référence | 30 | 30 | 30 |
| Facteur d'amplification du taux de recul à la fin de la période de référence (X) | 1 | 1,5 | 0,67 |

8.12 Paramètres reliés aux avantages intangibles et aux dommages indirects

Comme nous l'avons vu au chapitre 6 (Portrait de la vulnérabilité), la cueillette des mies, la présence d'une plage et la valeur du paysage sont des items importants pouvant être impactés favorablement ou de manière adverse par différentes options. Quelques indications ont déjà été données concernant leur prise en compte. Ci-après, nous introduisons la valeur des paramètres retenus pour ce faire.

8.12.1 Cueillette des mies

La cueillette des mies a été traitée *via* le niveau de revenu annuel actuel (enjeu de 300 K\$/an) modulé dans le temps sur la période de référence de 30 ans en fonction du scénario considéré (Tableau 17).

Impact du retrait. Nous considérons que l'option de retrait généralisé consacre le déséquilibre sédimentaire observé actuellement par un apport sans cesse croissant de sédiments dont la taille et le devenir sur la batture sont loin de garantir la pérennité des habitats coquillers. Une perte d'habitats (et de la ressource) de 50% à la fin de la période de référence, répartie linéairement à compter de maintenant est escomptée.



Impact d'épis. L'état des revenus peut demeurer stable (en valeur présente nette), toutes choses étant égales par ailleurs, pour une option qui préserve un équilibre sédimentaire non-perturbé, certaines options d'épis en l'occurrence, sauf si l'implantation d'épis est excessive et vient perturber trop à la baisse les apports sédimentaires. Le cas échéant, nous assumons une perte inférieure au retrait complet, soit 20% de l'enjeu à la fin de la période de référence.

Impact d'empierrements. L'option d'empierrement est la plus agressive des options concernant l'équilibre sédimentaire, de sorte que selon notre hypothèse les habitats coquillers sont les plus en mesure de subir des impacts négatifs d'une telle solution. En accélérant le transit sédimentaire, puis en coupant à terme toute source d'apport en sédiments une fois que les plages ont été lessivées, on peut raisonnablement présumer que l'équilibre des conditions propices à la production de myes peut s'en trouver fortement perturbé. Nous posons l'hypothèse que cet impact a la capacité d'impacter très négativement cette ressource, voire de la rendre inintéressante comme source de revenus d'appoint. En conséquence, la perte d'avantage est estimée à 100% dans ce cas.

Tableau 17 : Paramètres de modulation cumulative de la perte de la ressource en myes selon l'option générale - Jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres – Impact sur l'enjeu – Cueillette de myes ▼ | |
|--|----------|
| Durée de la période de référence | 30 |
| Impact cumulatif à la fin – Retrait généralisé | -50% |
| Impact cumulatif à la fin – Épis selon la couverture | 0 à -20% |
| Impact cumulatif à la fin – Empierrement linéaire | -100% |

8.12.2 Les plages

Le traitement des plages est similaire à celui de la cueillette des mies et se trouve donc lié à la dynamique sédimentaire pouvant résulter des différentes options (Tableau 18). Nous avons vu précédemment que cet avantage se monte typiquement à 1560 \$/individu/année et que l'enjeu est applicable par hypothèse à 15% de la population qui l'utilise plus assidûment, incluant les riverains, soit 1443 habitants x 15% = 216. Cette prise en compte inclut aussi les visiteurs occasionnels et les touristes.

Impact du retrait. Dans le cas de l'option de retrait généralisé, les apports croissants en sable sont de nature à contribuer au maintien de la qualité et de la disponibilité des plages pour toute la communauté, mais d'en réduire l'accessibilité aux riverains dû à la perte de facilités individuelles (escaliers) présentes actuellement sur la plupart des propriétés situées en rive. Cet item a toutefois été négligé.

Impact d'épis. Les épis servent à maintenir les plages, voire à les restaurer. Selon l'ampleur de leur utilisation, les effets sont variables sur les plages. L'impact plus ou moins favorable peut être



lié à la distance protégée ou restaurée. Il est surtout lié à une accessibilité accrue pour tous en lien avec la mise en place de plusieurs points d'accès requis par la construction et laissés en place par la suite. Dans tous les cas cependant, l'effet est escompté favorable jusqu'à hauteur de 25% pour l'option la plus favorable au bilan sédimentaire et applicable au sous-ensemble de la communauté estimée d'utilisateurs (15% de la population ou 216 habitants). Aucune distinction n'est faite par rapport au type d'épis.

Impact d'empierrements linéaires. Dans ce cas, les plages sont virtuellement perdues à court terme au *pro rata* de la longueur du segment applicable par rapport à la longueur de la cellule non protégée actuellement (3,86 km).

Tableau 18 : Paramètres de modulation de la disponibilité et l'accessibilité des plages selon l'option générale - Jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres – Impact sur l'enjeu – Plages ▼ | |
|--|-------------|
| Durée de la période de référence | 30 |
| Enjeu total | 338 000\$ |
| Impact cumulatif à la fin – Retrait | Négligeable |
| Impact Épis | |
| Partout | +25% |
| Équilibré | +25% |
| Réduit | +15% |
| Mixte | +10% |
| Impact – Empierrement linéaire | -100% |

8.12.3 Le paysage côtier

L'impact sur les paysages est traité à deux niveaux : l'impact direct des mesures sur le paysage lui-même et sur la perte possible de jouissance d'une vue directe pour les riverains. Nous avons vu que cet enjeu est estimé à 570 K\$, une valeur fixe non récurrente qui constitue un plafond pour l'ensemble des 57 propriétés visées. L'impact des mesures est paramétrisé au Tableau 19.

Impact du Retrait. L'impact du retrait ne concerne que les riverains concernés (57) et il n'est applicable qu'au moment du retrait. Une perte d'avantage de 10 K\$ est alors escomptée au fur et à mesure du retrait. Le retrait n'est pas considéré ici comme pouvant causer un impact défavorable sur le paysage lui-même.

Impact des épis. Comme les épis ont pour conséquence d'éviter le retrait, aucune perte de ce type n'est escomptée. En revanche, l'impact sur le paysage n'est pas neutre (artificialisation –vs– maintien de plages). Nous estimons que ces deux effets opposés sont de nature à se compenser mutuellement, donc un effet net neutre.

Impact de l'empierrement. Par contre, l'empierrement linéaire est de nature à causer un tort irréparable au paysage côtier de sorte qu'une perte de 50% de l'avantage correspondant (10 K\$)



est assumée au niveau des riverains. Il est à noter que l'impact est également applicable à l'ensemble de la communauté qui fréquente la cote pour l'attrait visuel qu'elle représente. Toutefois, cet item n'est pas escompté ici.

Tableau 19 : Paramètres relatifs au paysage côtier selon l'option générale - Jeux de valeurs utilisées. En bleu les valeurs de référence

| Paramètres – Impact sur l'enjeu – Paysages ▼ | |
|--|------------------------|
| Durée de la période de référence | 30 |
| Impact cumulatif à la fin – Retrait | -10K\$/unité riveraine |
| Impact Épis | Neutre |
| Impact – Empierrement linéaire | 50% ou – 5K\$/unité |

8.13 Paramètres de l'analyse multi-critères

La prise en compte simultanée de facteurs monétarisables et intangibles constitue un grand défi pour la science économique. Pour ce faire, l'unité de mesure doit être homogène, soit la valeur monétaire. On cherche habituellement à assurer l'homogénéité en attribuant une valeur monétaire à des entités qui ne s'escomptent pas naturellement de cette manière (santé des individus, vie humaine, valeur d'un paysage). Des recettes ont été développées dans la bibliographie pour y arriver et des valeurs sont même proposées (Conseil du Trésor du Canada, 1995). C'est dans cet esprit qu'ont été réalisés les calculs monétaires relatifs à certains avantages plutôt intangibles présents à Pointe-aux-Outardes : plages, paysage, myes. Dans le cas des myes, c'est l'incertitude par rapport à l'impact des différentes mesures qui complique l'exercice de monétarisation. Bien que quantifiés de façon homogène avec les « vrais » items monétaires (ex : coûts de construction), ces items n'en comportent pas moins une importante signification qu'il importe de prendre en compte même avec les marges d'incertitude évoquées.

Il est aussi possible d'atteindre à une forme d'homogénéité de valeurs en procédant de manière plus qualitative et en faisant appel à des critères explicites représentant en valeur unitaire (entre 0 et 1) ou en pourcentage (sur 100%) l'opportunité d'une solution en regard de divers aspects tangibles ou intangibles comme le coût, la durabilité, l'innocuité environnementale. Nous avons choisi de tenter l'expérience au meilleur de notre connaissance. Nous croyons que l'approche multi-critères pourrait en quelque sorte apporter un éclairage additionnel à la décision. L'approche est néanmoins quantitative, et nécessite une paramétrisation de la perception du problème qui s'effectue idéalement avec les intervenants impliqués, ici le Comité de Concertation. Dans le cas présent, ce sont les auteurs qui ont contribué majoritairement à la fixation des valeurs utilisées. Cette restriction est importante afin de rendre justice à cette méthode qui, lorsqu'appliquée en recherche de consensus, devient un outil de concertation puissant. À notre décharge, les valeurs des paramètres utilisées ont été soumises en Comité de concertation qui n'y a vu aucun biais



notable par rapport à leur propre perception. Enfin, question de transparence, la méthode nécessite toujours que la valeur des paramètres et les hypothèses sous-jacentes soient explicites.

8.13.1 Rappel des critères

Les critères finalement retenus sont tels que soumis au troisième Comité de concertation en date du 22 février 2008. Ils se composent de deux jeux : les *critères de base* et les *critères agrégatifs* (globaux) permettant de regrouper les critères de base avec une pondération variable traduisant leur importance relative. Les critères de base sont donnés et expliqués sommairement au Tableau 20. L'implantation et la paramétrisation de ces critères sera expliquée un peu plus loin.

8.13.2 Critère Coût : C_S

Compte tenu des enjeux à court et moyen termes impliqués dans les solutions de retrait, nous avons opté pour pré-qualifier (valeur de 100%) les options dont la somme des coûts et avantages directs est inférieur à 3 M\$. Nous entendons par coûts directs les coûts de réalisation des travaux, incluant la contribution en nature des riverains. L'exclusion des autres coûts et avantages (plages, myes, paysage) se justifie parce que ces items sont pris en compte à l'aide de critères équivalents (ex : impact environnementale, bilan sédimentaire, etc. voir plus loin). Les options d'une valeur supérieure à 8 M\$ sont pratiquement disqualifiées (0%) tandis que les solutions intermédiaires (entre 3M\$ et 8M\$) voient leur critère coût décroître linéairement vers 0 %. La Figure 48 montre la fonction appliquée. Le poids et le traitement alloués à ce critère important sont discutés plus loin.

Tableau 20 : Liste et définition des critères de base utilisés pour classier les solutions proposées

| Critères de base | Remarques |
|--|--|
| Coût d'ensemble : C_S | La variable d'entrée est le coût direct actualisé |
| Durabilité : C_D | Basé sur le % annuel du coût de l'ouvrage en entretien |
| Risque résiduel : C_R | Basé sur un estimé du succès prévisible de la mesure par rapport aux dommages résultant de l'érosion |
| Équité : C_E | Basé sur la répartition relative des coûts et des avantages parmi les intervenants |
| Impacts environnementaux - Bilan sédimentaire : C_I | Basé sur un estimé sommaire des impacts environnementaux de la mesure et sur ses effets sur l'équilibre sédimentaire |
| Synergie - Mise en valeur : C_V | Basé sur les possibilités offertes de mise en valeur récréo-touristique du littoral |
| Impact social : C_S | Ce critère prend en compte les possibilités d'impact social négatif de la mesure et la réceptivité de la |



communauté

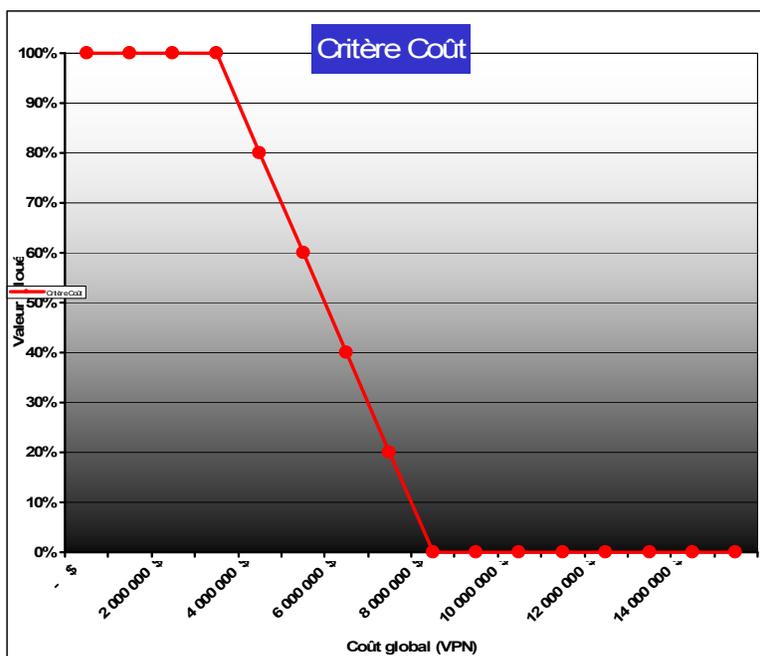


Figure 48 : Critère de base Coût global

8.13.3 Critère Durabilité : C_D

Le critère de durabilité (Figure 49) recoupe plusieurs aspects qui touchent à la *Durée de vie utile* d'un ouvrage ou d'une mesure quelconque en regard du risque qu'il vise à contrôler. Si les mesures d'entretien sont appliquées adéquatement, la vie utile d'un ouvrage peut se prolonger bien au-delà de la durée escomptée *a priori*. Par contre, le défaut d'entretenir un ouvrage peut en réduire considérablement l'efficacité pendant la vie utile escomptée, de même que sa pérennité au-delà de la période de référence. En supposant que les ouvrages sont tous maintenus en état, au moins sur l'ensemble de la période de référence de l'étude, c'est le % du coût de l'ouvrage en coûts d'entretien qui tient lieu de variable représentative de la durabilité. Les mesures visant le retrait sont considérées durables si la marge de recul au site d'accueil n'implique pas de nouveaux déplacements dans la période de référence ou à plus long terme, ce qui est le cas ici.

Nous avons choisi d'attribuer la cote maximale (100%) aux solutions à zéro entretien tandis que les ouvrages requérant un entretien annuel important, égal ou supérieur à 4% reçoivent une cote réduite à 20%, l'intervalle entre les deux variant linéairement.

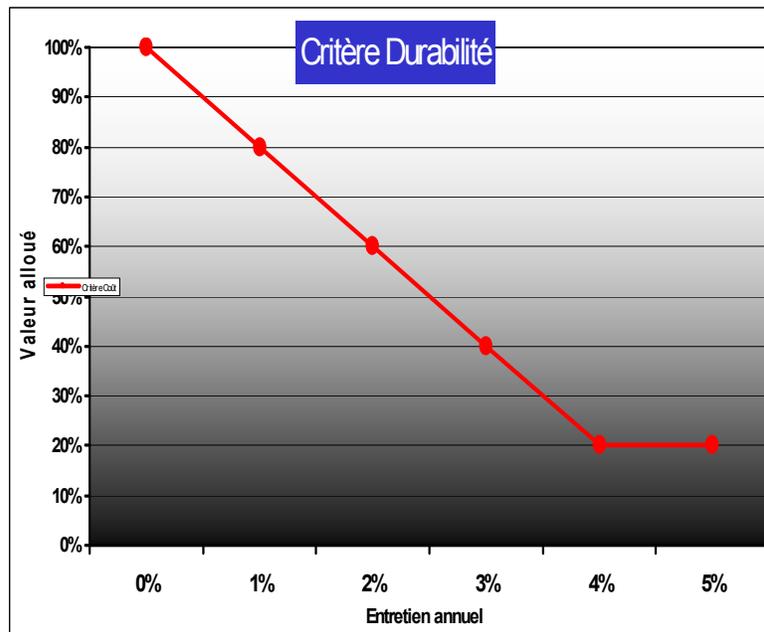


Figure 49 : Critère de base Durabilité

8.13.4 Critère Risque résiduel : C_R

Ce critère prend en compte l'efficacité qu'on anticipe de l'implantation d'une solution eu égard aux dommages directs qui pourraient survenir en lien avec l'érosion. Les solutions dures comme l'empierrement linéaire se voient attribuer 50% à cause des effets pervers de l'approche qui peuvent, à terme, aggraver le problème (effets de bout, perte de la micro-terrasse et de la plage avec leur effets protecteurs). En cherchant à maintenir la plage et la micro-terrasse, les solutions douces comme les épis obtiennent une cote bien supérieure, mais la valeur finale dépend de la stratégie d'implantation (longueur de côte visée), de l'interaction avec le transit sédimentaire et du succès de la recharge initiale en sable. Le besoin en recharge récurrente n'est pas à écarter et il peut aussi déterminer l'efficacité de l'ouvrage en rapport avec le risque résiduel. Ce type de solutions est coté 80-100% selon le cas. Les solutions retrait, en sortant à long terme le potentiel de vulnérabilité de la zone menacée sont cotés 100% tandis que les solutions mixtes de type retrait/solutions douces se situent entre les deux (90-100%).

Tableau 21 : Valeur du critère efficacité attribuée aux différents types de solution

| Type de solution | Critère |
|---|----------|
| Solution dure | 50% |
| Solutions douces | 80%-100% |
| Solution Retrait exclusivement | 100% |
| Solution mixte (selon le % de littoral protégé ou soustrait à l'exposition) | x-100% |



8.13.5 Critère Équité : C_E

Le critère équité a été retenu afin de mesurer, dans la mesure du possible la participation effective de toutes les parties prenantes dans le financement des solutions et les avantages obtenus en retour. Elle vise donc aussi à évaluer les avantages monétaires ou intangibles qui accompagnent les solutions pour les parties. Plus spécifiquement, il est assumé que la répartition des coûts entre la communauté (municipalité surtout) et le gouvernement ne varie pas beaucoup entre les solutions (sauf le retrait simple), les programmes couvrant typiquement 75% de la facture directe. Par contre, les coûts d'entretien étant à la charge de la Municipalité, cet élément peut jouer sur l'équité. Le principal partenaire visé dans l'équité est le groupe des riverains qui bénéficieront directement de la mesure. Les écarts importants entre les riverains dus aux marges de recul très variables, l'état d'activation des talus, la valeur à protéger ne sont pas pris en compte étant donné qu'une bonne solution à l'érosion se doit d'être envisagée à l'échelle de la cellule hydro-sédimentaire.

La contribution du groupe « Riverains » à la solution peut être monétaire (ex : frais non-admissibles des solutions de retrait) ou « en nature » si le remodelage de la côte requis pour stabiliser les talus et recharger les cellules d'épis est escompté et traduit monétairement. De plus, les propriétés riveraines devraient voir leur valeur majorée (typiquement 15% comme valeur retenue), ce qui doit être normalement déduit du coût assumé par le propriétaire. C'est donc sur la contribution nette du groupe des riverains en % de la solution d'ensemble qui sert à évaluer le critère d'équité. Accessoirement, l'équilibre de l'ensemble des participations peut être considéré pour distinguer 2 solutions ayant une équité comparable de la part des riverains.

Dans ce contexte, une contribution des riverains, monétaire ou en nature (mais monétarisée) supérieure à 20% du coût total nous est apparue comme une valeur difficile à améliorer compte tenu qu'il s'agit d'une moyenne pour tous (critère = 100%) et que des écarts pourraient surcharger un peu plus que la moyenne certains des propriétaires. Les contributions inférieures à 20% sont cotées avec une valeur décroissant à 0% avec une contribution nulle.

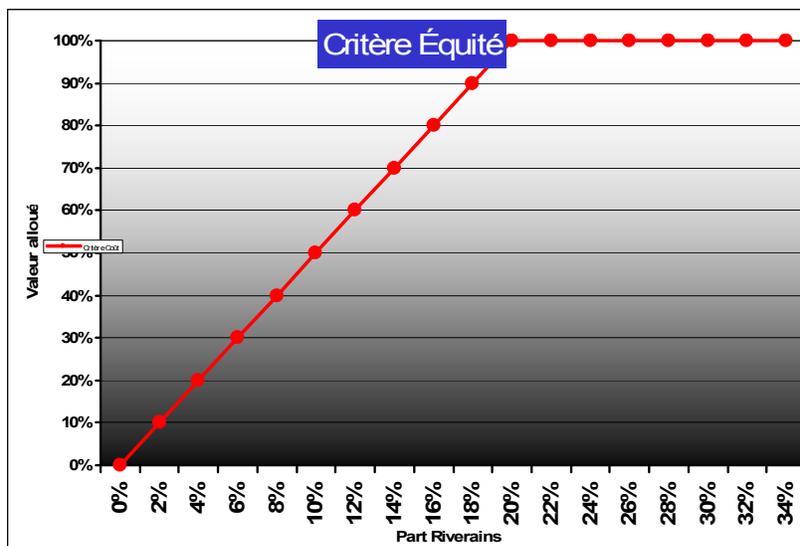


Figure 50 : Critère Équité



8.13.6 Critère Impacts environnementaux - Bilan sédimentaire : C_i

Ces deux critères, *l'impact environnemental et le bilan sédimentaire* ont été introduits afin de qualifier les solutions du point de vue de leur intégration naturelle dans un environnement fragilisé supportant un écosystème naturel qui offre des ressources halieutiques importantes pour la communauté et le groupe des cueilleurs de myes (150K\$/an d'enjeu). L'application de ce critère ne vise pas à se substituer à une évaluation environnementale formelle, étape qui devra être franchie quoi qu'il en soit si la solution retenue interagit avec le milieu physique. C'est par l'influence que pourrait avoir une modification du bilan sédimentaire d'un segment de la côte sur d'autres segments (effets de bout, interruption temporaire du transit sédimentaire, perte de plage, impact sédimentaire sur la batture et les habitats coquilliers) que la valeur du critère est attribuée. On comprendra de ce rapport que, si l'écologie de la batture et la disponibilité d'habitats coquilliers ne sont pas traitées explicitement, nous reconnaissons l'influence qu'un transit sédimentaire modifié pourrait avoir, favorable ou pas.

Ce qu'on sait aujourd'hui de la cueillette des myes, c'est que les stocks semblent en diminution sans que l'on puisse attribuer cette évolution à l'un ou l'autre des facteurs externes possibles (pression de cueillette?, modifications de l'habitat reliées aux apports croissants en sable dus à l'érosion? Autres?). Il est donc tout à fait possible que, quelle que soit la solution retenue, y compris le retrait pur et simple (à cause des impacts cumulatifs des activités humaines de la péninsule), on doive envisager des impacts, favorables ou négatifs. Dans ce contexte, voici comment les solutions de différents types ont été cotées (Tableau 22).

Les solutions dures sont cotées très basses et pour cause pour toutes les raisons déjà mentionnées. Les solutions de type épis avec recharge visent le ré-équilibre du bilan sédimentaire de la côte et le retour à une situation qui prévalait autrefois alors que l'écosystème de la batture paraissait en bien meilleure condition qu'aujourd'hui. Celles-ci sont donc cotées entre 50 et 100% selon le schéma d'application retenu, le bilan sédimentaire résiduel et les précautions relatives à la recharge en sable compensatoire. Ainsi, les champs d'épis qui ne laisseraient que peu d'apports résiduels afin de maintenir le transit littoral sont cotées plus faibles (50%). Paradoxalement, la solution de retrait simple n'est pas cotée très haut (50%) à cause des impacts environnementaux cumulatifs que doivent subir la côte et la batture⁹ et que la solution ne permet pas d'adresser. De plus certaines mesures de protection passées (ex : empierrements ponctuels) continueraient d'imposer des impacts négatifs à considérer. Les solutions mixtes sont considérées équivalentes aux solutions douces.

Les calculs relatifs aux apports sédimentaires résiduels après intervention seront présentés avec les scénarios traités.

⁹ Notre prémisses essentielle est que le niveau d'érosion actuel est un impact résiduel de l'activité humaine et qui n'a bénéficié d'aucune mesure d'atténuation



Tableau 22 : Critère Impacts environnementaux et bilan sédimentaire

| Type de solution | Critère |
|--------------------------------|----------|
| Solutions dures | 10% |
| Solutions de protection douces | 80%-100% |
| Solutions de retrait | 50% |
| Solutions mixtes | 80%-100% |

L'impact social n'est pas considéré ici, un critère spécifique à cet item est introduit plus loin.

8.13.7 Critère Synergie - Mise en valeur : C_V

Ce critère a été considéré nécessaire quoique plus marginal que les précédents (la pondération introduite plus loin en tient compte). Il vise à prendre en compte la possibilité de tabler sur la solution pour améliorer le bien-être des riverains et de la communauté au sens large, incluant la région de la péninsule Manicouagan et le tourisme. Ainsi, toute solution favorisant l'accès à la plage ou à la batture doit être considérée plus favorablement qu'une autre restreignant cet accès, limité dans la situation présente (les accès à la plage et à la batture sont majoritairement privés ou contraints au quai municipal). D'autres solutions compromettent même l'existence de la plage, contribuant ainsi à la dégradation du milieu de vie.

Dans ce contexte, l'empierrement linéaire n'offre pas de possibilité pour mettre en valeur la côte (critère = 10%). Les solutions douces, en réhabilitant les plages et en offrant possiblement des accès multiples, non seulement aux résidents des deux côtés de la rue Labrie, mais aussi à la communauté et aux visiteurs convient beaucoup mieux à une mise en valeur élargie de la côte (critère = 80-100%, l'extension de la mesure sur la côte déterminant la valeur). Les solutions de retrait envoyant le message (implicite) que la sécurité du secteur côtier du village est compromise, on voit mal comment une telle solution pourrait être perçue favorablement pour la mise en valeur. Les solutions mixtes incluant des mesures douces sont cotées dans l'intervalle entre les deux types de mesure, bénéficiant à la fois des impacts favorables et de perceptions contraires relatives au retrait.

Tableau 23 : Critère Synergie – Mise en valeur

| Type de solution | Critère |
|--------------------------------|----------|
| Solutions dures | 10% |
| Solutions de protection douces | 80%-100% |
| Solutions de retrait | 50% |
| Solutions mixtes | 70% |



8.13.8 Critère Impact social : C_s

Distinct de l'impact environnemental qui vise le milieu physique et ses habitats, l'impact social est estimé d'après la réceptivité de la communauté dans son ensemble et des riverains visés par rapport au type de solution. Bien sûr, ce critère est lié à la perception des solutions dans la population et au degré de consensus atteint à leur égard. En pratique, nous avons basé l'appréciation de ce critère sur de multiples communications personnelles tant avec certains riverains qu'à travers les membres du Comité de concertation. Ainsi, malgré leurs avantages eu égard à la sécurisation des immeubles déplacés, les options de retrait sont considérées comme des solutions ultimes et ce sont celles qui génèrent le plus de résistance dans la communauté des riverains (Critère = 20%). De plus, elles divisent la communauté et affaiblissent le tissu social par les tensions qu'elles génèrent. À l'opposé, les solutions dures ont longtemps joui d'une perception favorable de sorte qu'on retrouve plusieurs centaines de mètres de côtes empierrées (municipal, particuliers). La perception accrue de ses effets pervers commence à susciter des résistances afin de préserver les avantages actuels du littoral de ses impacts prévisibles (plage, bancs coquilliers, paysage). Malgré tout, la solution était encore perçue comme la norme jusqu'à tout récemment. Le critère a donc été coté à 80%, ce qui est probablement un chiffre conservateur évoluant à la baisse.

Les solutions douces ont acquis une cote très favorable au cours des dernières années comme la principale alternative aux solutions dures ou au retrait, perçus comme des solutions ultimes. Bien que des questionnements subsistent, aucun signe de résistance *a priori* n'a été perçu chez les nombreux intervenants rencontrés, tant de la part des riverains que des membres du Comité de Concertation. Bien sûr, nous nous faisons les interprètes du « sentiment » de la communauté à cet égard cette approche n'ayant rien de scientifique. Mais, il semble que ce type de solution soit maintenant perçu comme beaucoup moins dommageable que les empièvements, moins dérangeant que le retrait simple, et susceptible de solutionner la problématique de l'érosion et de rétablir l'équilibre des plages pour l'ensemble de la communauté (Critère = 100%).

Les solutions mixtes peuvent être cotées de manière très variable selon l'importance allouée à la composante retrait dans le scénario. Moins le scénario « dérange » l'ordre établi, plus il incorpore des approches de protection, plus il suscite l'adhésion générale.

Tableau 24 : Critère Synergie – Impact social

| Type de solution | Critère |
|--------------------------------|----------|
| Solutions dures | 80% |
| Solutions de protection douces | 100% |
| Solutions de retrait | 20% |
| Solutions mixtes | 20%-100% |



8.14 Critères globaux

Il est requis d'appliquer une forme d'agrégation (regroupement) pour combiner ensemble les divers critères de base et en extraire une forme d'appréciation relative des options entre elles, tous critères confondus. Il faut pour ce faire adopter une formulation qui permette de pondérer les critères selon l'importance qu'on leur accorde dans la décision. Le but n'est pas de les substituer à la décision elle-même. Il s'agit simplement d'éclairer la décision, celle-ci demeurant du ressort des principaux intervenants visés par l'équité. Bien que présentant les caractères de l'objectivité, l'approche comporte une bonne part de subjectivité contenue dans la formulation elle-même des critères globaux ainsi que dans les poids individuels¹⁰ alloués aux critères de base. Voilà pourquoi plusieurs formulations et pondérations ont été élaborées afin d'en mesurer l'impact sur l'opportunité des scénarios. Ci-après sont succinctement introduites et justifiées les différentes formulations, incluant les paramètres de pondération retenus. Le Tableau 25 résume les formules appliquées. Celles-ci sont détaillées un peu plus loin.

Tableau 25 : Résumé des critères globaux appliqués

| Critère global : G_i | Remarques |
|---|---|
| Approche G_1 - Poids décisif sur le coût | Multiplie la moyenne des critères de base autres que le coût, par ce dernier. Ceci donne au critère coût un pouvoir d'élimination du scénario si le critère coût est nul |
| Approche G_2 - Poids majoritaire sur le coût | Ce critère global additif ajoute au critère coût pondéré par le poids indiqué (ex: 0,75 ici), la moyenne de tous les autres critères pondérée par le complément du poids du critère coût (ex : 0,25) la somme des deux poids devant donner 1. |
| Approche G_3 - Équilibre des critères (moyenne géométrique à pondération variable) | Effectue la moyenne géométrique des critères autres que le coût selon un poids variable selon l'importance qu'on leur donne, qu'il multiplie par le critère coût |
| Approche G_4 - Équilibre des critères (moyenne arithmétique à pondération variable) | Additionne les critères autres que le coût pondérés selon une importance variable qu'il multiplie par le critère coût |
| Approche G_g - Agrégation ultime des G_i | Moyenne des 4 critères globaux précédents |

¹⁰ Normalement, dans ce genre de formule, la somme des poids doit être égale à l'unité.



Les pondérations utilisées résultent d'une interprétation de la part des analystes. Elles tentent de refléter l'importance relative qu'on accorde aux différents items considérés. Tous les critères allouent un poids dominant, au bilan des coûts et avantages monétaires de la mesure car il est évident que la somme des enjeux limite vers le haut les capacités financières des différents intervenants. Les pondérations se prêtent naturellement à d'autres interprétations et le résultat pourrait alors différer de ceux obtenus par nous. Il faut donc conserver une certaine distance vis-à-vis des résultats obtenus et ne s'en servir qu'à titre indicatif.

8.14.1 Critère G_1 : Poids décisif sur le coût

Ce critère s'exprime ainsi :

$$G_1 = C_s \times \text{Moyenne}(C_D, C_R, C_E, C_i, C_V, C_S)$$

Comme le critère Coût (C_s) peut être nul, il en est de même du critère global G_1 . Les autres critères sont implicitement pondérés de la même valeur (1/6 en l'occurrence) ce qui revient à leur donner une importance égal ce qui n'est sans doute pas vraiment le cas.

8.14.2 Critère G_2 : Poids majoritaire sur le coût

Cette formulation vise le même objectif que G_1 mais autrement. Il accorde un poids dominant au critère coût mais non décisif (0,75), les autres critères étant simplement moyennés comme dans G_1 et pondérés par le complément de p_s , soit $(1 - p_s)$, p_s étant le poids mis sur le coût.

$$G_2 = p_s \times C_s + (1 - p_s) \times \text{Moyenne}(C_D, C_R, C_E, C_i, C_V, C_S)$$

8.14.3 Critère G_3 : Moyenne géométrique pondérée

Dans cette formule, on alloue un poids décisif dominant au critère coût qui multiplie la moyenne géométrique pondérée des autres critères. La somme des poids P (P_D, P_R, P_E, P_i, P_V et P_S) égale 1. Les poids sont fournis au Tableau 26. Dans notre compréhension du problème, le critère dominant (25%), mis à part le coût, est la capacité de la solution de réhabiliter la côte dans un état d'équilibre favorable aux habitats coquilliers et aux usages extensifs par la communauté. Deux critères viennent ensuite avec une égale importance (20%): l'équité parmi les intervenants et l'impact social qui, admettons-le, ont un certain rapport l'un avec l'autre, le défaut d'équité pouvant entraîner des tensions sociales. Les deux critères suivants en ordre d'importance sont la durabilité et le risque résiduel (15%). Enfin le potentiel de synergie dans un projet de mise en valeur est pondéré à 5%.

$$G_3 = C_s \times (C_D^{P_D} \times C_R^{P_R} \times C_E^{P_E} \times C_i^{P_i} \times C_V^{P_V} \times C_S^{P_S})$$

Tableau 26 : Poids retenus pour relativiser l'importance de critères de base

| Poids | P_D | P_R | P_E | P_i | P_V | P_S |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Valeur allouée | 15% | 10% | 15% | 40% | 5% | 15% |



Ces valeurs traduisent la perception de l'équipe d'analyse eut égard à l'importance à allouer aux différents items. Elles ne sont donc pas arbitraires mais les auteurs admettent qu'elles sont possiblement discutables. On remarquera le poids important mis sur l'impact environnemental lié à l'équilibre sédimentaire. Cette pondération reflète l'importance des enjeux correspondants, soit la réhabilitation et la conservation des plages et des ressources halieutiques.

8.14.4 Critère G_4 : Moyenne arithmétique pondérée

Ce modèle est similaire au précédent sauf que les critères de base, sauf le critère coût, sont amalgamés à l'aide d'une moyenne arithmétique pondérée par les mêmes poids (Tableau 26).

$$G_3 = C_s \times (PdC_D + PrC_R + PeC_E + PiC_i^{Pi} + PvC_V + PsC_S)$$

8.14.5 Critère ultime G_g : Moyenne des critères globaux

Ce modèle est simplement basé sur la moyenne des critères globaux précédents.

$$G_g = \frac{G_1 + G_{21} + G_3 + G_4}{4}$$

8.15 Résumé

Un modèle d'analyse formé de divers modules et implanté sur Microsoft Excel^{MD} 2003 permet d'évaluer à la fois sur les plans monétaire et qualitatif (les intangibles) les multiples conséquences de divers scénarios comprenant aussi bien des mesures de retrait, de protection ou mixtes. La ventilation des dépenses et leur répartition temporelle sur la durée de vie utile des aménagements sont paramétrisées afin de bien représenter les différentes options. Un taux de préférence temporelle (actualisation) est appliqué afin de faire ressortir l'influence discriminante du temps sur les options. L'impact fiscal et une évaluation de l'équité financière pour les divers intervenants sont parmi les résultats produits par l'analyse.

Certains paramètres de base ont été traités comme des *constantes de référence* (ex : taxes municipales) tandis que d'autres demeurent variables en vue d'en vérifier l'effet sur les solutions (ex : paramètres des programmes d'assistance financière ou d'atténuation de risques, taux d'actualisation, dérive climatique).

Une approche multi-critères, en tant qu'outil supplémentaire d'aide à la décision, a été implantée sous la forme d'une hiérarchie de critères de base (intangibles surtout) et de critères globaux (agrégatifs). Cette approche permet de prendre en compte simultanément plusieurs facteurs comme le coût global, l'équité de la solution, sa durabilité, l'efficacité (risque résiduel), les impacts environnementaux (bilan sédimentaire) et sociaux ainsi que le potentiel de synergie pour la mise en valeur, ces deux derniers ayant été proposés lors de la rencontre du 3^{ième} Comité de concertation le 22 février 2008).

L'approche multi-critères retenue ne traduit cependant que la perception des enjeux par les auteurs telle que révélée en Comité de Concertation ou suite à de multiples communications personnelles



avec les acteurs. Nous croyons avoir atteint un certain degré de consensus à cet égard. Nous reconnaissons qu'un tel exercice doit s'accompagner d'une intervention beaucoup plus formelle, voire itérative, du Comité de concertation. Une analyse comprenant un volet sur la sensibilité des critères à des valeurs différentes des paramètres, ou encore une prise en compte formelle de l'incertitude aurait aussi pu être entreprise afin de mesurer la robustesse des conclusions. Ces activités n'ayant pas été réalisées, il faut donc considérer les résultats de l'analyse multi-critères présentée comme une indication des meilleures solutions parmi celles proposées plutôt qu'une figure imposée.



9 Scénarios considérés

Les scénarios présentés ici appartiennent aux catégories suivantes :

- Exclusivement ou majoritairement de type « Protection côtière » : Scénarios P_i incluant les options de ré-équilibrage de la dynamique côtière
- Exclusivement de type « Retrait » : Scénarios R_i
- Une combinaison des deux premiers ou « Mixtes » : Scénarios MX_i

9.1 Scénarios de référence

En analyse coûts-avantages (Conseil du Trésor du Canada, 1995), il est de mise de comparer chacune des alternatives (ou options) à un *scénario de référence* (ou plus) qui décrit une situation qui devrait normalement se produire si les paramètres d'intervention demeuraient ce qu'ils ont été traditionnellement. Deux approches répondent à ce critère :

1. L'*empierrement linéaire généralisé* (P_3 ou $P_{réf}$) comme cela a été et est encore pratiqué, entre autres pour la protection des infrastructures routières régionales, ou par des particuliers
2. Le *retrait graduel généralisé, assisté financièrement* ($R_{réf}$) par un programme comme le Programme général d'assistance financière - Mouvements de sol (PGMS).

La science économique considère aussi parfois des scénarios théoriques plus contrastés afin de relativiser les scénarios plus réalistes et mettre en évidence leurs mérites respectifs. Cette option n'a pas été retenue. La sensibilité de certains scénarios à des paramètres périphériques (ex : changements climatiques, programmes d'assistance, coûts unitaires) peut aussi être testée. Ces analyses complémentaires sont possibles avec les tableurs développés. Seul la sensibilité des options au taux d'actualisation. Enfin, les valeurs des paramètres des options sont en grande majorité celles de référence identifiées en fond bleu dans les tableaux du chapitre précédent (ex : actualisation). Seules les valeurs spécifiques au scénario traité, ou à l'analyse de sensibilité aux paramètres externes, sont fournies aux tableaux correspondants. L'analyse comparative des scénarios sera présentée au chapitre suivant.



9.2 Zones d'application

Les zones d'application de chacune des mesures concernent généralement des segments bien délimités de la côte. Afin de faciliter la compréhension des options ci-après, une segmentation sommaire (Figure 51) désignée de A à G d'ouest en est permet de distinguer des zones où des mesures particulières seraient appliquées. Une segmentation par numéros civiques a été appliquée pour l'étude détaillée.

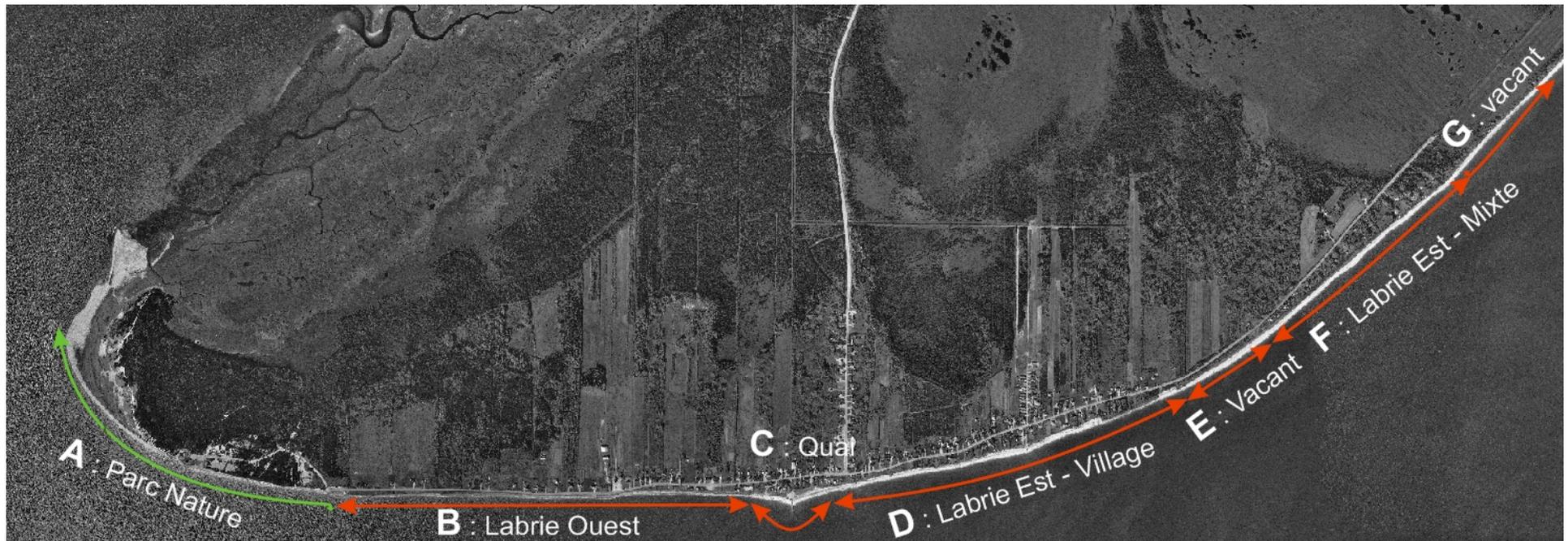


Figure 51: Segmentation du milieu côtier pour fins d'analyse - Pointe-aux-Outardes



9.3 Option P1 : champ d'épis conventionnels (20) partout (3,9 km)

9.3.1 Objectifs recherchés

L'objectif est de mettre en place un champ d'épis conventionnels, assorti d'une recharge de plage initiale, un dispositif qui agirait comme stabilisateur de courants afin de retenir le transport littoral, protéger les plages et les hauts de plage reconstitués, protéger les micro-terrasses, et par conséquent, les talus adjacents. L'approche vise à éviter les conséquences de l'érosion par rapport au bâti, et accessoirement d'améliorer l'accessibilité du littoral à toute la communauté et protéger cet élément important de la qualité de vie à Pointe-aux-Outardes.

9.3.2 Caractéristiques générales de l'option

Il est possible que les paramètres de dimensionnement se démarquent quelque peu de cette hypothèse préliminaire en vue d'optimiser au besoin les volumes de matériaux requis et l'efficacité. Typiquement, un champ d'épis conventionnels en enrochement (cœur en tout venant grossier, pierre de carapace en surface) ayant une longueur de 70 m à partir du pied de talus et placés à tous les 200 m est considéré en première approximation. Cette configuration s'inspire de la forme du quai municipal. La protection obtenue est généralement de l'ordre de 2 à 4 fois la longueur des épis, de là leur espacement de 200 m. Dans ce scénario, aucune mesure de retrait n'est prévue, incluant le segment de la rue Labrie le plus menacé actuellement entre le 294 Labrie et le 342 (Zone vacante E, Figure 51). La zone d'application s'étend sur 3,9 km, soit l'ensemble de la rue Labrie Est (Zones D+E+F : du 178 au 392) et comporte une vingtaine (20) d'épis. Les valeurs des paramètres de référence sont celles indiquées au chapitre précédent.

9.3.3 Traitements spécifiques

Une recharge initiale de plage est requise afin de positionner la topographie du système le plus près possible de son équilibre morpho-sédimentaire ultime dès le départ ($90 \text{ m}^3/\text{m}$ de côte). Le scénario anticipe qu'une recharge périodique annuelle deviendra tôt au tard nécessaire ($20\,000 \text{ m}^3/\text{an}$) étant donné que toutes les sources d'apport en sable (zones en érosion) sont pratiquement taries à cause justement de la présence des épis. Seuls des échanges positifs avec la batture favorisés par les processus constructeurs de plage, pourraient diminuer ce besoin récurrent, ce qui est difficile à prévoir dans nos connaissances actuelles. Il est donc requis d'alimenter le système avec un apport externe au départ et possiblement durant toute la période de référence, apport qui est sans doute loin d'être aussi important que celui requis par les empierrements mais qui demeure néanmoins très significatif. De là, l'assimilation du scénario à une intervention en empierrements pour la question de la recharge compensatoire annuelle.



9.3.4 Estimation des impacts sur la vulnérabilité et les avantages identifiés – Risque résiduel

Le risque résiduel est considéré négligeable moyennant l'hypothèse que l'ouvrage soit régulièrement entretenu (1%/année du coût initial) et que la recharge périodique soit effectivement réalisée, sans autre garantie que la détermination et les ressources des autorités municipales de le faire. Dans ce cas seulement, on peut escompter une valeur résiduelle des ouvrages à la fin de la période de référence de 30 ans, valeur qui a pour effet de diminuer le coût actualisé en 2008. L'option est considérée comme ayant un impact positif (+10%) sur l'enjeu des plages et neutre sur l'enjeu des myes et de la vue sur le paysage. Dans ce dernier cas, le maintien de plages est supposé compenser l'impact visuel des ouvrages.

9.3.5 Bilan des coûts et avantages

Ce scénario est estimé à 7,3 M\$ (Millions \$), valeur comprenant les avantages préservés ou bonifiés (1,55M\$) (Tableau 27). Ce scénario comporte des coûts plus importants en recharges initiale et périodique (6,94 M\$) que pour la construction des épis eux-mêmes (2,34 M\$) à cause du fait que la protection ne laisse aucun espace à des apports naturels par l'érosion de segments de côte non protégés. De ce point de vue, le scénario rejoint celui de l'empierrement complet (ouvrage réfléchif) bien que la capacité de rétention du sable par les épis soit significative et demande beaucoup moins de recharge périodique.

Le scénario considère que la réalisation de ces épis s'accompagne d'une contribution en nature (recharge initiale en sable) en provenance des lots riverains (plusieurs sont vacants actuellement) au moment de la réalisation (déblai pour les chemins d'accès, re-profilage des talus). La recharge périodique de même que l'entretien des ouvrages sont obtenus sur le marché local et sont à la charge de la communauté. Une plus-value des bâtiments en rive de 15% est escomptée dès le départ, valeur qui devrait, en toute équité, se traduire par des rentrées fiscales additionnelles pour les pouvoirs locaux. Ce gain pour le secteur riverain demeure toutefois marginal dans le bilan d'ensemble. En revanche, la contribution en nature escomptée est très significative et met l'essentiel du poids de la réalisation sur les riverains et la communauté.

9.3.6 Contraintes et limitations

La principale limitation d'un tel scénario est l'obligation pour la Municipalité de procéder en plus de l'entretien périodique des épis à une coûteuse recharge compensatoire (20 000 m³/an), sinon annuelle, du moins périodique, afin de compenser le déficit des apports actuellement fournis par le recul des berges. Les coûts importants de telles obligations pourraient bien, à la longue, voire dès le départ, devenir exorbitants et conduire à la suspension de cette mesure compensatoire, d'autant plus que dans le scénario, les coûts sont assumés par toute la communauté. En un mot, le scénario fait plus ou moins fi du principe de développement durable en acceptant des interventions coûteuses et récurrentes pour établir et maintenir des conditions environnementales qui ne s'équilibrent pas d'elles-mêmes. De plus, la quantité annuelle moyenne de sable requise pour la recharge périodique demeure une valeur plus ou moins spéculative, très variable



annuellement en relation avec les aléas, ce qui laisse planer une incertitude importante sur l'engagement financier annuel que l'option P1 sous-tend.

Tableau 27: Coût en M\$ du scénario P1 – Épis conventionnels partout.
Les montants indiqués sont en *valeur présente nette*. Une valeur négative indique un gain

| MESURES ► | Total | | Détail | Épis | | Recharge | |
|--|-----------------------|--------|--------|-----------------------|-----|-----------------------|-----|
| Longueur ou nombre visés | | | | 3,9 | km | 3,9 | km |
| BILAN ACTUALISÉ | Valeur présente nette | | | Valeur présente nette | | Valeur présente nette | |
| Coût total du scénario pour les intervenants | 7,30 | 100% | | 0,79 | | 6,94 | |
| Autres valeurs (plages, paysage, myes) | -1,55 | -21,2% | | -1,55 | | | |
| ÉQUITÉ | % | | | % | | % | |
| Coût pour le gouvernement | 2,71 | 37,1% | | 1,40 | 52% | 1,30 | 48% |
| Coût pour la communauté | 4,67 | 64,0% | | 0,78 | 17% | 3,89 | 83% |
| Impact fiscal et contribution en nature – Riverains | 1,90 | 26,0% | | 0,16 | 8% | 1,74 | 92% |
| Coût direct – Riverains | 0,00 | 0,0% | | | | | |
| Perte ou gain net de valeur marchande ou d'utilité - Riverains | -0,43 | -5,9% | | | | | |
| Coût pour les autres intervenants | 0,00 | 0,0% | | | | | |

9.3.7 Avantages et/ou inconvénients pour les parties prenantes

L'avantage principal est d'éviter les douloureuses conséquences sociales des mesures de retrait. Le scénario a aussi pour mérite d'offrir l'opportunité de donner accès direct à la côte à l'ensemble de la communauté et des visiteurs *via* les chemins d'accès aux épis, si cette possibilité était retenue. On s'attend aussi que la mesure produise des impacts favorables sur l'écosystème



de la batture (escomptés neutre cependant), un résultat qui, faute de pouvoir être prédit à coup sûr, devrait normalement faire l'objet d'un suivi environnemental rigoureux.

À défaut de recharge périodique qui pourrait résulter de coûts trop élevés pour le potentiel fiscal de la communauté, l'interruption rapide et prolongée du transit littoral liée et l'insuffisance de l'apport sédimentaire résiduel laisseraient pendant une période prolongée un maigre bilan d'apports, semblable à celui des empiètements partout (Scénario de référence P_{ref}), soit autour de 3500 m³/an, donc très en-deçà du minimum transitoire de 20 000 m³/an fixé pour évaluer l'opportunité de la solution.

9.3.8 Équité – Répartition des coûts et des avantages

Le patron de répartition des coûts vs les avantages est loin de représenter une situation équitable pour les intervenants, les avantages étant surtout alloués aux riverains (valeur des propriétés, sécurité, réhabilitation des plages, etc.). L'ensemble de la communauté bénéficie d'accès multiples à la côte mais sa contribution pour ce faire semble disproportionnée par rapport au bénéfice escompté. L'implication des riverains (incluant les terrains vacants) est cependant significative quand on considère la contribution « en nature » que l'option suppose. La plupart des scénarios à recharge initiale escomptent une participation similaire des riverains.

9.3.9 Variantes possibles

Différentes variantes sont possibles notamment en soustrayant du scénario le coût de la recharge périodique. Le cas échéant, il faudrait escompter que les ouvrages vont se dégarnir graduellement du sable qui y a été chargé au départ et que leur longévité pourrait s'en trouver sévèrement écourtée. La reconstruction partielle ou complète des ouvrages est alors à prévoir durant la période de référence et aucune valeur résiduelle ne peut être allouée aux ouvrages à la fin. De plus les bénéfices escomptés du maintien d'une plage (activités récréo-aquatiques, cueillette des myes, notamment) pourraient être compromis à moyen terme. Enfin, un déficit sédimentaire important et difficile à quantifier et situer dans le temps pourrait en résulter à l'aval de la cellule (estuaire de la rivière aux Outardes) à partir du moment où le transit sédimentaire est interrompu ou sévèrement diminué pendant une période donnée. Un impact sur l'habitat des myes serait alors à redouter.

L'autre possibilité est de laisser place à l'érosion sur les segments en amont de la zone les moins vulnérables aux dommages sur le bâti afin d'entretenir naturellement le bilan sédimentaire des ouvrages. Cette possibilité donne lieu à d'autres scénarios de protection moins invasifs plus loin (P4, P5, P6 et MX1). Une autre variante de ce scénario est de substituer les épis conventionnels par des épis tubulaires de type Holmberg (Scénario P2 ci-après) ou autres tel que suggéré par le Comité de Citoyens de Pointe-aux-Outardes (2005; Forum citoyen, 2007). Ces options sont examinées ci-après.



9.4 Option P2 : Champ d'épis (20) de type Holmberg partout

9.4.1 Objectifs recherchés

Comme pour les épis conventionnels, la mesure consiste à implanter dans le même segment que le scénario P1 (Épis conventionnels généralisés) un champ d'épis de type Holmberg », assorti d'une recharge initiale, et agissant comme stabilisateurs de courants et du transport littoral. L'objectif est en gros de ré-équilibrer les processus sédimentaires en reconstituant les plages, les hauts de plage, et en protégeant la micro-terrasse et par conséquent, les talus. L'approche vise aussi à éviter les conséquences de l'érosion par rapport au bâti, et accessoirement d'améliorer l'accessibilité du littoral à toute la communauté. La technologie étant expérimentale dans notre climat, l'option aurait valeur de projet pilote tel que suggéré par le Comité de citoyens.

9.4.2 Caractéristiques générales de l'option

Les paramètres de dimensionnement préliminaires sont ceux indiqués dans la lettre de M. Holmberg qu'on extrapole sur l'ensemble de la côte (Voir le Figure 51, page 123; Zones D+E+F : adresses 178 à 392) non encore protégée. Ces valeurs sont bien sûr indicatives. Typiquement, le système proposé comprend des épis (boudins remplis de sable ou béton) de 80 m perpendiculaires à la rive, espacés aux 150 m, et entrecoupés de structures analogues ancrées en rive aux pieds des talus. Dans ce scénario, aucune mesure de retrait n'est prévue, incluant le segment de la rue Labrie le plus menacé actuellement entre le 294 Labrie et le 342. Une recharge initiale de 90 m³/m est prévue. Comme pour tout scénario bloquant la majeure partie de la recharge naturelle en sable, une recharge périodique visant à maintenir un apport sédimentaire à 20 000 m³/an est prévue pour éviter à terme un déficit sédimentaire important dans l'estuaire de la rivière aux Outardes et sur la batture adjacente (bancs coquilliers). La recharge annuelle sert également à compenser les pertes entre les épis lors des tempêtes. Comme pour P1, la recharge initiale est escomptée en nature à 50% par les propriétés riveraines (déblai des chemins d'accès, re-profilage des talus), l'autre 50% étant couvert par la communauté et le programme d'atténuation des risques. La zone d'application est la même que le scénario P1. Le coût d'installation est évalué à 4 M\$/km et les coûts d'entretien sont estimés à 1%/an du coût de l'ouvrage ce qui est sans doute un strict minimum.

9.4.3 Traitements spécifiques

Une recharge initiale est requise afin de positionner le système le plus près possible d'un équilibre morpho-sédimentaire dès le départ. Le scénario anticipe qu'une recharge périodique deviendra tôt au tard nécessaire étant donné que toutes les sources d'apport en sable (zones en érosion) sont pratiquement tarées à cause justement de la présence des épis, à moins que les échanges avec la batture ne favorisent les processus constructeurs de la plage, ce qui est difficile à prévoir. Il est donc requis d'alimenter le système avec un apport externe, apport qui est sans doute loin d'être aussi important que celui requis par les empierrements mais qui demeure



néanmoins très significatif. De là l'assimilation du scénario à une intervention en empièvements pour la question de la recharge.

9.4.4 Estimation des impacts sur la vulnérabilité et les avantages – Risque résiduel

Les conséquences sur le risque résiduel et le bilan des avantages sont considérées égales à celles de l'option P1.

9.4.5 Bilan des coûts et avantages

Ce scénario est estimé à 18,3 M\$, valeur qui tient compte de la plus-value inévitable obtenue pour les valeurs des propriétés protégées (Tableau 28) et des avantages obtenus (1,05M\$). Ce scénario coûte cher à la fois pour la construction (13,4M\$) et la recharge périodique (6,9 M\$) qui, dans ce cas, compense la carence d'apports naturels procurés par l'érosion de segments de côte non protégés. De ce point de vue, le scénario est équivalent à l'empièchement complet bien que la capacité de rétention du sable par les épis soit significative et requiert moins d'apports périodiques (20 000 m³/an). Le scénario escompte une contribution en nature (sable) de la part des riverains au moment de la réalisation.

L'entretien moyen annuel représente aussi un item lourd bien qu'il ne soit escompté qu'à 1%/an du coût initial (boudins remplis de béton). Si les boudins étaient remplis de sable, le coût d'entretien pourrait augmenter considérablement à cause des impacts de la glace en hiver. La recharge périodique qui est requise de même que l'entretien des ouvrages sont à la charge de la communauté. Une plus-value des bâtiments de 15% est escomptée dès le départ, valeur qui devrait, en toute équité, se traduire par des rentrées fiscales additionnelles pour les pouvoirs locaux. Ce gain pour les riverains demeure toutefois marginal dans le bilan d'ensemble. En revanche, la contribution en nature (50% de la recharge initiale) est très significative mais ne permet pas de satisfaire des paramètres d'équité équilibrés. En première approximation, aucun coût direct de la mesure n'est pris en charge par les riverains, sauf la recharge initiale fournie en nature.

9.4.6 Contraintes et limitations

La principale limitation d'un tel scénario est l'obligation pour la Municipalité d'assumer possiblement des coûts d'entretien minimums (1% du coût initial escompté), mais malgré tout importants et de procéder à une recharge compensatoire annuelle (20 000 m³/an), afin de compenser l'interception des apports actuellement fournis par l'érosion. Les coûts récurrents importants de telles obligations paraissent exorbitants au vu des enjeux à protéger. En un mot, le scénario fait plus ou moins fi du principe de développement durable en acceptant des interventions coûteuses et récurrentes pour maintenir les conditions d'occupation actuelles de la côte. De plus, la quantité annuelle moyenne requise pour la recharge périodique et les coûts d'entretien demeurent des valeurs plus ou moins spéculatives du scénario (et imprévisibles dû au caractère aléatoire des grosses tempêtes) qui laissent planer une incertitude importante sur l'engagement financier qu'il sous-tend.



Tableau 28 : Coût en M\$ du scénario P2 – Épis Holmberg généralisé.
 Les montants indiqués sont en *valeur présente nette*. Une valeur négative indique un gain

| MESURES ► | Total | | Détail | Épis | | Recharge | |
|--|-----------------------|-------|--------|-----------------------|-----|-----------------------|-------|
| Longueur visée | | | | 3,86 | Km | 3,86 | km |
| COÛTS ACTUALISÉS | Valeur présente nette | | | Valeur présente nette | | Valeur présente nette | |
| Coût total du scénario pour les intervenants | 18,32 | 100% | | 11,82 | | 6,94 | 11,82 |
| Autres valeurs (plages, paysage, myes) | -1,55 | -8,4% | | -1,55 | | 0,00 | -1,55 |
| ÉQUITÉ | 0,00 | % | | | % | | |
| Coût pour le gouvernement | 9,32 | 50,9% | | 8,02 | 86% | 1,30 | 8,02 |
| Coût pour la communauté | 9,08 | 49,6% | | 5,19 | 57% | 3,89 | 5,19 |
| Impact fiscal et contribution en nature – Riverains | 1,90 | 10,3% | | 0,16 | 8% | 1,74 | 0,16 |
| Coût direct – Riverains | | | | | | | |
| Perte ou gain net de valeur marchande ou d'utilité - Riverains | -0,43 | -2,3% | | | | | |
| Coût pour les autres intervenants | | | | | | | |

9.4.7 Avantages et/ou inconvénients pour les parties prenantes

Le bilan des avantages et inconvénients est similaire à l'option précédente (P1).

9.4.8 Équité – Répartition des coûts et des avantages



On a vu précédemment que les paramètres d'équité demeurent loin d'un patron équilibré, les riverains, malgré une contribution importante en nature et fiscale, d'autant plus que ces contributions sont « diluées » par le coût de construction très élevé. Dans ce scénario, la solution vient d'« en haut » presque exclusivement (communauté et gouvernement). La communauté dans son ensemble bénéficie cependant d'accès multiples à la côte en plus d'une plage réhabilitée.

9.4.9 Variantes possibles

Différentes variantes sont possibles en modulant la portée de la mesure dans l'espace. D'autres options traitées plus loin considèrent ces possibilités (Holmberg Équilibré, option P5)

9.5 Scénario de référence P3 ou P_{réf}: Empierrement linéaire généralisé

De plus en plus considérée comme une protection « ultime » aux conséquences difficilement réversibles, quoi qu'on en pense, c'est ce scénario qui a été appliqué traditionnellement, même dans un passé très récent, à l'ouest du Chemin principal le long de la rue Labrie, de même que ponctuellement en face de certaines propriétés. On en retrouve aussi partout autour de la péninsule Manicouagan (ex : Pointe-Lebel). Cette technique est aussi recommandée pour le littoral de Ragueneau (Génivar, 2007). On en connaît maintenant beaucoup mieux les limitations et les inconvénients majeurs : réparations récurrentes, disparition de la plage, effets de bout. Il est tout de même apparu intéressant (pédagogique) d'extrapoler cette forme de protection sur l'ensemble du littoral non protégé de Pointe-aux-Outardes afin d'en mesurer la portée réelle.

9.5.1 Objectifs recherchés

L'objectif est classiquement de blinder la côte afin de mettre à l'abri les éléments vulnérables établis derrière l'ouvrage : infrastructures routières, domaine bâti, etc. La protection joue cependant en sens inverse pour la plage, et le paysage de la côte. L'habitat des myes peut aussi en souffrir en lien avec le régime sédimentaire ainsi perturbé. Ces conséquences non recherchées font nécessairement partie du tableau et doivent être escomptées, soit comme une perte, soit *via* les mesures compensatoires permettant de les éviter.

9.5.2 Caractéristiques générales de l'option

Pour les fins de la démonstration, l'option empierrement a été figurée pour l'ensemble de la côte encore à protéger soit près de 4 km (3,9), soit la même distance que le scénario P1 (Voir le Figure 51, page 123; Zones D+E+F : adresses 178 à 392). Les paramètres de dimensionnement n'ont pas été explorés mais le coût a été établi à une valeur moyenne représentative tel qu'exposé au chapitre précédent. Étant donné que la mesure est très vraisemblablement associée à la perte de la plage, une recharge compensatoire annuelle équivalente à l'érosion actuelle (calculée d'après les taux de recul et les hauteurs de talus moyens) est prévue, sans qu'on soit assuré que ce volume suffirait à maintenir un couloir de plage. Étant donné que toute la cellule morfo-sédimentaire est



soustraite à l'érosion, aucun apport local ne permet de compenser naturellement, même très partiellement, les pertes subies. De plus, ce type d'ouvrage pouvant exiger des réparations relativement lourdes, des coûts récurrents de 3%/an du coût initial sont prévus.

Toute économie sur ce scénario obtenue par des paramètres de dimensionnement inférieurs, le report des opérations d'entretien ou le sacrifice de la plage doit être escomptée autrement, soit par des réparations majeures obligatoires dans la durée de vie de l'ouvrage, une valeur nulle à la fin, ou la perte de la plage pour la communauté. Toute approche ayant pour effet de soustraire un de ces termes équivaut à masquer la réalité et axer la protection sur le court terme.

9.5.3 Risque résiduel

Dans l'hypothèse où l'ouvrage est régulièrement entretenu et qu'une recharge compensatoire est assurée pour compenser la perte de la plage, le risque résiduel de dommages directs au bâti est considéré nul. Autrement, le risque résiduel est représenté par les réparations majeures qui seraient requises tôt ou tard durant la période de référence. La valeur résiduelle à la fin est aussi un levier pour escompter le défaut d'appliquer un programme d'entretien adéquat. En escomptant les coûts inhérents de ce scénario sous la forme de réparations récurrentes, de mesures de compensation (recharge), le risque résiduel de ce type se trouve annulé et le coût de l'ouvrage actualisé en 2038 est déduit du scénario. En revanche, le coût de la recharge périodique qui vise à maintenir les plages est considérable par rapport à la valeur économique de la fréquentation de la plage (voir la section 6.5.6, page 81). Bien que monétarisé pour les fins du calcul, cet avantage demeure avant tout un élément intangible auquel aucun revenu n'est associé, ce qui rend douteux le programme d'entretien des plages escompté ici. De même, nous assumons que l'impact très important des empierrements (avec ou sans recharge périodique) sur l'équilibre sédimentaire de la côte (sans doute la pire des options) est de nature à perturber les habitats coquilliers de la batture, et donc compromettre la récolte à terme. Cet enjeu est très significatif monétairement puisqu'il représente des revenus annuels directs de 150 000\$ pour la communauté de cueilleurs. Dans le présent scénario, la ressource est réputée perdue, ou non exploitable commercialement au terme de la période de référence. Le déclin est posé linéaire en fonction du temps. Ces deux enjeux sont estimés à 7,59M\$ en valeur actualisée.

9.5.4 Bilan des coûts et avantages

Il est bien difficile de trouver quelque avantage à ce scénario étant donné son coût global (25,07M\$) et l'ampleur du risque résiduel, du moins les mesures de compensation requises pour en assurer les effets sans conséquences récurrentes et le plus souvent irréversibles. Malgré tout, 7,59M\$ de coûts relatifs aux intangibles ou aux coûts indirects sont escomptés. Le seul avantage qu'on peut lui concéder est sa facilité de mise en œuvre à cause de l'expérience technique disponible et d'une procédure environnementale possiblement allégée si le projet n'est pas perçu comme réalisé en milieu hydrique (la berge seulement).



Tableau 29 : Coût en M\$ du scénario de protection de référence P3 ou Préf – Empierrement conventionnel généralisé avec recharge compensatoire annuelle
Les montants indiqués sont en *valeur présente nette*. Une valeur négative indique un gain

| MESURES ► | Total | | Détail ► | Empier- rements | | Recharge | |
|--|-----------------------|-------|----------|-----------------------|------|-----------------------|-----|
| Longueur visée | | | | 3,86 | Km | 3,86 | km |
| COÛTS ACTUALISÉS | Valeur présente nette | % | | Valeur présente nette | | Valeur présente nette | |
| Coût total du scénario pour les intervenants | 25,07 | 100% | | 15,08 | | 10,42 | |
| Autres valeurs (plages, paysage, myes) | 7,59 | 30,3% | | 7,59 | | | |
| ÉQUITÉ | | % | | | % | | % |
| Coût pour le gouvernement | 3,21 | 12,8% | | 3,21 | 100% | 0,00 | 0% |
| Coût pour la communauté | 14,54 | 58,0% | | 4,12 | 28% | 10,42 | 72% |
| Impact fiscal et contribution en nature – Riverains | 0,16 | 0,6% | | 0,16 | 100% | 3,86 | km |
| Coût direct – Riverains | - | 0% | | - | - | - | - |
| Perte ou gain net de valeur marchande ou d'utilité - Riverains | -0,43 | -1,7% | | - | - | - | - |

Nous avons suffisamment fait état des inconvénients pour devoir y revenir ici. Notons seulement que ce scénario ne laisse en transit littoral que la quantité érodée du segment non protégé, à l'extrémité est de la cellule hydro-sédimentaire, soit environ 3500 m³/an, une valeur très éloignée du minimum transitoire de 20 000 m³/an proposé précédemment.

9.5.5 Variantes possibles

Compte tenu des impacts, inconvénients et des coûts récurrents considérables imputables à la communauté associés à ce type d'option, aucune variante n'a été considérée.



9.6 Option P4 : Champ d'épis conventionnels (12) – Équilibré – Retrait partiel de la rue Labrie Est

9.6.1 Objectifs recherchés

On vise simultanément à procurer une protection pratiquement aussi efficace que le scénario P1 (Épis conventionnel partout) sauf pour deux segments de côte en érosion qui contribueraient à maintenir l'équilibre sédimentaire du système par des apports récurrents de sable au bilan. L'objectif est de réduire les coûts de recharge initiale (distance réduite) et périodique trop importants dans le scénario P1. Un autre objectif consiste à évaluer la possibilité de compenser les effets de l'empierrement linéaire à l'ouest du quai, plus précisément au voisinage du Parc Nature.

9.6.2 Caractéristiques générales de l'option

Ce scénario ne prévoit pas d'épis vis-à-vis du segment de la rue Labrie jouxtant la côte entre le 294 Labrie Est et le 328 (Voir le Figure 51, page 123; Zone E). Une longueur de 0,87 km de la rue Labrie Est devrait donc être déplacée à terme. Il n'y en aurait pas non plus à l'extrémité Est de la rue Labrie à partir du 360 (extrémité de F) étant donné que l'intervention proposée a des chances de porter fruit au-delà de la protection minimale escomptée. L'apport sédimentaire moyen annuel obtenu de ces deux segments en érosion active satisfait au plancher de 20 000 m³/an fixé temporairement pour maintenir l'équilibre des apports au niveau de 1998. Par contre, le déplacement de la rue Labrie Est (Zone E), dont le segment non protégé est menacé à court ou moyen terme, est escompté en 2012 pour les fins présentes. On peut aussi espérer que la protection déployée allonge ce délai, mais cette hypothèse n'a pas été prise en compte. Enfin, la mise en place d'épis à l'ouest du quai municipal (Extrémité ouest de la Zone A vers la Parc Nature) mérite qu'on l'analyse méticuleusement afin d'en maximiser les effets sans occasionner d'impacts négatifs sur le bilan sédimentaire plus loin en aval. Une mise en place le plus à l'ouest possible, à l'extrémité de l'empierrement linéaire ou plus loin encore, paraît indiquée.

9.6.3 Traitements spécifiques

Les épis expérimentaux prévus à l'ouest du quai municipal doivent faire l'objet d'une analyse de positionnement et d'un suivi technique. La recharge initiale est établie à 90 m³/m de côte tel que déjà spécifié. La recharge périodique n'est pas escomptée étant donné l'apport sédimentaire résiduel suffisant (supérieur à 20 000 m³/an), obtenu par les segments avec peu ou pas de vulnérabilité résidentielle qu'on laisse en érosion. Il est à noter que le volume de sable requis peut avantageusement être réduit si le sable de recharge est préalablement tamisé afin d'éliminer les particules fines facilement emportées au large lors de tempêtes.



9.6.4 Estimation des impacts sur la vulnérabilité – Risque résiduel

L'effet de protection attendu a une portée réduite face aux scénarios « mur à mur » présentés précédemment dans la mesure où l'on accepte de devoir déplacer la rue Labrie sur 0,87 km plutôt que de protéger la côte à cet endroit, en plus de laisser d'autres segments de côte (majoritairement des terrains vacants) à l'érosion. Du point de vue du bâti, aucune menace de déplacement n'est prévue à moyen et long termes, les bâtiments situés au-delà du 360 étant en général localisés assez loin de la côte en recul (marges de recul). Il est également possible, mais non escompté ici, que la protection installée répercute ses effets au-delà de la zone ciblée (360 et plus). Concernant les avantages tels que la fréquentation des plages et le paysage côtier, l'option vise justement à les protéger en restaurant un équilibre sédimentaire acceptable. Nous convenons que le paysage côtier peut être impacté par la présence d'épis; en revanche, nous escomptons que le maintien des plages et un aménagement adéquat des talus (re-végétalisation) sont de nature à compenser cet impact. Il en est de même de l'habitat des myes dont la disponibilité est vraisemblablement liée aux perturbations du milieu qu'on cherche à limiter avec cette option. C'est pourquoi l'option P4 est assortie d'avantages importants à ces différents niveaux.

9.6.5 Bilan des coûts et avantages

Les coûts estimés de ce scénario (Tableau 30) dépendent des items considérés notamment, l'impact sur la valeur marchande, et la contribution « en nature » attendue du secteur riverain, significative dans ce scénario et les avantages escomptés au niveau des plages. Le bilan des coûts et avantages du scénario est de 2,4M\$.

9.6.6 Contraintes et limitations

Parmi les contraintes sur ce scénario, notons le besoin de recharge initiale déjà mentionné, la nécessité de conduire un suivi géomorphologique et sédimentaire pour valider les hypothèses de conception (ré-équilibre) ainsi que le suivi environnemental (écologique) relatif aux habitats (zostère marine, bancs coquilliers). Cette remarque vaut d'ailleurs pour tous les scénarios de ce type. Une contrainte minimale de 20 000 m³/an proposée pour l'apport sédimentaire résiduel est appliquée ce qui implique le maintien d'un minimum de zones en érosion.

9.6.7 Avantages et/ou inconvénients

En plus des objectifs recherchés, d'autres avantages sont inhérents au scénario : la possibilité d'établir un meilleur équilibre entre les contributions fournies et les avantages obtenus. La possibilité d'obtenir 50% de la recharge initiale à même la côte (chemins d'accès, reprofilage des talus) contribue à établir de bons paramètres d'équité. Le maintien d'un apport sédimentaire minimum supérieur à 20 000 m³/an (20 000 à 24 500; voir la Figure 52) à partir de segments peu vulnérables et non protégés favorise l'équilibre sédimentaire de la côte et des zones situées en aval de la cellule ou sur la batture adjacente. Le scénario a aussi le potentiel de minimiser les tensions sociales puisqu'il tente de répondre à l'attente exprimée de plusieurs citoyens engagés, que l'accessibilité à la côte est favorisée pour la communauté et qu'on travaille à réhabiliter voire améliorer les plages. Enfin, la restauration de l'équilibre sédimentaire (recherchée par l'option)



est de nature à maintenir à son niveau actuel la disponibilité de l'habitat des myes, donc à préserver cet avantage tangible et récurrent pour les nombreux cueilleurs commerciaux.

9.6.8 Équité – Répartition des coûts et avantages entre les parties prenantes

Bien que l'équité des coûts et des avantages semble attribuer au gouvernement l'essentiel des coûts (89,7%), ce diagnostic est trompeur dans la mesure où les avantages intangibles (monétarisés) sont très importants dans le bilan et réduisent la base de comparaison (bilan des coûts et avantages). En pratique, une contribution très significative (en nature) est attendue des riverains et de la communauté afin de réduire les coûts directs. En fin de compte, l'option présente un tableau d'équité très favorable une fois pris en compte l'ensemble des items du bilan.

9.6.9 Variantes possibles (P4.1, P4.2)

Une variante plus économique consisterait à reprendre l'option P4 mais *en soustrayant la recharge initiale du/des épis considérés à l'extrémité ouest de l'empierrement linéaire* (P4.1). En effet, nous escomptons que le transit littoral se stabilise assez rapidement autour des valeurs d'équilibre proposées. Toutefois, dans la phase transitoire suivant l'implantation d'épis à l'est du quai et la recharge initiale correspondante, on s'attend aussi à ce que le transit littoral s'accroisse le temps que le remaniement des matériaux placés entre les épis s'accomplisse. Cet excès de sable qui devrait quitter le champ d'épis vers l'ouest pourrait être partiellement capté à court terme sans nuire à long terme au transit littoral vers les zones situées en aval de la cellule (estuaire aux Outardes et batture adjacente). Une telle option retirerait près de 200 m de côtes à recharger initialement, réduisant ainsi le bilan des coûts et avantages de près de 0,18K\$ et le portant à **2,22 M\$** (toutes autres considérations demeurant égales). Par contre, il est possible d'escompter des avantages tangibles pour le Parc Nature, items qui n'ont pas pu être comptabilisés monétairement.

Dans le même ordre d'idée, une autre variante de P4 (P4.2) consisterait à ajouter un épi à P4 (donc 2 épis à l'ouest du quai, soit contigus à l'ouest de l'empierrement existant, ou distancés aux extrémités de celui-ci) et en éliminant de nouveau la recharge initiale correspondante (400 m). Une protection additionnelle de 200 m serait ainsi obtenue pour un coût inférieur de 0,04K\$ par rapport à P4 en plus d'améliorer la rétention du transit. Il faut cependant faire attention au risque de déficit sédimentaire en aval des derniers épis qui pourrait transitoirement induire des impacts sur l'équilibre de l'estuaire aux Outardes et de la batture adjacente. Une approche graduelle accompagnée d'un suivi technique rigoureux pourrait être indiquée.

D'autres variantes de ce scénario consisteraient à substituer les épis conventionnels par des épis Holmberg, toutes choses étant égales par ailleurs. Cette possibilité fait l'objet de l'option P5 ci-après. D'autres possibilités ont trait à la portée spatiale de l'aménagement qui peut être moins étendue (P6 – Épis Réduit), voire laisser place au retrait de bâtiments (MX1). Ces variantes sont aussi analysées plus loin.



Tableau 30 : Coût du scénario en M\$ – Champ d'épis Équilibré avec retrait partiel de la rue Labrie Est – Scénario P4.
 Les montants indiqués sont en *valeur présente nette*. Une valeur négative indique un gain

| MESURES ► | Total | | Détail ► | Déplacement Rue Labrie | | Champ d'épis | | Recharge compensatoire | |
|--|-----------------------|--------|----------|------------------------|-----|-----------------------|-----|------------------------|-----|
| Longueur visée | | | | 0,87 | Km | 2,40 | km | 2,40 | km |
| COÛTS ACTUALISÉS | Valeur présente nette | % | | Valeur présente nette | | Valeur présente nette | | Valeur présente nette | |
| Coût total du scénario pour les intervenants | 2,40 | 100% | | 0,63 | | -0,09 | | 2,16 | |
| Autres valeurs (plages, paysage, myes) | -1,55 | -64,3% | | - | | -1,55 | | - | |
| ÉQUITÉ | | % | | | % | | % | | % |
| Coût pour le gouvernement | 2,16 | 89,7% | | 0,47 | 22% | 0,87 | 40% | 0,81 | 38% |
| Coût pour la communauté | 0,90 | 37,5% | | 0,16 | 17% | 0,47 | 53% | 0,27 | 30% |
| Impact fiscal et contribution en nature – Riverains | 1,19 | 49,5% | | - | | 0,11 | 9% | 1,08 | 91% |
| Coût direct – Riverains | - | 0% | | - | - | - | - | - | - |
| Perte ou gain net de valeur marchande ou d'utilité - Riverains | -0,30 | -12,4% | | - | - | - | - | - | - |

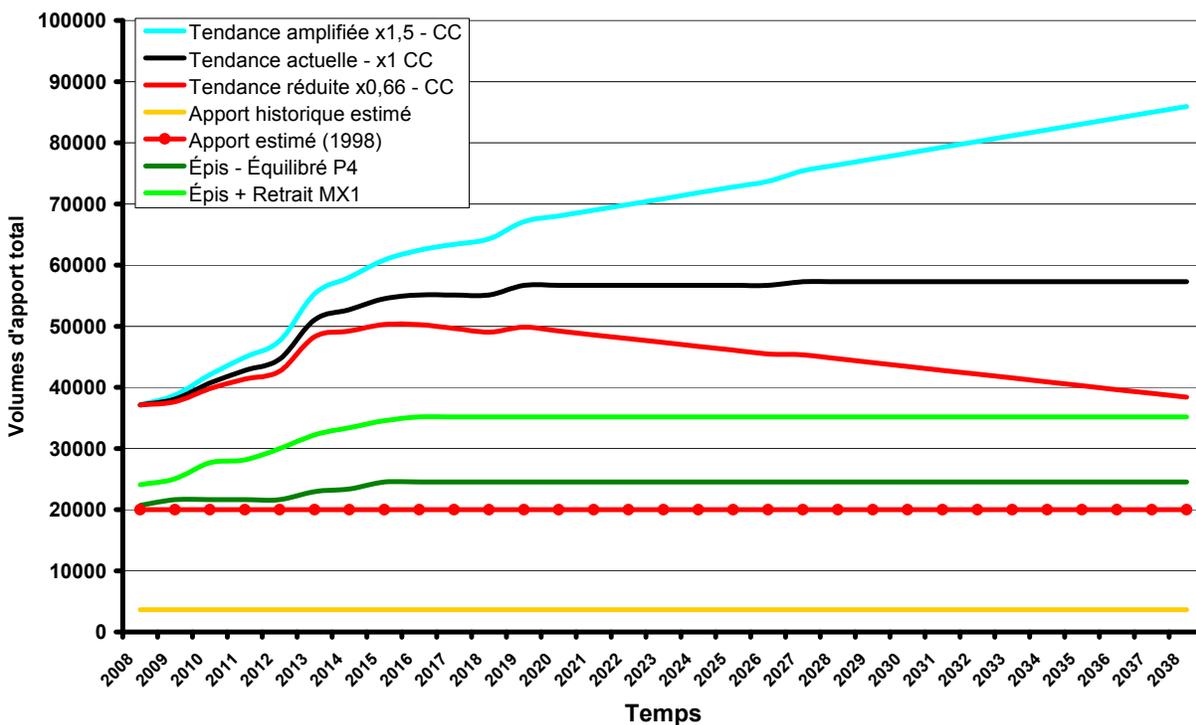


Figure 52: Prévion de l'évolution des apports sédimentaires nets selon le scénario

9.7 Option P5 : Champ d'épis Holmberg (12) – Équilibré

9.7.1 Objectifs recherchés

Les objectifs sont les mêmes que pour les épis conventionnels (Scénario P4) en plus de faire l'objet d'un projet pilote visant à tester cette approche dans notre climat.

9.7.2 Caractéristiques générales de l'option

Ce sont les mêmes que le scénario P4 sauf pour le choix du type d'épis. Des épis sont installés sur 2,4 km en des segments non vulnérables (pour le bâti résidentiel), incluant près du parc Nature (Voir le Figure 51, page 123; Partie de la zone A, zone D et partie de F). La rue Labrie est déplacée sur près de 0,87 km (Zone E). Une recharge initiale de 90 m³/m est prévue dans les segments protégés par les épis.

9.7.3 Traitements spécifiques

On s'assure de maintenir un transit sédimentaire suffisant, c'est-à-dire supérieur à 20 000 m³/an (La courbe Épis Équilibré - P4 sur la Figure 52). Faute d'indication contraire dans les documents



disponibles, nous n'avons pas de raison de croire que ce type d'épis pourrait mieux retenir le transit sédimentaire que les épis conventionnels. Les résultats escomptés sont donc les mêmes.

9.7.4 Estimation des impacts sur la vulnérabilité – Risque résiduel

Ce scénario ne diffère pas en principe de celui des épis conventionnels.

9.7.5 Bilan des coûts et avantages

Le bilan actualisé de l'option ressemble au scénario P4 (Tableau 31); seul le coût unitaire au kilomètre change. Le bilan de l'option se monte à 9,26 M\$, montant comportant une bonification des plages et la préservation de la ressource myes. Ce coût net est bien sûr très inférieur au scénario P2 (Holmberg partout) dû au fait que sa portée est réduite et que le maintien de segments actuellement en érosion évite de devoir recharger annuellement le champ d'épis. Le prix à payer pour ce faire est le déplacement en 2012 de la rue Labrie sur 0,87 km (Zone E) qui deviendrait menacée à moyen terme (escomptée en 2012). Il est également possible que les coûts d'entretien (1% du coût initial annuellement) puissent différer à la hausse par rapport aux épis conventionnels dû au fait qu'ils sont protégés par un brevet et l'exclusivité du droit d'installation par une firme spécialisée. Encore là, les conséquences sur les coûts d'entretien ne sont pas connues et les valeurs sont fournies à titre indicatif.

9.7.6 Contraintes et limitations

Ce sont les mêmes que le scénario P4 auxquelles s'ajoutent des précautions additionnelles concernant le suivi de l'ouvrage.

9.7.7 Avantages et/ou inconvénients pour les parties prenantes

Mis à part les coûts totaux qui semblent hors de proportion par rapport aux enjeux économiques réels, le scénario comporte l'avantage de répondre à une demande de certains milieux pour expérimenter ce type d'approche. Autrement, les avantages et inconvénients sont typiquement les mêmes que pour le scénario P4 (Épis conventionnels Équilibré).



Tableau 31 : Coût en M\$ du scénario de protection – Champ d'épis Holmberg (Option Équilibrée) avec retrait partiel de la rue Labrie Est – Scénario P5.
 Les montants indiqués sont en *valeur présente nette*. Une valeur négative indique un gain

| MESURES ► | Total | | Détail ► | Déplacement de la rue Labrie | | Champ d'épis | | Recharge compensatoire | |
|--|------------------------------|----------|----------|------------------------------|----------|------------------------------|----------|------------------------------|----------|
| | Valeur présente nette | % | | Valeur présente nette | % | Valeur présente nette | % | Valeur présente nette | % |
| Longueur visée | | | | 0,87 | km | 2,40 | km | 2,40 | km |
| COÛTS ACTUALISÉS | Valeur présente nette | % | | Valeur présente nette | | Valeur présente nette | | Valeur présente nette | |
| Coût total du scénario pour les intervenants | 9,26 | 100% | | 0,63 | | 6,77 | | 2,16 | |
| Autres valeurs (plages, paysage, myes) | -1,55 | -16,7% | | | | -1,55 | | 0,00 | |
| ÉQUITÉ | | % | | | % | | % | | % |
| Coût pour le gouvernement | 6,27 | 67,7% | | 0,47 | 8% | 4,99 | 80% | 0,81 | 13% |
| Coût pour la communauté | 3,64 | 39,3% | | 0,16 | 4% | 3,22 | 88% | 0,27 | 7% |
| Impact fiscal et contribution en nature – Riverains | 1,19 | 12,9% | | | | 0,11 | 9% | 1,08 | 91% |
| Coût direct – Riverains | 0,00 | 0,0% | | | | | | | |
| Perte ou gain net de valeur marchande ou d'utilité - Riverains | -0,30 | -3,2% | | | | | | | |
| Coût pour les autres intervenants | 0,00 | 0,0% | | | | | | | |



9.7.8 Équité – Répartition des coûts pour les parties prenantes

Bien que la contribution escomptée du secteur riverain demeure la même que le scénario P4 (recharge initiale et fiscalité), le coût nettement supérieur de cette solution par rapport à d'autres implique une équité beaucoup moins avantageuse pour les autres intervenants qui verraient leur contribution augmenter considérablement en comparaison.

9.7.9 Variantes possibles

Considérant les coûts inhérents de l'option, même réduite en portée, aucune autre variante de champ d'épis de type Holmberg n'a été considérée.

9.8 Option P6 : Champ d'épis conventionnels (11) – Réduit – Retrait partiel de la rue Labrie Est

9.8.1 Objectifs recherchés

Bien que l'option P4 demeure sans doute la plus intéressante, voire la plus appropriée à l'égard de l'équilibre sédimentaire, l'objectif du présent scénario est de réduire les coûts d'installation des épis en raccourcissant la distance couverte par la mesure. Dans l'option P5, c'est l'ouvrage à l'ouest du quai municipal qui est retiré de l'option P4. De ce fait, l'autre objectif de P4, soit d'expérimenter la compensation des effets de l'empierrement linéaire à l'ouest du quai, n'est pas retenu ici.

9.8.2 Caractéristiques générales de l'option et traitements spécifiques

Ce sont essentiellement les mêmes que l'option P4 de laquelle on soustrait les épis (1 en l'occurrence) placés à l'ouest du quai, possiblement vers le Parc Nature, à l'extrémité ouest de l'empierrement linéaire de la rue Labrie (Voir le Figure 51, page 123; Zone A). La recharge initiale est établie à 90 m³/m de côte tel que déjà spécifié. Aucune recharge périodique n'est escomptée étant donné l'apport sédimentaire résiduel suffisant (plus de 20 000 m³/an), obtenu par les segments non protégés ne comportant pas de bâti vulnérable et actuellement en érosion.

9.8.3 Estimation des impacts sur la vulnérabilité – Risque résiduel

Les effets positifs attendus de cette option sont essentiellement les mêmes que P4 et P5. Bien sûr, la soustraction des épis à l'ouest du quai ne permet pas de tester la possibilité de remédier aux impacts négatifs de l'empierrement linéaire, ni d'essayer de retenir le transit sédimentaire avant sa sortie du système côtier. Par contre, la protection déjà procurée par l'empierrement, malgré des ses inconvénients, limite les gains possibles par l'ajout d'épis. Par contre, des épis pourraient contribuer à prolonger la vie utile des empierrements et en réduire les coûts d'entretien. Cet aspect n'a pas été escompté dans les calculs.

9.8.4 Bilan des coûts et avantages



Les coûts estimés de ce scénario (Tableau 32) dépendent des items considérés, notamment l'impact sur la valeur marchande, et la contribution « en nature » attendue du secteur riverain, significative dans ce scénario et bien sûr, les avantages escomptés au niveau des éléments intangibles (fréquentation des plages qui est bonifiée par une accessibilité accrue, protection de l'habitat des myes). Le coût total du scénario incluant la contribution en nature est de 2,85M\$. La différence défavorable par rapport à P4 (Épis Équilibré) tient au fait que les avantages liés à la réhabilitation de la plage couvrent une distance inférieure dans P6. De même, si l'on considère les variantes de P4 (P4.1 ou P4.2) qui n'incluraient pas de recharge initiale pour le (ou les) épis à l'ouest du quai, le bilan comparatif de ces variantes paraît encore plus avantageux par rapport à P6.

9.8.5 Contraintes et limitations

Ce sont les mêmes que P4 mis à part le caractère expérimental des épis à l'ouest du quai qui nécessiterait un suivi technique afin d'en évaluer l'efficacité.

9.8.6 Avantages et/ou inconvénients

En plus des avantages et inconvénients déjà identifiés, le principal avantage de cette option est la réduction du coût direct de construction par rapport à l'option P4 dont elle constitue en quelque sorte une réduction. Par contre, on pourrait perdre l'avantage de chercher à remédier aux effets pervers et au coût d'entretien des empièvements linéaires, notamment au voisinage du Parc Nature. Cet avantage ne serait perdu que dans la mesure où l'effet anticipé d'épis à l'ouest du quai se serait avéré.

9.8.7 Équité – Répartition des coûts pour les parties prenantes

L'équité des coûts et des avantages ne change pas vraiment par rapport à P4. Le secteur riverain participerait encore à hauteur significative (fiscale et en nature) à la solution.



Tableau 32 : Coût en M\$ du scénario de protection – Champ d'épis Réduit avec retrait partiel de la rue Labrie Est – Scénario P6.
 Les montants indiqués sont en *valeur présente nette*. Une valeur négative indique un gain

| MESURES ► | Total | | Détail ► | Déplacement de la rue Labrie | | Champ d'épis | | Recharge compensatoire | |
|--|-----------------------|--------|----------|------------------------------|-----|-----------------------|-----|------------------------|-----|
| Longueur visée | | | | 0,87 | km | 2,19 | km | 2,19 | km |
| COÛTS ACTUALISÉS | Valeur présente nette | % | | Valeur présente nette | | Valeur présente nette | | Valeur présente nette | |
| Coût total du scénario pour les intervenants | 2,85 | 100% | | 0,63 | 17% | 0,51 | | 1,97 | |
| Autres valeurs (plages, paysage, myes) | -0,82 | -28,7% | | | 16% | -0,82 | | - | |
| ÉQUITÉ | 0,00 | % | | | % | | % | | % |
| Coût pour le gouvernement | 2,01 | 70,3% | | 0,47 | 24% | 0,79 | 40% | 0,74 | 37% |
| Coût pour la communauté | 0,84 | 29,5% | | 0,16 | 19% | 0,44 | 52% | 0,25 | 29% |
| Impact fiscal et contribution en nature – Riverains | 1,08 | 37,8% | | - | | 0,09 | 9% | 0,98 | 91% |
| Coût direct – Riverains | 0,00 | 0,0% | | | | | | | |
| Perte ou gain net de valeur marchande ou d'utilité - Riverains | -0,25 | -8,9% | | | | | | | |
| Coût pour les autres intervenants | 0,00 | 0,0% | | | | | | | |



9.9 Option de référence - Retrait généralisé graduel avec assistance financière du PGMS – Scénario R₁ ou R_{réf}

Nous entrons ici dans une nouvelle catégorie de mesures consistant à répondre à la problématique d'érosion en retirant de la côte les éléments les plus vulnérables et en n'utilisant pas de mesures de protection additionnelle. Le principal cas de figure est constitué de mesures de retrait assistées financièrement (les paramètres du Programme général pré-établi d'Assistance financière – Mouvements de sols ou PGMS). Cette option constitue un des scénarios de référence. En effet, avec l'approche gouvernementale ayant eu cours à ce jour, les pouvoirs publics ont toujours l'option de renoncer à contrer les forces de la nature et de protéger les riverains et le bâti par des mesures de retrait. Les principales mesures de retrait sont l'allocation de départ, le déplacement du bâtiment et la relocalisation des infrastructures de voirie et de service (voir la section 7.1, page 84).

9.9.1 Objectifs recherchés

L'objectif recherché ici est d'abord de sauver les bâtiments qui peuvent l'être à temps en les déplaçant en un lieu sûr. Un objectif ultime est de protéger les personnes lorsque les talus se rapprochent des bâtiments (marge de recul) et que la perte de ceux-ci devient imminente. Un objectif secondaire est de maintenir les infrastructures publiques essentielles aux populations résidentes à l'est de la rue Labrie. Ces mesures sont souvent considérées comme des gestes ultimes en matière de gestion des risques. Dans la mesure du possible, les relocalisations doivent se faire dans des lieux qui préservent ou restaurent, au bénéfice des riverains déplacés, une qualité de vie acceptable et, si possible, comparable à la situation antérieure. Évidemment, plus le retrait s'effectue hors des zones menacées à long terme, plus ce genre de mesure comporte d'avantages durables.

9.9.2 Caractéristiques générales de l'option

La question qui se pose est surtout liée à la séquence de mise en œuvre de ces mesures et leur portée spatiale. Si la séquence est plus ou moins dictée par l'imminence de mouvements de sol et par l'exposition des infrastructures et des bâtiments (marges de recul), la portée de l'application des mesures peut dépendre si l'on opère à la pièce (à la limite de l'imminence pour chacun des cas) ou si l'on table sur une économie d'échelle en procédant collectivement. Ici, les mesures sont escomptées une à la fois.

Voici la configuration de l'option R₁ ou R_{réf} :

1. Déplacement parallèle d'un segment 0,87 km de 60 m vers le nord de la rue Labrie Est: le segment le plus menacé actuellement entre le 294 et le 328 (Secteur E; voir la Figure 51, page 123) en 2012
2. Déplacement parallèle d'un segment de 0,7 km de la rue Labrie Est à l'est du Chemin principal dans 15 ans environ (partie du Secteur D)



3. À court terme, allocation de départ (PGMS) pour quelques résidences dont la marge de recul n'en permet plus le déplacement sécuritaire (4 unités)
4. À moyen et à long terme, déplacement des bâtiments au fur et à mesure que leur marge de recul commande un tel déplacement (31 au total), sinon c'est l'allocation de départ qui prévaut. Dans certains cas, le déplacement peut être effectué sur le même terrain, lorsque l'espace disponible le permet
5. Les résidences menacées pourraient être relocalisées le long d'un des deux segments déplacés de la rue Labrie Est, du côté nord de celle-ci.

9.9.3 Traitements spécifiques

La question primordiale qui s'est posée (parmi plusieurs) est la portée de cette stratégie. Devait-on considérer les résidences situées du côté nord de la rue Labrie comme candidates à ces mesures durant la période de référence (30 ans)? La réponse a été négative car il n'est pas prévu que ce déplacement soit requis dans l'horizon mentionné. Les calculs ont donc été réalisés en ne considérant que le retrait des bâtiments du côté sud. Toutefois, cette stratégie de retrait comporte la relocalisation de 0,7 km de la rue Labrie Est à partir du Chemin principal (186) jusqu'au 236. Ce faisant, les propriétés actuellement placées du côté nord de la rue se retrouveraient du côté sud, avec pour effets de transformer les cours arrière en devantures, d'inverser les entrées de garage le cas échéant, et de devoir reconnecter tous les services publics par l'arrière des bâtiments. De surcroît, cette opération risque de n'être que temporaire puisque, tôt ou tard, il faudra envisager de déplacer aussi ces bâtiments de l'autre côté de la nouvelle rue Labrie, occasionnant une double dépense eu égard aux services publics. Bien qu'il eût semblé préférable de figurer l'option dans sa vraie portée temporelle, supérieure à 30 ans à cause du risque résiduel mentionné, l'occurrence de ces conséquences ultimes ne peut être escomptée à l'intérieur de l'horizon de 30 ans.

Bien sûr, ce scénario pose plusieurs difficultés comme l'acquisition de terrains disponibles et sécuritaires, hors de la zone réglementée (Règlement de Contrôle intérimaire ou RCI), l'allocation équitable de ces terrains, les coûts directs importants et le traumatisme psychologique imposés à la communauté des riverains et le peu de compensations offertes à l'ensemble de la communauté qui devrait continuer de vivre les difficiles tensions sociales que cette option génère ainsi que les impacts environnementaux relatifs à la situation actuelle de l'érosion. Ainsi, nous escomptons que le déséquilibre sédimentaire actuel qui va continuer de s'aggraver est de nature à impacter de plus en plus les habitats coquilliers et d'en réduire les rendements de cueillette sans toutefois éliminer la ressource (hypothèse de -50% à la fin de la période de référence). Concernant les plages, l'accroissement des apports dus à l'érosion contribuerait à les maintenir en place naturellement. Il s'agit donc d'un avantage préservé.

9.9.4 Estimation des impacts sur la vulnérabilité – Risque résiduel

En réduisant l'exposition des bâtiments à l'érosion au fur et à mesure du besoin, cette option annihile pratiquement le risque de dommages directs au bâti sur l'horizon de l'étude. Par contre, le risque à court terme demeure pour les unités vulnérables tant qu'une mesure de retrait ou



l'autre n'est pas appliquée, ce qui pourrait laisser l'impression que le problème n'est pas réglé et qu'il perdure. De plus, concernant l'équilibre sédimentaire de la côte dont nous avons dit qu'il subissait déjà une forte hémorragie de sédiment, l'augmentation prévue de la longueur de côte en activité va continuer d'aggraver la situation et possiblement précipiter les conséquences évoquées. On doit aussi escompter un impact sur la cueillette des myes.

9.9.5 Coûts estimés de réalisation

Le coût de réalisation se monte à 3,62M\$ (Tableau 33) et comporte une légère plus-value pour les propriétés riveraines déplacées (140 K\$). Cette majoration qui donne lieu à des revenus fiscaux additionnels s'explique par la nouvelle sécurité ainsi obtenue en plus des rénovations majeures importantes des propriétés visées (nouvelles fondations, fosses septiques, entrées électriques possiblement, etc.). Par contre, la perte d'avantages liée à la vue directe sur les paysages marins et aux habitats coquilliers sont très significatifs (1,08M\$). L'option Retrait entraîne aussi des dépenses directes importantes pour les riverains (les items non admissibles) dont la proportion peut atteindre (hypothèse) 30% de la valeur au rôle. De plus, le scénario escompte une perte de valeur d'utilité pour les riverains devant accepter une allocation de départ (perte du bâtiment). Bien que les frais d'administration de la Municipalité ne soient pas escomptés ici, on peut facilement imaginer tous les tracas et ressources supplémentaires récurrentes qui seraient requises sur le long terme pour appliquer cette option.

Dans ce scénario, le coût pour la communauté est surtout entraîné par le déplacement de la rue Labrie Est et le coût (non escompté) des ressources humaines requises pour gérer le déplacement de plus de 30 unités de logement. Autrement, l'essentiel des coûts est assumé par le PGMS et par les propriétaires concernés. Pour tous les intervenants, les coûts semblent hors de proportion. On notera que, si la communauté serait largement sollicitée pour la mise en œuvre de l'option tant sur le plan financier que psychosocial, on compte très peu de mesures de compensation qui pourraient faciliter l'acceptation du scénario.

9.9.6 Contraintes et limitations

Les contraintes sont liées à la disponibilité de terrains sécuritaires et économiques à proximité des zones à relocaliser en vue de minimiser les coûts de déplacement. On peut difficilement envisager le déplacement économique de bâtiments sur des distances trop longues du point de départ à cause des fils à déplacer et des perturbations transitoires à la libre circulation des véhicules. Une action groupée est donc de loin préférable au travail à la pièce à cause des économies d'échelle.

Une limitation est aussi formée par le besoin de restaurer un milieu de vie équivalent à l'ancien dans la nouvelle situation. Cet aspect représente, à notre avis, une condition *sine qua non* de la faisabilité de cette option.

9.9.7 Avantages et/ou inconvénients pour les parties prenantes

Le scénario semble comporter plus d'inconvénients que d'avantages, notamment :

- Le maintien (l'entretien) d'une situation difficile à vivre pour les individus et à gérer pour les autorités, ce sur toute la période de référence de l'étude (30 ans), voire plus encore



- Les coûts importants (probablement excessifs pour plusieurs) pour tous les groupes d'intervenants
- La non résolution des impacts environnementaux cumulatifs subis par la côte dû au déséquilibre sédimentaire qui continue de s'aggraver.

Du côté avantages, on compte :

- Le contrôle complet du risque de dommages directs à long terme (durabilité)
- L'absence de programme d'entretien d'infrastructures de protection (sauf les structures actuelles)



Tableau 33 : Coûts du scénario de référence– Retrait généralisé avec assistance financière du PGMS – Scénario R₁ ou R_{réf.}
 Les montants indiqués sont en *valeur présente nette*. Une valeur entre parenthèse indique un gain

| MESURES | Total | | Détail | Allocation de départ | | Déplacement de bâtiments | | Déplacement de la rue Labrie | |
|--|-----------------------|-------|--------|-----------------------|-----|--------------------------|------|------------------------------|-----|
| Longueur ou unités visées | | | | 5 | [] | 31 | [] | 1,56 | km |
| COÛTS ACTUALISÉS | Valeur présente nette | % | | Valeur présente nette | | Valeur présente nette | | Valeur présente nette | |
| Coût total du scénario pour les intervenants | 3,62 | 100% | | 0,46 | | 2,35 | | 0,96 | |
| Autres valeurs (plages, paysage, myes) | 1,08 | 29,7% | | 0,05 | | 1,03 | | | |
| ÉQUITÉ | | % | | | % | | % | | % |
| Coût pour le gouvernement | 1,94 | 53,4% | | 0,19 | 10% | 1,03 | 53% | 0,72 | 37% |
| Coût pour la communauté | 0,26 | 7,3% | | 0,06 | 23% | -0,04 | -14% | 0,24 | 91% |
| Impact fiscal et contribution en nature – Riverains | 0,04 | 1,0% | | 0,00 | 0% | 0,04 | 0% | | 0% |
| Coût direct – Riverains | 0,45 | 12,5% | | 0,16 | 35% | 0,29 | 65% | | 0% |
| Perte ou gain net de valeur marchande ou d'utilité - Riverains | -0,14 | -3,9% | | | | | | | |
| Coût pour les autres intervenants | | | | | | | | | |



9.9.8 Équité – Répartition des coûts pour les parties prenantes

Par l'effort financier attendu des propriétaires visés (coûts directs, fiscalité), le scénario atteint un degré intéressant d'équité. Par contre, la contribution attendue se traduisant par des items monétaires (par rapport à « en nature »), on peut douter de la faisabilité financière de ce scénario pour plusieurs individus. La conséquence pourrait être un effort financier accru exigé de la communauté qui ferait alors preuve d'une solidarité additionnelle. Est-ce-réaliste et équitable? La question reste posée.

9.9.9 Variantes possibles

Les seules variantes possibles pour ce scénario pourraient consister à hausser certains paramètres du programme PGMS, notamment le plafond d'assistance limité actuellement au minimum de la valeur au rôle ou 100 000\$. Par contre, même en haussant ce paramètre à 125 000\$ par exemple, le bilan de l'option changerait très peu puisque la valeur au rôle des propriétés dépasse rarement 100 000\$ à Pointe-aux-Outardes à cause de divers facteurs dont nous avons discuté ailleurs dans le rapport. Par contre, les propriétaires se voyant offrir une allocation de départ pourraient voir celle-ci majorée à une *valeur de parité*, par exemple à mi-chemin entre la valeur au rôle et le plafond du programme. Cette mesure demeurerait toutefois marginale dans le coût total de l'option puisque seulement 5 unités de logement sont concernées par l'allocation de départ. Cette option peut aisément être calculée mais nous ne l'avons pas considérée ici.

En revanche, dans un milieu bénéficiant d'une meilleure évaluation (ex : quartiers récents), une telle possibilité pourrait avoir des conséquences financières plus significatives.

9.10 Option mixte MX1 – Protection minimale par un champ d'épis (7)- Retrait partiel de la rue Labrie et de résidences exposées

Nous entrons ici dans une nouvelle catégorie de mesures consistant à répondre à la problématique d'érosion en combinant des mesures de retrait (bâtiments et portions d'infrastructure) avec des mesures de protection axées sur les épis et la recharge de plage. L'estimation des mesures de retrait est conforme aux paramètres du PGMS tandis que les mesures de protection relèvent de l'atténuation des risques.

9.10.1 Objectifs recherchés

Les objectifs recherchés ici sont ceux des mesures correspondantes :

1. d'abord tendre vers un ré-équilibre du bilan des apports sédimentaires à un niveau supérieur à 20 000 m³/an par la mise en place de protections douces
2. protéger les personnes lorsque les marges de recul des bâtiments mettent leur sécurité en péril (imminence de mouvement de sol),
3. sauver les bâtiments qui peuvent l'être à temps en les déplaçant en un lieu sûr.



4. sécuriser en les déplaçant les infrastructures publiques nécessaires aux résidences qui subsistent.

Dans la mesure du possible, les relocalisations doivent se faire dans des lieux qui préservent ou restaurent, au bénéfice des riverains déplacés une qualité de vie acceptable, et si possible comparable à la situation antérieure.

9.10.2 Caractéristiques générales de l'option

Comme le scénario précédent (Retrait généralisé), la question qui se pose est surtout liée à la séquence de mise en œuvre de ses mesures et leur portée spatiale. La séquence d'application des mesures de retrait est plus ou moins dictée par l'imminence de mouvements de sol, tant pour les infrastructures que pour les bâtiments. Pour nos calculs, l'année d'application de la mesure correspond à une valeur de marge de recul minimale des bâtiments de 7 m qui, si elle était dépassée, entraînerait un changement de mesure (allocation de départ plutôt que déplacement de bâtiment). En revanche, on peut espérer des économies d'échelle si les déplacements sont groupés dans le temps et l'espace.

Voici la configuration de l'option MX1 :

1. Champ d'épis de 1,5 km (8 ouvrages) aux 200 m entre le quai municipal et le 294 (Secteur D; voir la Figure 51, page 123); aucun à l'ouest du quai (Zone A) ou à l'est du 294 Labrie est (Zones E, F et G)
2. Déplacement parallèle de 60 m vers le nord de 1,38 km de la rue Labrie Est, le segment le plus menacé actuellement étant situé entre le 294 et le 328 (Secteur E; date fixée en 2012)
3. À court terme, allocation de départ (PGMS) pour quelques résidences dont la marge de recul ne permet plus le déplacement sécuritaire (3 unités)
4. À moyen et à long terme, déplacement de certains bâtiments (Zone F) au fur et à mesure que leur marge de recul commande un tel déplacement (12 au total), sinon c'est l'allocation de départ qui prévaudrait quelques années plus tard. Dans certains cas, le déplacement peut être effectué sur le même terrain, lorsque l'espace disponible le permet.
5. Les résidences seraient déplacées au nord du nouveau segment de la rue Labrie

9.10.3 Traitements spécifiques

Ce scénario implique :

1. l'acquisition de terrains disponibles et sécuritaires au nord de la rue Labrie, vis-à-vis du déplacement envisagé, hors de la zone réglementée (Règlement de Contrôle intérimaire ou RCI)
2. l'allocation équitable de ces terrains aux propriétaires déplacés
3. des coûts directs importants pour ces personnes (frais non admissibles, perte de valeur d'utilité)



4. pour le calcul, les mesures sont appliquées à la date probable selon l'évolution de la marge de recul

9.10.4 Estimation des impacts sur la vulnérabilité – Risque résiduel

Le risque résiduel est maîtrisé dans tous les cas puisque l'on assure une protection des biens par des mesures de protection ou en les déplaçant. L'érosion est rabattue à une valeur d'environ 25 000 m³/an à court terme; par contre, des sections de côte non protégées à l'est de la rue Labrie Est s'activeraient tôt ou tard pour porter l'apport sédimentaire à environ 35 000 m³/an, une valeur assez voisine de l'apport moyen actuel. Dans ce scénario, 3 résidences ne sont plus déplaçables forçant leur propriétaire à accepter une allocation de départ. 12 résidences devraient être déplacées dont 7 le seraient sur le terrain d'origine.

9.10.5 Bilan des coûts et avantages

Le bilan actualisé de cette option (Tableau 34) se monte à 3,53M\$. Une bonification des avantages est escomptée au niveau de la fréquentation de la plage à cause d'une accessibilité accrue pour la communauté et de la protection obtenue de cet attribut. Dans ce scénario, le coût pour la communauté est surtout entraîné par les mesures d'atténuation du risque (épis, déplacement de la rue Labrie, recharge). Autrement, l'essentiel des coûts est assumé par un Protocole d'Application de Solution (PAS), le programme d'assistance financière pour le retrait n'étant sollicité que marginalement.

9.10.6 Contraintes et limitations

La relocalisation des bâtiments doit s'effectuer à courte distance autant que possible afin de minimiser les difficultés du déménagement, et dans un lieu offrant certains avantages par rapport à la distance à la côte (assez près) sans représenter un risque à long terme. Une possibilité serait de déménager les bâtiments au nord de l'emprise de la rue Labrie déplacée de 60 m, ce qui signifie à environ 80 m du trait de côte. L'usage actuel est agricole ou forestier. Comme pour toute solution de retrait, restaurer un milieu de vie équivalent à l'ancien est toujours préférable.



Tableau 34 : Coûts en M\$ du scénario de référence MX1– Combinaison de champ d'épis et de mesures de retrait avec assistance financière du PGMS.
 Les montants indiqués sont en *valeur présente nette* (VPN). Une valeur en parenthèse indique un gain.

| MESURES ► | Total | | Détail | Allocation de départ | | Déplacement de bâtiments | | Rue Labrie déplacée | | Épis | | Recharge | |
|--|-------|-------|--------|----------------------|-----|--------------------------|-----|---------------------|-----|-------|-----|----------|-----|
| Longueur ou nombre visés | | | | 3 | [] | 13 | [] | 1,38 | km | 1,50 | km | 1,50 | km |
| BILAN ACTUALISÉ | VPN | % | | VPN | | VPN | | VPN | | VPN | | VPN | |
| Coût total du scénario pour les intervenants | 3,53 | 100% | | 0,21 | | 0,93 | | 1,00 | | 0,29 | | 1,35 | |
| Autres valeurs (plages, paysage, myes) | -0,28 | -7,9% | | 0,03 | | 0,31 | | | | -0,62 | | | |
| ÉQUITÉ | 0,00 | % | | | % | | % | | % | | % | | % |
| Coût pour le gouvernement | 2,37 | 67,2% | | 0,09 | 4% | 0,48 | 20% | 0,75 | 32% | 0,55 | 23% | 0,51 | 21% |
| Coût pour la communauté | 0,72 | 20,4% | | 0,03 | 4% | -0,02 | -3% | 0,25 | 35% | 0,29 | 41% | 0,17 | 23% |
| Impact fiscal et en nature – Riverains | 0,76 | 21,7% | | | | 0,02 | 0% | | | 0,07 | 9% | 0,68 | 88% |
| Coût direct – Riverains | 0,21 | 5,9% | | 0,07 | 34% | 0,14 | 66% | | | | | | |
| Valeur marchande ou d'utilité - Riverains | -0,26 | -7,3% | | | | | | | | | | | |
| Coût direct – Autres | 0,00 | 0,0% | | | | | | | | | | | |



9.10.7 Avantages et/ou inconvénients pour les parties prenantes

Le scénario comporte la plupart des avantages de l'option champ d'épis Équilibré (P4) mais il comprend également des inconvénients inhérents à toute solution de retrait. Parmi les avantages, on compte notamment :

- Un contrôle quasi-complet du risque à long terme
- Des plages mieux protégées

Par contre, les inconvénients suivants demeurent :

- La gestion des déplacements qui s'étale sur le long terme
- Des coûts directs importants pour les riverains déplacés (probablement excessifs pour certains) et des investissements majeurs pour la communauté
- La non résolution des impacts environnementaux cumulatifs subis sur la côte et la batture dû au déséquilibre sédimentaire principalement d'origine anthropique subi par la côte. La Figure 13 (page 35) montre que les apports sédimentaires par l'érosion seraient rabattus à court terme à environ 24 000 m³/an pour ensuite reprendre une courbe ascendante jusqu'à 35 000 m³/an en 2015, une valeur similaire à la situation actuelle de déséquilibre

9.10.8 Équité – Répartition des coûts pour les parties prenantes

En termes d'équité, ce scénario semble relativement équitable sans être le meilleur de ce point de vue, d'autant plus que dans le groupe Riverains, certains vont bénéficier d'une protection qui leur permet de demeurer des riverains sans devoir contribuer aux coûts directs de réalisation (contribution en nature attendue) tandis que d'autres perdraient cet avantage particulier en plus de devoir assumer des coûts directs importants (frais non admissibles).

9.10.9 Variantes possibles

Aucune variante n'a été considérée.

9.11 Résumé

Traitement des scénarios. Certains scénarios présentant différentes possibilités pour remédier au risque d'érosion sont introduits et brièvement décrits:

- L'option du *retrait complet* assisté financièrement par les programmes réguliers, ou pas (Options R)
- Plusieurs options et variantes de protection allant des approches dures (Empierrements linéaires) à d'autres approches plus douces visant le rétablissement de l'équilibre sédimentaire de la côte et la réhabilitation écologique de la batture (Options P)
- Les options mixtes comprenant à la fois des mesures de retrait et de protection (Options MX)



Parmi ces options, certaines constituent des scénarios de référence décrivant des réponses courantes à ce genre de problème (Retrait assisté, empièvements linéaires surtout). L'examen d'autres possibilités peut ainsi être relativisé par rapport aux approches actuelles.

Différents aspects de ces scénarios sont détaillés et permettent d'en jauger la pertinence, notamment :

1. Le coût global cumulatif (actualisé) sur la période de référence (2008-2038)
2. L'efficacité et la durabilité
3. La répartition des coûts (équité) par rapport aux avantages
4. Les avantages et inconvénients, les contraintes et limitations
5. L'impact environnemental anticipé et l'interaction avec l'équilibre sédimentaire

Une contrainte de base : le bilan sédimentaire. Au-delà du coût et des différentes dimensions de la gestion du problème, l'analyse du *régime sédimentaire* de la cellule hydro-sédimentaire de la batture ouest de Pointe-au-Outardes révèle que l'apport en sédiments est en constante progression depuis de nombreuses années, voire décennies, évoluant d'une valeur historique de base estimée à 5000 m³/an en moyenne à environ 20 000 m³/an (estimé) vers 1998. Aujourd'hui, le volume de sédiments érodés des talus et des basses terrasses atteint 40 000 m³/an en moyenne dont 90% participe au transit littoral. La grande majorité des talus étant en érosion (1,2 m/an en moyenne) ou en voie de l'être dans les prochaines années porteront le bilan des apports à près de 60 000 m³/an d'ici 10 ans, cette valeur pouvant même être de plus de 80 000 m³/an dans l'horizon de l'étude si l'hypothèse pessimiste des changements climatiques s'avère. Le recul des côtes étant un processus très variable selon les années, les taux de recul réels d'une année particulière peuvent être beaucoup plus importants que la valeur moyenne indiquée.

En tant qu'aide à la décision, la présente analyse ne prétend pas avoir fait le tour des possibilités, notamment par rapport à l'incertitude de certains paramètres (ex : changements climatiques, coût des matériaux, dimensionnement des protections). L'utilisation des modules de calcul implantés sur Microsoft Excel offrira en temps et lieu la possibilité d'explorer en détail les options les plus avantageuses.



10 Synthèse de l'analyse – Comparaison des options

Ce chapitre regroupe les résultats essentiels des différentes options présentées précédemment dans le but de les comparer et d'identifier les plus prometteuses à long terme. Une synthèse des estimés des coûts et avantages sera d'abord effectuée, suivie d'une analyse de sensibilité au taux d'actualisation afin de vérifier la robustesse des estimés sur le plan économique. Nous incluons ensuite les résultats de l'analyse comparative multi-critères faisant appel aux critères d'évaluation retenus par le Comité de Concertation. L'ordonnement des options résultant de ces différentes perspectives permet d'identifier les options les plus avantageuses pour la société.

10.1 Analyse comparative des bilans des options

Dans ce qui suit, seuls sont examinés les bilans des coûts et avantages pour la société en général. La ventilation des coûts selon les items considérés a déjà été introduite au chapitre précédent. Nous rappelons ici que les coûts présentés s'inscrivent dans une perspective économique et non pas financière, cette dernière recoupant la mobilisation des fonds (contribution des programmes, emprunts publics, fiscalité municipale, commandites éventuelles) et des ressources non monétaires (en nature, par exemple).

Le Tableau 35 (voir la Figure 51 ci-après pour localiser les mesures applicables) résume les estimés économiques des coûts et avantages des options étudiées en valeur présente nette actualisée au taux de 4%/an. En considérant les bilans, on peut constater que les options P4 (Épis conventionnels Équilibré) et P6 (Épis conventionnels Réduit) se démarquent des autres au niveau de l'ordonnement avec des bilans actualisés respectifs de 2,4 M\$ et 2,85 M\$. Viennent ensuite les options comportant un retrait partiel ou généralisé mais avec des bilans de près de 50% supérieurs aux précédents en valeur présente nette. Il est à noter que l'option P4, déjà la plus avantageuse, peut aisément être optimisée en soustrayant la recharge initiale pour le dernier épi à l'ouest du dispositif, vers la Parc nature.

En termes d'avantages, les options P4 et P6 sont aussi celles qui comportent le plus d'avantages avec respectivement 1,55 M\$ et 0,82 M\$. Ces avantages préservés ou bonifiés ont trait au rétablissement de l'équilibre sédimentaire qui entraînerait une réhabilitation des plages, l'absence de mesures de retrait du bâti, et la conservation des habitats coquillers sur la batture.



Figure 53 : Segmentation du territoire d'étude pour les tableaux suivants

10.2 Sensibilité des options au taux d'actualisation

Dans toute ACA, il est d'usage de vérifier la sensibilité des résultats obtenus par rapport à l'incertitude de la valeur des paramètres. Toutefois, une multitude de calculs sont requis pour conduire cette tâche exhaustivement à cause de l'explosion combinatoire reliée au nombre d'options considérées ainsi qu'au nombre de paramètres pouvant influencer sur les résultats. Nous avons plutôt opté pour vérifier au minimum la sensibilité des coûts par rapport au *taux d'actualisation* en majorant ou minorant de 2% la valeur de référence de 4%/an (6%/an et 2%/an). Les scénarios testés sont les mêmes que ceux présentés dans ce chapitre. Le Tableau 36 présente les résultats de ces calculs ainsi que l'ordonnancement des options selon le taux utilisé.

On peut constater que le taux d'actualisation a une influence marginale sur l'ordonnancement des options. Ainsi, les deux options les plus avantageuses demeurent les mêmes, soit P4 (Épis Équilibré) et P6 (Épis Réduit) tandis que Rréf (Retrait progressif assisté) et MX1 (Mixte) se classent 3^{ième} ou 4^{ième} selon le taux utilisé.

Note. Quand on examine ce tableau, des valeurs peuvent sembler paradoxales par rapport à l'influence du taux d'actualisation qui joue dans un sens ou l'autre au niveau des coûts selon l'option. Tout s'explique par le fait que certaines dépenses doivent être engagées au début d'un projet (pas d'influence du taux d'actualisation ni des changements climatiques) tandis que d'autres sont réparties sur la période de référence (coûts d'entretien, recharge périodique de plage, retrait progressif, utilisation des plages, cueillette des myes) et sont donc influencées par le taux d'actualisation qui joue son rôle au fil du temps. En outre, les calculs économiques allouent une valeur résiduelle aux ouvrages à la fin de la période de référence, dans la mesure où un entretien adéquat a été assuré au fil des années. Le coût global est donc fortement conditionné par l'équilibre relatif des types de dépense à réaliser.



Tableau 35 : Bilan en valeur actualisée de l'ACA et des mesures applicables (1 de 2)
Les valeurs entre parenthèses sont des gains

| Symbole | Nom | Descriptif | Protections Zones | Bilan de l'ACA en M\$ | Autres avantages en M\$ | Mesures | | | | | |
|-------------------|-----------------------------|--|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|------------------|---------------|-------------|---|--------------|
| | | | | | | Allocation de départ | Retrait bâtiment | Retrait route | Épis | Recharge | Empierrement |
| | | | | | | Unités M\$ | Unités M\$ | km M\$ | km M\$ | m ³ /m – km M\$ | km M\$ |
| R1 ou Rréf | Retrait généralisé assisté | Mesures de retrait seulement incluant 1,56 km de rue Labrie Est | D+E+F | 3,62 | 1,08 | 5 0,41 | 31 1,32 | 1,56 0,96 | Aucun | Aucun | Aucun |
| P1 | Épis conventionnels partout | 20 épis sur 3,9 km- Recharges initiale et périodique (20 Km ³ /an)- Contribution riveraine à 50% | D+E+F | 7,3 | (1,55) | Aucun | Aucun | Aucun | 3,9 2,34 | 90 m ³ /m 3,9 6,94 | Aucun |
| P2 | Épis Holmberg partout | 20 épis Holmberg sur 3,9 km - Recharge initiale et périodique (20 Km ³ /an)- Contribution riveraine à 50% | D+E+F | 18,3 | (1,55) | Aucun | Aucun | Aucun | 3,9 2,34 | 3,9 6,94 | Aucun |
| P3 ou Préf | Empierrements partout | Empierrement conventionnel sur 3,9 km - Aucun retrait - Recharge initiale et périodique | D+E+F | 25,1 | 7,6 | Aucun | Aucun | Aucun | Aucun | 15,6m ³ /m/an 3,9 10,4 | 3,9 7,5 |



Tableau 35 (suite): Bilan en valeur présente nette de l'ACA et des mesures applicables (2 de 2) –
Les valeurs entre parenthèses sont des gains

| Symbole | Nom | Descriptif | Protections Zones | Bilan de l'ACA en M\$ | Autres avantages en M\$ | Mesures | | | | | |
|------------|-------------------------------|--|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|------------------|---------------|-------------|-------------------------------------|--------------|
| | | | | | | Allocation de départ | Retrait bâtiment | Retrait route | Épis | Recharge | Empierrement |
| | | | | | | Unités M\$ | Unités M\$ | km M\$ | Km M\$ | Type – km M\$ | km M\$ |
| P4 | Épis conventionnels Équilibré | 12 épis conventionnels dont 1 avant le Parc Nature - Recharge initiale - Contribution riveraine à 50% - Retrait rue 0,9 km | A+D+ F | 2,4 | (1,55) | Aucun | Aucun | 0,9 0,63 | 2,4 1,65 | 90 m ³ /m 2,4 2,16 | Aucun |
| P5 | Épis Holmberg Équilibré | 12 épis dont 1 avant le Parc Nature - Recharge initiale - Contribution riveraine à 50% - Retrait rue Labrie sur 0,9 km | A+D+ F | 9,26 | (1,55) | Aucun | Aucun | 0,9 0,63 | 2,4 8,3 | 90 m ³ /m 2,4 2,16 | Aucun |
| P6 | Épis conventionnels Réduit | 11 épis (sauf celui avant le Parc Nature) - Recharge initiale - Contribution riveraine à 50% - Retrait rue Labrie sur 0,9 km | D+F | 2,85 | (0,82) | Aucun | Aucun | 0,9 0,63 | 2,2 1,33 | 90 m ³ /m 2,2 1,97 | Aucun |
| MX1 | Épis conventionnels + Retrait | 8 épis – Recharge initiale - Contribution riveraine à 50% - Retrait rue Labrie sur 1,4 km - Retrait partiel des résidences | D | 3,53 | (0,28) | 3 0,18 | 13 0,61 | 1,4 1,17 | 1,5 0,91 | 90 m ³ /m 1,5 1,35 | Aucun |



Tableau 36 : Analyse de sensibilité du coût des options (en M\$) et de leur ordonnancement par rapport au taux d'actualisation (TA) - $\Delta\%$ est l'écart en % par rapport à la base de comparaison

| Descripteur de l'option | Option | | Influence du taux d'actualisation TA | | | Ordonnancement selon le taux TA utilisé | | |
|-------------------------|--------|------------|--------------------------------------|-------|-------|---|----|----|
| | | | 4% | 6% | 2% | 4% | 6% | 2% |
| Épis partout | P1 | VPN | 7,30 | 7,16 | 7,37 | 5 | 5 | 6 |
| | | $\Delta\%$ | | -2% | 1% | | | |
| Holmberg partout | P2 | VPN | 18,32 | 19,44 | 15,93 | 7 | 7 | 7 |
| | | $\Delta\%$ | | 6% | -13% | | | |
| Empierrements partout | P3 | VPN | 25,1 | 21,6 | 29,8 | 8 | 8 | 8 |
| | | $\Delta\%$ | | -14% | 19% | | | |
| Épis Équilibré | P4 | VPN | 2,40 | 2,82 | 1,70 | 1 | 1 | 1 |
| | | $\Delta\%$ | | 17% | -29% | | | |
| Holmberg Équilibré | P5 | VPN | 9,26 | 10,47 | 7,03 | 6 | 6 | 5 |
| | | $\Delta\%$ | | 13% | -24% | | | |
| Épis Réduit | P6 | VPN | 2,85 | 3,10 | 2,40 | 2 | 2 | 2 |
| | | $\Delta\%$ | | 9% | -16% | | | |
| Mixte | MX1 | VPN | 3,53 | 3,51 | 3,48 | 3 | 3 | 4 |
| | | $\Delta\%$ | | -0,01 | -0,01 | | | |
| Retrait assisté | R1 | VPN | 3,62 | 4,32 | 3,11 | 4 | 4 | 3 |
| | | $\Delta\%$ | | 19% | -14% | | | |



10.3 Analyse multi-critères

La prise en compte d'autres facteurs que les coûts directs est importante et l'analyse coûts avantages permet d'en tenir compte par la monétarisation de composantes normalement considérées intangibles. Une approche alternative à la monétarisation consiste à pondérer les différentes composantes en fonction de critères pré-établis qui traduisent la perception des divers intervenants tels qu'exprimés en Comité de concertation. L'analyse multi-critères sous-tend le poids relatif des avantages et inconvénients, des impacts favorables et adverses, et l'équilibre global des options. La définition des critères et la valeur de paramètres correspondants sont données à la section 8.12 (page 107). Le Tableau 37 résume donc les résultats de cette analyse avec les critères et paramètres proposés.

Remarque. La valeur allouée aux critères de base et aux pondérations des critères correspond au jugement des auteurs qui reconnaissent qu'elles pourraient être interprétées différemment par d'autres intervenants. Malgré son aspect quantitatif, elles n'ont pas les qualités d'une démarche scientifique pleine et entière. Les valeurs obtenues sont donc sujettes à interprétation et ne doivent être utilisées qu'à titre indicatif seulement comme outil d'aide à la décision.

Les résultats obtenus avec cette approche sont assez consistants avec ceux livrés par l'analyse coûts avantages ce qui est normal étant donné que les prémices sont les mêmes, bien que quantifiées différemment. De plus, le poids important alloué à l'item coûts directs dans cette analyse conduit nécessairement à valoriser les solutions présentant le meilleur bilan à cet égard. Toutefois, les options P6 (Épis Réduit) et P4 (Épis Équilibré) ressortent dans cet ordre, plutôt que l'inverse avec l'approche économique comme les plus avantageuses avec des scores respectifs de 76% et 74%. Cet ordonnancement est donc assez similaire à celui obtenu avec l'approche purement monétaire bien que l'approche multicritères actuelle tienne aussi compte de valeurs particulières comme l'équité (équilibre du financement possible), des possibilités de mise en valeur des aménagements dans des projets récréo-touristiques qui ne sont pas mis sur la table au moment présent, ainsi que de l'impact social.



Tableau 37 : Résultats de l'analyse multi-critères des options – Les colonnes en gris représentent les deux options les plus avantageuses

| SCÉNARIOS ► CRITÈRES ▼ | R1 ou Rréf | P1 | P2 | P3 ou Préf | P4 | P5 | P6 | MX1 |
|---------------------------------------|---------------|-----------|-----------|---------------|------------|-----------|------------|------------|
| Critères de base | | | | | | | | |
| #1 Coût d'ensemble | 100% | 0% | 0% | 0% | 81% | 0% | 87% | 84% |
| #2 Durabilité | 100% | 80% | 70% | 20% | 80% | 80% | 70% | 85% |
| #3 Risque résiduel | 100% | 70% | 70% | 40% | 80% | 75% | 80% | 80% |
| #4 Équité | 85% | 80% | 40% | 0% | 100% | 40% | 100% | 100% |
| #5 Environnement - Bilan sédimentaire | 50% | 50% | 50% | 10% | 90% | 90% | 80% | 90% |
| #6 Synergie - Mise en valeur | 50% | 80% | 80% | 30% | 90% | 90% | 80% | 80% |
| #7 Impact social | 20% | 100% | 100% | 50% | 100% | 100% | 90% | 40% |
| Critères globaux | | | | | | | | |
| #1 Poids décisif sur le coût | 68% | 0% | 0% | 0% | 73% | 0% | 72% | 66% |
| #2 Poids majoritaire sur le coût | 93% | 20% | 18% | 6% | 83% | 21% | 85% | 85% |
| #3 Moyenne géométrique pondérée | 56% | 0% | 0% | 0% | 73% | 0% | 72% | 66% |
| #4 Moyenne arithmétique pondérée | 48% | 0% | 0% | 0% | 66% | 0% | 73% | 58% |
| MOYENNE - CRITÈRES GLOBAUX | 66% | 5% | 4% | 1% | 74% | 5% | 76% | 69% |



10.4 En résumé

Éliminer les approches à l'évidence trop coûteuses. L'analyse comparative de différentes options de remédiation au risque d'érosion allant du retrait complet assisté financièrement à la protection complète, dure ou douce, en passant par des approches mixtes révèle qu'en dépit de leur aptitude à résoudre le problème, *certaines mesures s'avèreraient soient beaucoup trop impactantes et/ou trop coûteuses considérant les enjeux qu'elles visent à protéger (P1, P2, P3, P5)*. Est-il nécessaire d'appliquer tout ce processus d'analyse pour tirer cette conclusion? Sans doute pas, mais il nous semblait requis de le faire, bien que sommairement, afin de rendre justice aux efforts méritoires des intervenants qui sont encore tentés d'en faire la promotion.

Priorité aux approches douces. Il ressort donc que les techniques dites douces, faisant appel aux capacités locales de réalisation (épis conventionnels), assorties parfois de mesures de retrait (ex : voirie), à condition qu'elles soient appliquées avec précaution à l'égard des composantes environnementales, et en maximisant les facteurs d'équité et les possibilités de concertation, semblent préférables aux approches classiques telles que le retrait généralisé ou l'empierrement linéaire « mur à mur » considérées comme ultimes.

Les champs d'épis conventionnels: les plus avantageux parmi les protections douces. En considérant le bilan des coûts et avantages et la démarche multi-critères, les options douces P4 et P6 se démarquent de toutes les autres mais ne distinguent pas nettement l'une de l'autre bien que les objectifs poursuivis diffèrent sensiblement. Il est de nouveau à noter que l'approche P4 comporte des variantes (P4.1, P4.2) par rapport à la protection du segment ouest (A) de la rue Labrie (1 ou 2 épis sans recharge initiale à cet endroit) qui permettent de bonifier le scénario et de le démarquer par rapport à P6. Étant donné qu'aucun avantage explicite (trop d'incertitude) n'a été pris en compte vis-à-vis des enjeux du Parc Nature qui dépend pourtant de l'équilibre sédimentaire et des impacts environnementaux pour assumer sa mission, nous croyons que cet item pourrait ajouter à l'avantage comparatif de P4 s'il était effectivement pris en compte.

Analyse de sensibilité au taux d'actualisation. Une analyse de sensibilité des coûts et avantages (monétarisés) des différentes options a été conduite afin de mesurer l'influence de paramètres sur l'ordonnancement économique des options du point de vue de la société dans son ensemble, sans égard à l'équité (financement). Seuls les résultats par rapport au taux d'actualisation sont rapportés ici. Le taux d'actualisation de base (4%/an) a été majoré ou minoré de 2%/an ainsi qu'il est indiqué de procéder dans une ACA. Il en est ressorti une influence assez grande de ce facteur pour les options *a priori* les plus avantageuses. L'ordonnancement des options n'en est toutefois pas modifié, du moins pour les options les plus avantageuses, soit P4 (Épis Équilibré) et P6 (Épis Réduit) dans cet ordre.

Démonstration de l'opportunité des ACA. La méthodologie de l'analyse coûts-avantages (ACA) dynamique assortie d'une composante d'évaluation multi-critères démontre aussi sa capacité à faire ressortir les alternatives les plus avantageuses et les plus équitables pour tous les intervenants, et à les démarquer d'autres mesures traditionnelles parfois considérées comme ultimes, telles que le retrait progressif généralisé ou l'empierrement systématique des côtes. L'approche représente une bonne méthode d'analyse dans un contexte de développement durable.



11 Conclusions et recommandations

11.1 Sur la pré-sélection des options les plus avantageuses

La « liste courte » des options privilégiées. La présente étude arrive à la conclusion que deux options douces (possiblement certaines variantes aussi) retiennent l'attention suite à une analyse économique coûts-avantages doublée d'analyse multi-critères qui tiennent compte, en plus des coûts directs, de la balance des avantages et inconvénients des options pour les parties prenantes:

1. *L'option P4 (Épi Équilibré) principalement axée sur la mise en place de champs d'épis (3 dont 1 à l'amont du Parc Nature) de portée variable et le retrait partiel de la rue Labrie (segment non habité de 0,87 km)*
2. *L'option P6 (Épis Réduit) aussi axée sur l'utilisation d'épis (2 champs) et le retrait partiel de la rue Labrie Est (0,87 km)*

Implications relatives à l'équité. *L'application de l'une ou l'autre des approches de protection dites « douces » implique un effort financier ou en nature important et concerté de la part des intervenants locaux (Municipalité et/ou secteur riverain). La concertation sous-tend une approche participative et concrète et un véritable esprit communautaire.* Ainsi, il est attendu de la communauté et du secteur riverain une contribution significative, sur le plan fiscal et/ou en nature (50% du volume de sable requis pour la recharge initiale, apports sédimentaires résiduels), qui nécessitera une véritable mobilisation du village. Le défaut d'inclure des contributions en nature significatives dans le scénario proposé aurait pour effet de transférer les coûts correspondants sur d'autres intervenants, réduisant ainsi les valeurs d'équité et de faisabilité des options retenues.

Recommandation : *Si une option douce était finalement retenue, nous recommandons la mise en place d'un schéma participatif et concerté de réalisation basé dans la mesure du possible sur l'équité des contributions et avantages pour les parties.*

Recommandation corollaire: *Nous croyons qu'il est possible de réduire la portée financière de cet effort collectif et concerté de la communauté en élargissant la base de concertation à d'autres intervenants régionaux (privés ou parapublics) afin de les faire participer à un projet communautaire qui dépasserait l'objectif de protection et inclurait une perspective de mise en valeur. Il est donc recommandé d'élargir le Comité de concertation à d'autres partenaires régionaux et d'établir les paramètres d'équité sur une base élargie de contributeurs volontaires (commanditaires).*

11.2 Sur le portrait de la situation

Évolution du bilan sédimentaire. L'analyse des données disponibles relatives aux apports sédimentaires à partir du recul des talus a permis de démontrer que ceux sont passés d'une valeur



historique possible de 5000 m³/an à 20 000 m³/an à la fin des années 90' pour atteindre aujourd'hui tout près de 40 000 m³/an. Si la tendance se poursuit, plusieurs centaines de mètres de côtes actuellement protégée par une étroite terrasse inférieure (micro-terrasse) s'activeront progressivement au cours des prochaines années pour porter ce total à près de 60 000 m³/an et possiblement beaucoup plus (80 000 m³/an) si l'hypothèse pessimiste, mais probable, de changements climatiques s'avérait fondée, soit une augmentation de la fréquence et de la sévérité des événements de tempête érosive. On ne peut que conclure que la côte de Pointe-aux-Outardes subit actuellement une ponction significative de sédiments sableux, et que si rien n'est fait pour contrôler le phénomène, c'est l'existence même du quartier littoral du village de Pointe-aux-Outardes qui peut être menacée. De surcroît, une incertitude plane sur la valeur des habitats coquilliers qui pourrait à terme subir les effets de l'érosion qui, s'ils étaient négatifs, priveraient par le fait même une population de cueilleurs de myes d'un revenu d'appoint significatif.

Recommandation : nous recommandons d'éviter toute mesure structurelle (approches lourdes réfléchies) susceptible de causer des effets adverses sur l'équilibre morpho-sédimentaire de la côte.

Recommandation : si une protection douce était finalement retenue, nous recommandons une stratégie d'implantation prioritaire visant à prévenir l'activation de l'érosion sur des talus encore végétalisés, à renverser le processus où les enjeux le justifient, et de favoriser naturellement le rétablissement d'un profil d'équilibre dynamique mais stable dans chacune des cellules mises en place (ex : entre 2 épis).

Recommandation corollaire : le cas échéant, nous recommandons de limiter transitoirement le contrôle de l'apport sédimentaire moyen net par l'érosion à un minimum de 20 000 m³/an, soit le niveau estimé en 1998.

Recommandation corollaire : nous recommandons aussi de prévoir une recharge initiale en sable dans l'ensemble du dispositif d'épis qui serait retenu afin d'éviter qu'une rétention initiale trop radicale et prolongée du transit littoral n'induisse des effets négatifs en aval (le transit net s'effectue d'est en ouest) et ce, tant que l'équilibre morpho-sédimentaire recherché ne se sera pas stabilisé au niveau souhaité.

11.3 Constats relatifs à l'hydrodynamique et à la réponse sédimentaire

Ci-après, nous introduisons les principaux constats physiques obtenus de l'étude afin d'alimenter le travail de conception des protections douces si l'une ou l'autre de ces options devait être retenue.

Constat #1 : Le marnage (différence entre la haute et la basse mers) d'une marée moyenne à Baie-Comeau est de 2,9 m et il est de 4,2 m pour les grandes marées. Un tel marnage tend à disqualifier certaines méthodes de protection des côtes comme les brise-lames d'avant-côte (*offshore*) qui, d'après l'expérience, ne sont valables que pour des marnages inférieurs au mètre.

Constat #2 : Les niveaux haut et bas atteints par la marée sont respectivement de +1,5 m et -1,3 m pour la marée moyenne et de +2,3 m et -1,8 m pour une grande marée.



Constat #3 : L'analyse des surcotes indique une surélévation du plan d'eau pouvant atteindre 0,7 m. Ajoutée à la cote de +2,3 m associée aux grandes marées, ceci signifie que le niveau d'eau peut atteindre la cote 3 m en conditions extrêmes. Toute protection de berge devrait être réalisée en considérant cette cote de 3,0 m. La probabilité qu'il y ait simultanéité de ces deux événements est toutefois faible.

Constat #4 : D'après l'analyse statistique des extrêmes annuels de niveau d'eau, la période de retour associée à un tel événement serait de 50 ans. Comme les statistiques sont réalisées sur un ensemble de données présentant une composante déterministe, les résultats de ces analyses doivent être considérés comme indicatifs.

Constat #5 : La largeur de plage située entre le pied du talus et la cote géodésique 0 varie entre 20 et 50 m. Il apparaît souhaitable que cette largeur soit d'au moins 30 m (par inspection des conditions d'engrassissement de plage créées localement par la présence du quai).

Constat #6 : La largeur des micro-terrasses qui subsistent aujourd'hui varie entre 5 et 15 m. Pour une recharge de plage éventuelle, une valeur minimale de 15 m devrait donc être considérée.

Constat #7 : L'ensemble de données disponibles d'enregistrements de vagues dans l'estuaire du Saint-Laurent est extraordinairement pauvre et il faut se rabattre sur un modèle de transformation du vent en vagues pour obtenir une série de données de vagues horaires qui permettent l'utilisation subséquente de formules d'analyse et de dimensionnement.

Constat #8 : Le régime des vagues généré en eau profonde, au large de l'estran de Pointe-aux-Outardes et en un point qui maximise les hauteurs de vagues provenant du sud-ouest et de l'est, indique que l'intensité de la vague (Hauteur de vague significative) pour un non-dépassement de 99,9% (12 heures par an) varie entre 3 et 4 m. La vague la plus forte était de 5,4 m. Compte tenu qu'il s'agit de vagues générées, ces valeurs sont représentatives des conditions locales.

Constat #9 : L'analyse des mesures de vagues réalisées par l'ISMER en 2001 sur l'estran tend à démontrer que l'atténuation des vagues générées au large en eau profonde est très significative avant d'atteindre le site du capteur (35 à 60%) situé à 230 m de la rive. La vague de dimensionnement, pour le calcul d'enrochements (pour les épis conventionnels, par exemple) doit donc être évaluée en considérant cet aspect.

Constat #10 : Au plan hydrodynamique, l'interprétation de l'image satellitaire et l'analyse des données LIDAR permettent de déduire qu'au baissant la vidange est oriente NO-SE près de l'estuaire de la rivière aux Outardes et que cette zone est surélevée par rapport à l'estran situé plus à l'est. La vidange est orientée NE-SO tout juste à l'ouest du quai. Il y a variation graduelle de l'orientation des chenaux de vidange entre ces deux points. L'orientation N-S, approximativement normale à la côte, se situe environ 1 km à l'ouest du quai.

Constat #11 : Idéalement, un modèle hydrodynamique devrait être utilisé pour mieux décrire le patron d'écoulement durant certains cycles de marées et pour différentes valeurs de débit de la rivière aux Outardes.

Constat #12 : L'identification visuelle de la zone active pour le transport des sédiments, basée sur la recherche d'une différence observable dans la bathymétrie de l'estan, a donné une distance de l'ordre de 130 m à partir du pied de talus pour la zone située à l'est du quai. Cet ordre de grandeur de la zone active semble corroboré par des calculs théoriques qui font l'objet de l'annexe I.



Constat #13 : Il ne faut pas confondre cette zone de transport actif avec celle de 25 m, établie par Génivar dans son étude pour le compte d'Hydro-Québec, et qui identifie la haute plage impactée par les vagues de tempêtes.

Constat #14 : L'influence du quai municipal sur la topographie locale s'avère très instructive, en indiquant que le transit sédimentaire dominant procède d'est en ouest. Il nous enseigne également sur la largeur de plage (distance entre le pied de talus et la cote 0.0 m) qui serait souhaitable. Finalement, la zone d'engraissement s'établit sur deux fois sa longueur effective (longueur calculée à partir de la largeur de plage souhaitable. Dans le cas de Pointe-aux-Outardes, on considère souhaitable que les épis soient distants de 3 fois leur longueur. Cette séparation s'inscrit à l'intérieur des limites théoriques qui sont entre 2 et 4 fois la longueur.

11.4 Sur la conception préliminaire des ouvrages

Nous reprenons ci-après les principaux constats qui permettraient de concevoir et dimensionner adéquatement les ouvrages de protection formés d'épis conventionnels, si une telle option était retenue. Autrement, ces recommandations seraient nulles et non-avenues.

Les stratégies de protection envisagées s'appuient sur la littérature récente en matière de génie côtier. Les références principales sont le « *Coastal Engineering Manual* » du *U.S Army Corps of Engineers* et le « *Manual on the Use of Rock in Coastal and Shoreline Engineering* » publié par le *Construction Industry Research and Information Association (CIRIA)* et le *Centre for Civil Engineering Research and Codes (CUR)*. À ces volumineux ouvrages se greffent des rapports spécialisés comme le « Guide du dimensionnement du *riprap* produit par la Société d'Énergie de la Baie James » qui abordent des types particuliers de protection.

La détermination des conditions maritimes à Pointe-aux-Outardes (voir les constats ci-haut) a permis d'identifier les solutions qui s'avèrent les plus intéressantes, basées sur les constats suivants :

Constat #1 : Que le quai municipal a répondu à la façon d'un épi en captant le sable et en réorientant la plage pour répondre aux sollicitations d'importance;

Constat #2 : Que le quai s'avère un prototype à l'échelle naturelle de ce qui peut être obtenu en implantant des épis;

Constat #3 : Qu'il existe des dépôts de sable à proximité qui permettent une recharge de plage;

Constat #4 : Que les fortes marées font en sorte que l'utilisation de brise-lames offshore n'est pas recommandée. En effet, dans la littérature on indique que ces ouvrages doivent être considérés lorsque la marée ne dépasse pas un mètre. La photographie satellite illustrant ce type d'ouvrage construit à Pointe-Lebel n'apparaît pas concluant, car il semble y avoir également de l'enrochement en rive. Il s'agirait ici, d'un système mixte;

Constat #5 : Que les ouvrages en enrochement de grande portée ou construits à la pièce pour protéger le talus ont créé des érosions importantes aux extrémités (effets de bout) et la perte de la plage située en face.



Constat #6 : Que si une approche de stabilisation de berges est finalement préconisée, cette protection doit être réalisée en tenant des processus côtiers à l'échelle de l'ensemble de la cellule, du moins jusqu'au quai existant.

Recommandation : En conséquence de quoi, notre proposition de champ d'épis (P4 ou MX1) pour stabiliser les berges représente une solution économiquement intéressante et potentiellement efficace dans la mesure où les constats énumérés et les paramètres de dimensionnement qui en découlent seraient pris en compte. L'approche comporte l'implantation d'épis pour contrôler le transport littoral et favoriser la rétention locale de sédiments et une recharge de plage initiale afin d'éviter l'interruption brutale des apports sédimentaire en aval de la cellule et sur la batture adjacente.

1. Largeur de la plage sèche de 15 m
2. Recharge de la plage qui respecte les principes d'un profil d'équilibre tel que décrit dans l'Annexe H : Profils de plage en équilibre et protection des berges
3. Implantation d'épis d'une longueur totale maximale de 90 m, incluant la plage sèche, qui laisse une bande d'environ 40 m au large pour le transport littoral longitudinal
4. Distance entre les épis d'environ 200 m, correspondant à un peu plus de trois fois la longueur effective de l'ouvrage (60 m), soit une zone d'influence comparable à celle du quai.

Les volumes de sable requis pour la recharge de plage dépendent grandement de la granulométrie des matériaux disponibles. La valeur escomptée pour l'étude est établie à partir de la taille moyenne des matériaux bruts disponibles en rive ou dans les sablières locales. L'emploi de matériaux sableux plus grossiers (bruts ou tamisés) peut jouer considérablement sur les volumes de recharge et donc sur le coût de l'option. Une analyse économique complémentaire est donc tout à fait indiquée en vue d'optimiser le coût de cette composante majeure de l'option.

Remarque : Il convient aussi de mentionner qu'il s'agit d'une approche mixte de protection, concept décrit depuis peu dans la littérature et que nous sommes dans une zone bien particulière caractérisée par un fort marnage (écarts des niveaux minimum et maximum) de la marée. Les caractéristiques suggérées s'appuient sur une démarche logique et cohérente, et qui est expliquée à l'annexe H du rapport. La complexité des phénomènes fait toutefois en sorte qu'on ne peut garantir le résultat. D'ailleurs, l'occurrence d'une tempête exceptionnelle, dépassant les limites retenues pour réaliser un dimensionnement économique, peut tout chambarder. Gardons à l'esprit que la nature reste maître, et tout au plus, pouvons-nous améliorer nos chances de nous prémunir contre les effets dommageables de certains événements extrêmes.

11.5 Sur l'approche d'analyse coût-avantages

La réalisation de la présente analyse coûts-avantages constituant dans sa forme particulière (à cause des compléments techniques et de la mise à l'essai de l'approche multicritères) une primeur, du moins au Québec, en matière d'évaluation dynamique d'options très diversifiées pour résoudre une problématique de risque naturel, il nous a semblé normal d'en tirer quelques leçons pour le futur.



Monétarisation et analyse multi-critères. Dans un premier temps, nous croyons que l'approche ACA convient assez bien à ce genre d'étude bien que la monétarisation d'éléments intangibles ou enjeux majeurs du dossier comporte des marges d'incertitude plus grande que les coûts directs. Le risque est d'affaiblir les composantes de l'étude qui comportent le moins d'incertitude avec des estimés trop subjectifs pour certains éléments *a priori* intangibles (la valeur d'une plage, d'un paysage, la paix et la cohésion sociales, la qualité de vie, la présence d'un écosystème, etc.). Il est donc important de prendre en compte ces éléments avec une approche conservatrice du point de vue décisionnel. L'application d'une approche multicritères peut apporter un éclairage additionnel bien que ses paramètres, issus de jugements de valeur de la part des auteurs (validé sommairement par le Comité de Concertation), comporte aussi sa part d'incertitude. Quelle que soit l'approche retenue, sa paramétrisation se doit d'être clairement explicite quant aux choix effectués.

L'actualisation. L'adoption d'une perspective économique à long terme semble également tout à fait indiquée pour élargir la perspective et incarner la notion de durabilité et ce, malgré les incertitudes que les projections dans le futur comportent (ex : changements climatiques, paramètres économiques, coût des matériaux). Par contre, l'actualisation des coûts en *valeur présente nette*, si elle est tout à fait défendable sur le plan de la science économique, doit rapidement être traduite en termes financiers afin de mesurer effectivement la faisabilité des solutions sur ce plan. Cette dimension n'a pas été abordée dans l'étude, sauf pour rechercher les meilleurs paramètres d'équité économique possibles entre les parties.

L'aide à la décision. En tant qu'outils d'aide à la décision, les instruments de calcul d'ACA mis au point dans ce projet (Sur Microsoft Excel^{MD}) permettent de générer très rapidement une grande multitude de variantes aux options de base présentées ici, et ainsi d'optimiser les choix proposés. Il est aussi possible de mesurer la sensibilité de ces choix à des facteurs externes très variés allant des paramètres des programmes gouvernementaux au coût des matériaux et de l'entretien périodique, en passant par l'impact des changements climatiques, la portée spatiale des mesures et les paramètres économiques. Dans ce genre d'étude, seuls quelques scénarios balisant l'ensemble des possibilités peuvent réalistement être présentés.

L'ACA n'est pas une étude financière. Quoique les implications financières ne soient pas présentées comme tel (sauf pour estimer l'équité des options), la plupart des données pour ce faire sont disponibles dans les tableaux développés.

L'ACA n'est pas une étude d'impact environnemental : Les auteurs se sont interrogés sur l'importance à donner au volet environnemental dans cette étude. Puisque le rapport examine un vaste registre d'options, et qu'il vient en appui à une décision complexe dont il ne peut présumer du résultat, le volet environnemental est forcément réduit. L'ACA se contente donc d'identifier les enjeux environnementaux majeurs et d'estimer sommairement l'influence des options sur eux. Nous prenons pour acquis que la sélection d'une option de type structurel, même considérée comme douce, devra éventuellement satisfaire aux exigences de la réglementation environnementale.

Recommandation: Toutefois, la multiplicité des facteurs pris en compte rend pratiquement impossible l'analyse complète de tous les dimensions prises en compte théoriquement dans le modèle, à cause de l'explosion combinatoire qu'elle suppose. En revanche, *nous croyons cependant qu'il est indiqué de procéder à des analyses complémentaires de sensibilité pour une*



ou deux options une fois que le Comité de concertation aura été saisi des conclusions de l'étude et que lesdites options auront rallié une première adhésion des principaux intervenants.

11.6 Sur la gouvernance participative

La mouvance du développement durable. L'approche de concertation et de développement durable préconisée dans cette étude s'inspire des principes de *gouvernance participative* énoncés dans la Politique nationale de l'eau (2004) et de la Politique de Développement durable (2006) les deux adoptées unanimement à l'Assemblée nationale du Québec. Ces politiques ont donné lieu à la mise en place d'un grand nombre de structures légères de *gestion participative* telles que les organisations de bassin versant (OBV) qui œuvrent à la gestion intégrée de l'eau à l'échelle des bassins versants, l'unité de gestion naturelle des cours d'eau. Il en résulte des actions concertées qui permettent souvent aux intervenants d'atteindre leurs objectifs en misant sur des synergies, tout en permettant d'éviter la mise en place de situations conflictuelles. La table de concertation mise en place pour la présente étude émane de cette philosophie.

Un pari audacieux pour une question existentielle. Dans le cas présent de Pointe-aux-Outardes, les auteurs ont donc misé sur la cohésion de la communauté et sur les possibilités de concertation en vue de minimiser les coûts, dispenser les avantages au plus grand nombre d'intervenants possibles et leur offrir des perspectives favorables et durables à long terme, en plus de minimiser les conflits d'intérêt potentiels. L'option recommandée pourra donc nécessiter une mobilisation de toute la communauté autour de ce projet, y compris des entreprises locales et régionales, ainsi que des instances décisionnelles. À défaut de satisfaire à ces conditions minimales de saine gouvernance, les perspectives sont beaucoup moins encourageantes pour la communauté et pourraient forcer celle-ci à se replier vers des solutions beaucoup plus douloureuses à mettre en œuvre.



Bibliographie

- Allard, J.D. (1980). Étude des berges en bordure de la rivière aux Outardes et du fleuve Saint-Laurent dans les municipalités de Chute-aux-Outardes, Ragueneau, Pointe-aux-Outardes et Baie Saint-Ludger. Ministère de l'Énergie et des ressources, Service de la Géotechnique. Avis.
- ARGUS Inc. (2001). Protection et restauration du littoral de Sept-Îles. – Projets pilotes – Suivi. Rapport présenté à la Ville de Sept-Îles. N/réf. 20963-000. 26 pages.
- Association touristique régionale Manicouagan (1984). Potentiel écologique et récréatif de la Pointe-aux-Outardes. Extrait du rapport.
- Bernatchez, P. (2000a). L'érosion du littoral de la Côte-Nord de l'estuaire maritime et du golfe Saint-Laurent : bilan des connaissances et lacunes. Rapport présenté au Conseil régional de Développement (CRD) de la Côte-Nord. 80 pages.
- Bernatchez, P. (2000b). *Évaluation de l'évolution récente des falaises littorales à Pointe-Lebel : taux et mode de recul*. Rapport présenté au Conseil régional de Développement (CRD) de la Côte-Nord. 14 pages + 1 annexe photographique.
- Bernatchez, P. (2003). Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et Manicouagan-Outardes : Synthèse, processus, causes et perspectives. Thèse de doctorat. Département de Géographie, U. Laval. 531 pp.
- Bernatchez, P. (2003). Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et Manicouagan-Outardes : Synthèse, processus, causes et perspectives. Thèse de doctorat. Département de Géographie, U. Laval. 531 pp.
- Blin, P., M. Leclerc, Y. Secretan et B. Morse (2005) Cartographie du risque unitaire d'endommagement (CRUE) par inondations pour les résidences unifamiliales du Québec. *Revue des Sciences de l'Eau*, 18(5). Décembre.
- Bonnifait, L., M. Leclerc (2004). Construction de courbes niveau-dommages pour l'habitat québécois. Pour le compte d'Environnement Canada. Rapport INRS-ETE #R-728. Mars, 15 pages. Février
- Canadian Standards Association (CSA) (1991). Risk Analysis requirements and guidelines. CAN/CSA-Q634-91. Rexdale, Ont.
- CÉPRO / GENIVAR et Option Aménagement (2006). Étude de faisabilité - Implantation d'un Centre d'éducation sur la dynamique du littoral marin au Parc Nature de Pointe-aux-Outardes. Rapport remis au Parc Nature.



- CERC (1984). « Shore Protection Manual » U.S. Army Corps of Engineers. Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Virginia. 3 volumes.
- CIRIA (1991). « Manual on the use of Rock in coastal and shoreline Engineering ». CIRIA Special Publication 83. CUR report 154. A.A. Balkem, Rotterdam, Brookfield, 1991. 607 p. ISBN-0-86017-326-7
- Conseil du trésor du Canada (1995). Guide de l'analyse avantages-coûts pour les programmes de réglementation, Ottawa, 116p.
- CSSA Consultants Ltée (1993). Suréquipement des aménagements du complexe Outardes. *Bilan des connaissances des composantes biophysiques de l'estuaire de la rivière aux Outardes*. Rapport présenté à Hydro-Québec la Vice-Présidence Environnement.
- Dubois, J.-M. M., Bernatchez, P., Bouchard, J.-D., Daigneault, B., Cayer, D., Dugas, S. (2005) Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte-Nord du Saint-Laurent pour la période de 1996-2003. Pour la Conférence régionale des élus de la Côte-Nord, 291 pages, annexes.
- Dupuis, P. *et al.* (1996) « Wave Climate of Large Reservoirs and Revised Wave Hindcast Formula », Pierre Dupuis, Jean-Pierre Tournier et Octave Caron 25th International Conference on Coastal Engineering. Orlando, Fl. September 1996.
- Dupuis, P., J.P. Tournier, et O. Caron (1996). Wave Climate of Large Reservoirs and Revised Wave Hindcast Formula. Comptes-rendus 25th International Conference on Coastal Engineering, Orlando, Florida. Septembre.
- Dupuis, P. (1993). « On the use of van der Meer and Hudson formulae for the riprap design of large dams ». Pierre Dupuis. Discussion soumise et acceptée au International Riprap Workshop 1993. Fort Collins, Colorado.
- ÉcoRessources Consultants (2009), Révision de la partie économique et synthèse du rapport Recherche d'une solution économique et durable à la problématique d'érosion littorale à Pointe-aux-Outardes, pour le compte du Ministère de la Sécurité publique, 29 pages.
- EID Méditerranée et Service Maritime et de Navigation de Languedoc-Roussillon (2005). Bassins Rhône-Méditerranée et Corse – Guide technique No 9 – Connaissance et gestion de l'érosion du littoral. Mars. 52 pp.
- Forrester, W.D. (1983). Manuel canadien des marées. Publication de Pêches et Océans Canada
- Génivar, Groupe-conseil (2002). Suivi de l'évolution de la topographie à deux sites de la péninsule Manicouagan (volume 1). 39 pages. Juin
- Génivar, Groupe-conseil (2004). Enrochement de Pointe-Lebel, péninsule de Manicouagan, Québec – *Résultats intérimaires du suivi topographique de la plage. Année 2003 – 2^{ième} de 5 années*. Rapport B100253. 11 pages + 1 annexe.
- Génivar, Groupe-conseil (2005). Enrochement de Pointe-Lebel, péninsule de Manicouagan, Québec – *Résultats intérimaires du suivi topographique de la plage. Année 2004 – 3^{ième} de 5 années*. Rapport B08686. 11 pages + 1 annexe.
- Génivar, Groupe-Conseil (2006). Protection linéaire en enrochement des berges de la rivière aux Outardes à Ragueneau. Étude d'impact sur l'environnement. Rapport présenté à la



- Municipalité de Ragueneau et au Ministère des Transports. Rapport B-103034. 341 pages. Avril.
- Grant, C et L. Provencher (2007). Caractérisation de l'habitat et de la faune des herbiers de *Zostera marina* de la péninsule de Manicouagan (Québec). Rapport technique des Sciences halieutiques et aquatiques No 2772. Ministère des Pêches et Océans Canada. 65 pages.
- Karakiewicz, B., Romanczyk et N. Roy (2001). Analyse de l'efficacité de la méthode de protection du littoral : système d'épis Maltais-Savard (SEMS), octobre 2002
- Leclerc M., J. Marion, M. Heniche, T. Ouarda et Y. Secretan (1997). Prédiction des dommages résidentiels d'inondation en fonction de l'hydraulicité des rivières Chicoutimi, aux Sables et du lac Kénogami. Rapport scientifique INRS-Eau #R511. 108 p.
- Leclerc, M., Y. Secretan, M. Heniche, T.B.M.J. Ouarda et J. Marion (2003). Une méthode prédictive non-biaisée et géoréférencée d'estimation des dommages résidentiels d'inondation. *Revue canadienne de Génie civil*. **30**(5) : 914-922.
- Mansard, E. *et al.* (1996). « Model Study of Reservoir Riprap Stability ». E. Mansard, M.H. Davis and O. Caron. 5th International Conference on Coastal Engineering, Orlando, Fl.
- Ministère de la Sécurité publique (2006). Vers un schéma directeur d'interventions sur le littoral – Municipalité de Pointe-aux-Outardes - Étude préliminaire des différents scénarios d'interventions avantages / impacts /coûts. Présentation Microsoft Powerpoint.
- Ministère de la Sécurité publique du Québec (2007a). Approche et principes en sécurité civile au Québec. 55 pages.
- Ministère de la Sécurité publique du Québec (2007b). Cadre de référence pour la gestion des risques de sinistre. 33 pages.
- Ministère des Transports et Ministère de la Sécurité publique (1992). Projet de stabilisation des berges de la péninsule de Manicouagan et de la région de Ragueneau. Document d'appui à la demande de soustraction à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement. 27 pages + 3 annexes.
- MRC de Manicouagan (1991). Biennale Côte-Nord 1991 – Enrochement des berges – MRC de Manicouagan. Document de présentation à la Biennale de Baie-Comeau, les 25-26 novembre.
- MRC Manicouagan et Comité ZIP de la rive nord de l'estuaire (1999). Vers une gestion intégrée des interventions en milieu marin. Actes du Colloque régional sur l'érosion des berges, 19-21 février 1999, Baie-Comeau. 198 pages + 3 annexes.
- Naturam Environnement (1999). Caractérisation biophysique, socio-économique et détermination des enjeux dans un secteur potentiel pour l'identification d'une zone de protection marine pilote : portion ouest de la MRC Manicouagan. Baie-Comeau. 311 pages.
- Ouellette, P., D. Leblanc, N. El-Jabi et J. Rousselle (1985). Cost-benefit analysis of flood plain zoning. *J. Wat. Res. Plan. & Man (ASCE)*. **114**(3), 326-334, paper # 22468, May.
- Ouranos (2007). L'évaluation des avantages et des coûts de l'adaptation aux changements climatiques. Rapport de recherche (Version préliminaire).



- ROCHE Ltée Groupe-conseil (1997). Baie-Saint-Ludger – Protection du littoral – Faisabilité technique et environnementale de la mise en place d'épis. Rapport présenté au Ministère des Transports du Québec. N/réf. 18308-303. 135 pages + 7 annexes. Janvier
- Roy, N., M Heppell et A. Gariepy (2003). Guide de construction des systèmes d'épis Maltais-Savard. – Protection des berges par la restauration de plage contre l'érosion littorale. Présenté au Comité ZIP de la rive nord de l'estuaire. 19 pages. www.zipnord.qc.ca
- Savard, J.P. (1997). Stabilisation des berges de la Côte Nord du Saint-Laurent à l'aval de Tadoussac. Document de réflexion InteRives Ltée présenté au Député de Saguenay G.Y. Gagnon. 15 pages. Novembre
- SEBJ (1996). « Guide pratique. Dimensionnement du riprap » Société d'Énergie de la Baie James. Décembre 1996. 73 p.
- Thompson, R.E. (1984). Océanographie des côtes de la Colombie britannique. Publication de Pêches et Océans Canada.
- Tournier *et al.* (1996). « An Improved Design Method for the Riprap of Earthfill Dams of Large Reservoirs ». J.P. Tournier, Pierre Dupuis et Raymond Arès. 5th International Conference on Coastal Engineering, Orlando, FL.
- United Nation International Strategy for Disaster Reduction (2006). URL : www.unisdr.org
- USACE 2003. Coastal Engineering Manual. 5 volumes. United States Army Corps of Engineers. Engineering Manual EM 1110-2-1100.



Annexe A : Glossaire du risque

Le contenu de cette annexe est disponible sur CD-Rom et sur le site Internet de l'INRS-ETE



Annexe A

Glossaire du risque

| | |
|--------------------------------------|--|
| ALÉA : | Phénomène, événement physique ou activité humaine susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement. |
| ANALYSE DES RISQUES : | Processus systématique visant à estimer le niveau de risques par l'analyse des possibilités d'occurrence des aléas et des conséquences potentielles pouvant résulter de leur manifestation. |
| ATTÉNUATION : | Ensemble des mesures et des moyens mis en place dans le but de limiter les effets des aléas sur la |
| DÉVELOPPEMENT DURABLE : | Développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. |
| ÉLÉMENT EXPOSÉ (VULNÉRABLE) : | Élément tangible ou intangible d'un milieu, susceptible d'être affecté par un aléa naturel ou anthropique et de subir des préjudices ou des dommages. |
| FACTEUR DE VULNÉRABILITÉ : | Caractéristique sociale, économique, physique (matérielle) ou naturelle d'une collectivité susceptible de rendre cette dernière plus sensible à la manifestation d'un ou de plusieurs aléas. |
| INTERVENTION : | Ensemble des mesures prises immédiatement avant un sinistre, pendant celui-ci, ou immédiatement après pour préserver la vie, assurer les besoins essentiels des personnes et sauvegarder les biens et l'environnement. |
| PRÉVENTION : | Ensemble des mesures établies sur une base permanente qui concourent à éliminer les risques, à réduire les possibilités d'occurrence des aléas ou à atténuer leurs effets potentiels. |

PROCESSUS DE GESTION DES



RISQUES DE SINISTRE :

Application systématique de politiques, de procédures et de pratiques aux fins de l'établissement du contexte, de l'identification, de l'analyse, de l'évaluation, du traitement, de la communication, du suivi et de la révision des risques de sinistre.

RISQUE :

Combinaison de la possibilité d'occurrence d'un aléa et de l'importance des conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables du milieu.

SÉCURITÉ CIVILE :

Ensemble des actions et des moyens mis en place à tous les niveaux de la société dans le but de connaître les risques de sinistre, d'éliminer ou de réduire les possibilités d'occurrence des phénomènes ou événements redoutés, d'atténuer leurs effets potentiels ou, au moment et à la suite d'un sinistre, de réduire les conséquences néfastes sur le milieu.

SENSIBILITÉ :

Proportion dans laquelle un élément exposé est susceptible d'être affecté par la manifestation d'un aléa.

VULNÉRABILITÉ :

Condition déterminée par des facteurs ou des processus physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui accentuent la sensibilité d'une collectivité aux effets des aléas.



Annexe B : Calculs relatifs à l'érosion et à l'exposition des éléments vulnérables

Le contenu de cette annexe est disponible sur CD-Rom et sur le site Internet de l'INRS-ETE



Annexe B

Calculs relatifs à l'érosion et à l'exposition des éléments vulnérables

But

Les calculs relatifs à l'érosion ont pour but d'estimer le délai qui subsiste avant que l'érosion des talus n'oblige les résidents et autres intervenants à prendre des mesures draconiennes telles que la relocalisation des bâtiments menacés tant que cela demeure possible en toute sécurité, ou l'évacuation des résidents si l'imminence de mouvements de sol l'empêche.

Ce genre de calcul n'est pas si simple qu'il n'y paraît *a priori* étant donné la multiplicité des facteurs qui l'influencent, notamment :

- La nature et la fréquence des facteurs provoquant l'érosion
- La nature des matériaux qui rendent les talus plus ou moins vulnérables
- Les taux de reculs variables en fonction de la position du talus sur le segment de côte
- La présence ou l'absence d'une basse terrasse et d'un haut de plage et leur évolution (recul) dans le temps
- Le relèvement graduel du niveau de la mer et la fréquence croissante des tempêtes problématiques tels qu'anticipés en fonction des changements climatiques
- La présence ou non d'éléments vulnérables et leur position par rapport aux hauts de talus
- La présence, l'efficacité et la vulnérabilité d'ouvrages de protection.

C'est donc en tenant compte de ces divers facteurs que doit s'effectuer le calcul de l'évolution des marges de recul des bâtiments. Bien entendu, certains facteurs sont relativement bien caractérisés tandis que d'autres, plus incertains, doivent faire l'objet d'hypothèses raisonnables, pouvant donner lieu à une analyse de sensibilité afin d'en mesurer l'influence.



Modèle de l'évolution des taux de recul

Le but de l'exercice présenté ci-après est de déterminer, d'abord l'année buttoir où la relocalisation du bâtiment principal est encore possible dans des conditions sécuritaires, puis celle où l'évacuation des résidents devient pratiquement obligatoire (imminence de mouvement de sol) et le bâtiment principal requiert rien de moins que sa démolition. Plusieurs des paramètres ou variables étant liées aux conditions locales (position sur le segment de côte), le modèle ci-après s'applique à chacun des bâtiments d'importance présents en rive.

Il faut aussi pouvoir représenter l'évolution possible des taux de recul sur l'ensemble de la période de référence en fonction des changements climatiques (voir le Figure 1 pour le nomenclature temporelle).

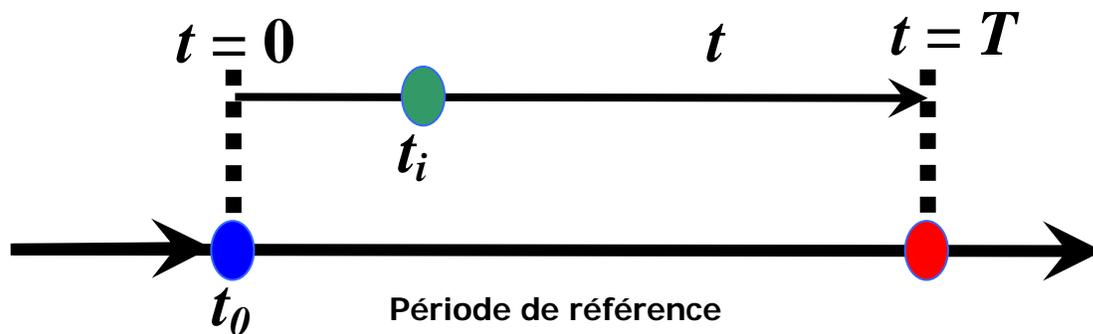


Figure 1 : Référence temporelle relative pour les calculs

Nous posons l'hypothèse que le taux de recul évoluera linéairement à la hausse pour atteindre X fois sa valeur présente (ou estimée) à la fin de la période de référence T . De plus, bien que le taux de recul annuel présente un caractère aléatoire lié aux conditions climatiques d'une année donnée, les conditions moyennes sont en général rattrapées sur quelques années seulement de sorte que le traitement monotone de l'évolution n'introduit pas de biais à long terme. Les implications relatives aux changements climatiques sont traitées plus en détail dans le corps principal de ce rapport.

Nous proposons la nomenclature de variables suivante :

- t : année considérée
- t_0 : année initiale du calcul (2008)
- t_i : année de l'amorce du recul du talus



T : période de référence (=30 ans)

$TR(t)$: taux de recul en fonction du temps (m/an)

TR_0 : taux de recul initial au temps t_0 (où valeur estimée là où l'amorce de l'érosion n'est pas encore survenue (m/an)

X : facteur de multiplication du taux d'érosion actuel ou estimé à la fin de la période de référence T

α : taux d'évolution (an^{-1}); ($= X-1$)

Dans ces conditions, le taux de recul s'exprime ainsi :

$$TR(t) = TR_0(1 + \alpha(t - t_0)) \equiv TR_0(1 + (X - 1)(t - t_0))$$

Cette représentation est illustrée à la Figure 2.

Concernant l'amorce de l'érosion du talus, elle est tributaire de la disparition d'un haut de plage et d'une basse terrasse. Le délai estimé avant l'amorce de l'érosion du talus est calculé plus simplement en appliquant les valeurs locales actuelles de taux de recul des basses terrasses de la côte. Il se calcule simplement en divisant la largeur de la basse terrasse (le cas échéant) par son taux de recul moyen observé dans la dernière décennie, sans amplification reliée au changement climatique. Ce choix s'explique par le caractère à court terme de la disparition de celles-ci pour la plupart des segments de côte à l'étude à l'étude, du moins ceux ne disposant pas d'ouvrages de protection durables. Si aucune basse terrasse n'est présente et qu'aucun ouvrage n'est présent, l'amorce se confond avec le temps initial t_i .

En revanche, l'année de l'amorce, le taux de recul estimé rejoint dès la première année (t_i) le taux de recul généralement estimé pour le secteur.

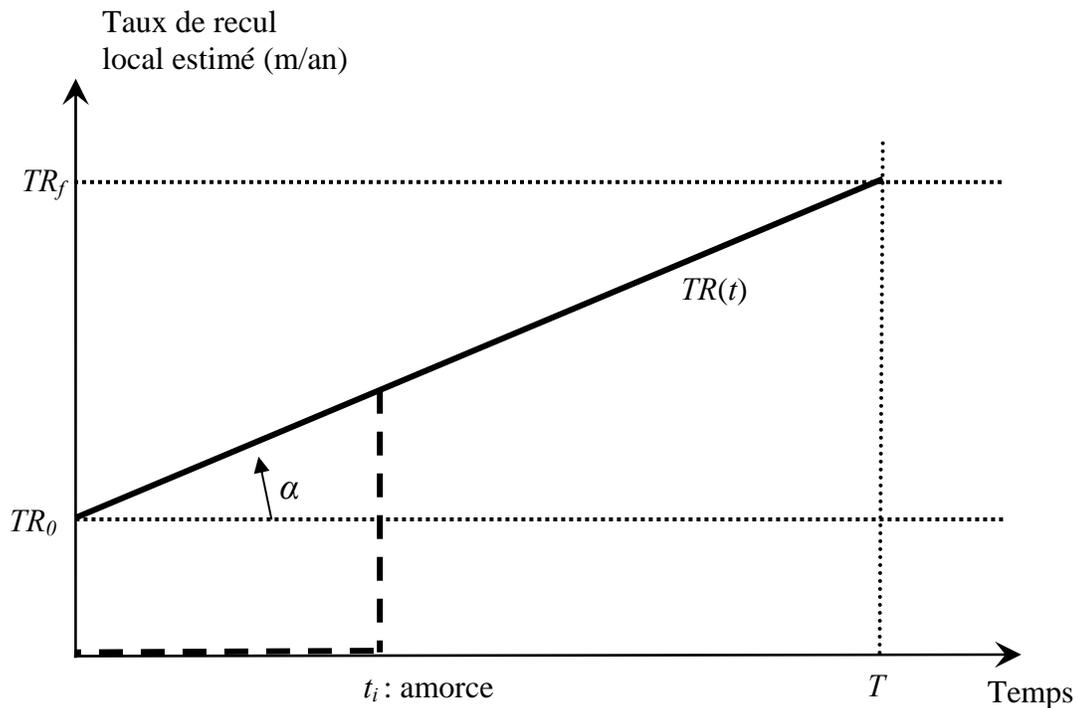


Figure 2 : Représentation de l'évolution du taux de recul induit par les changements climatiques

Modèle d'exposition à l'érosion : résidences

Le degré d'exposition des bâtiments et infrastructures aux processus d'érosion côtière, du moins tel qu'ils se manifestent à la Pointe-aux-Outardes avec de hauts talus sableux, exprime leur vulnérabilité. L'exposition se laisse caractériser par les variables suivantes :

t le temps en années à compter de t_0 , le temps initial de l'étude (2008)

s un coordonnée curviligne épousant le trait de côte et prenant son origine à la fin de l'empierrement de la rue Labrie ouest autour de l'adresse 150 (m)

$R_p(s)$ taux de recul de la micro-terrasse au pied du talus (m/an)

$R_t(s)$ taux de recul du pied de talus; il représente l'ensemble du talus (m/an)

$L_p(s)$ largeur résiduelle de la micro-terrasse non encore érodée (m)

$H(s)$ la hauteur du talus à partir de la basse terrasse ou du haut de plage (m)



$D_i(s)$ la marge de recul du bâtiment principal (mur face à la mer) par rapport au haut de talus (excluant la partie en surplomb) maintenue temporairement en place par la couche indurée (m)

D_{rMIN} distance minimale entre le bâtiment principal et le haut de talus permettant de déclarer l'imminence de mouvement de sol dangereux pour le bâtiment et nécessitant l'évacuation ou la relocalisation de ses occupants

D_{bMIN} distance minimale entre le bâtiment et le haut de talus permettant encore de procéder au déplacement sécuritaire du bâtiment principal

$D_v(s)$ la distance de recul de la voie publique par rapport au haut de talus

M_{RCI} Marge de recul imposée par un règlement de contrôle intérimaire (m)

T_{ri} Période résiduelle avant que la marge de recul du bâtiment rende la perte du bâtiment *imminente* et force la relocalisation de ses occupants (an)

T_{bi} Période résiduelle avant que la marge de recul du bâtiment rende impossible le déplacement du bâtiment (an)

$T_v(s)$ Période résiduelle avant que la marge de recul de la voie publique ne nécessite la relocalisation de celle-ci (an)

Avec ces variables, un modèle de l'imminence de deux conséquences majeures a été établi. Il vise, soit la nécessité de relocaliser les occupants d'une résidence si celle-ci ne peut être déplacée en toute sécurité, ou encore, de procéder au déplacement du bâtiment principal s'il en est encore temps.

Les occupants permanents d'un bâtiment résidentiel i doivent être relocalisés si l'état d'*imminence* de mouvement de sol dangereux pour eux est atteint au temps t , c'est-à-dire, si:

$$D_i(s,t) < D_{rMIN} \quad [1]$$

De même, le bâtiment principal peut encore être déplacé tant que la distance requise entre le bâtiment et la ligne de côte (haut de talus) est maintenue au-delà d'un minimum (D_{bMIN}), c'est-à-dire :

$$D_i(s,t) < D_{bMIN} \quad [2]$$

$D_i(s,t)$ est une variable locale qui dépend de la position transversale par rapport à la côte du bâtiment i au temps t . Elle se calcule en tenant compte de l'état de celle-ci, notamment de la présence d'une micro-terrasse assurant encore l'absorption de l'énergie des vagues et protégeant de l'érosion le bas de talus. Si la phase d'érosion active est atteinte (plus de basse terrasse, dévégétalisation du talus), la distance $D_i(s)$ se calcule ainsi :

$$D_i(s,t) = D_i(s,t_0) - R_i(s) \times (t - t_0) \quad [3]$$



Annexe B : Calculs relatifs à l'érosion et à l'exposition des éléments vulnérables

La période résiduelle avant l'obligation de relocalisation des occupants T_{ri} s'obtient lorsque la condition [1] est satisfaite. De même la période résiduelle avant qu'il devienne impossible de déplacer le bâtiment sécuritairement (T_{bi}) lorsque la condition [2] est satisfaite.

Si la micro-terrasse est encore présente, la période nécessaire pour l'éroder s'ajoute aux périodes résiduelles. Une démarche similaire est appliquée pour estimer l'imminence de la perte des infrastructures de voirie et de services publics.



Annexe C : Estran de la Pointe-aux-Outardes – Imagerie LIDAR

Les résultats de cette annexe sont produits sur le CD-ROM qui accompagne ce rapport



Annexe C

Estran de Pointe-aux-Outardes - LIDAR

TABLE DES MATIÈRES DE L'ANNEXE

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Image de synthèse du relevé LIDAR..... | 4 |
| 2 | Images de synthèse - Zones proximales de l'estran..... | 5 |
| 3 | Grille de 9 m de résolution - Tranche verticale entre -2 et 2 m..... | 13 |
| 4 | Grille de 9 m de résolution - Tranche verticale entre -2 et 0 m..... | 20 |
| 5 | Transects topographiques réalisés au droit des résidences..... | 25 |

LISTE DES FIGURES DE L'ANNEXE

| | |
|---|----|
| Figure 1: Morphologie générale de l'estran..... | 4 |
| Figure 2: Morphologie générale à l'ouest du quai municipal vers le Parc nature (A)..... | 5 |
| Figure 3: Morphologie générale à l'ouest du quai municipal (B)..... | 6 |
| Figure 4: Morphologie générale dans la région du quai municipal (C)..... | 7 |
| Figure 5: Morphologie générale à l'est du quai municipal (D)..... | 8 |
| Figure 6: Morphologie générale à l'est du quai municipal (E)..... | 9 |
| Figure 7: Morphologie générale à l'est du quai municipal (F)..... | 10 |
| Figure 8: Morphologie générale à l'est du quai municipal (G)..... | 11 |
| Figure 9: Morphologie générale à l'est du quai municipal (G)..... | 12 |
| Figure 10: Vue générale de la topographie de l'estran de Pointe-aux-Outardes pour une tranche comprise entre -2 et +2 m..... | 13 |
| Figure 11: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région à l'ouest (A)..... | 14 |
| Figure 12: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région au centre (B)..... | 15 |
| Figure 13: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région à l'est (C)..... | 16 |
| Figure 14: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région à l'est (D)..... | 17 |
| Figure 15: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région à l'est (E)..... | 18 |
| Figure 16: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région à l'est (F)..... | 19 |
| Figure 17: Vue générale de la topographie de l'estran de Pointe-aux-Outardes pour une tranche comprise entre -2 et 0 m..... | 20 |

| | |
|--|----|
| Figure 18: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et 0 m – Région à l'ouest (A)..... | 21 |
| Figure 19: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et 0 m – Région à l'est (B)..... | 22 |
| Figure 20: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et 0 m – Région à l'est (C)..... | 23 |
| Figure 21: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et 0 m – Région à l'est (C)..... | 24 |
| Figure 22: Topographie générale dans la région du quai municipal (Adresses 150-198 Labrie)..... | 25 |
| Figure 23: Pente des talus dans la région du quai municipal - Position des transects présentés ci-après (Adresses 150-198 Labrie)..... | 26 |
| Figure 24: Profil au 150 Labrie..... | 27 |
| Figure 25: Profil au 152 Labrie..... | 27 |
| Figure 26: Profil au 162 Labrie..... | 28 |
| Figure 27: Profil au 164 Labrie..... | 28 |
| Figure 28: Profil au 166 Labrie..... | 29 |
| Figure 29: Profil au 168 Labrie..... | 29 |
| Figure 30: Profil au 172 Labrie..... | 30 |
| Figure 31: Profil au 174 Labrie..... | 30 |
| Figure 32: Profil au 176 Labrie..... | 31 |
| Figure 33: Profil au 178 Labrie..... | 31 |
| Figure 34: Profil au 180 Labrie..... | 32 |
| Figure 35: Profil au 182 Labrie..... | 32 |
| Figure 36: Profil au 186 Labrie..... | 33 |
| Figure 37: Profil au 190 Labrie..... | 33 |
| Figure 38: Profil au 192 Labrie..... | 34 |
| Figure 39: Profil au 194 Labrie..... | 34 |
| Figure 40: Profil au 194 rue Labrie..... | 35 |
| Figure 41: Topographie générale des berges entre le 224 et le 294 Labrie est..... | 36 |
| Figure 42: Pentes des berges entre le 224 et le 294 Labrie est – Position des transects présentés ci-après..... | 37 |
| Figure 43: Profil au 198 Labrie..... | 38 |
| Figure 44: Profil au 224 Labrie..... | 38 |
| Figure 45: Profil au 228 Labrie..... | 39 |
| Figure 46: Profil au 230 Labrie..... | 39 |
| Figure 47: Profil au 232 Labrie..... | 40 |
| Figure 48: Profil au 234 Labrie..... | 40 |
| Figure 49: Profil au 238 Labrie..... | 41 |
| Figure 50: Profil au 240 Labrie..... | 41 |
| Figure 51: Profil au 242 Labrie..... | 42 |
| Figure 52: Profil au 244 Labrie..... | 42 |
| Figure 53: Profil au 246 Labrie..... | 43 |
| Figure 54: Profil au 248 Labrie..... | 43 |

| | |
|--|----|
| Figure 55: Profil au 250 Labrie | 44 |
| Figure 56: Profil au 256 Labrie | 44 |
| Figure 57: Profil au 258 Labrie | 45 |
| Figure 58: Profil au 260 Labrie | 45 |
| Figure 59: Profil au 262 Labrie | 46 |
| Figure 60: Profil au 264 Labrie | 46 |
| Figure 61: Profil au 266 Labrie | 47 |
| Figure 62: Profil au 268 Labrie | 47 |
| Figure 63: Profil au 270 Labrie | 48 |
| Figure 64: Profil au 294 Labrie | 48 |
| Figure 65: Topographie générale dans la région de l'extrême est de la rue Labrie (Adresses 324 à 392 Labrie) | 49 |
| Figure 66: Pente des talus dans la région de l'extrême est de la rue Labrie (Adresses 324-392 Labrie) | 50 |
| Figure 67: Profil au 334 Labrie | 51 |
| Figure 68: Profil au 336 Labrie | 51 |
| Figure 69: Profil au 338 Labrie | 52 |
| Figure 70: Profil au 342 Labrie | 52 |
| Figure 71: Profil au 346 Labrie | 53 |
| Figure 72: Profil au 348 Labrie | 53 |
| Figure 73: Profil au 350 Labrie | 54 |
| Figure 74: Profil au 352 Labrie | 54 |
| Figure 75: Profil au 354 Labrie | 55 |
| Figure 76: Profil au 356 Labrie | 55 |
| Figure 77: Profil au 360 Labrie | 56 |
| Figure 78: Profil au 364 Labrie | 56 |
| Figure 79: Profil au 368 Labrie | 57 |
| Figure 80: Profil au 370 Labrie | 57 |
| Figure 81: Profil au 382 Labrie | 58 |
| Figure 82: Profil au 384 Labrie | 58 |
| Figure 83: Profil au 386 Labrie | 59 |
| Figure 84: Profil au 388 Labrie | 59 |
| Figure 85: Profil au 390 Labrie | 60 |
| Figure 86: Profil au 392 Labrie | 60 |



1 Image de synthèse capté lors du relevé LIDAR

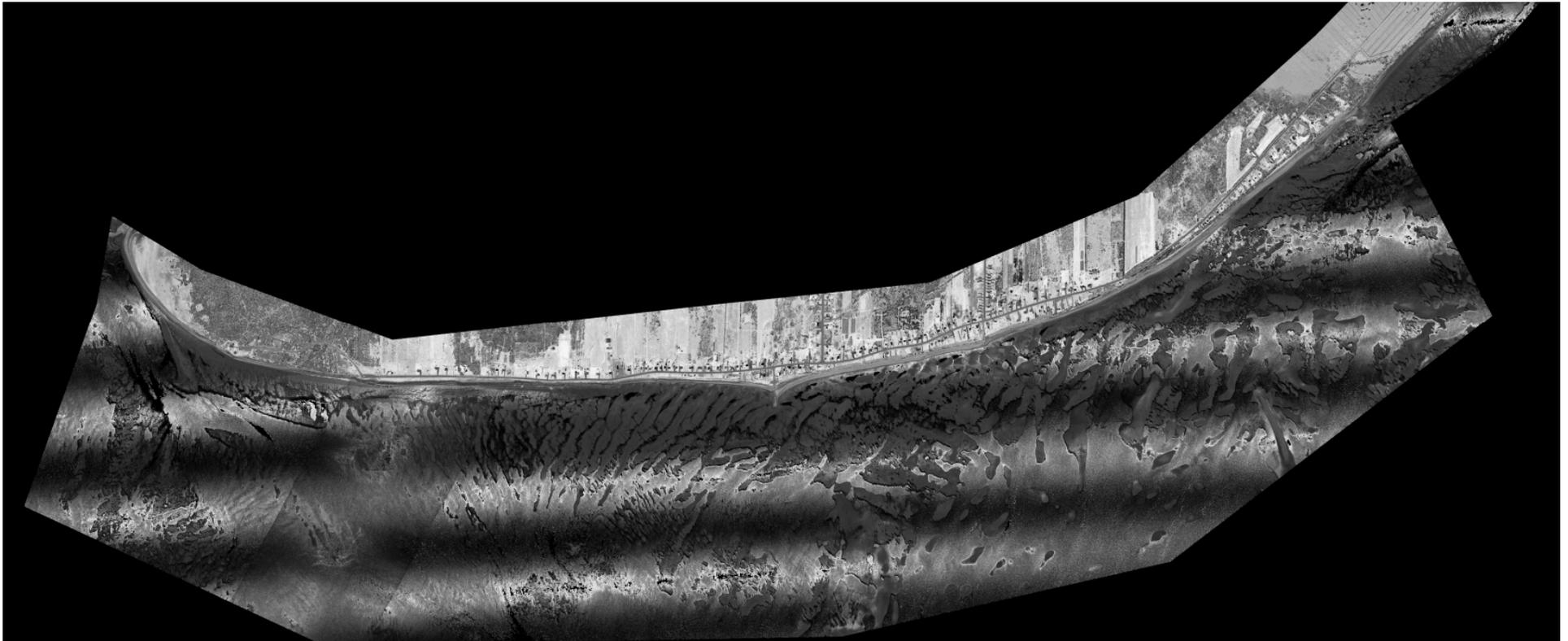


Figure 1: Morphologie générale de l'estran



2 Images de synthèse - Zones proximales de l'estran

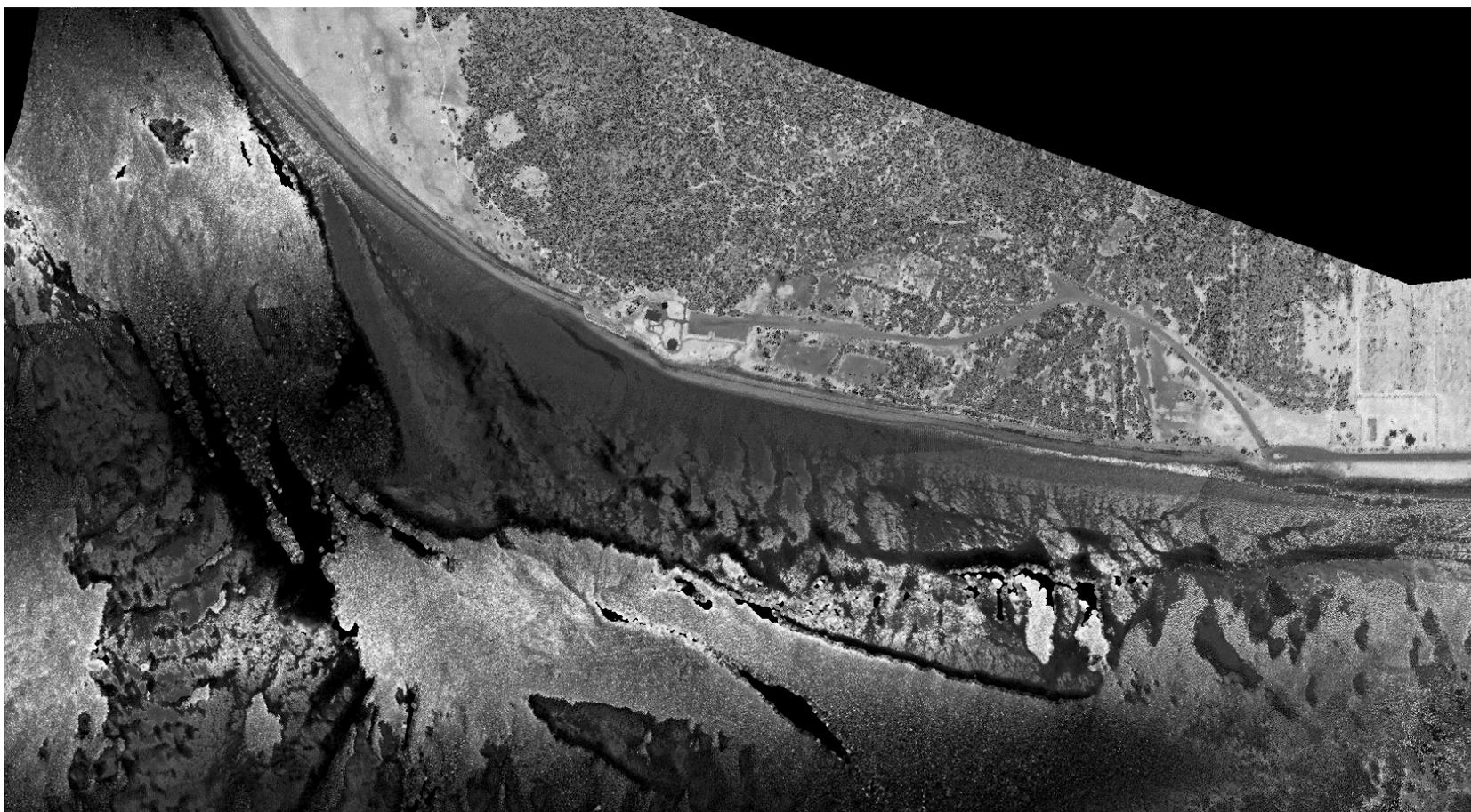


Figure 2: Morphologie générale à l'ouest du quai municipal vers le Parc nature (A)

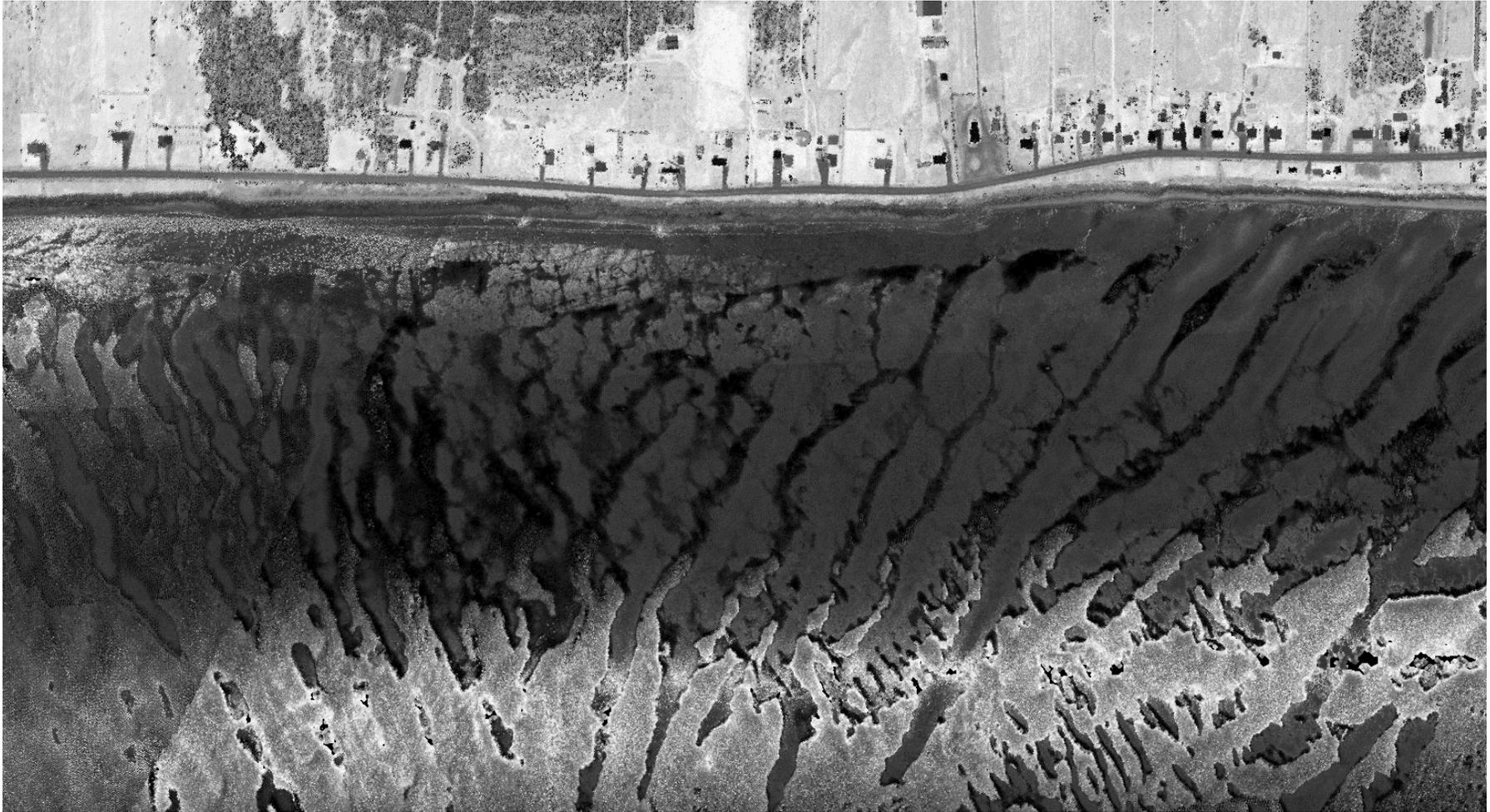


Figure 3: Morphologie générale à l'ouest du quai municipal (B)



Figure 4: Morphologie générale dans la région du quai municipal (C)



Figure 5: Morphologie générale à l'est du quai municipal (D)

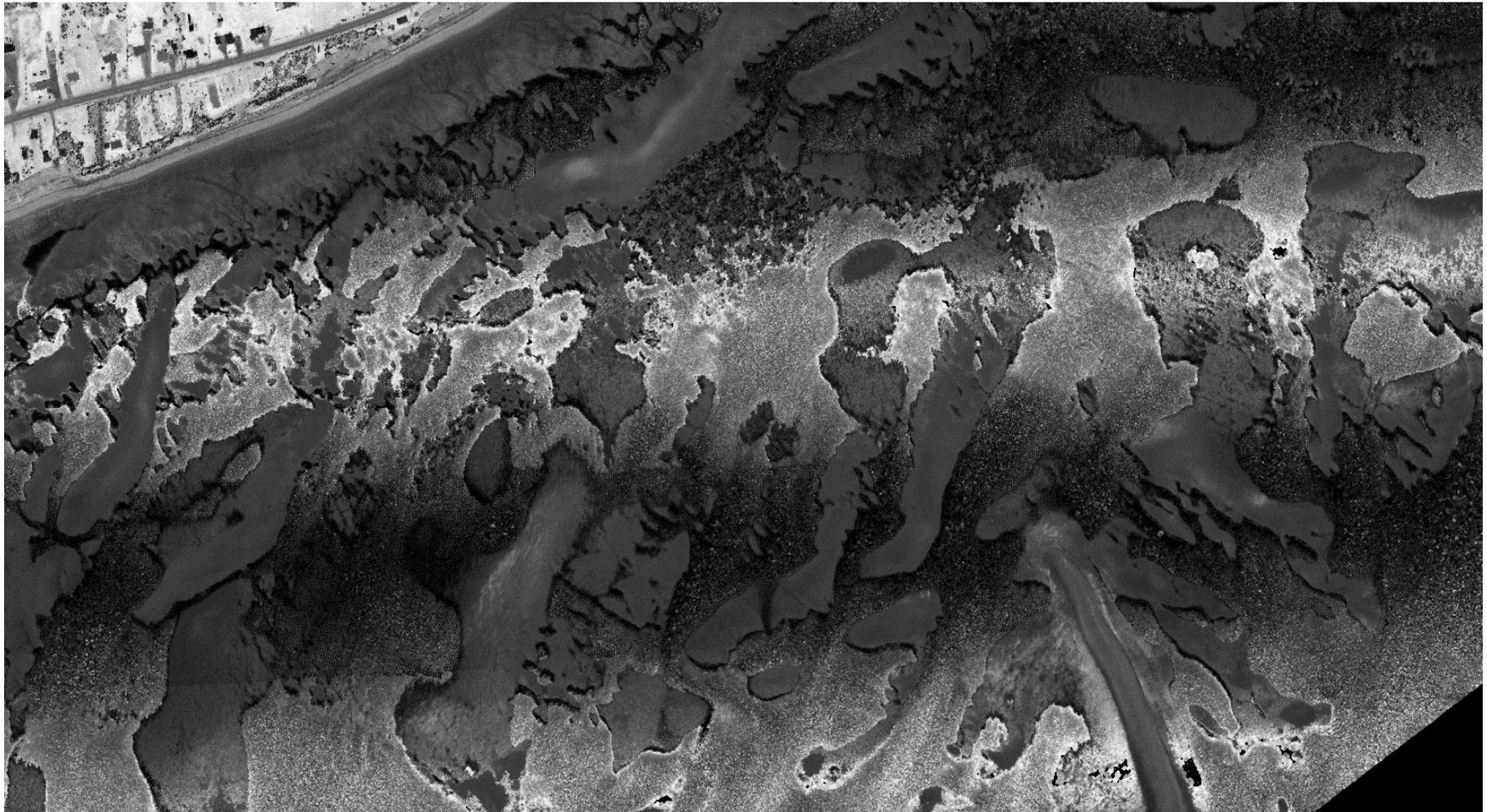


Figure 6: Morphologie générale à l'est du quai municipal (E)

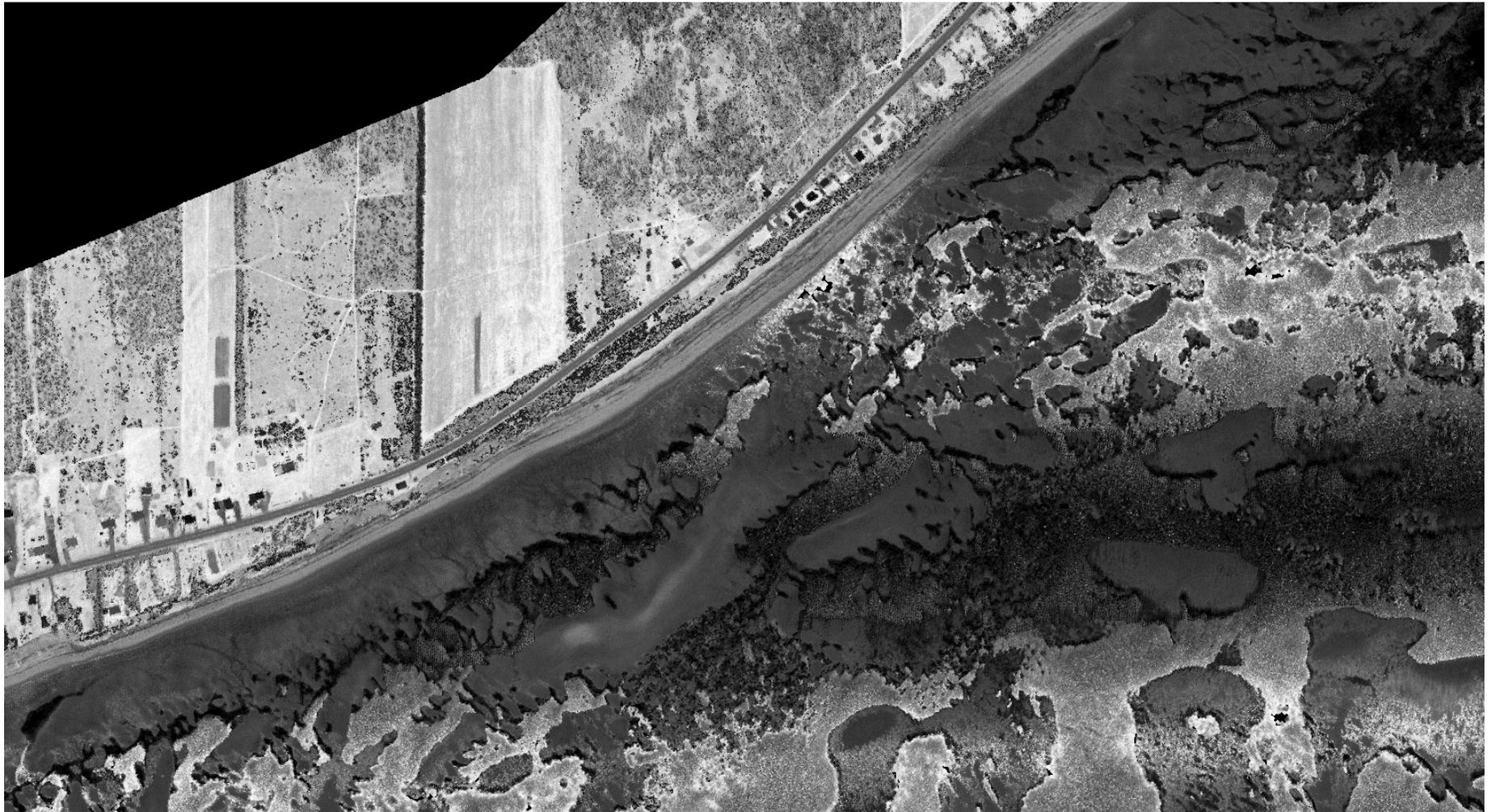


Figure 7: Morphologie générale à l'est du quai municipal (F)



Figure 8: Morphologie générale à l'est du quai municipal (G)

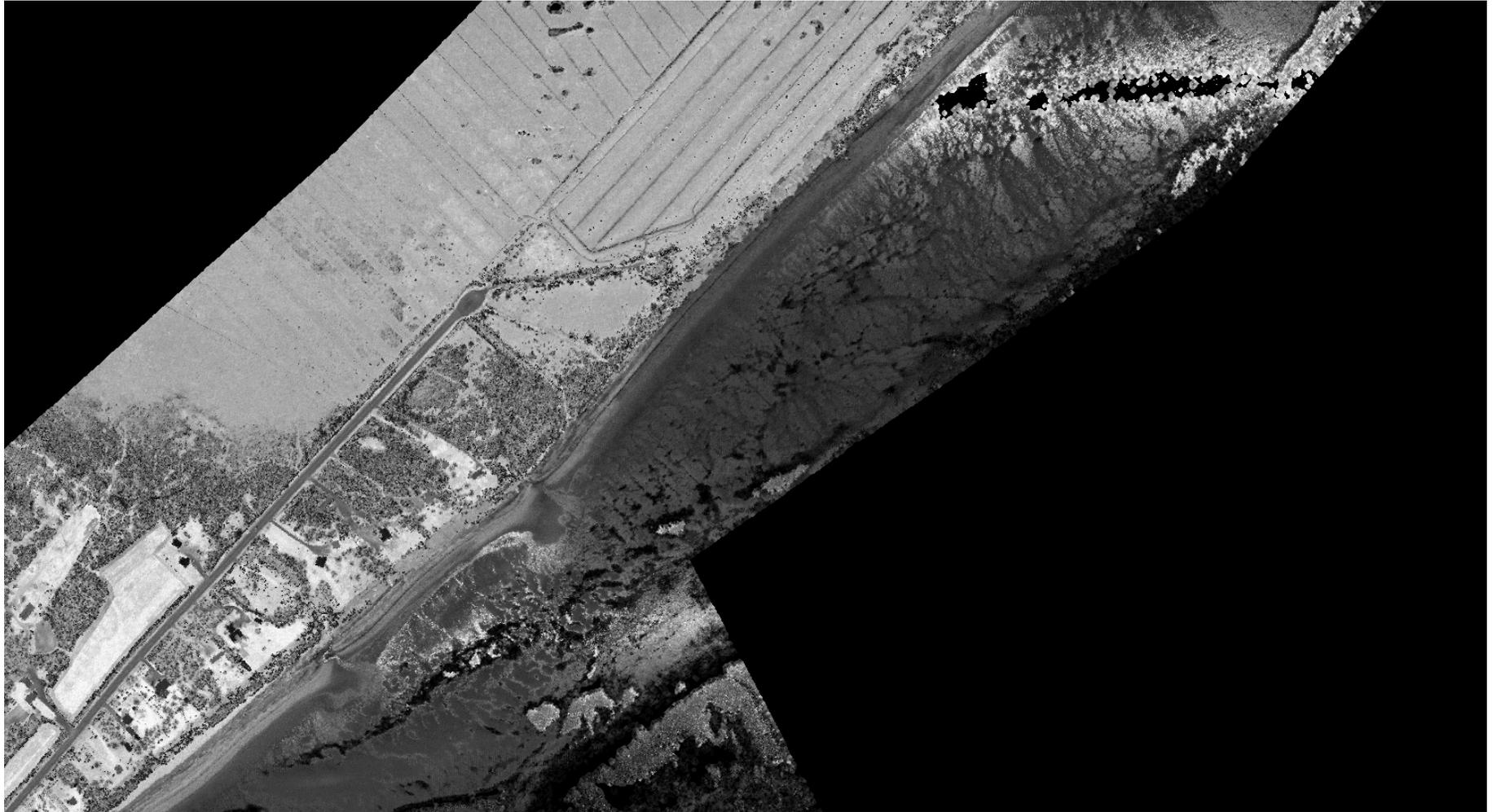


Figure 9: Morphologie générale à l'est du quai municipal (G)



3 Grille de 9 m de résolution – Topographie de la tranche verticale comprise entre -2 et 2 m

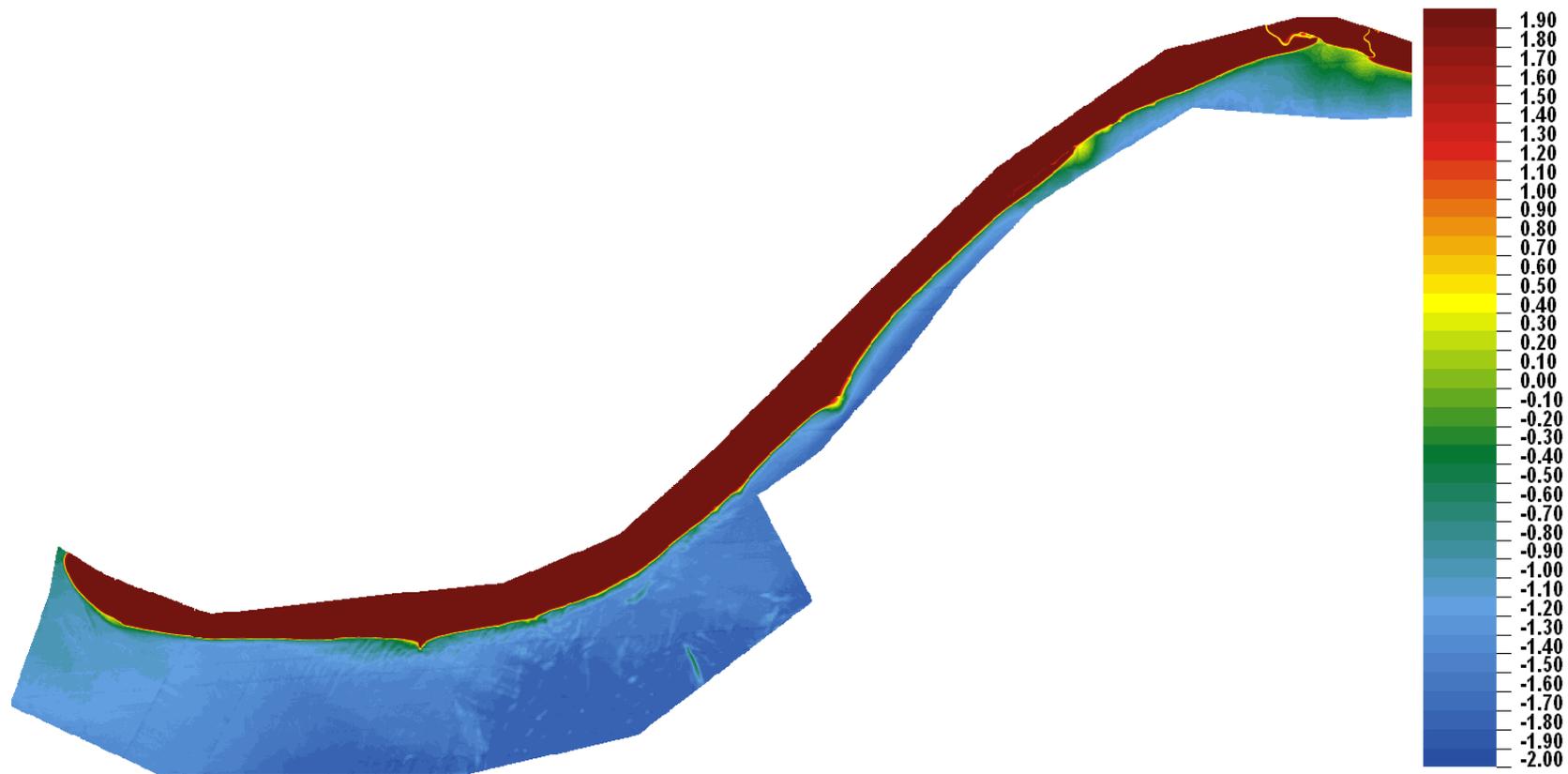


Figure 10: Vue générale de la topographie de l'estran de Pointe-aux-Outardes pour une tranche comprise entre -2 et +2 m

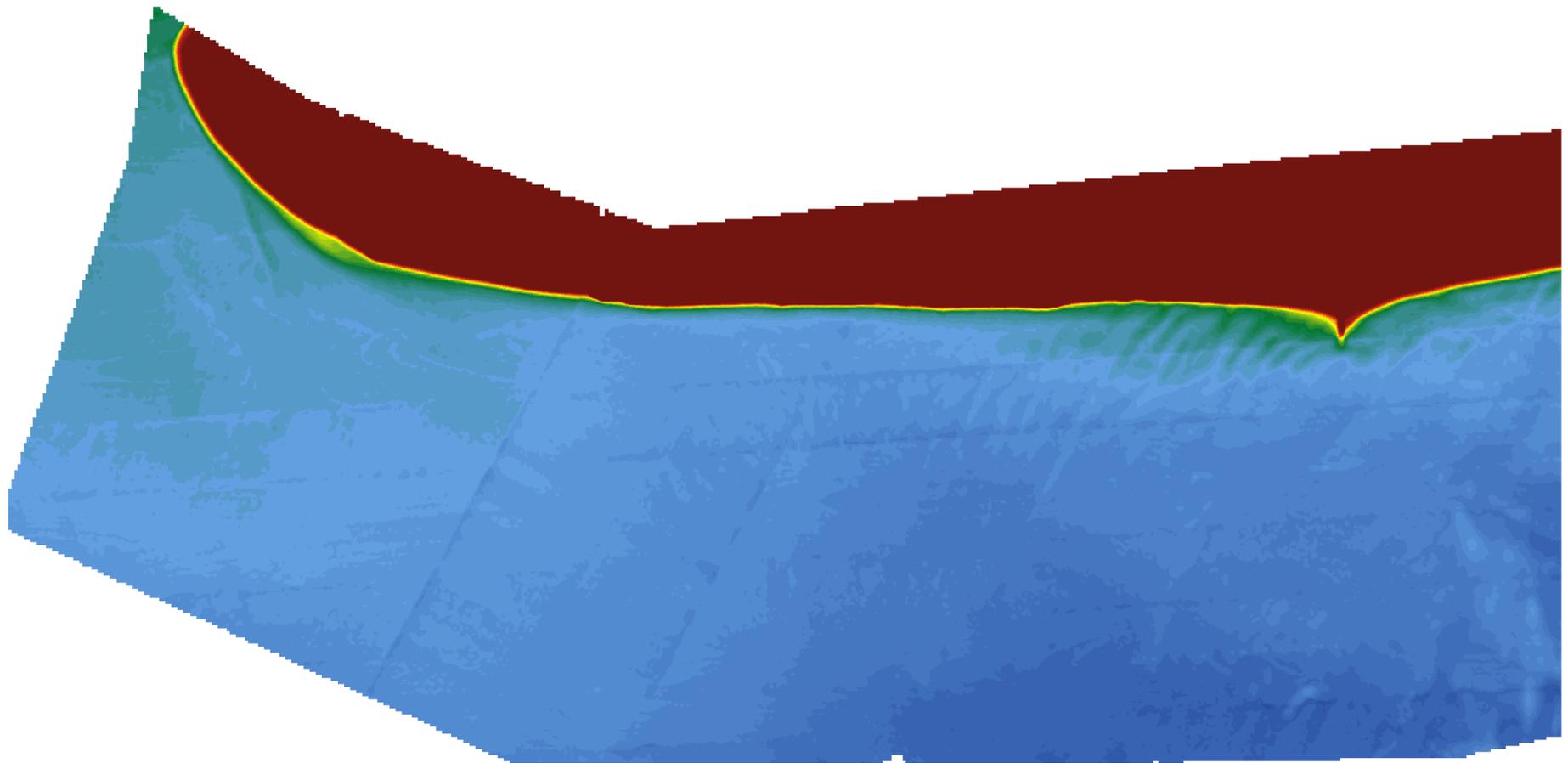


Figure 11: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région à l'ouest (A)

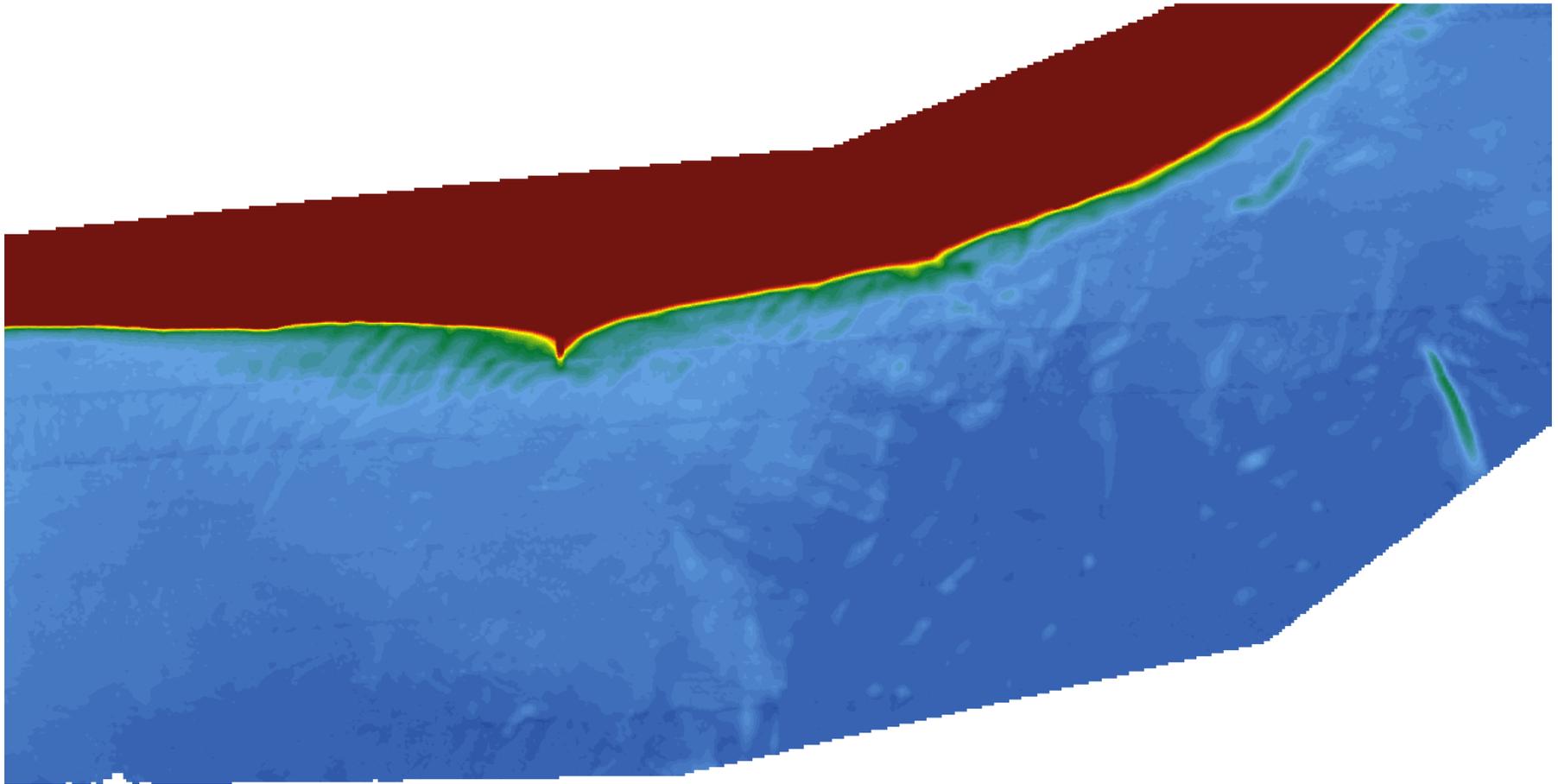


Figure 12: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région au centre (B)

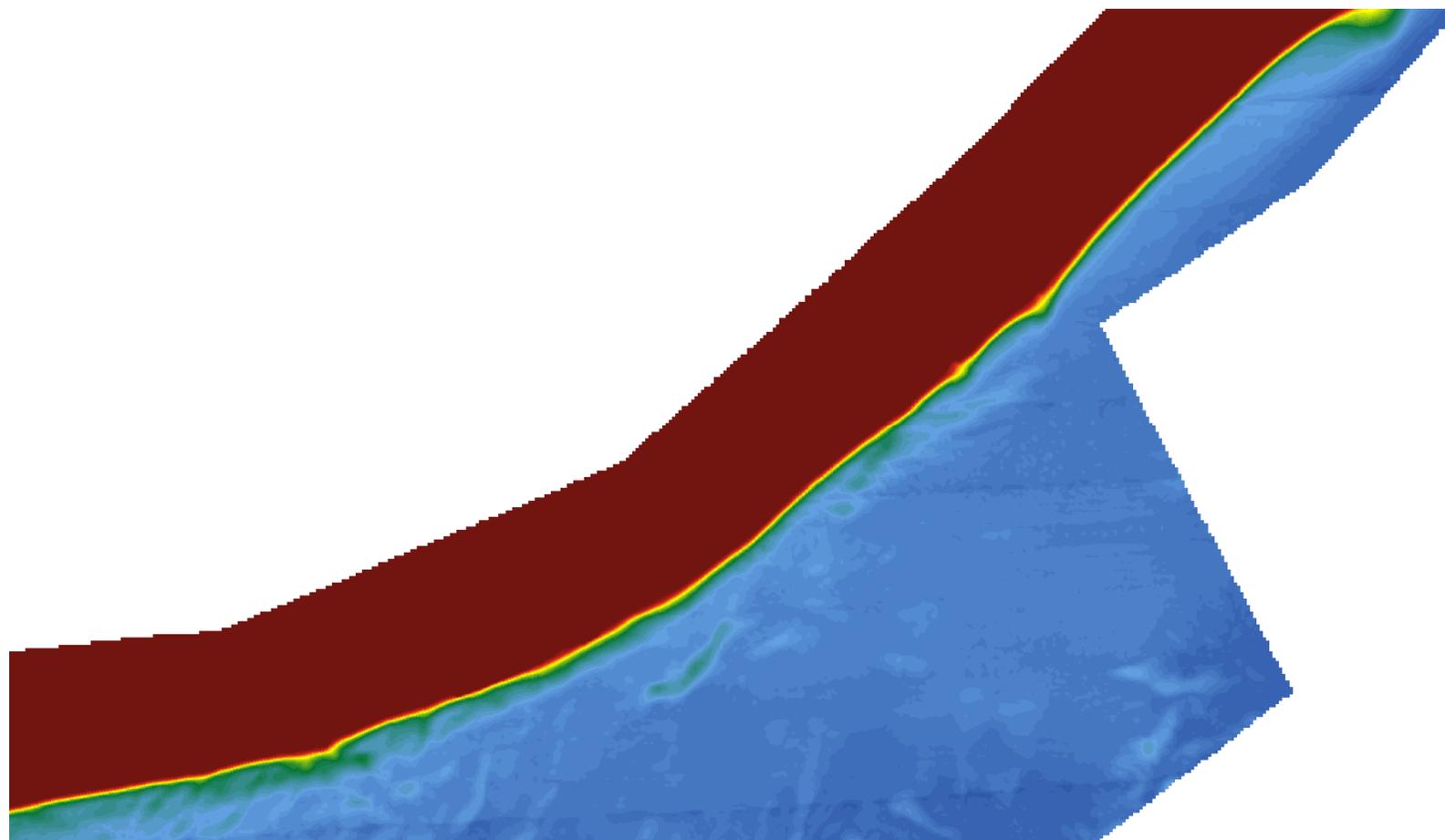


Figure 13: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région à l'est (C)

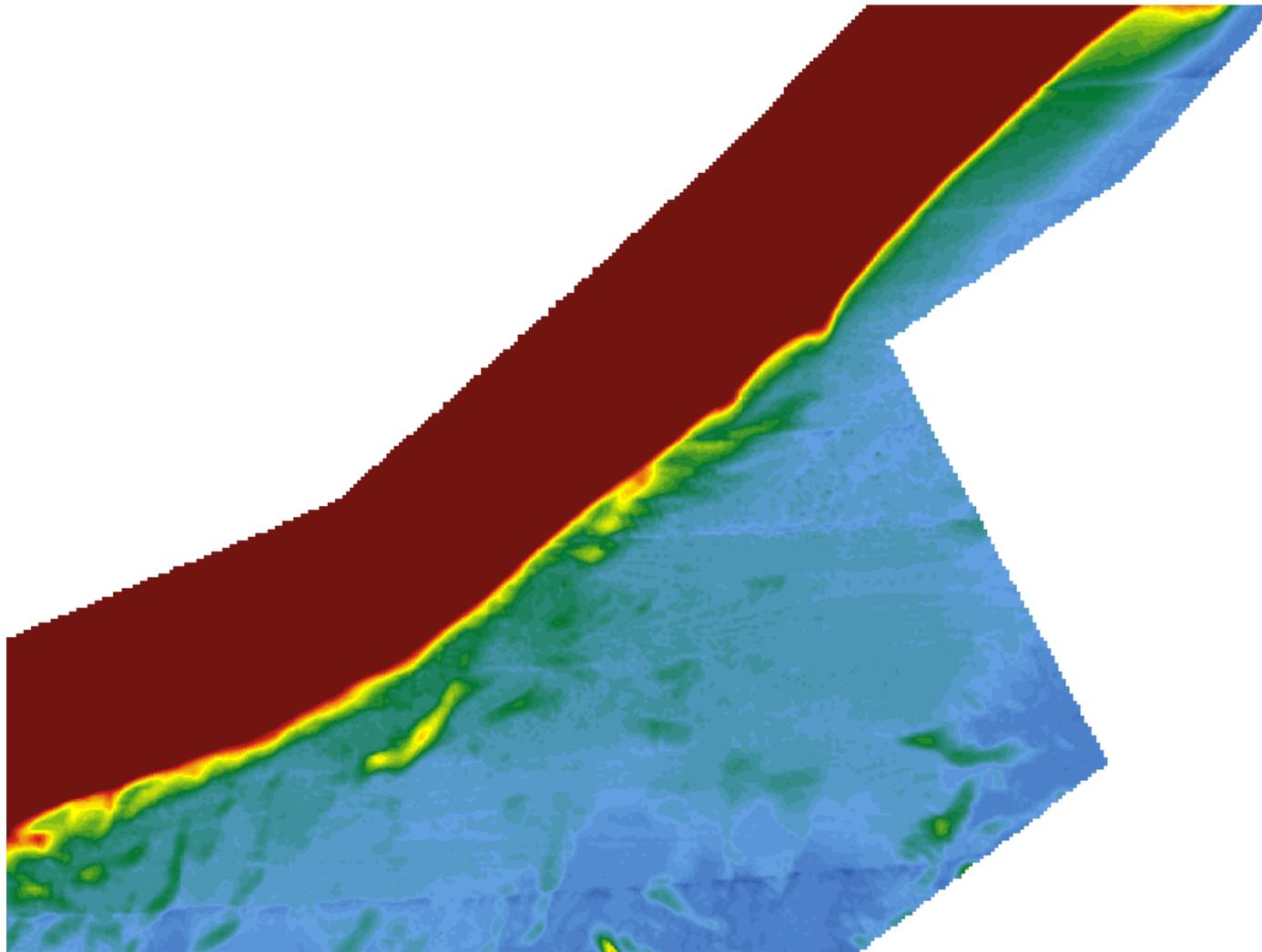


Figure 14: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région à l'est (D)

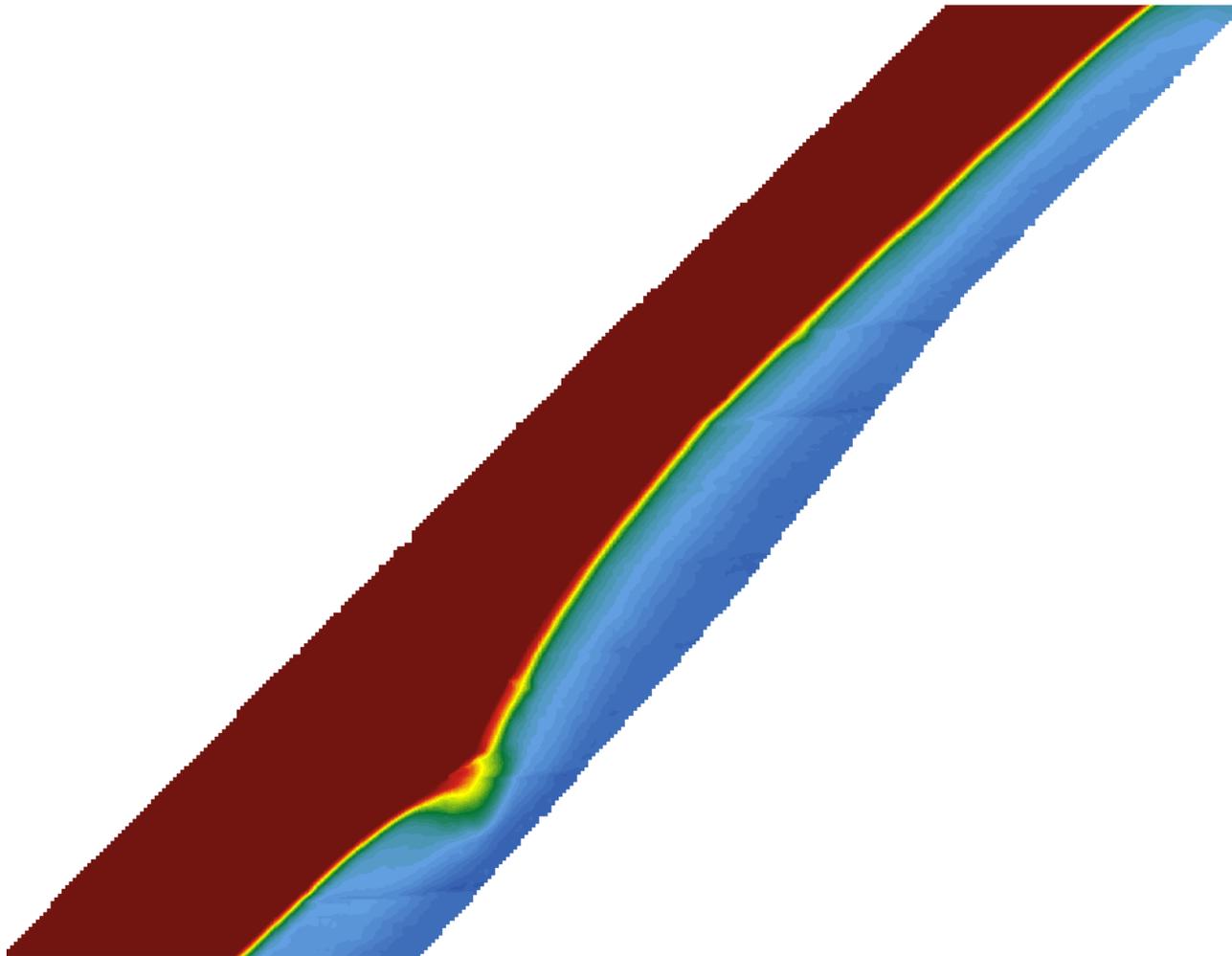


Figure 15: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région à l'est (E)

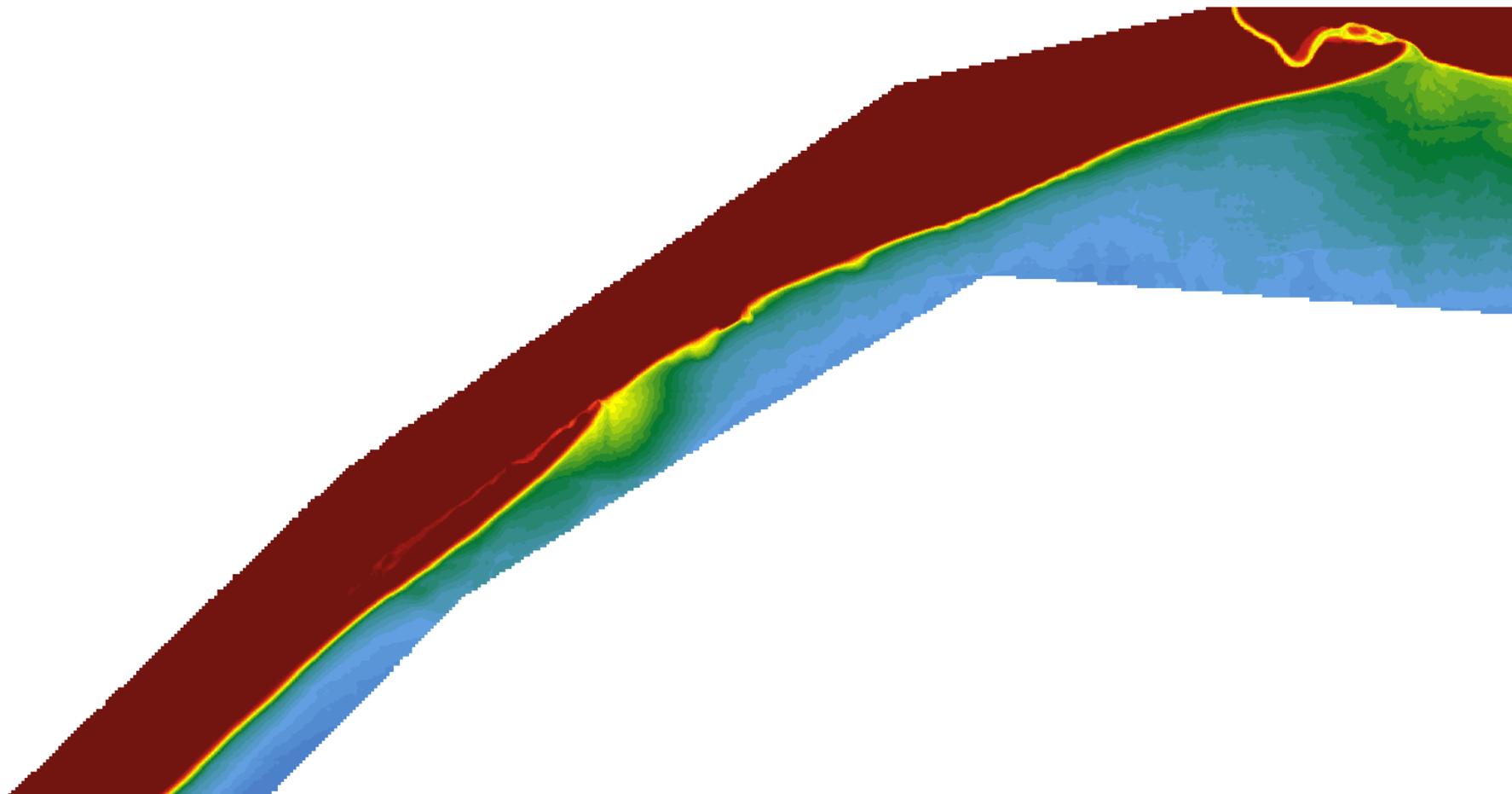


Figure 16: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et +2 m – Région à l'est (F)



4 Grille de 9 m de résolution - Tranche verticale entre -2 et 0 m

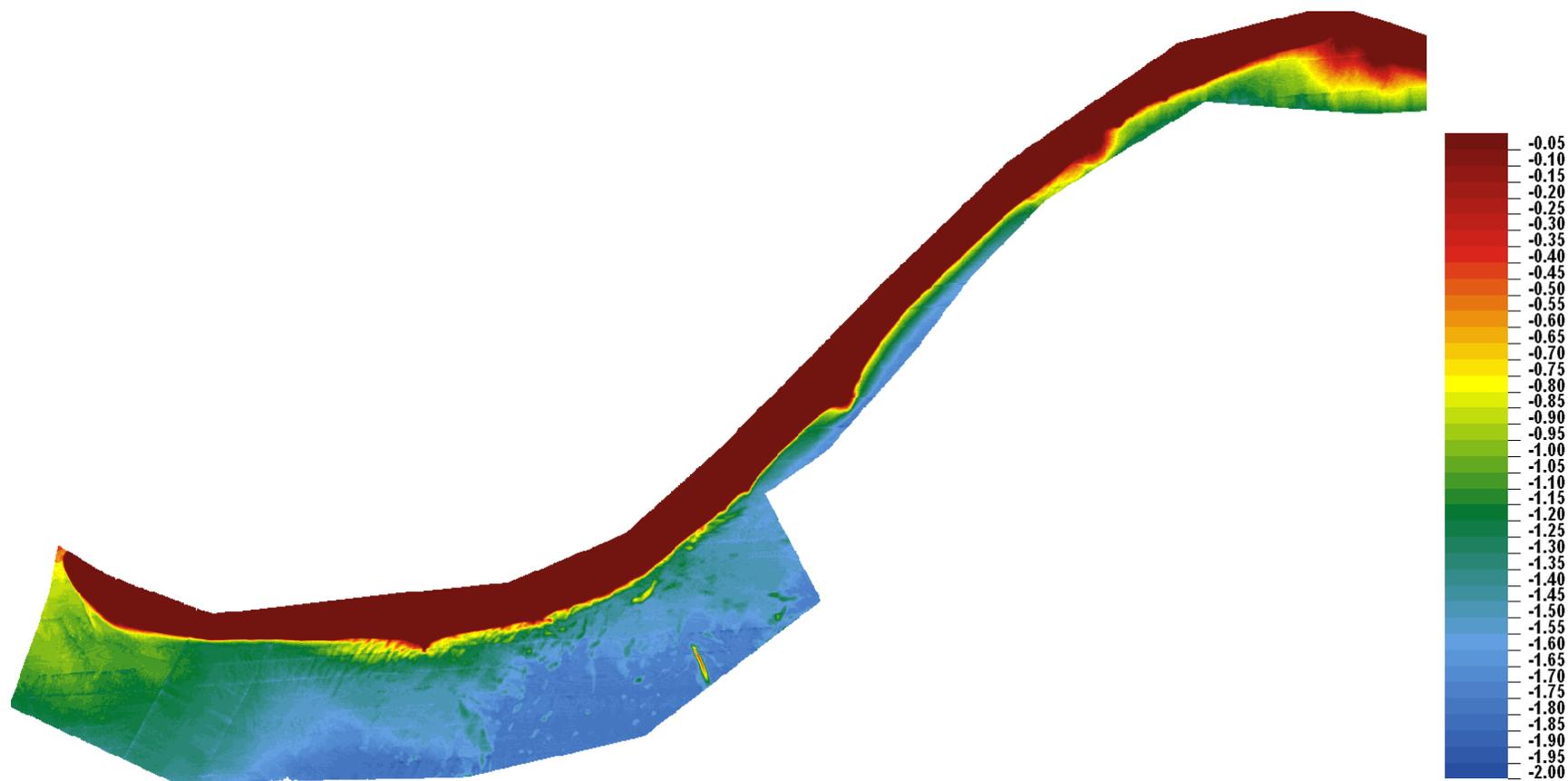


Figure 17: Vue générale de la topographie de l'estran de Pointe-aux-Outardes pour une tranche comprise entre -2 et 0 m

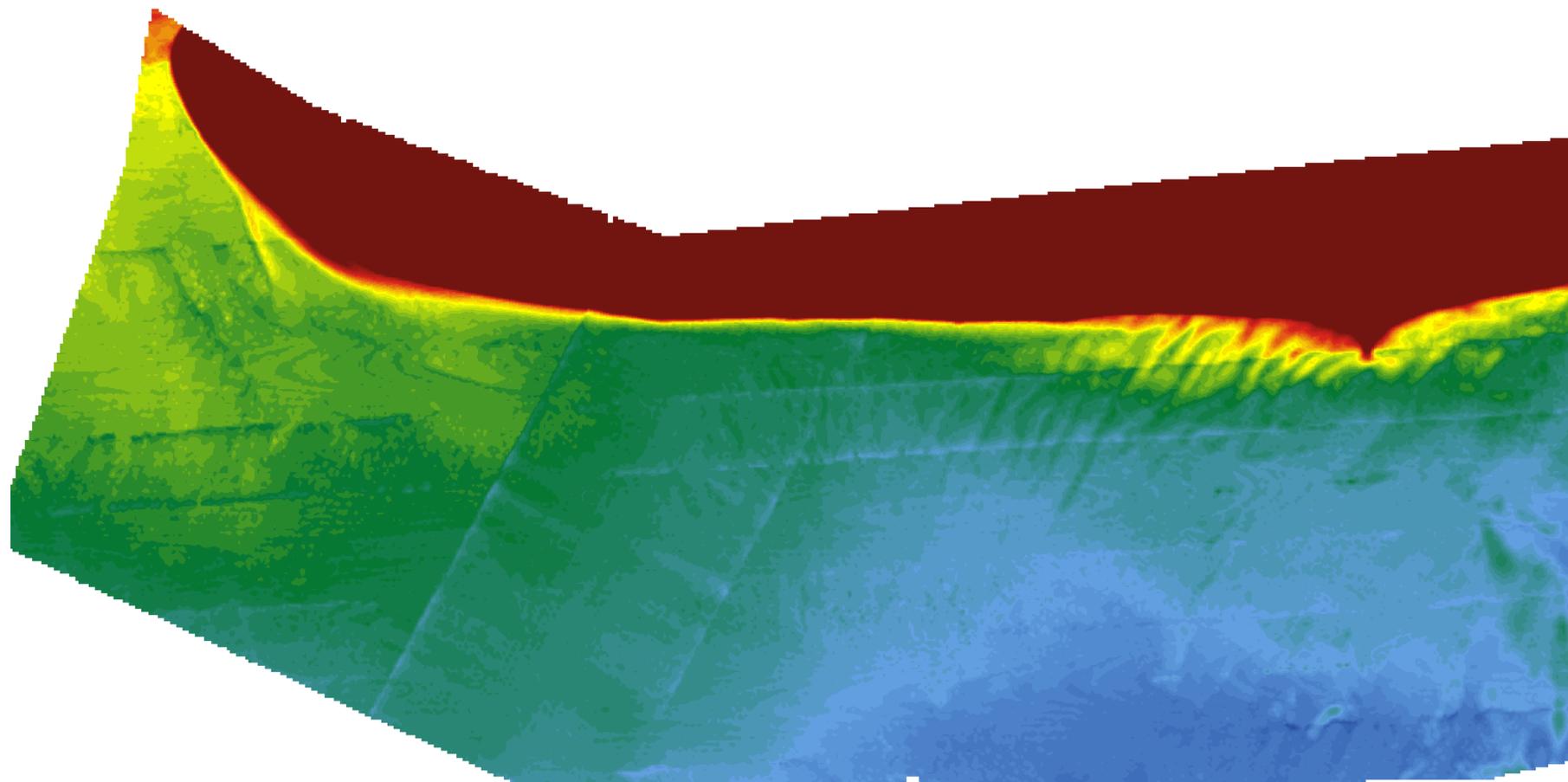


Figure 18: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et 0 m – Région à l'ouest (A)

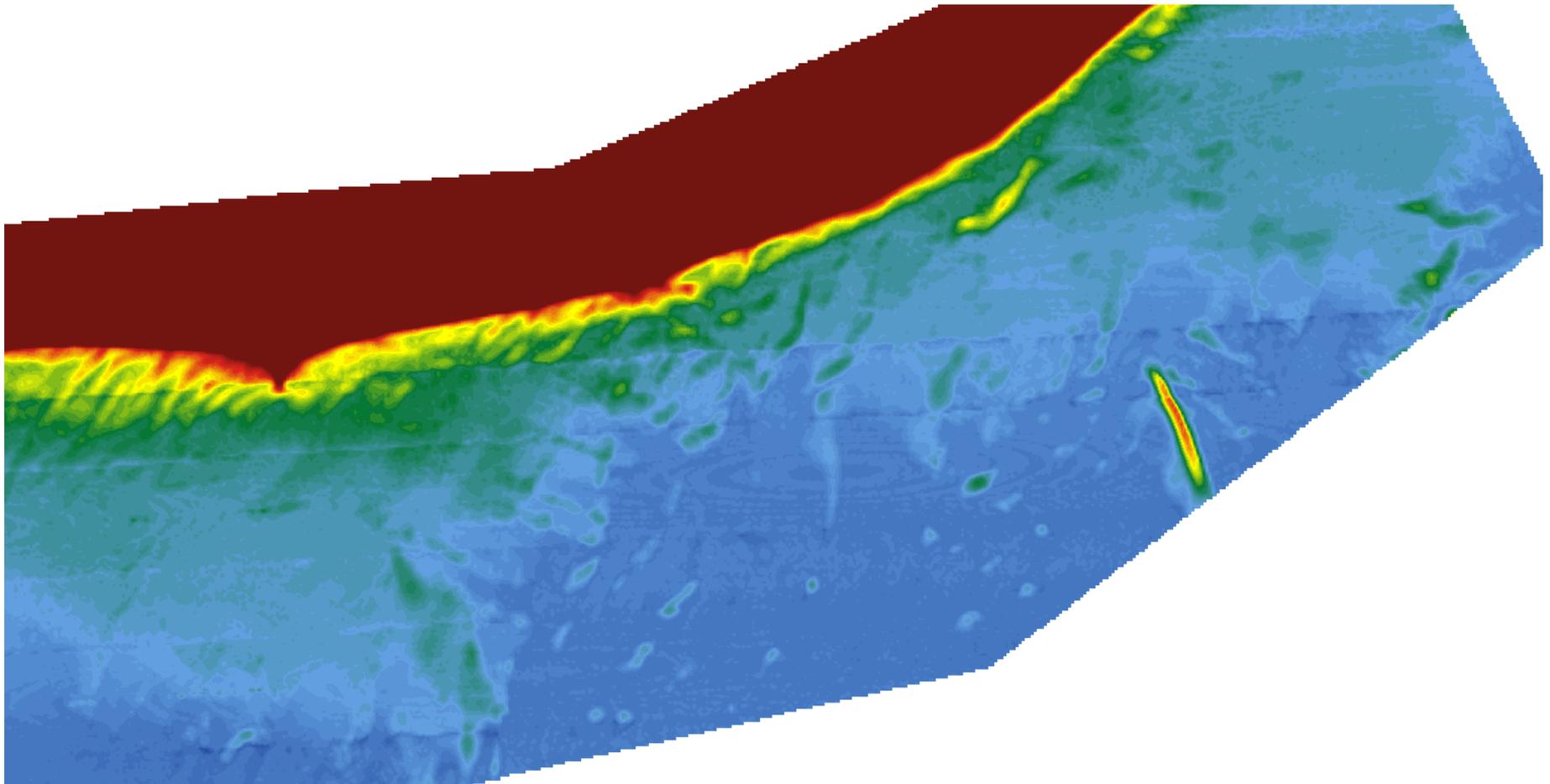


Figure 19: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et 0 m – Région à l'est (B)

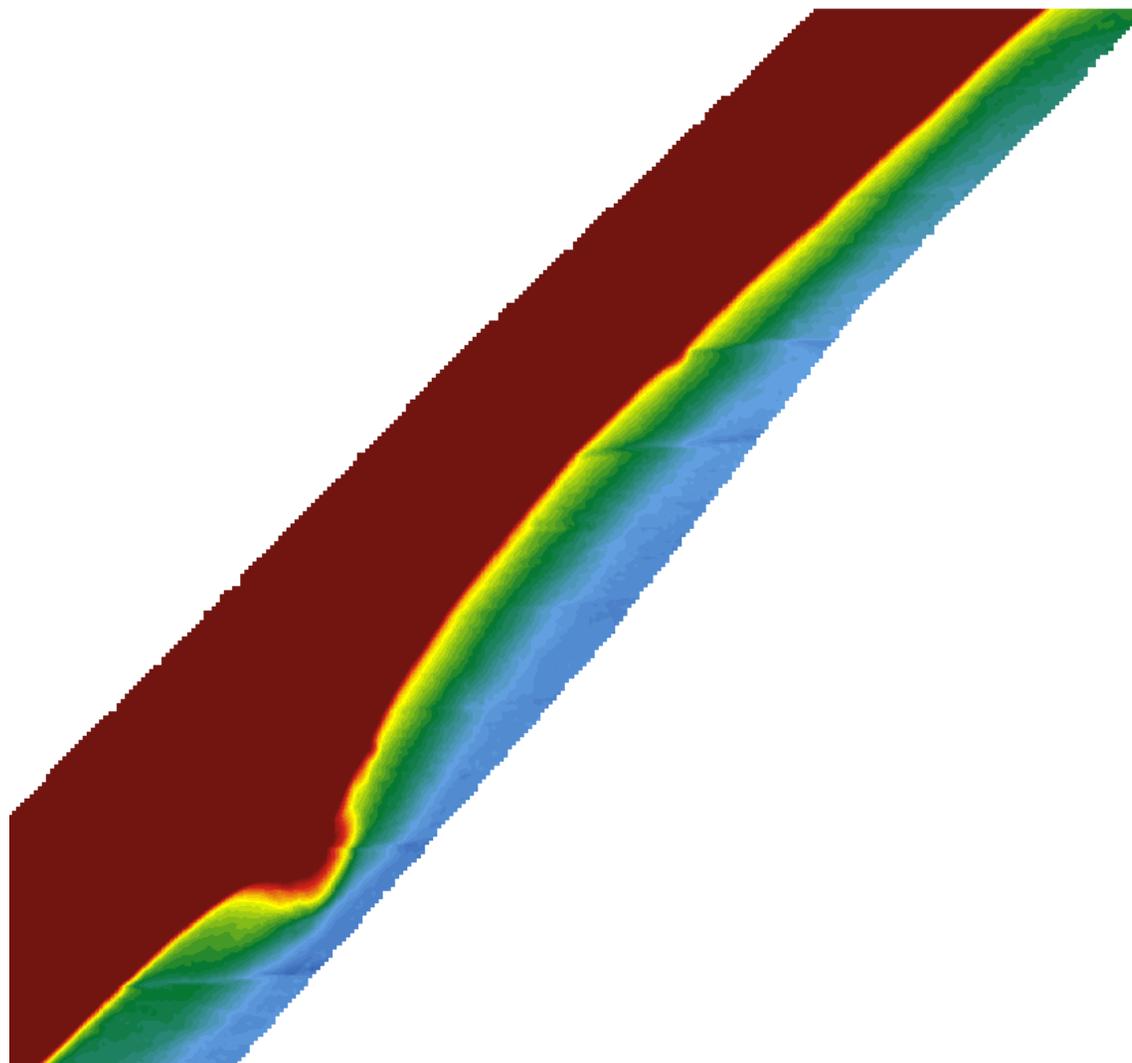


Figure 20: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et 0 m – Région à l'est (C)

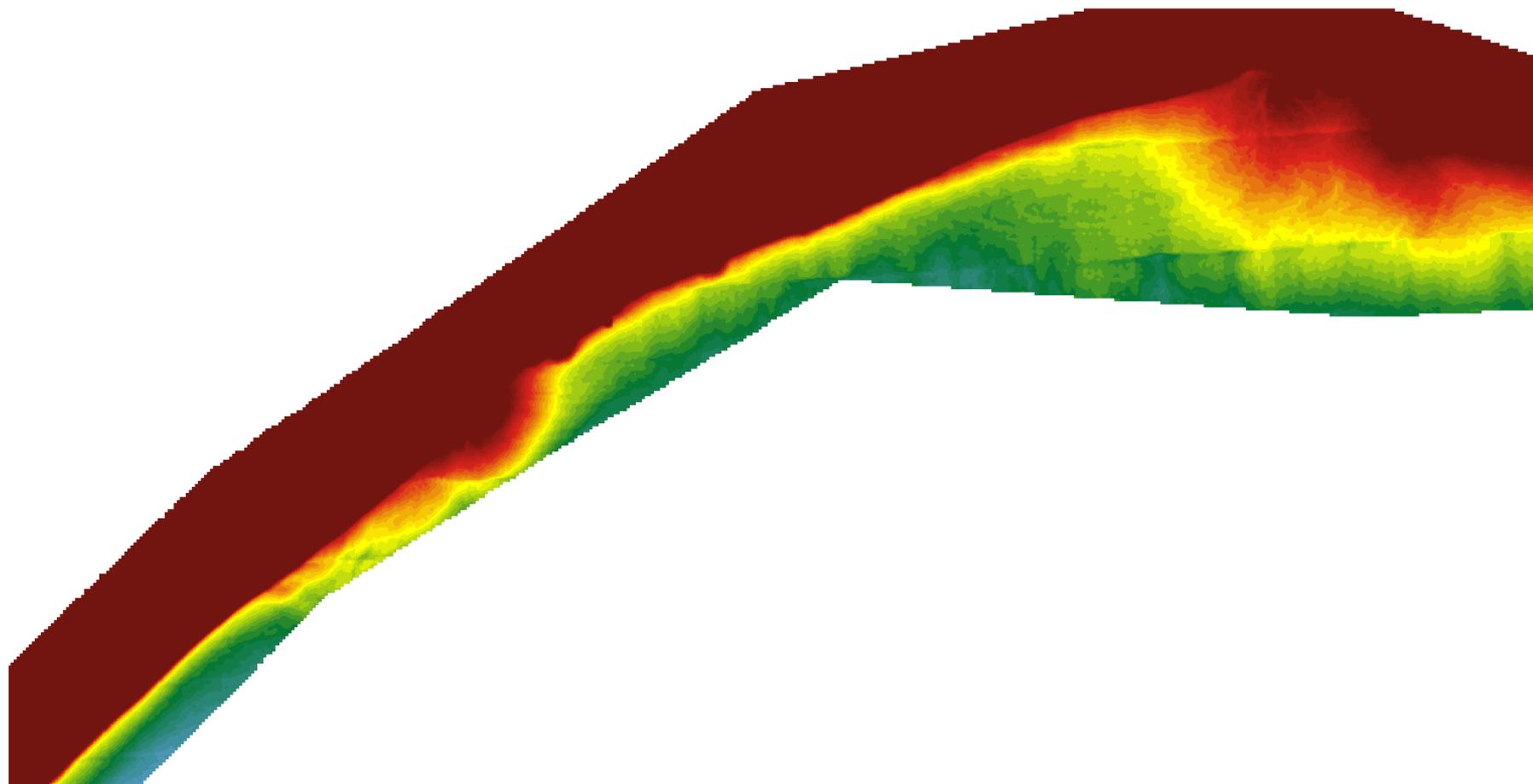


Figure 21: Vue partielle de la topographie de l'estran pour une tranche comprise entre -2 et 0 m – Région à l'est (C)



5 Transects topographiques réalisés au droit des résidences

Ci-après on trouve toutes les images obtenus du relevé LIDAR interprété en vue d'expliquer les formes, les pentes et les profils de berges au droit de chacune des résidences.

Topographie section 150 à 198 rue Labrie, Pointe-aux-Outardes

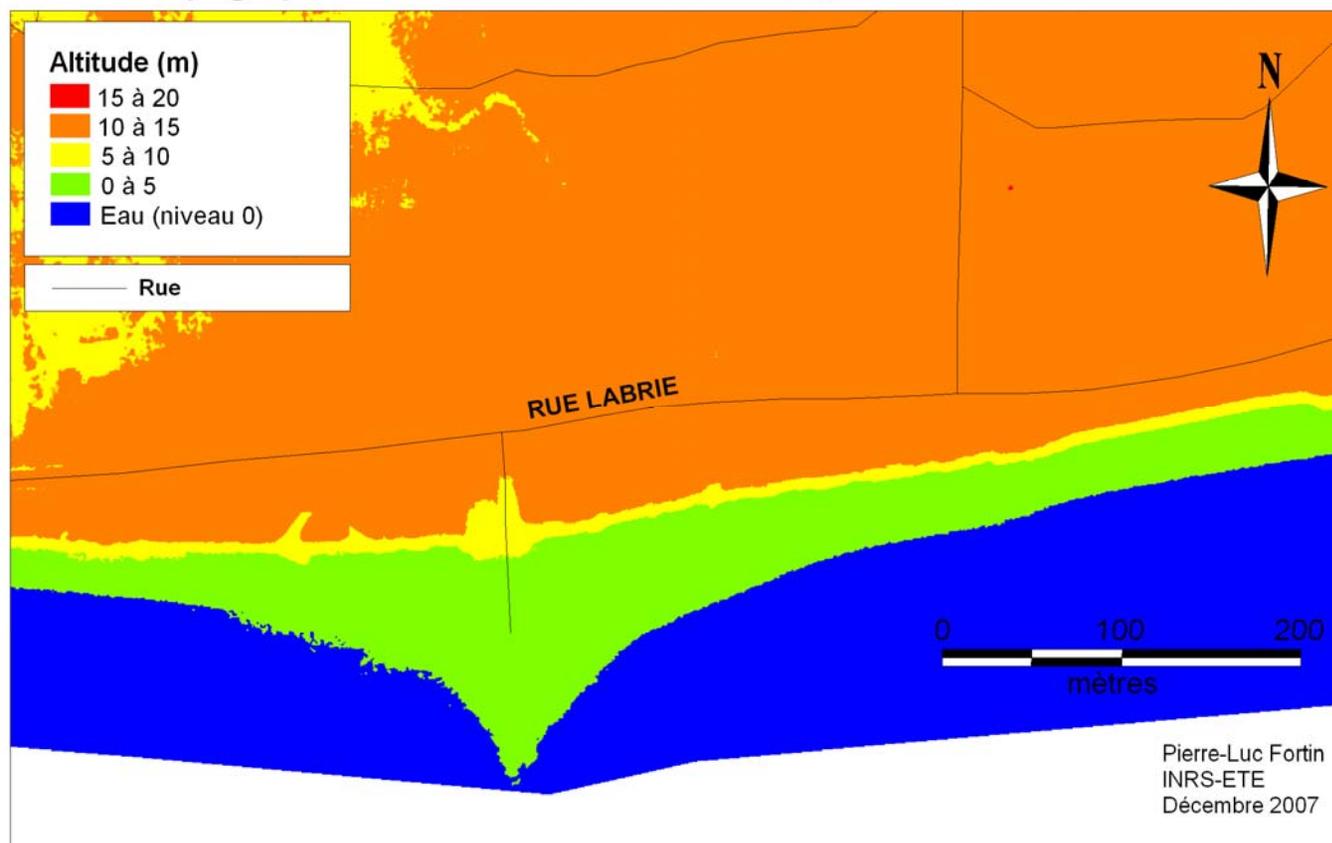


Figure 22: Topographie générale dans la région du quai municipal (Adresses 150-198 Labrie)



Inclinaison des pentes section 150 à 198 rue Labrie, Pointe-aux-Outardes

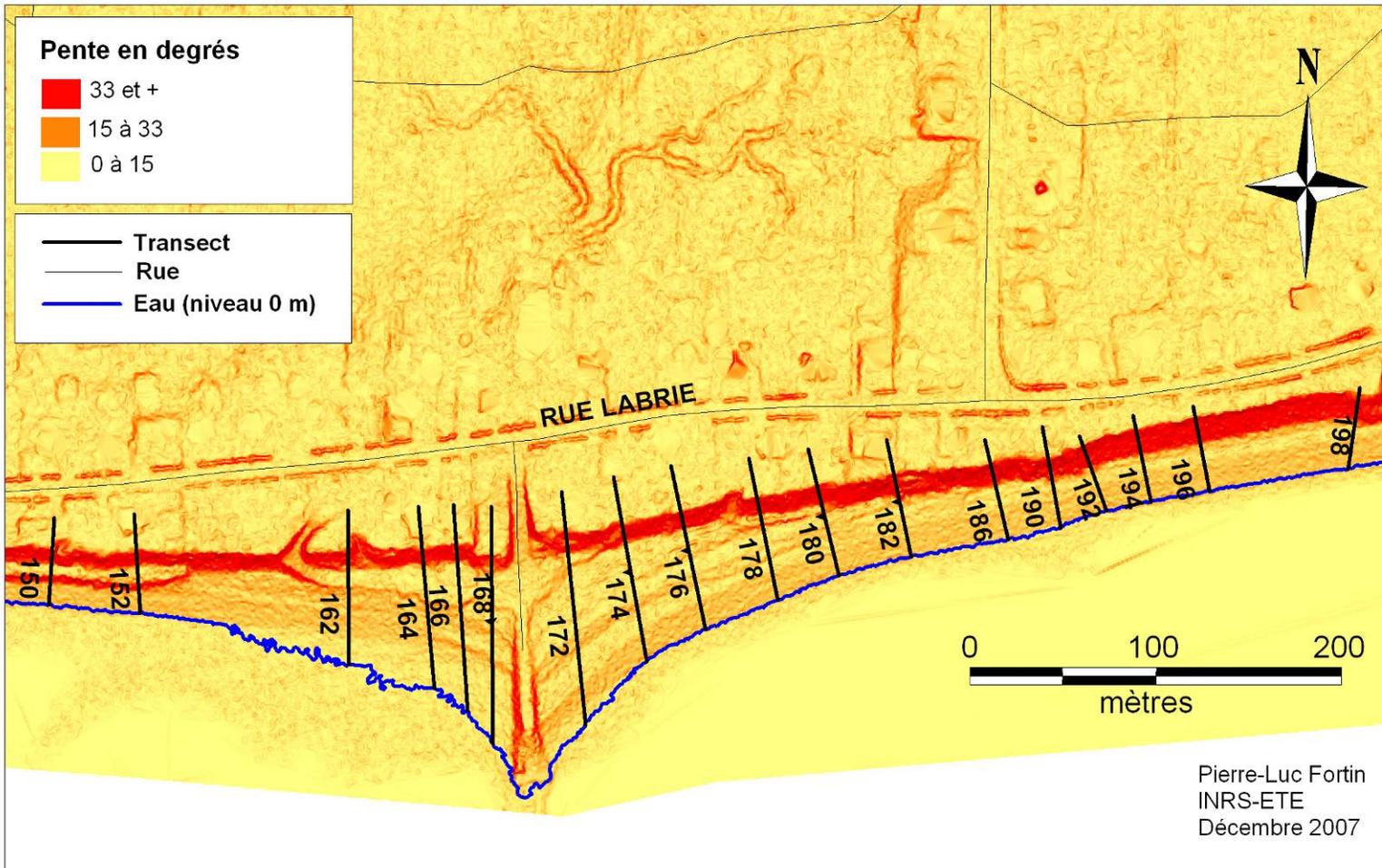


Figure 23: Pente des talus dans la région du quai municipal - Position des transects présentés ci-après (Adresses 150-198 Labrie)

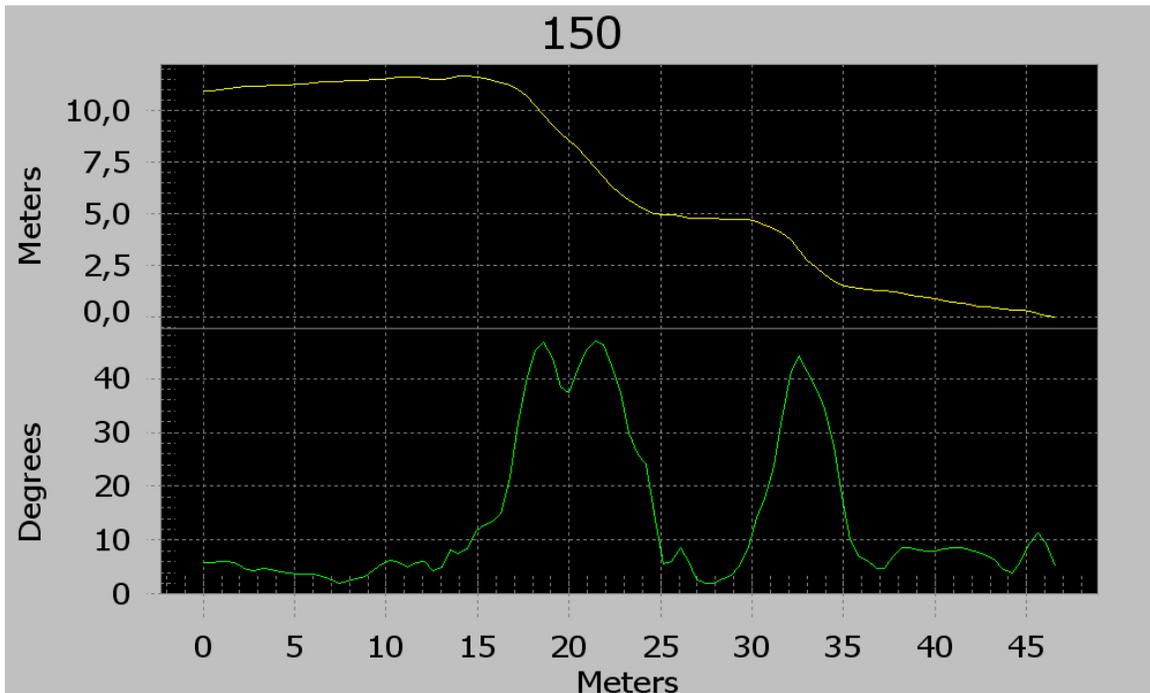


Figure 24: Profil au 150 Labrie



Figure 25: Profil au 152 Labrie

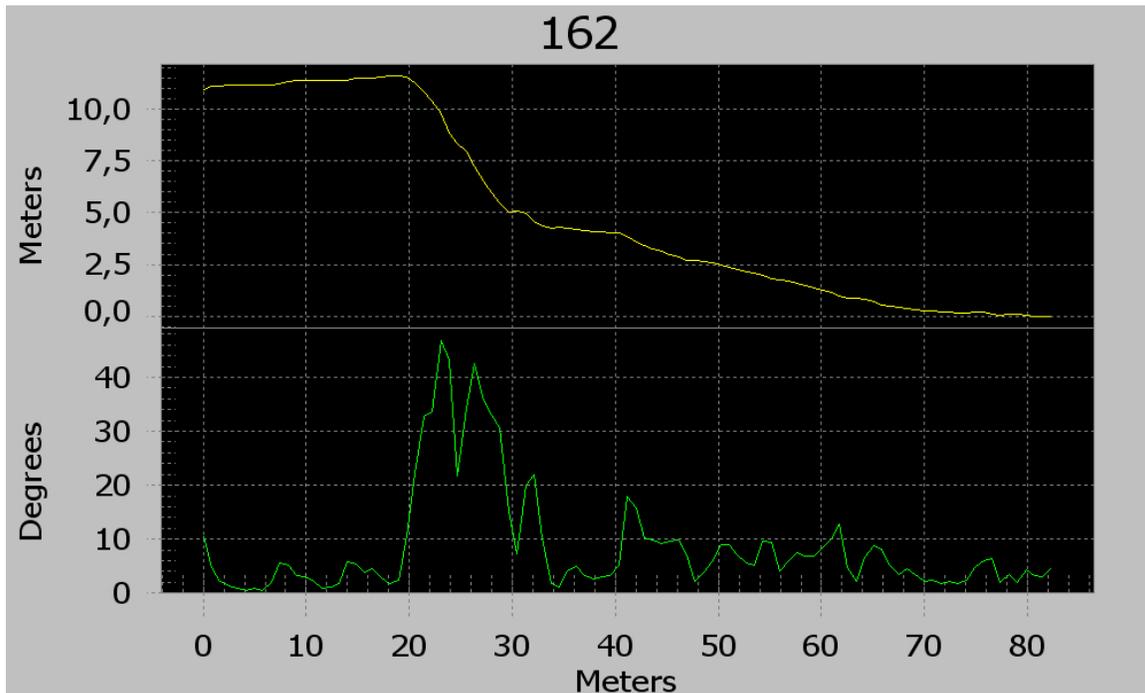


Figure 26: Profil au 162 Labrie

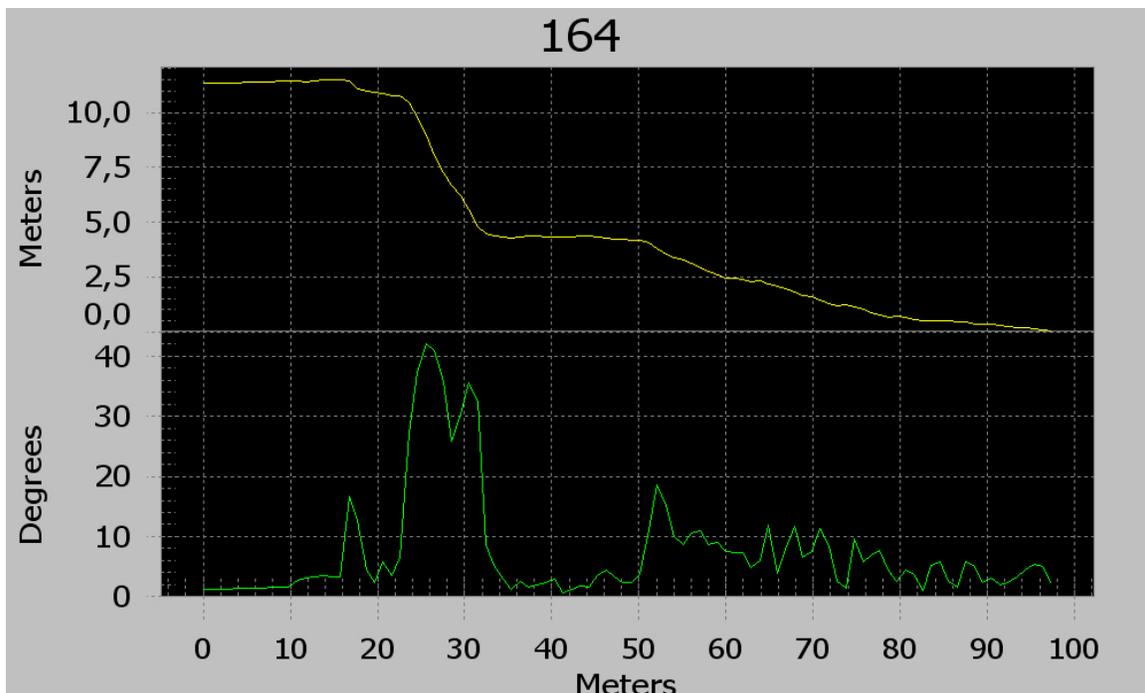


Figure 27: Profil au 164 Labrie

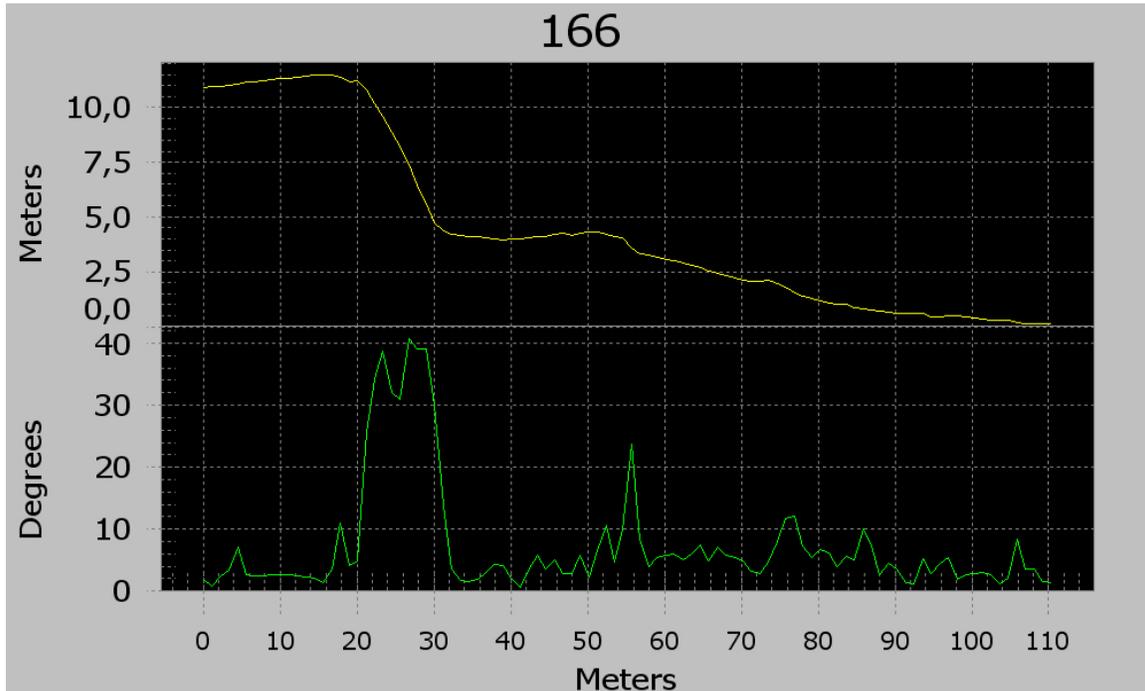


Figure 28: Profil au 166 Labrie

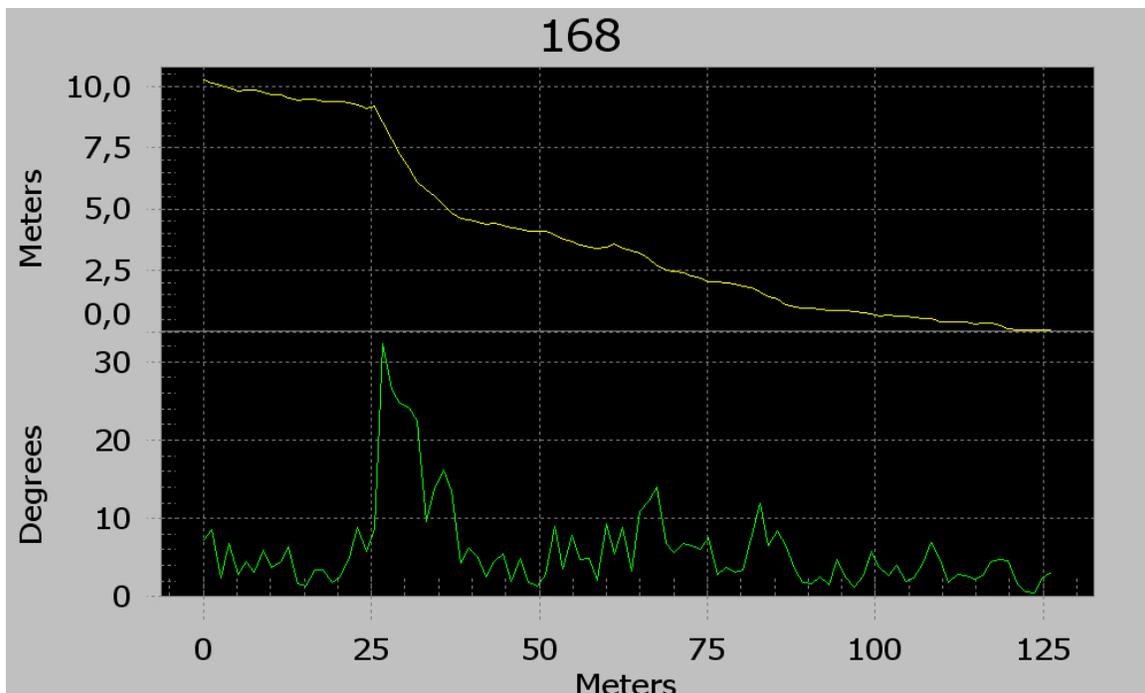


Figure 29: Profil au 168 Labrie



Figure 30: Profil au 172 Labrie

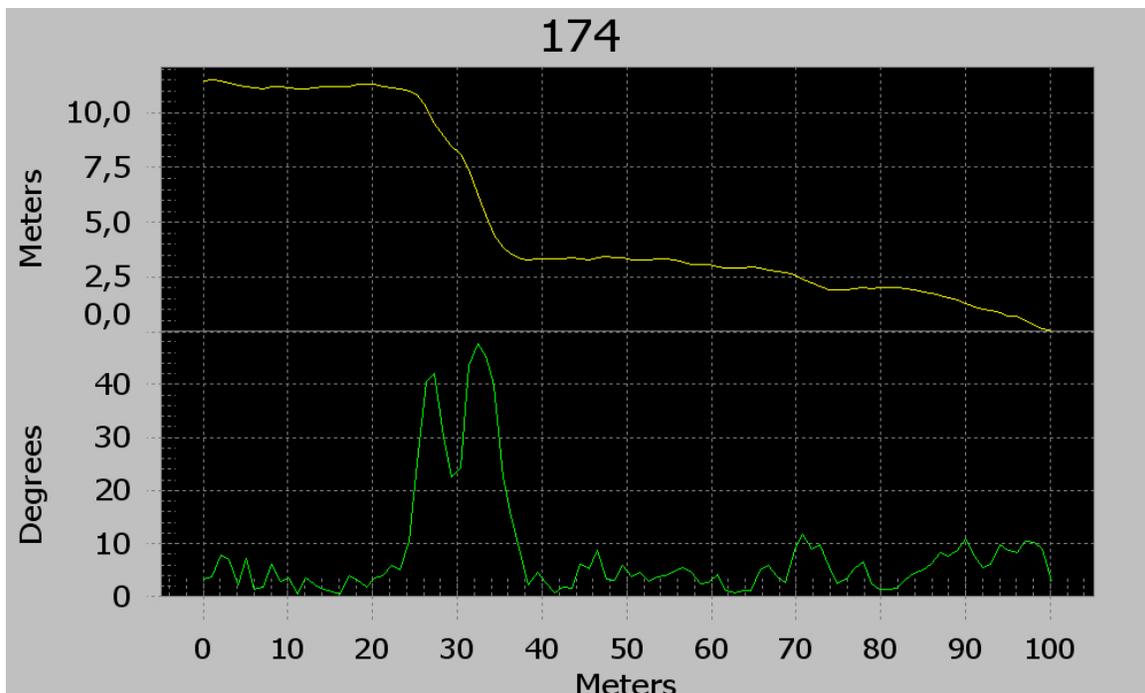


Figure 31: Profil au 174 Labrie

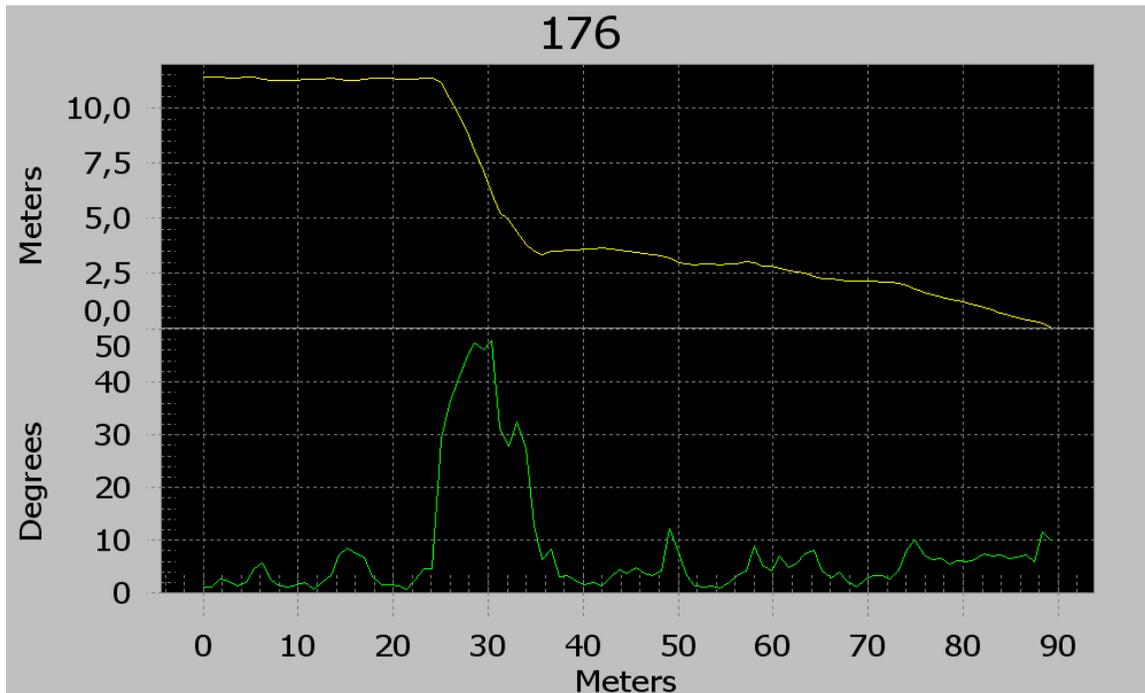


Figure 32: Profil au 176 Labrie

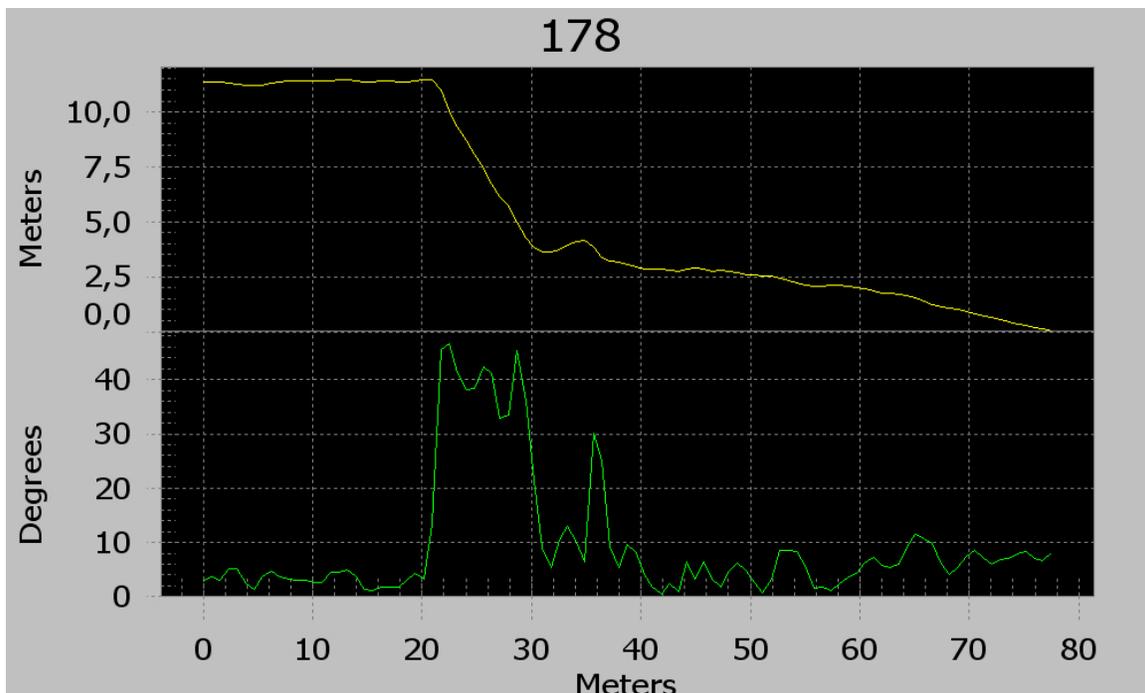


Figure 33: Profil au 178 Labrie

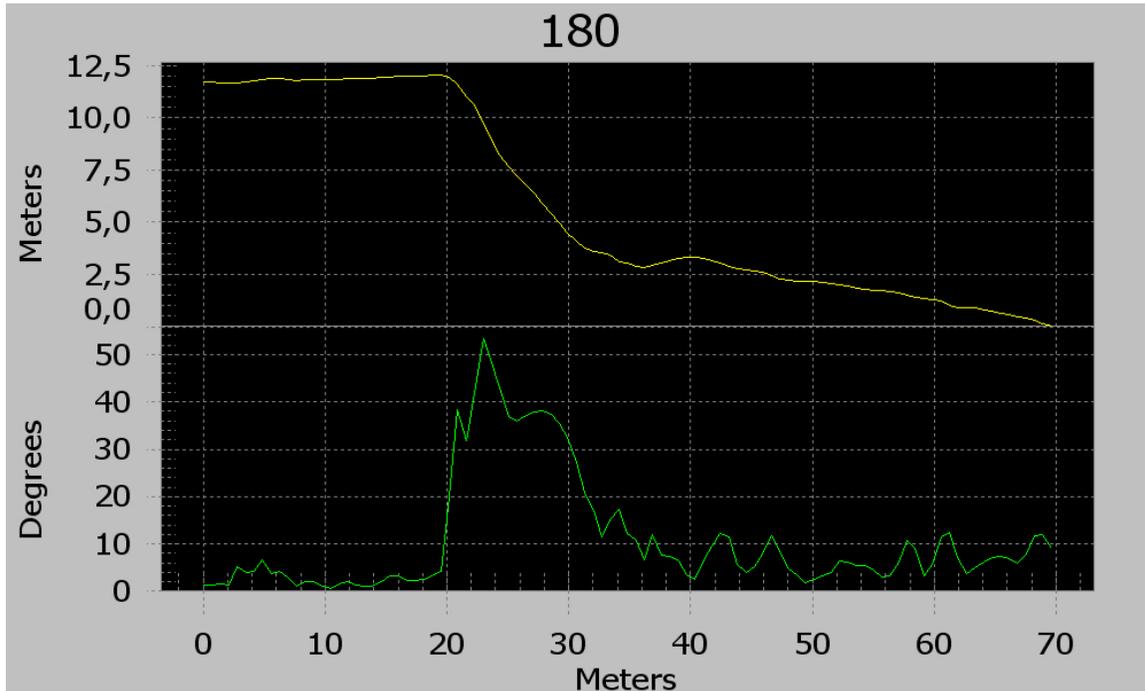


Figure 34: Profil au 180 Labrie

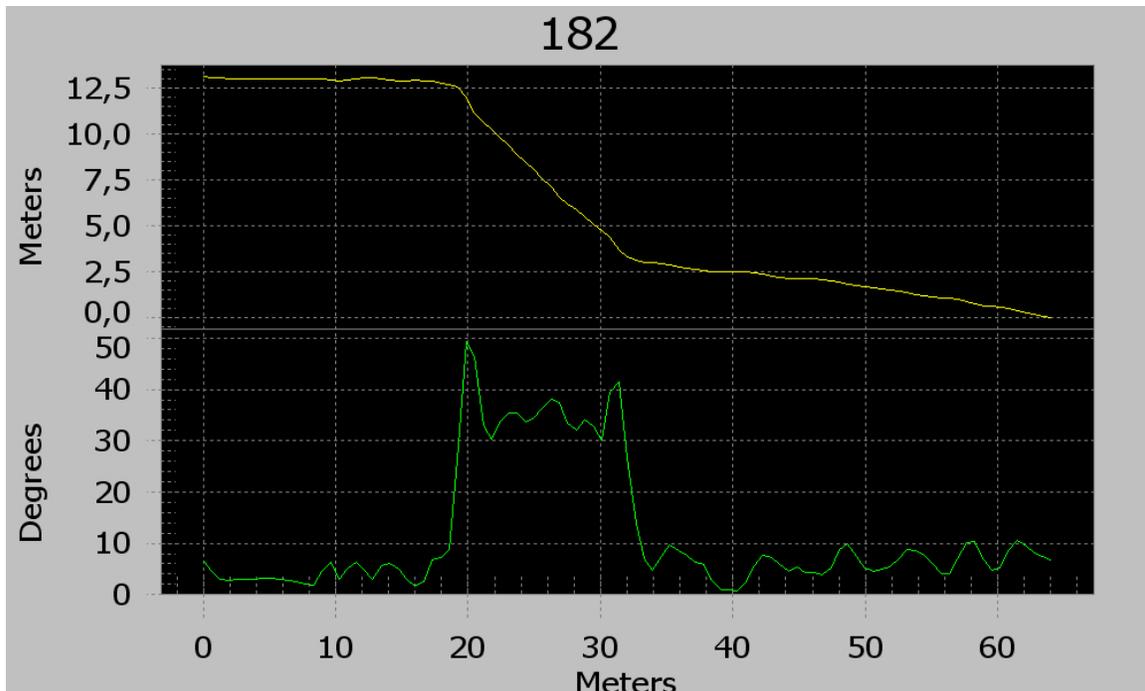


Figure 35: Profil au 182 Labrie

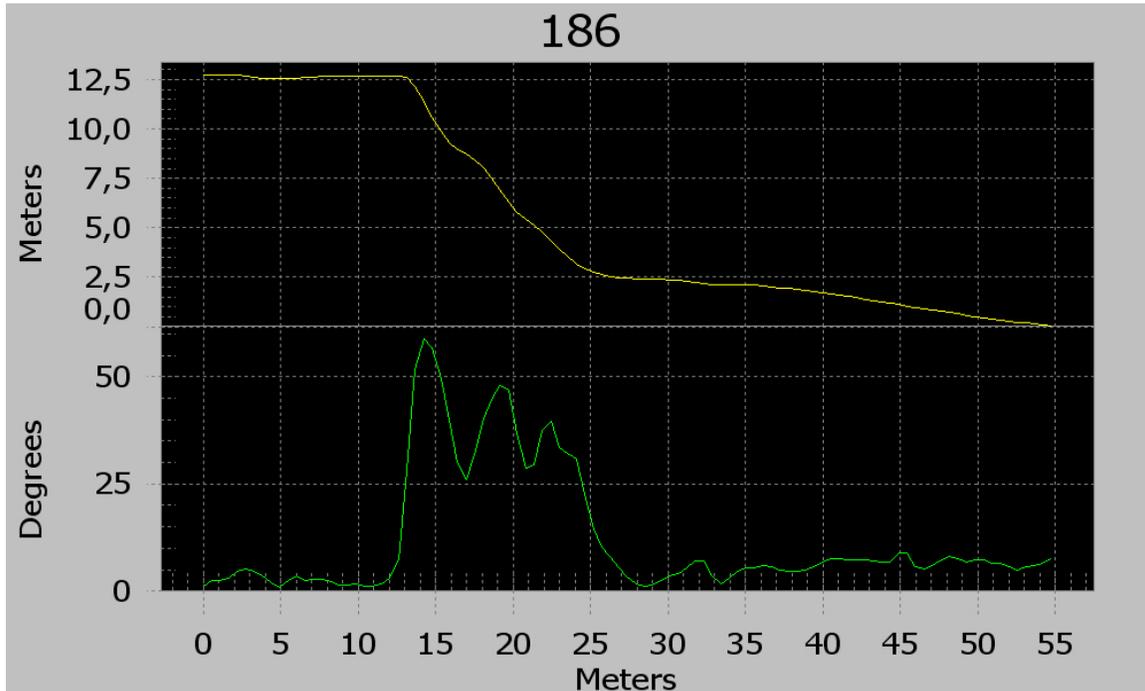


Figure 36: Profil au 186 Labrie

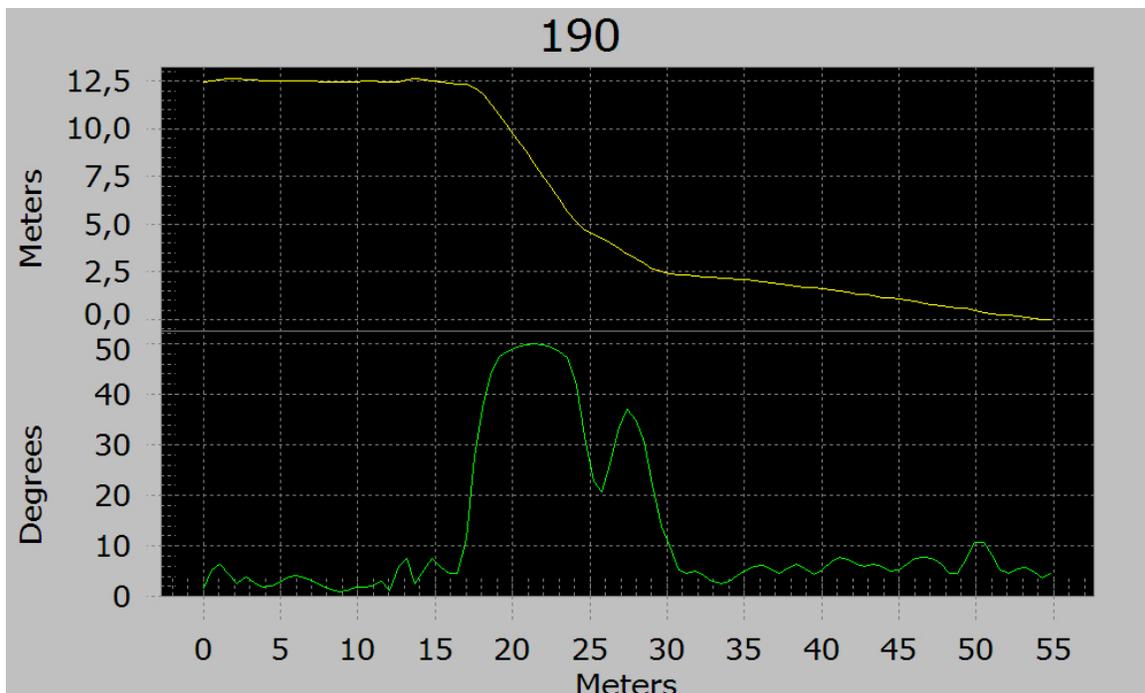


Figure 37: Profil au 190 Labrie

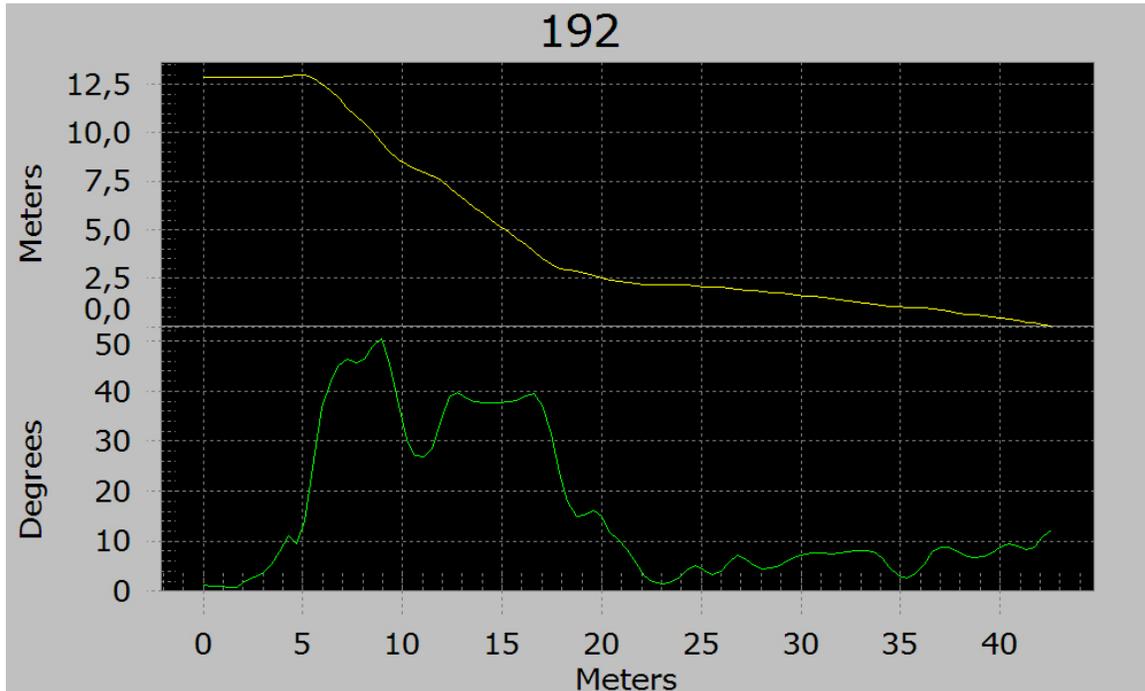


Figure 38: Profil au 192 Labrie

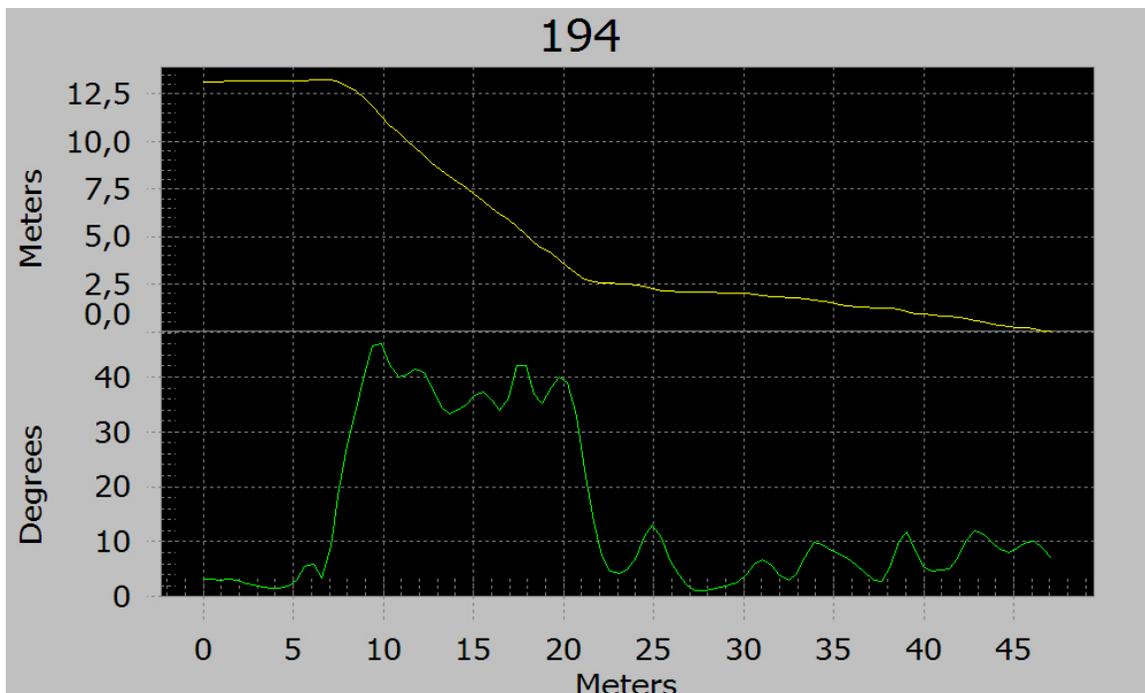


Figure 39: Profil au 194 Labrie

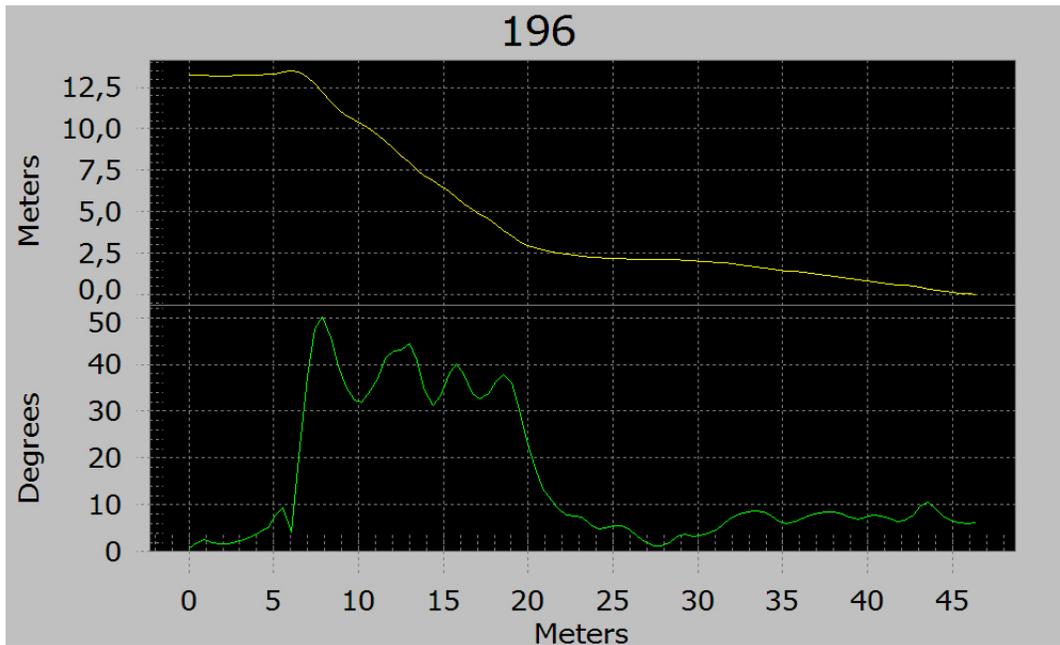


Figure 40: Profil au 194 rue Labrie



Topographie section 224 à 294 rue Labrie, Pointe-aux-Outardes

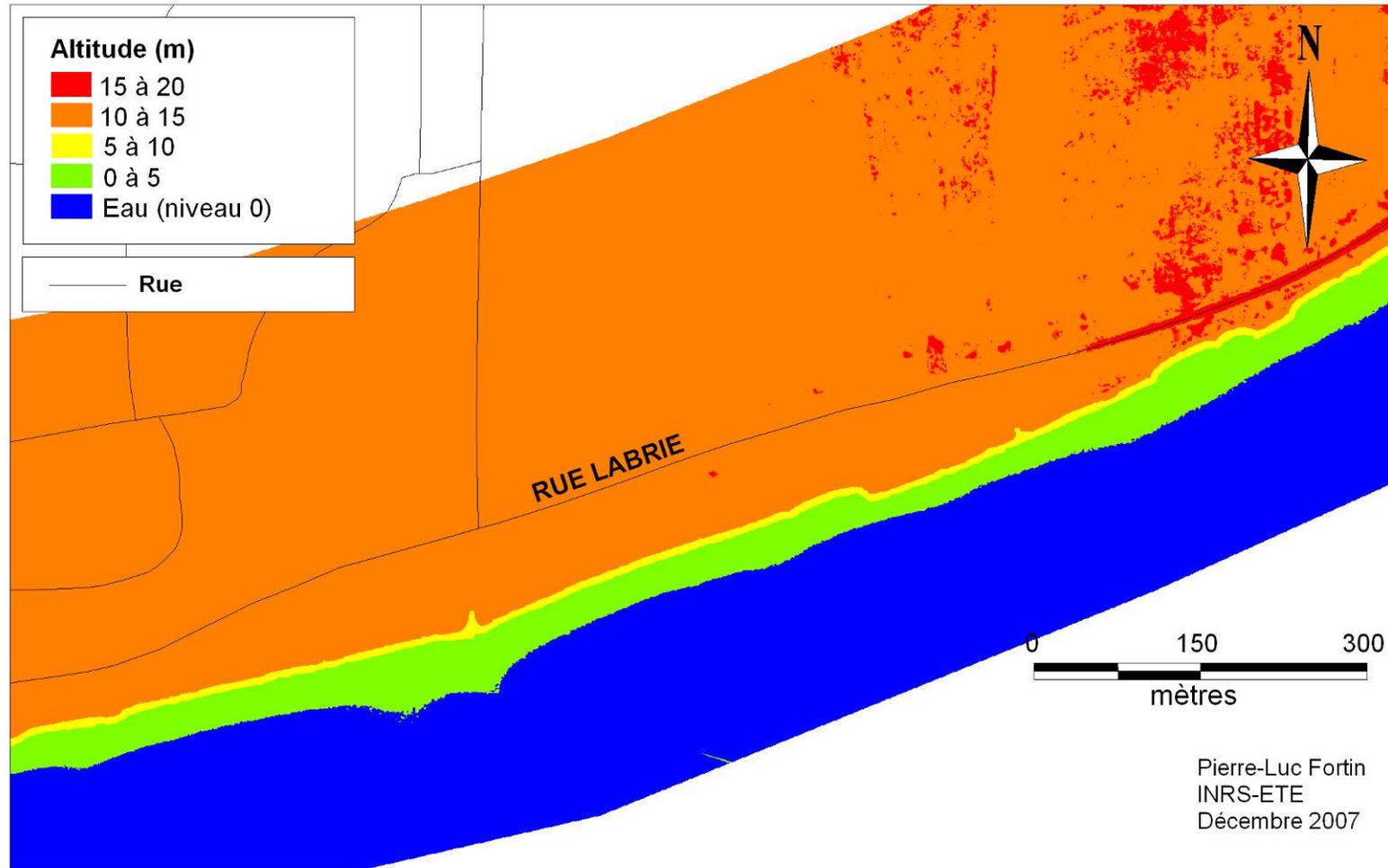


Figure 41: Topographie générale des berges entre le 224 et le 294 Labrie est



Inclinaison des pentes section 224 à 294 rue Labrie, Pointe-aux-Outardes

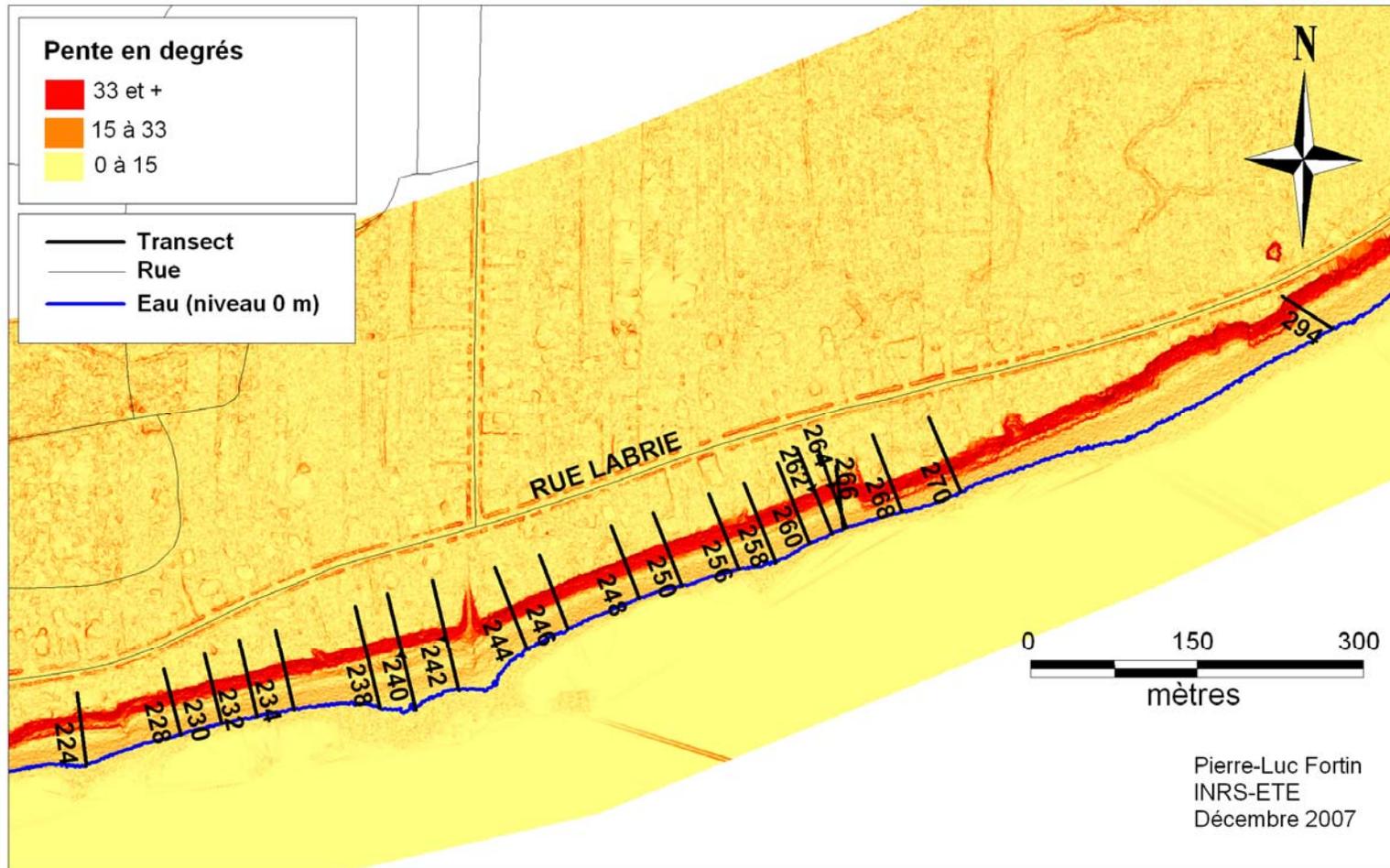


Figure 42: Pentes des berges entre le 224 et le 294 Labrie est – Position des transects présentés ci-après



Figure 43: Profil au 198 Labrie

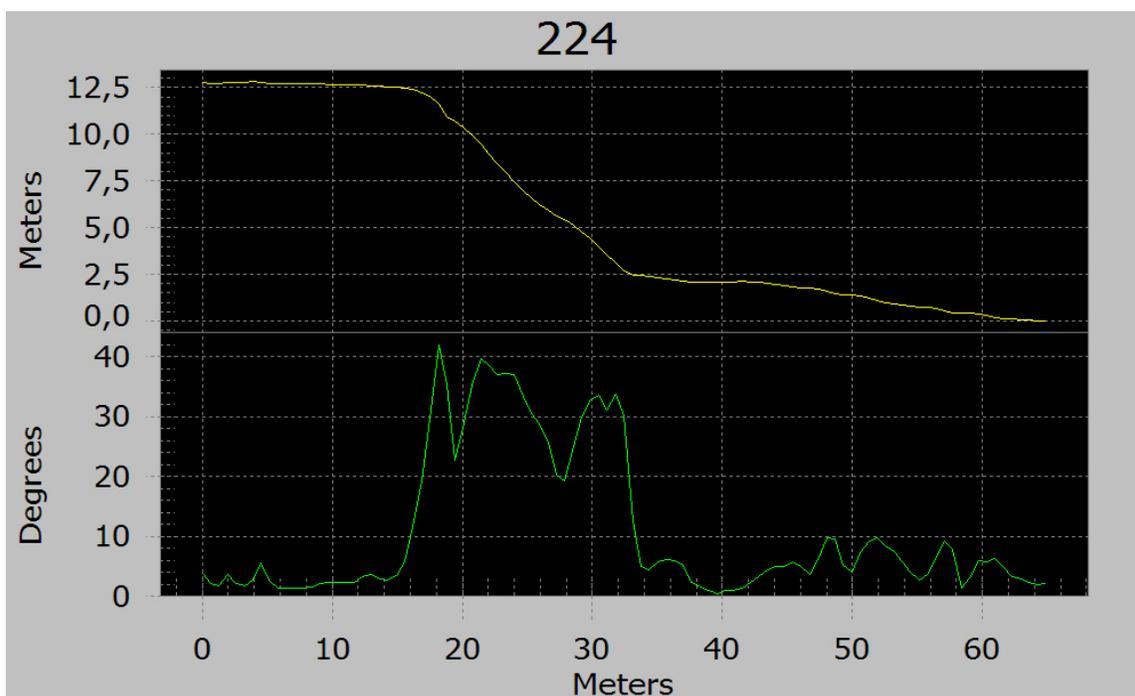


Figure 44: Profil au 224 Labrie

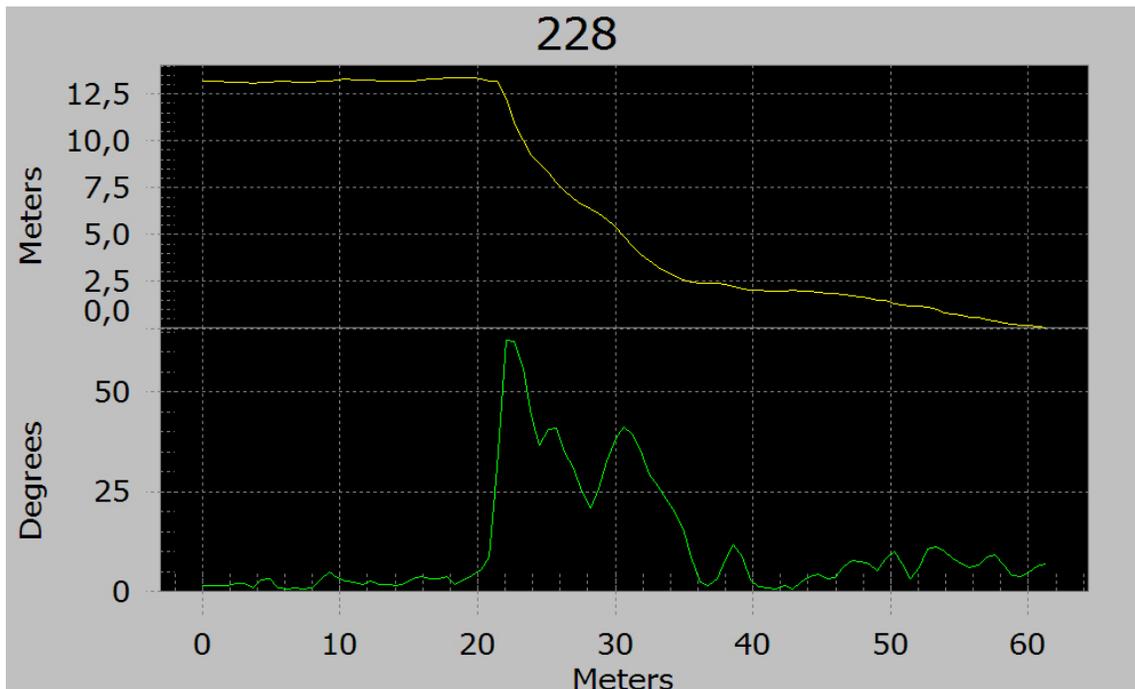


Figure 45: Profil au 228 Labrie

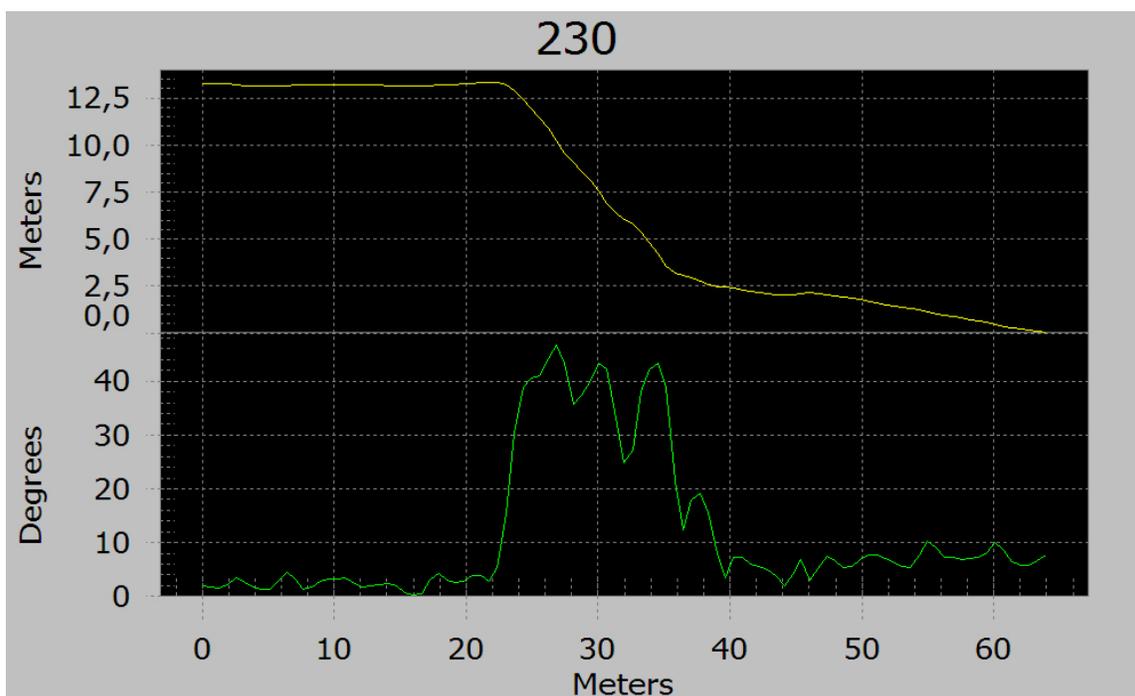


Figure 46: Profil au 230 Labrie

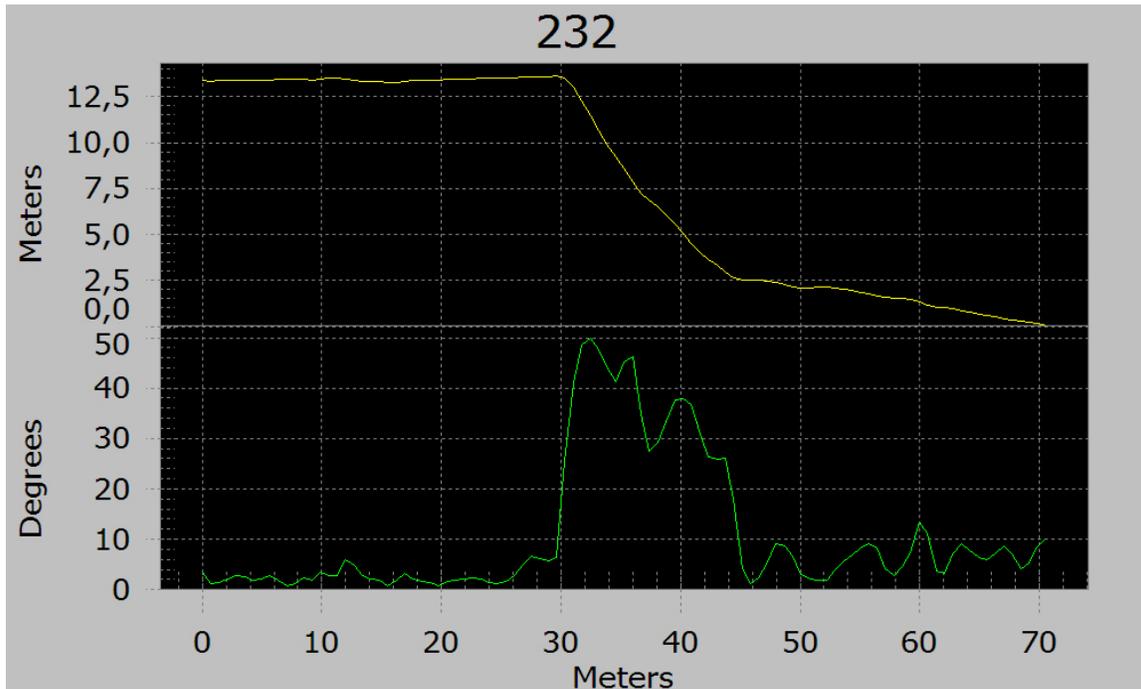


Figure 47: Profil au 232 Labrie

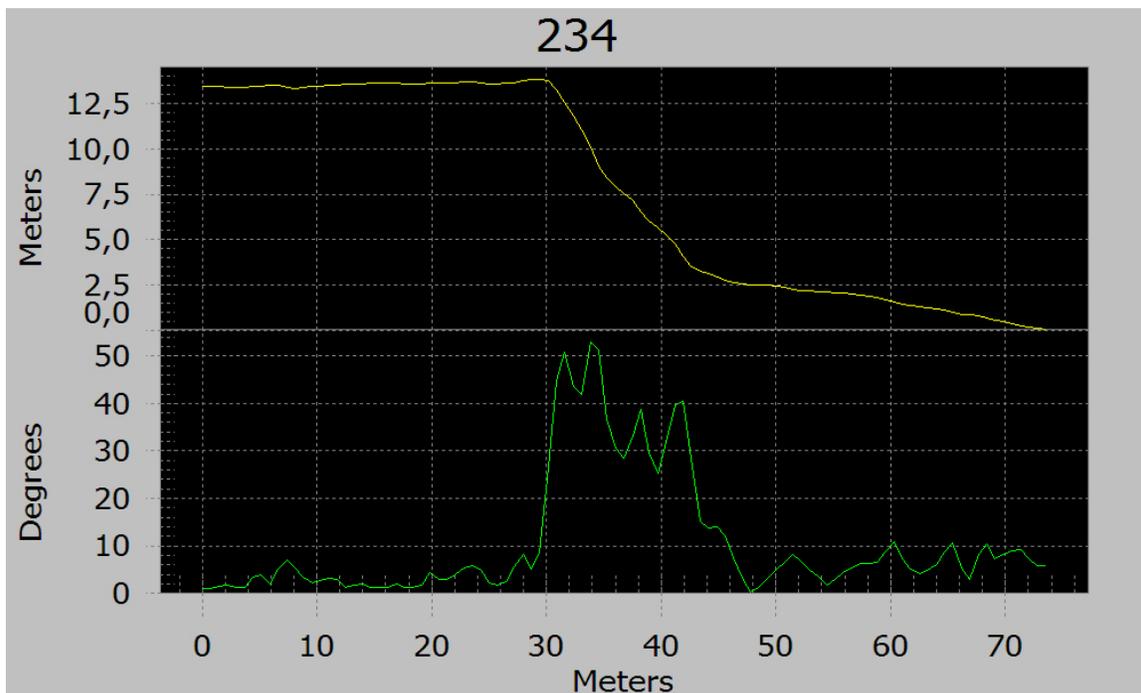


Figure 48: Profil au 234 Labrie

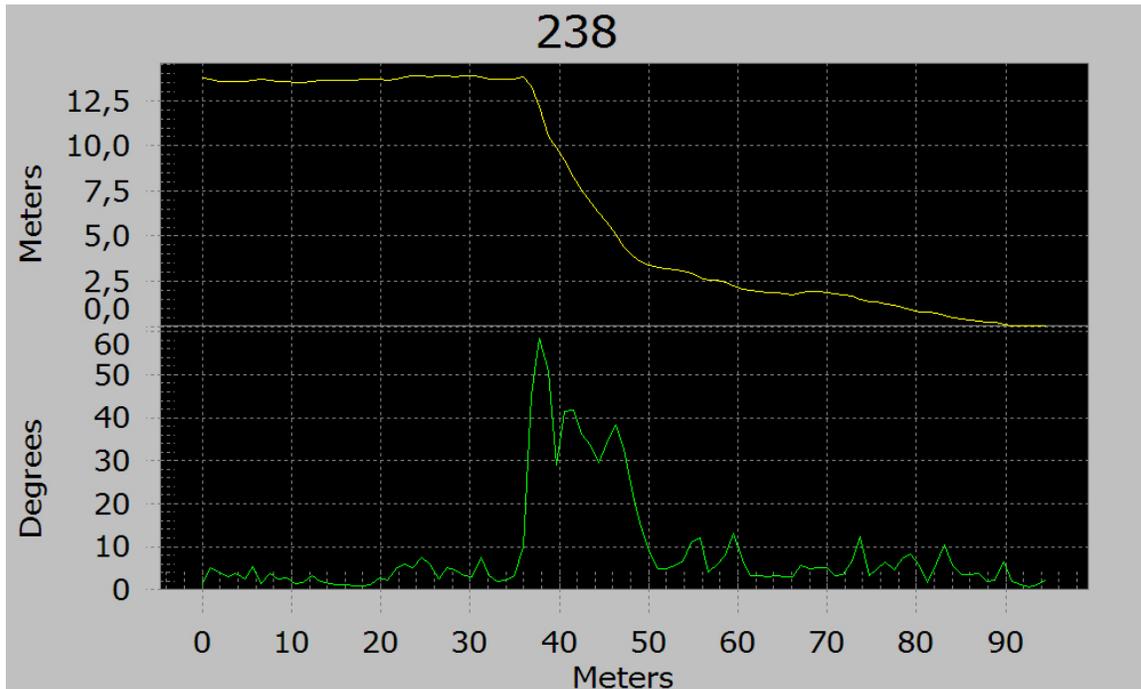


Figure 49: Profil au 238 Labrie

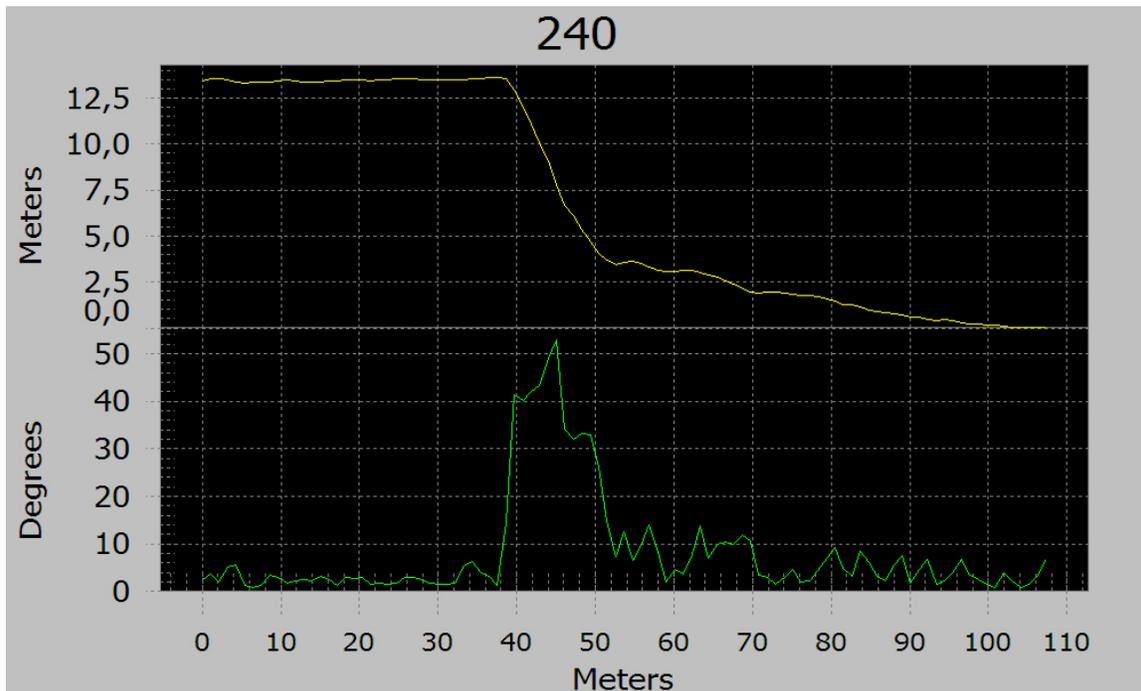


Figure 50: Profil au 240 Labrie

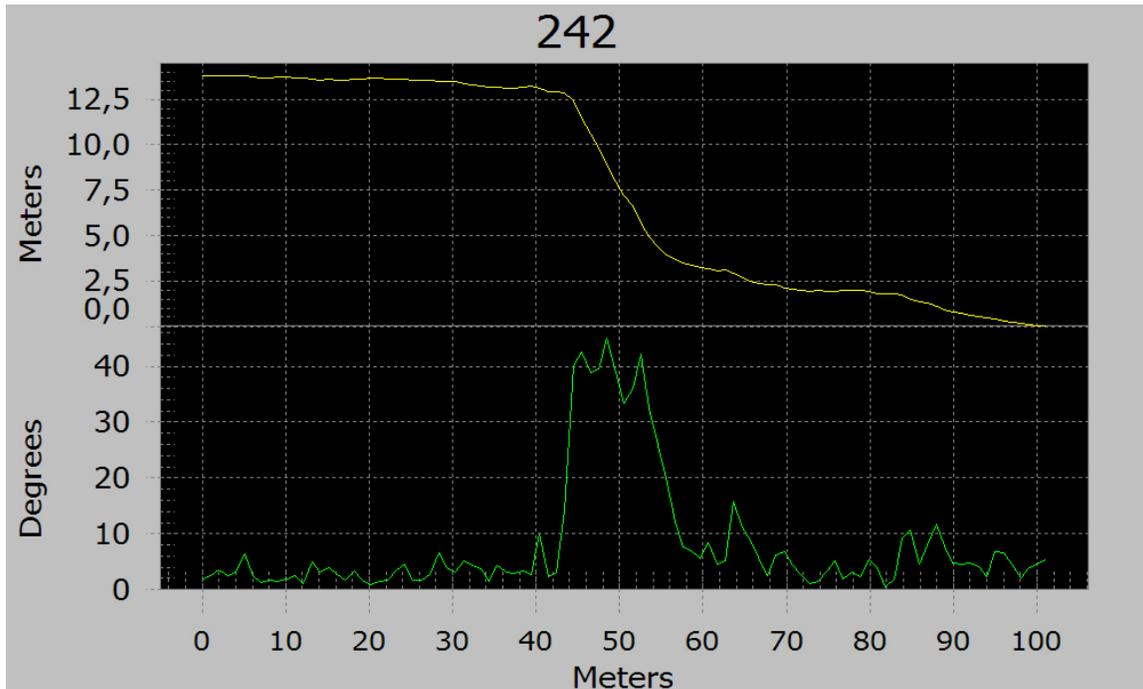


Figure 51: Profil au 242 Labrie

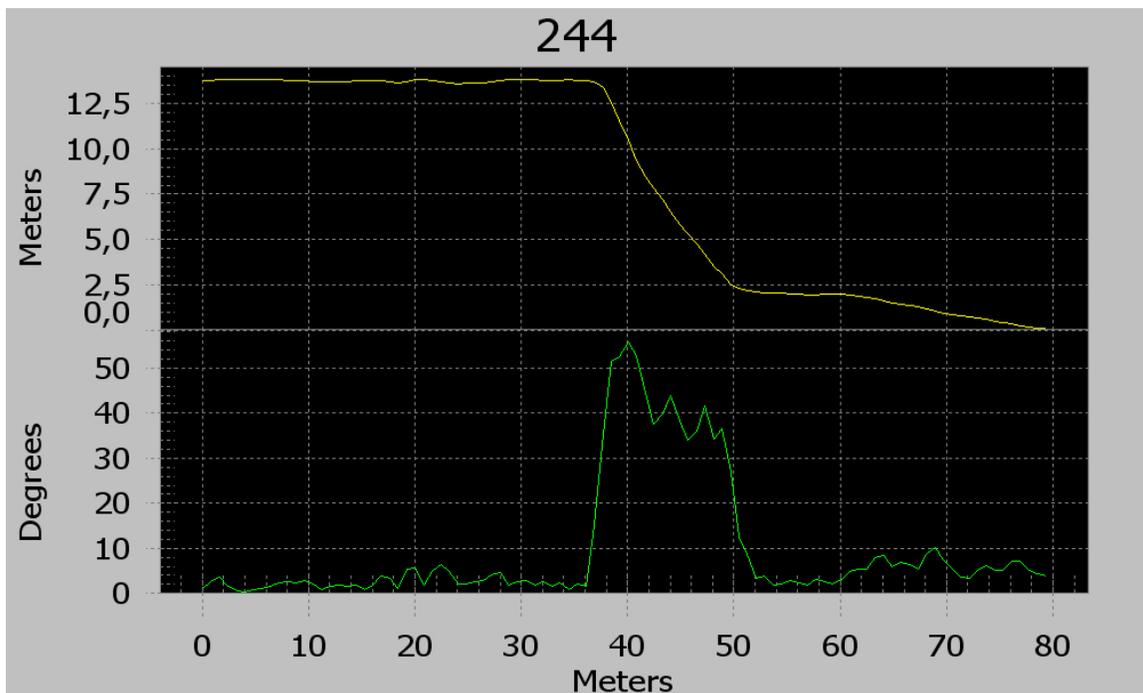


Figure 52: Profil au 244 Labrie

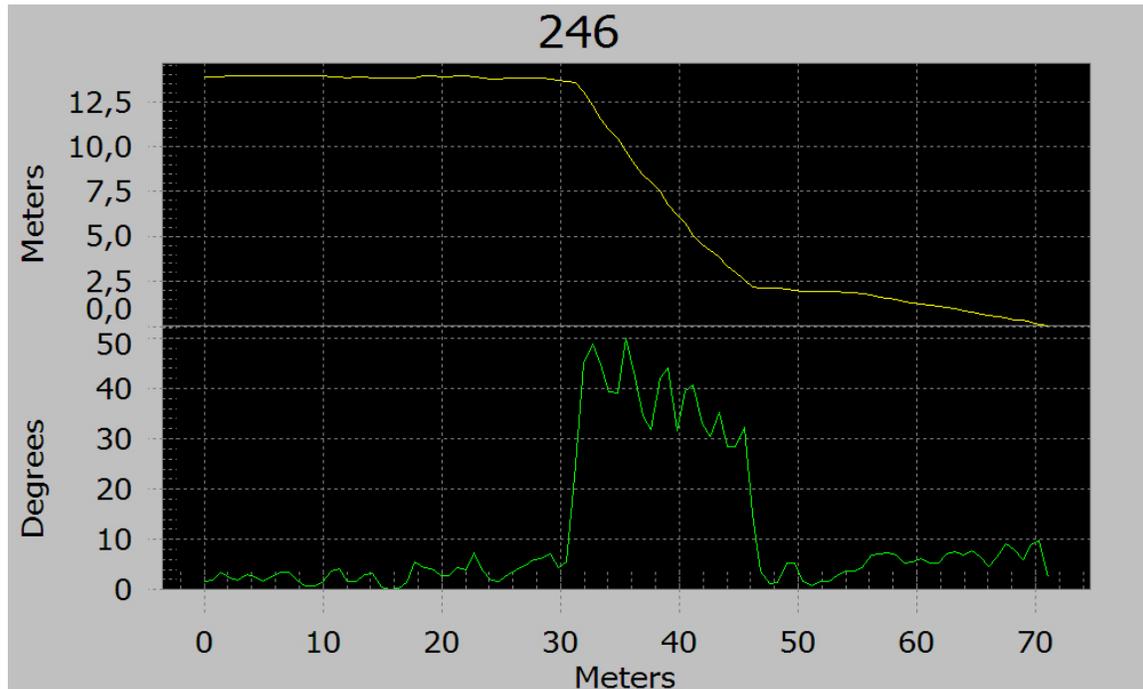


Figure 53: Profil au 246 Labrie

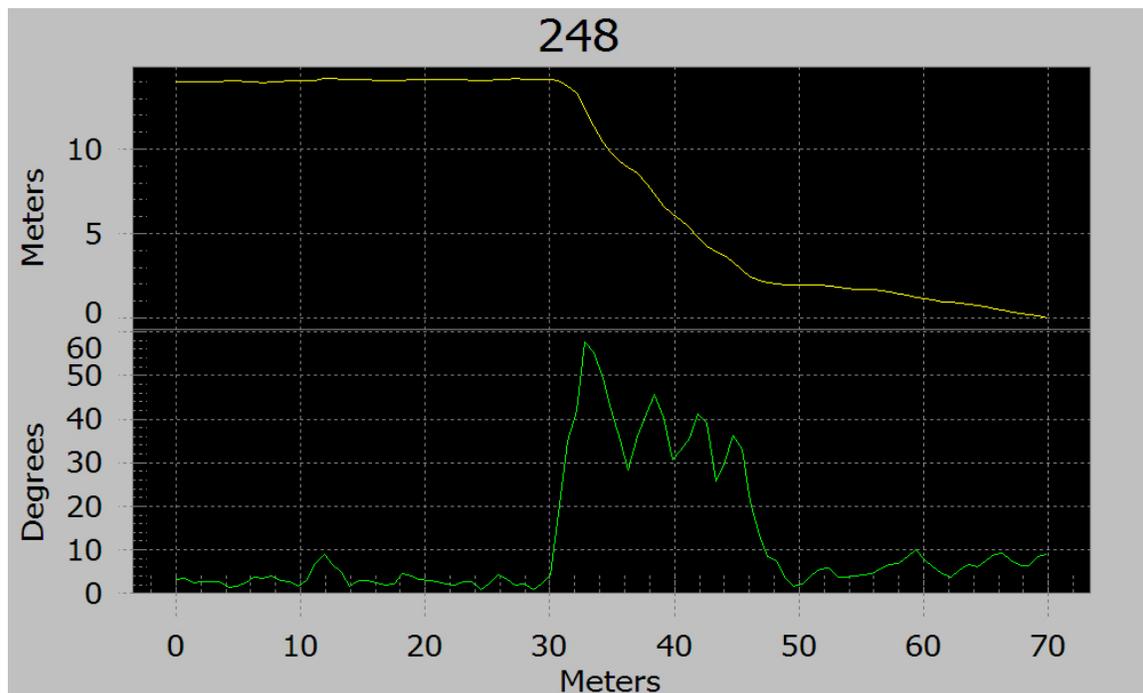


Figure 54: Profil au 248 Labrie

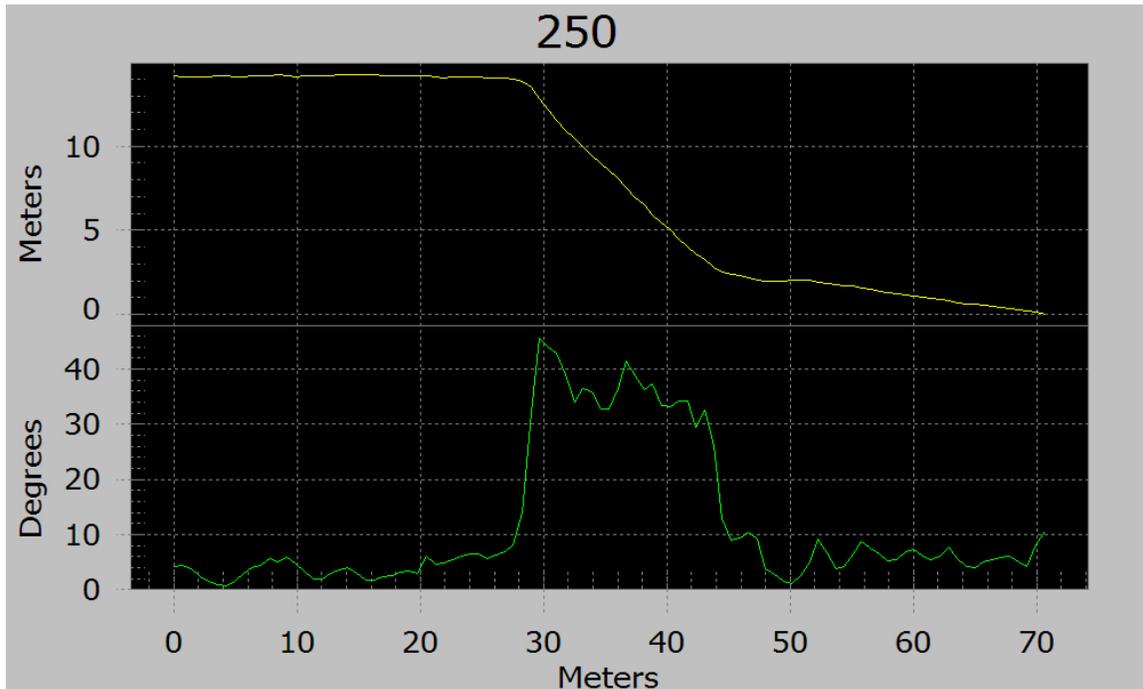


Figure 55: Profil au 250 Labrie

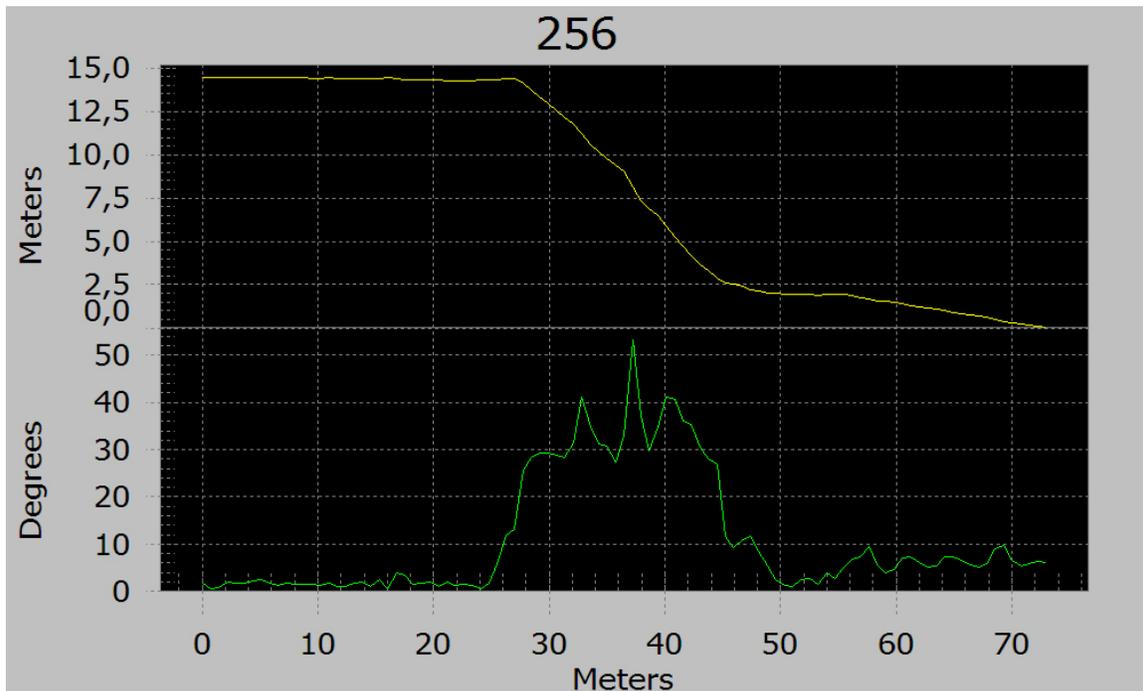


Figure 56: Profil au 256 Labrie

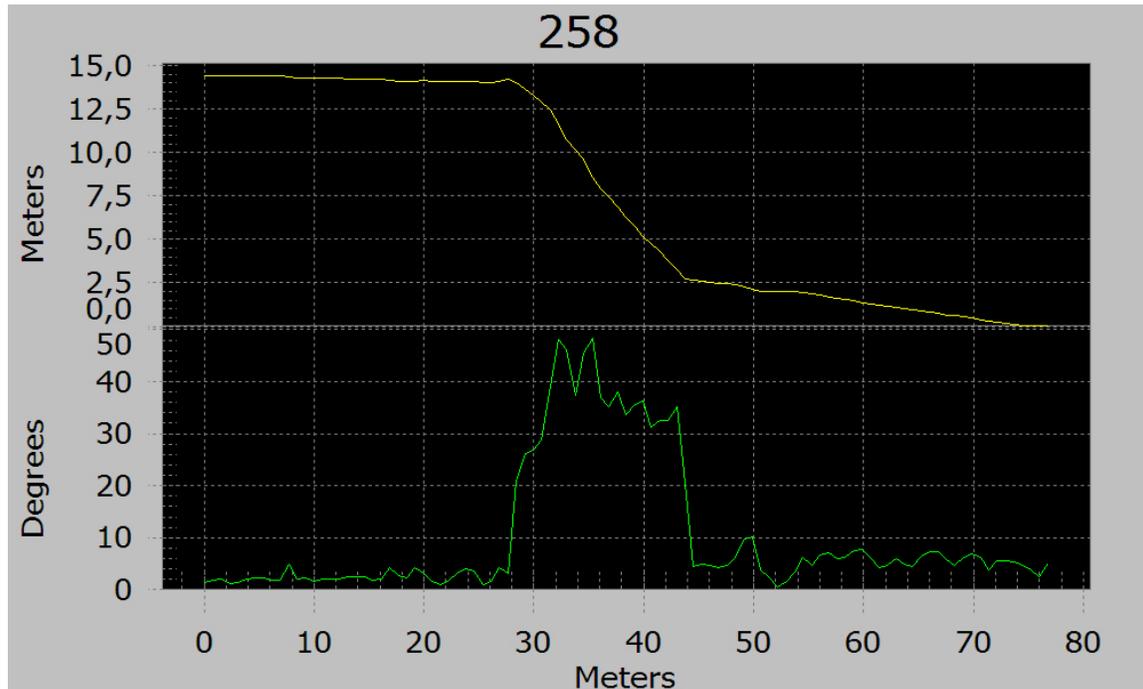


Figure 57: Profil au 258 Labrie

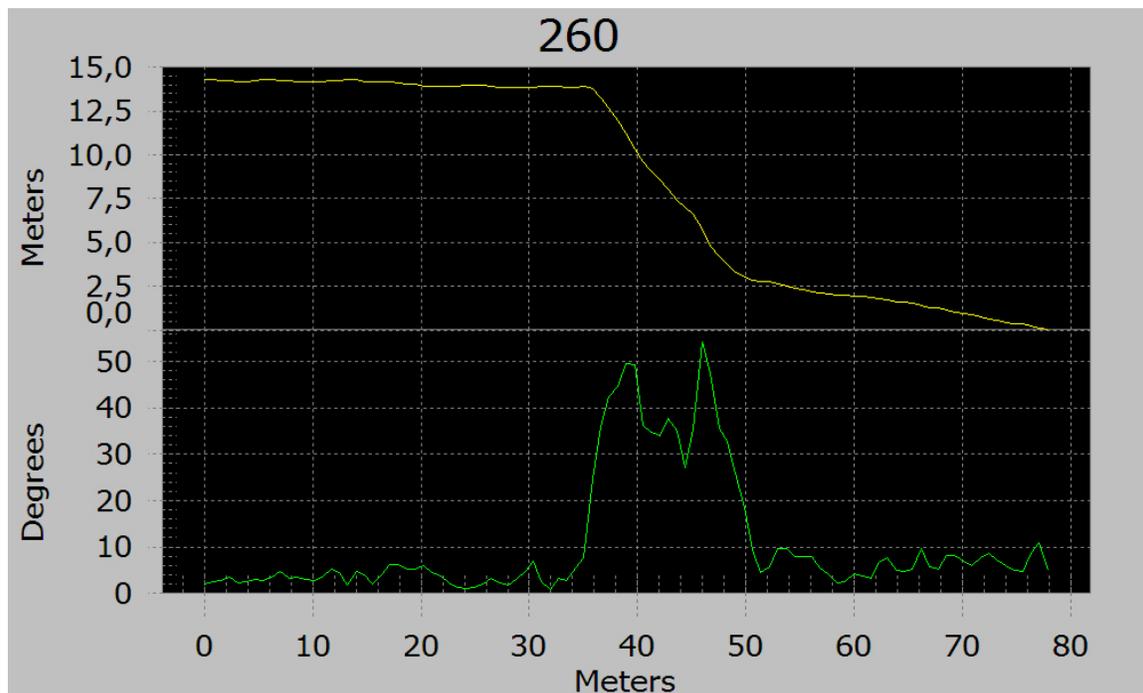


Figure 58: Profil au 260 Labrie

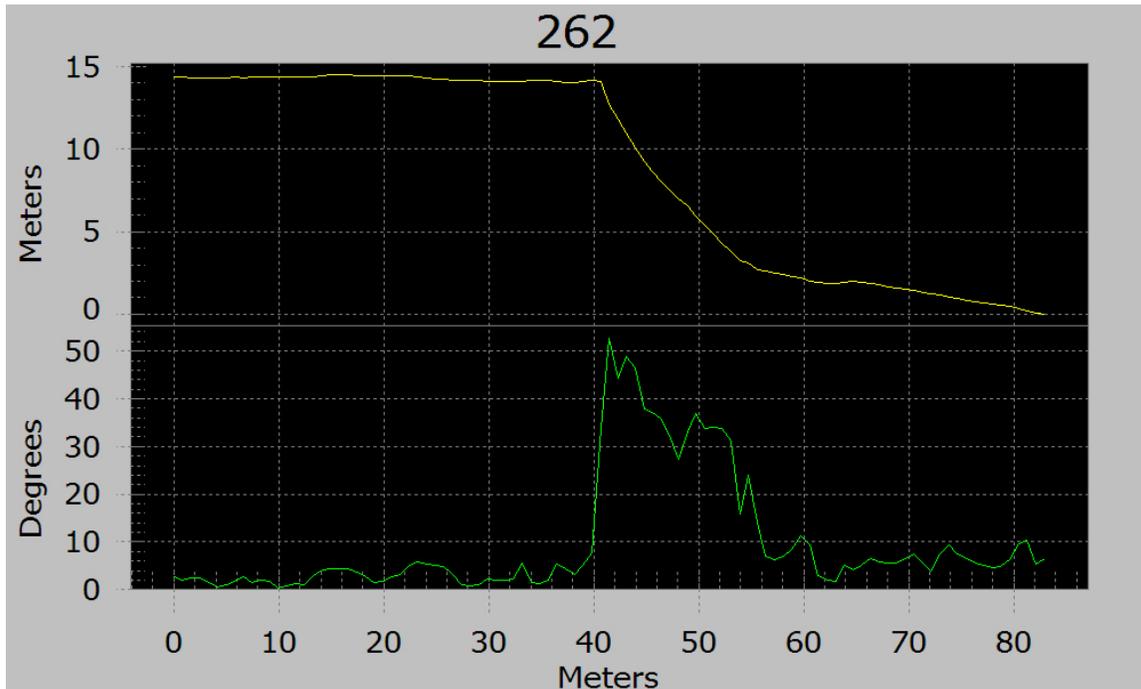


Figure 59: Profil au 262 Labrie

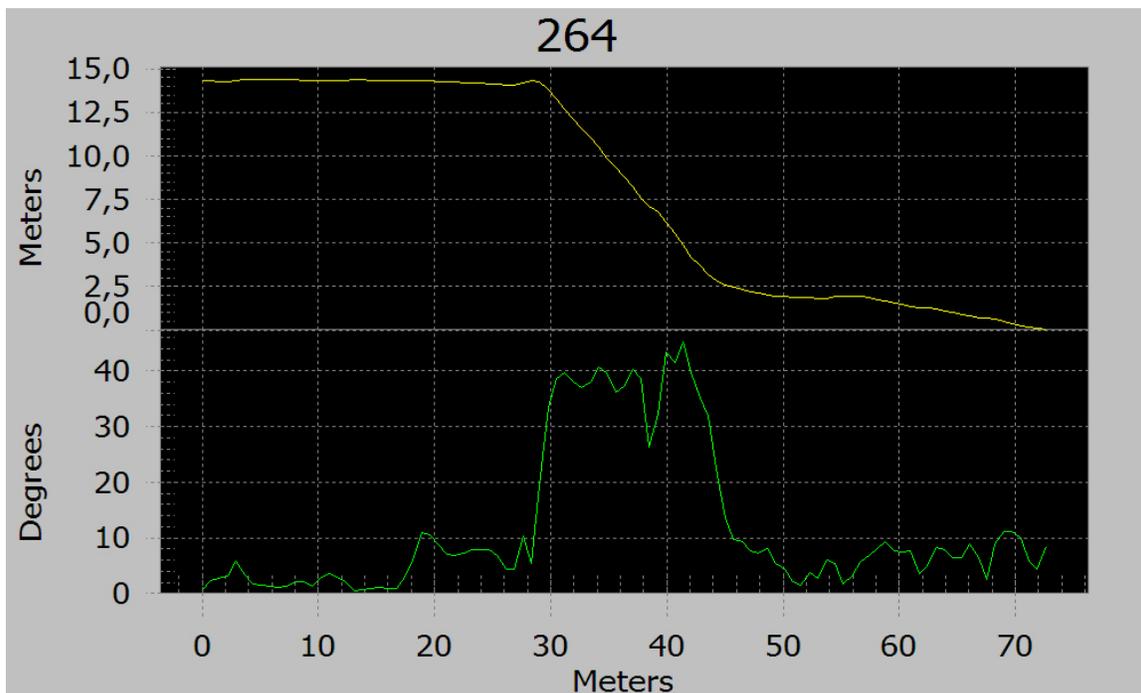


Figure 60: Profil au 264 Labrie



Figure 61: Profil au 266 Labrie

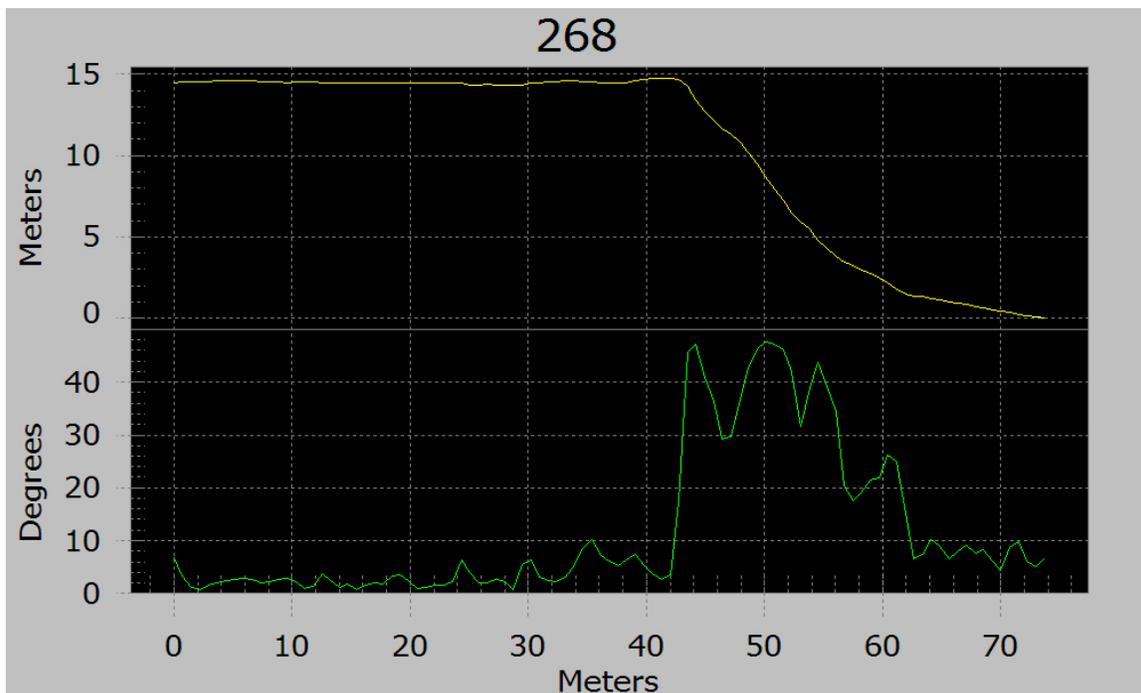


Figure 62: Profil au 268 Labrie

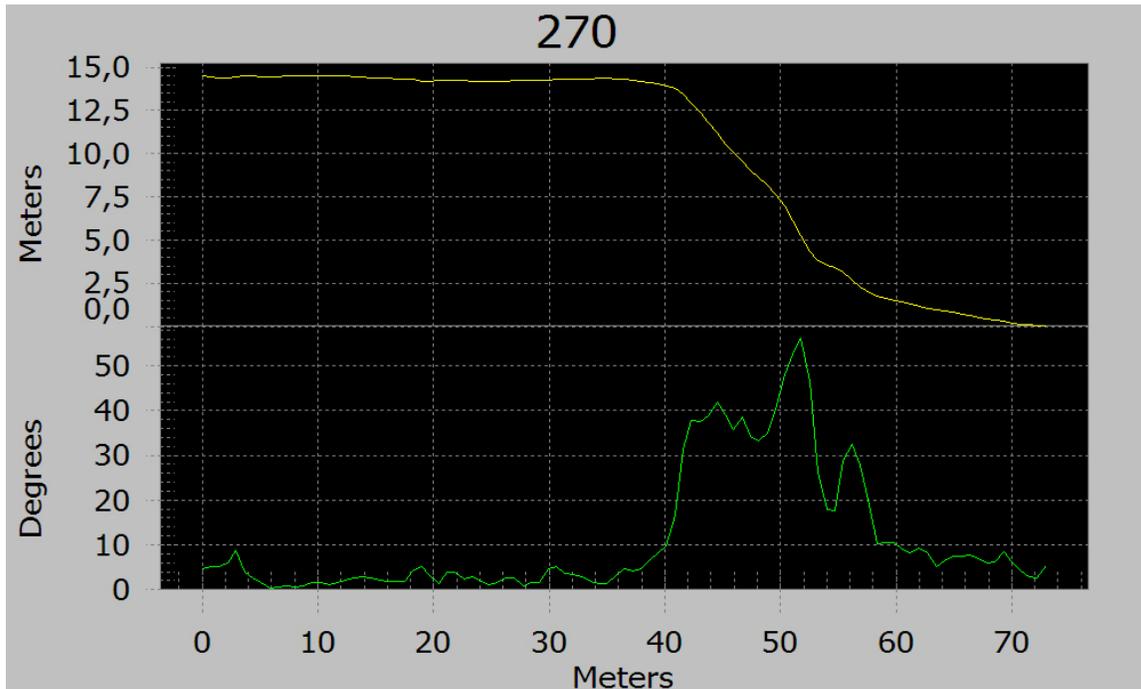


Figure 63: Profil au 270 Labrie



Figure 64: Profil au 294 Labrie



Topographie section 324 à 392 rue Labrie, Pointe-aux-Outardes

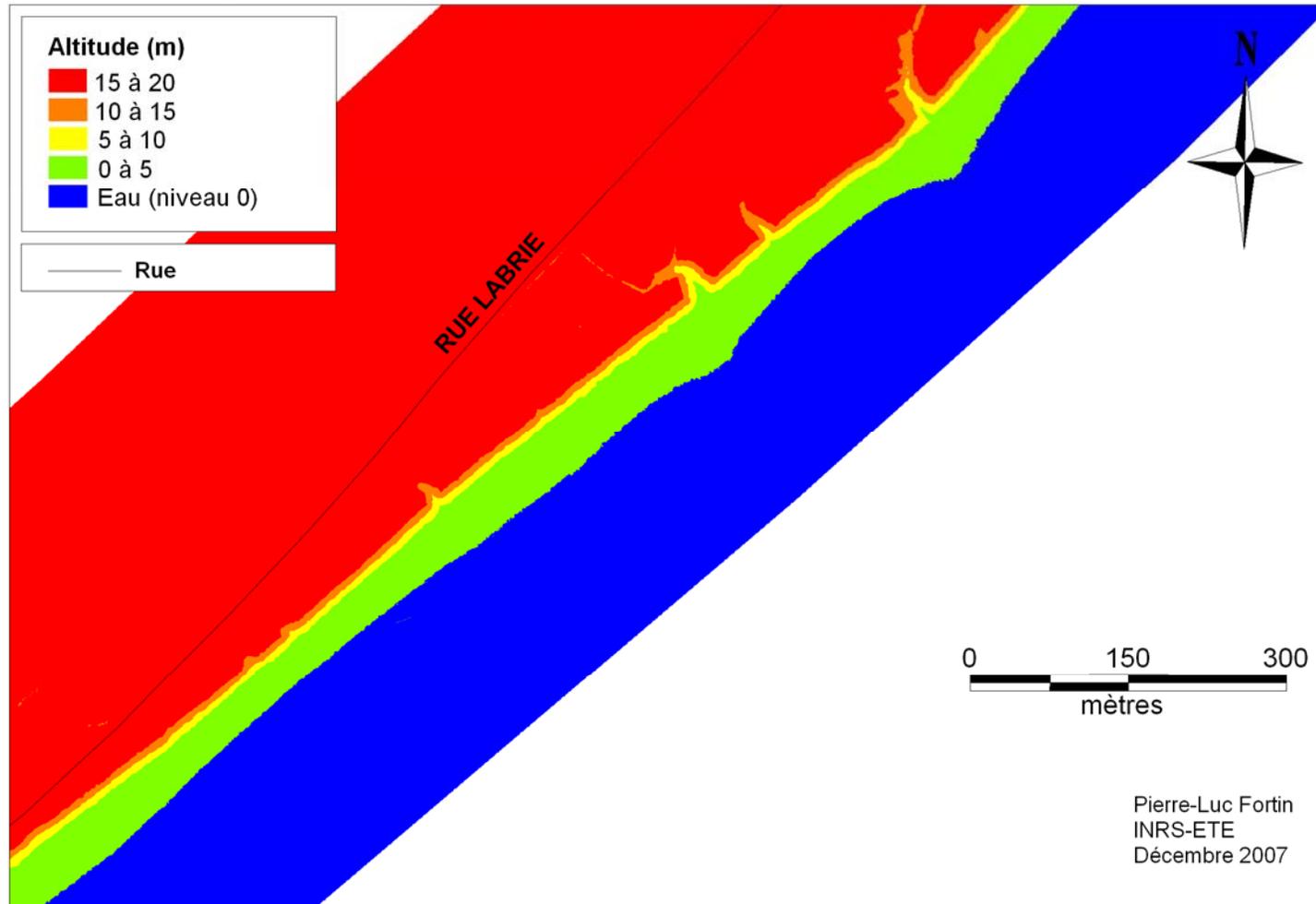


Figure 65: Topographie générale dans la région de l'extrême est de la rue Labrie (Adresses 324 à 392 Labrie)



Inclinaison des pentes section 324 à 392 rue Labrie, Pointe-aux-Outardes

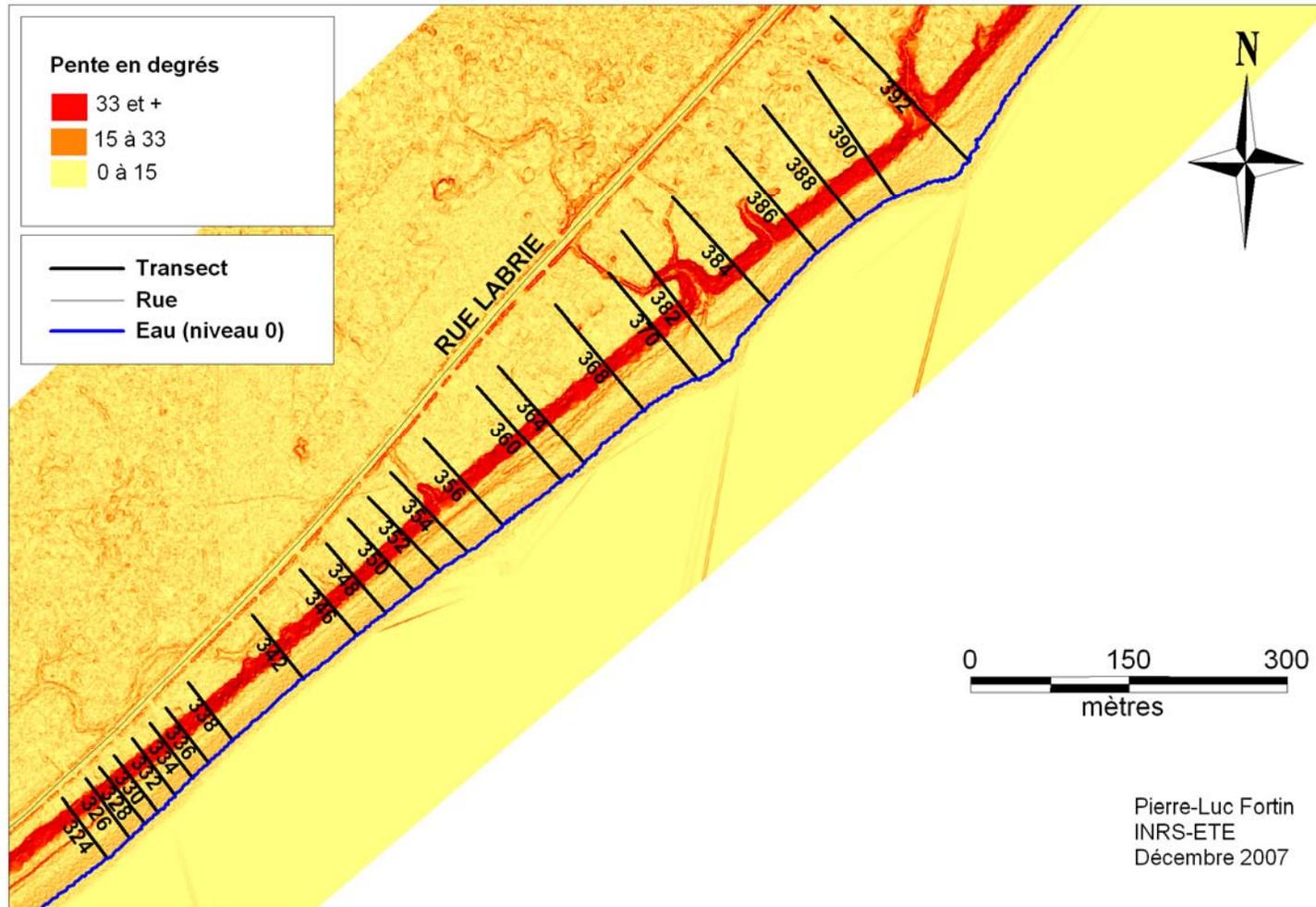


Figure 66: Pente des talus dans la région de l'extrême est de la rue Labrie (Adresses 324-392 Labrie)

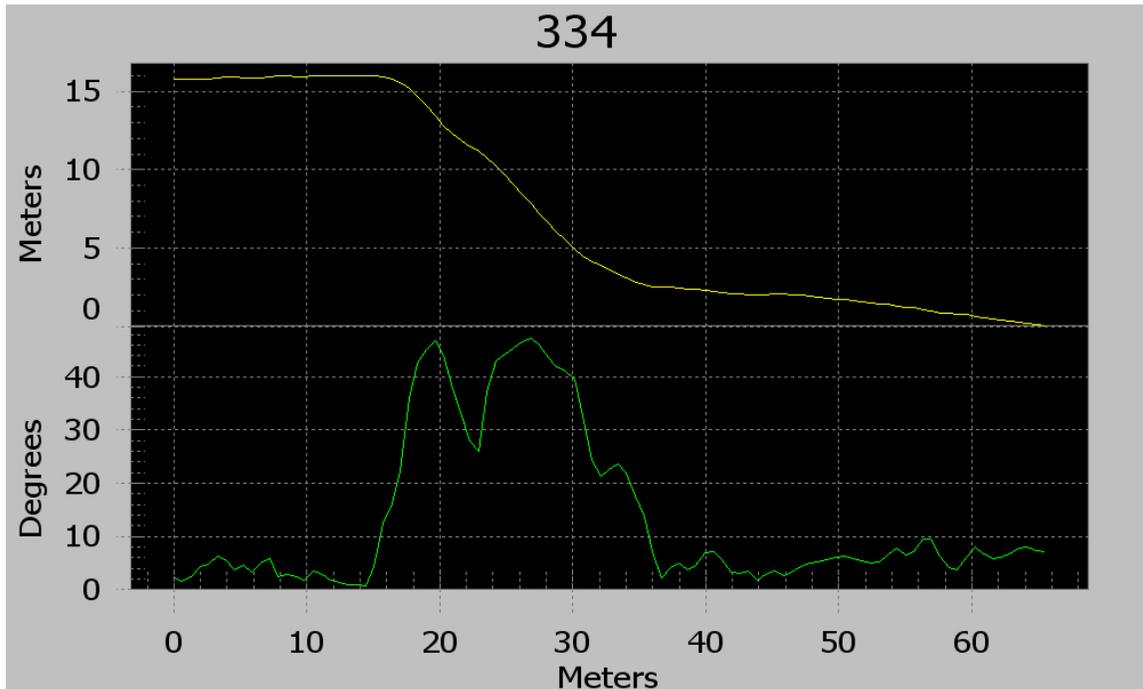


Figure 67: Profil au 334 Labrie

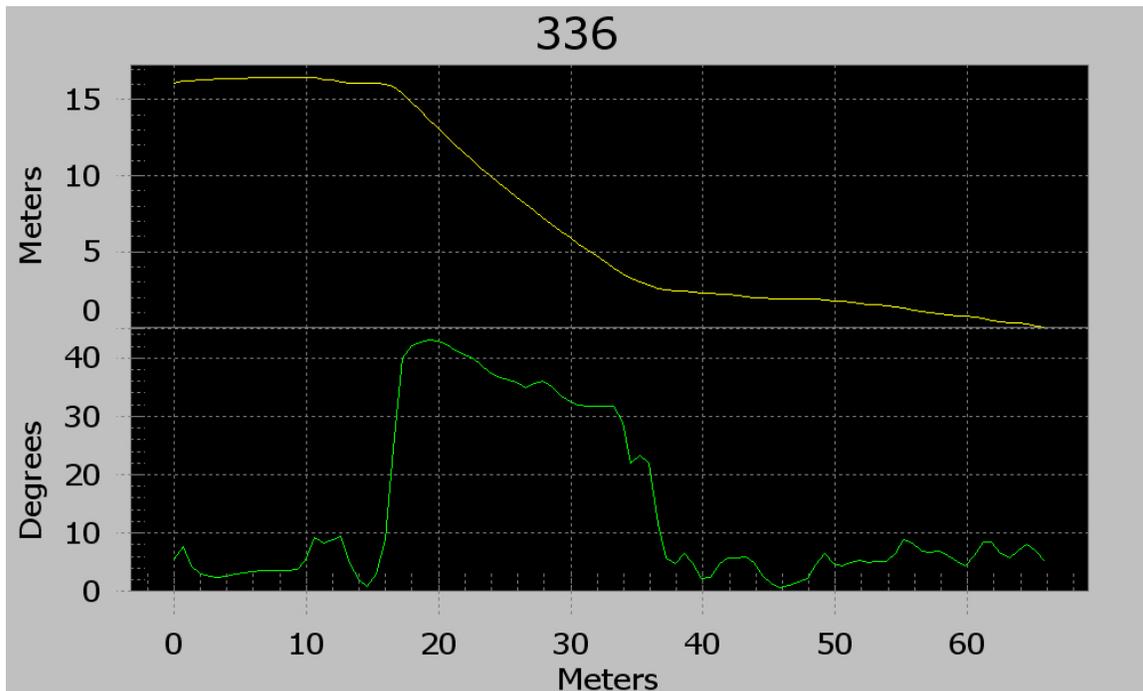


Figure 68: Profil au 336 Labrie

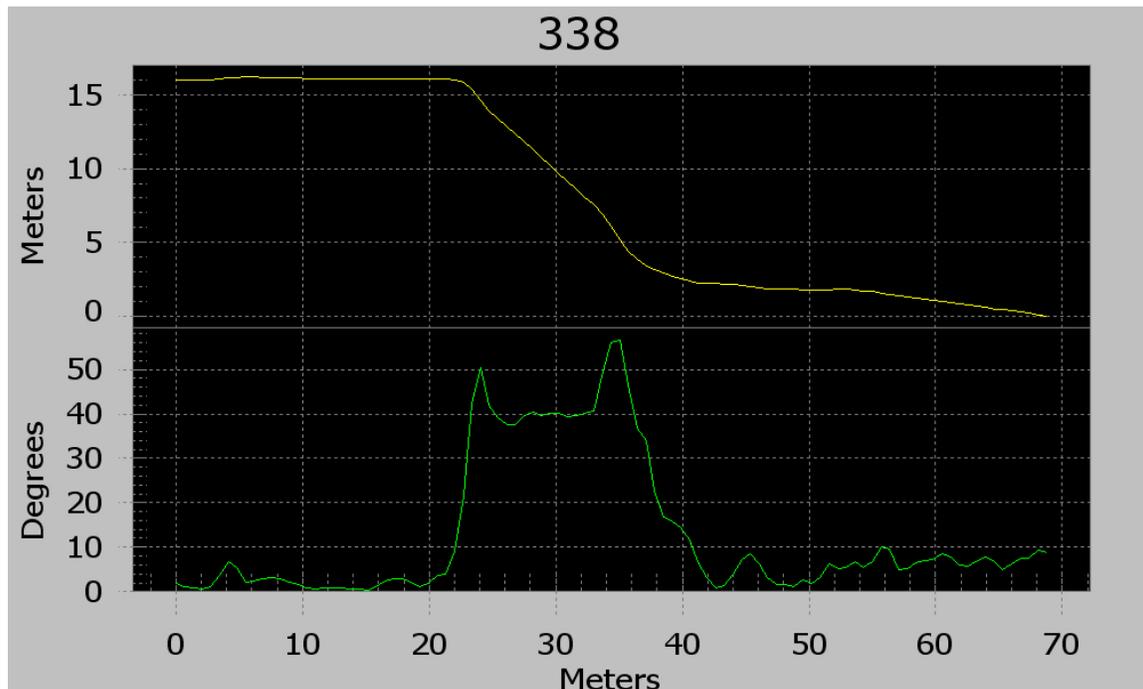


Figure 69: Profil au 338 Labrie

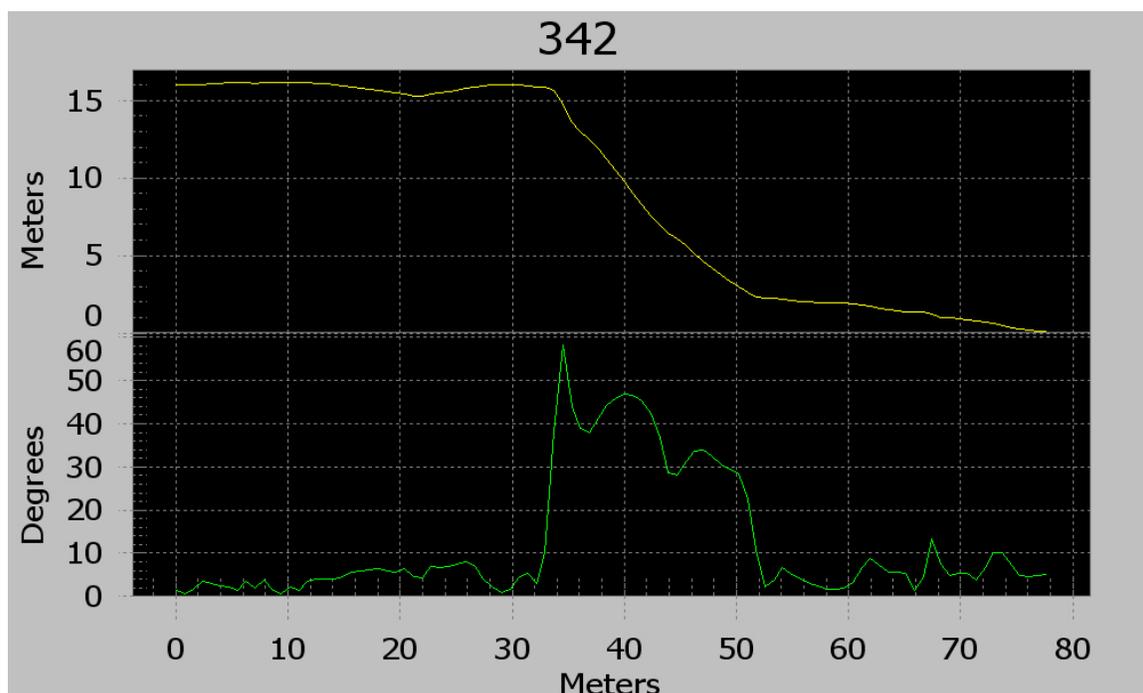


Figure 70: Profil au 342 Labrie

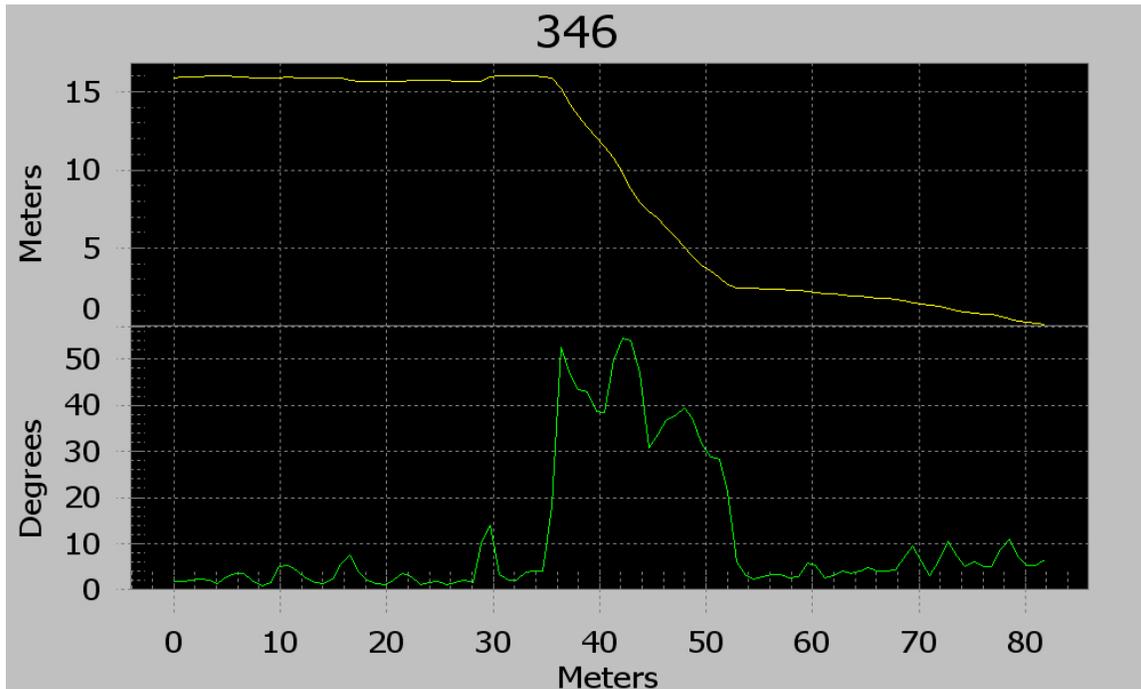


Figure 71: Profil au 346 Labrie

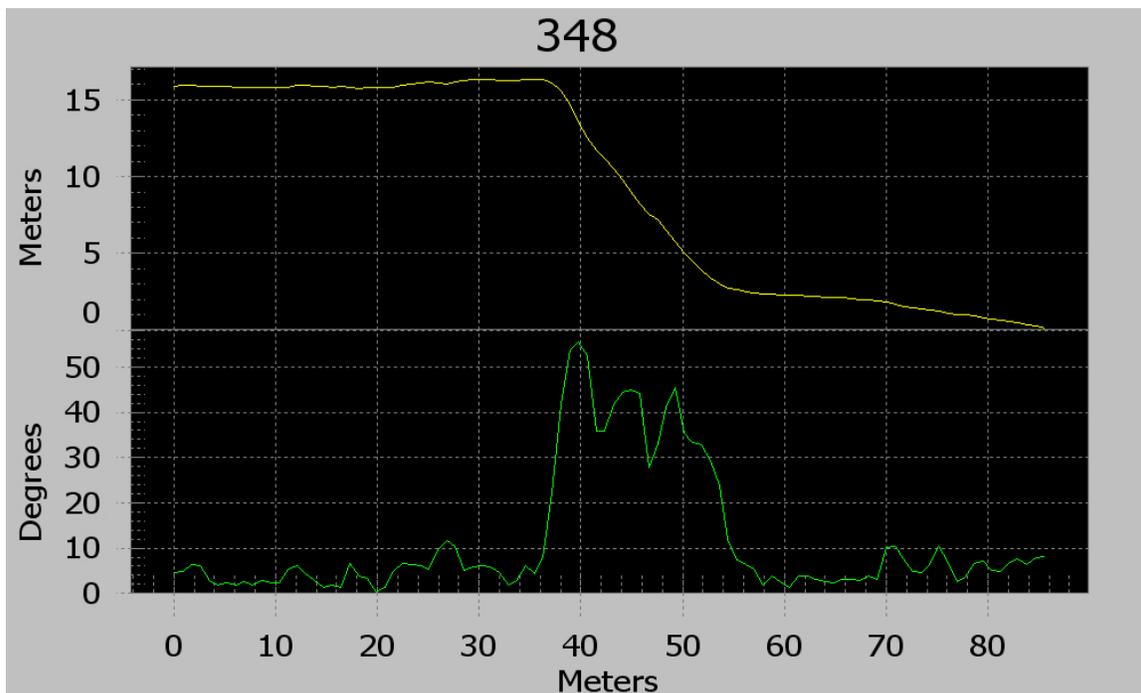


Figure 72: Profil au 348 Labrie

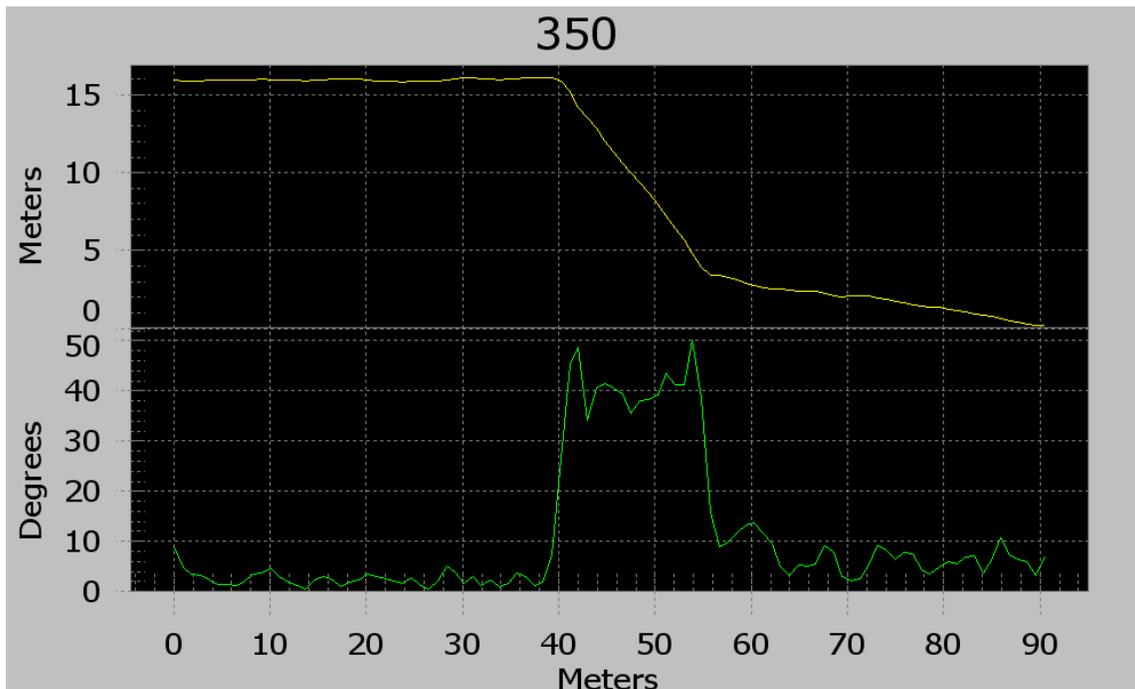


Figure 73: Profil au 350 Labrie

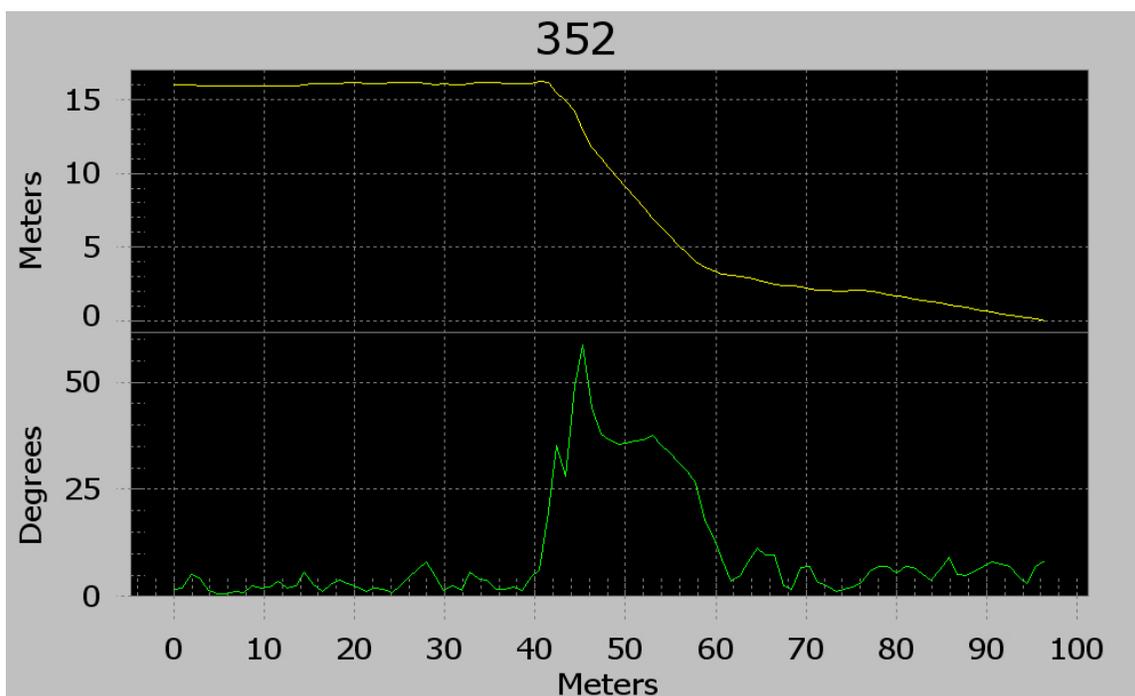


Figure 74: Profil au 352 Labrie

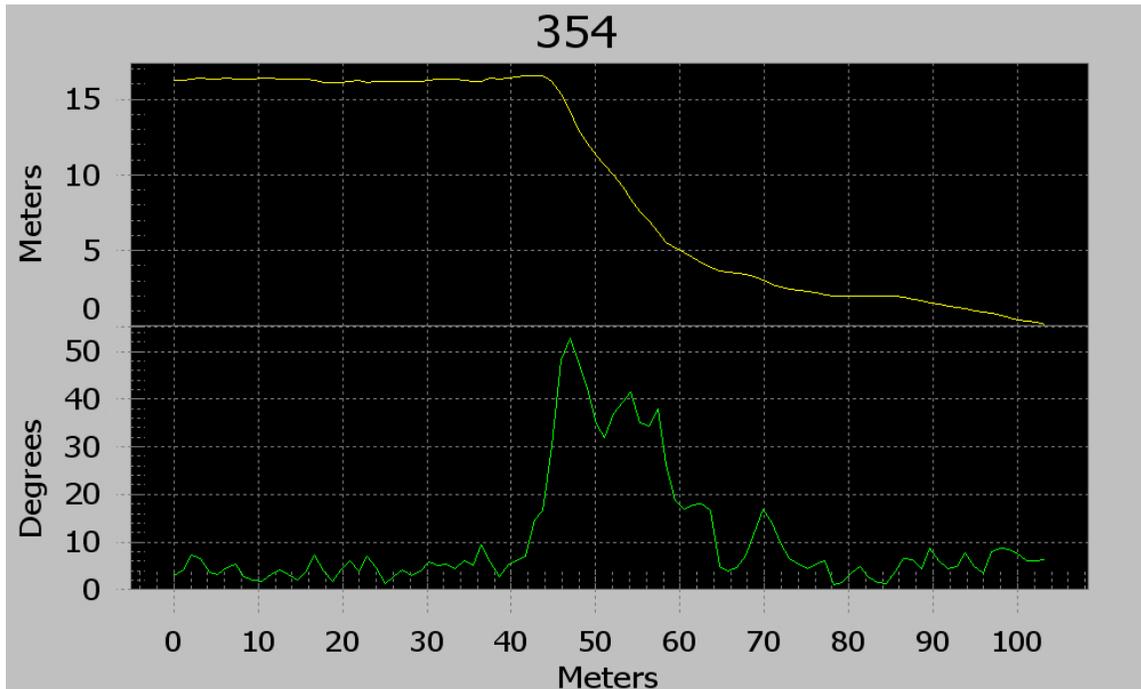


Figure 75: Profil au 354 Labrie

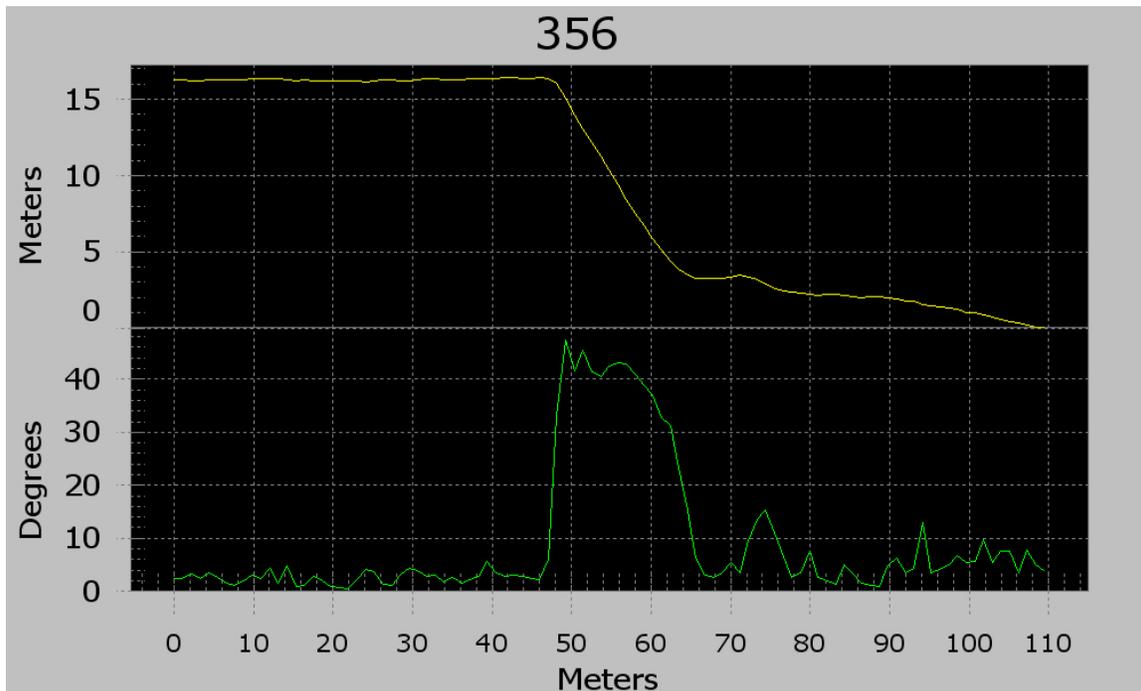


Figure 76: Profil au 356 Labrie

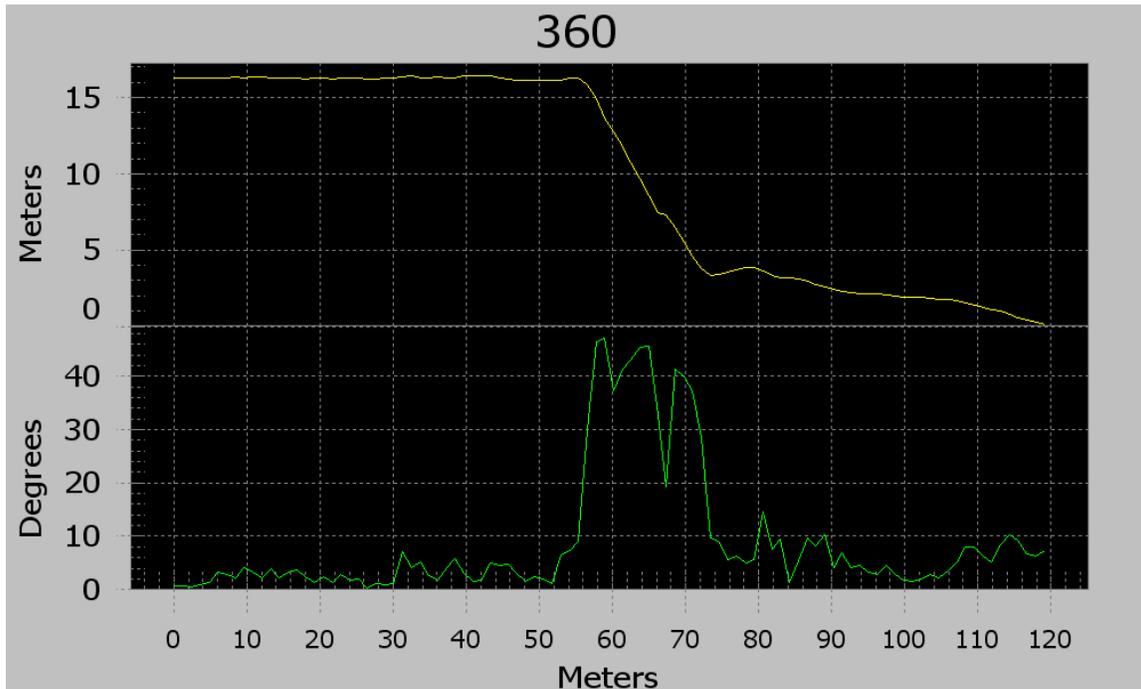


Figure 77: Profil au 360 Labrie



Figure 78: Profil au 364 Labrie

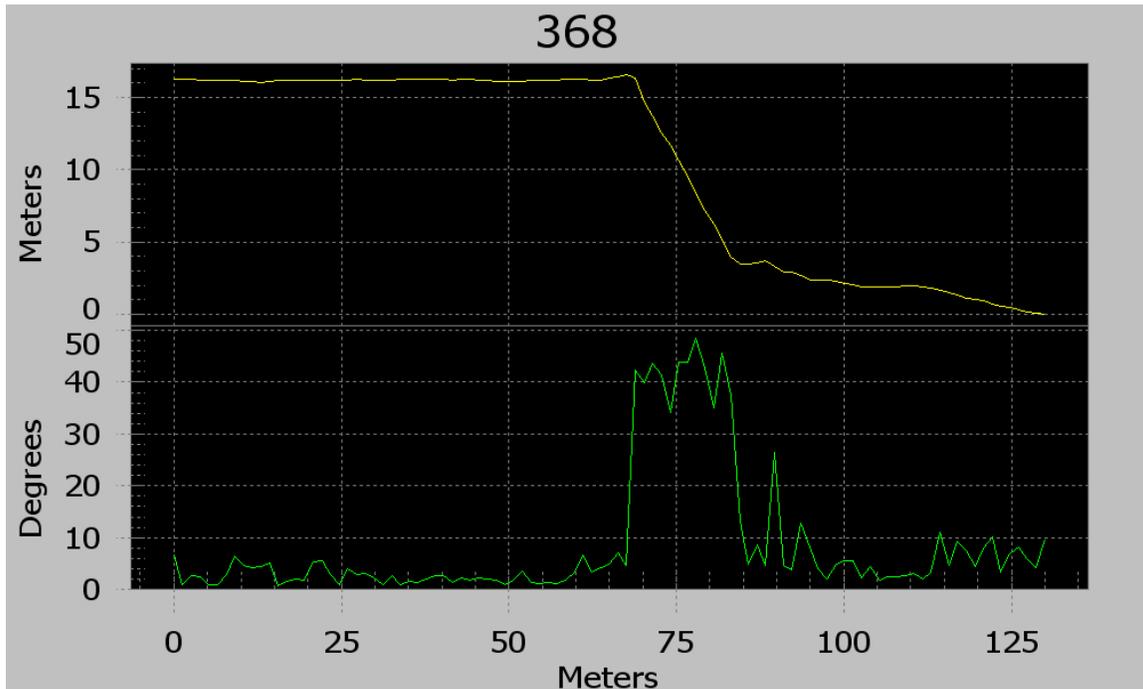


Figure 79: Profil au 368 Labrie

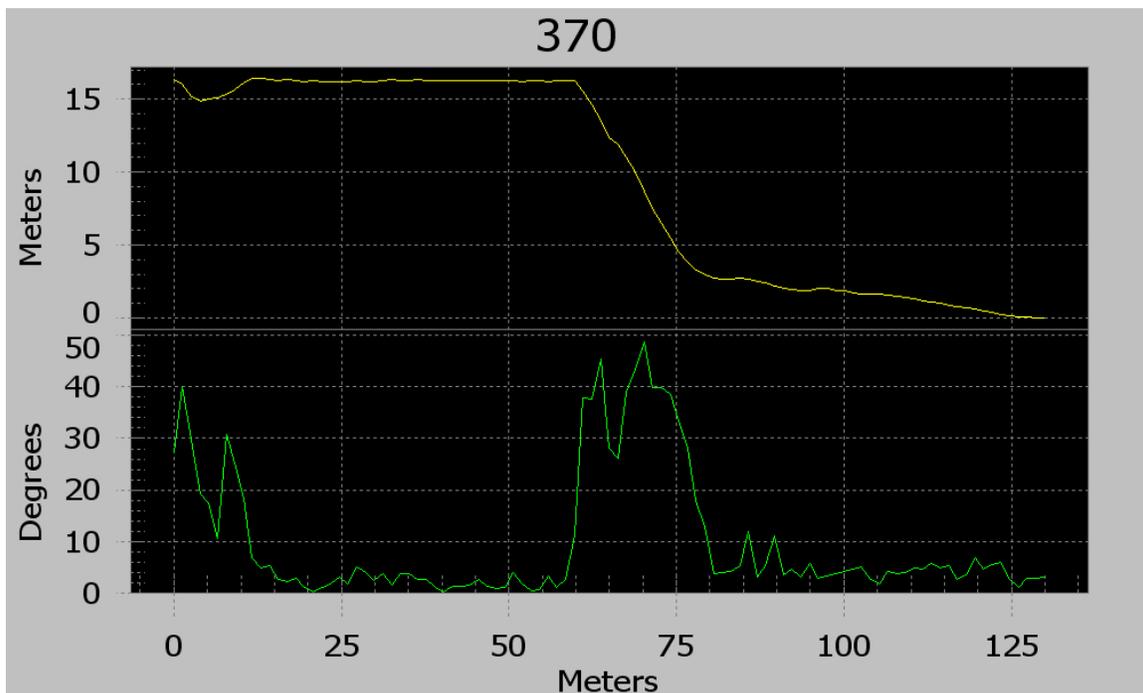


Figure 80: Profil au 370 Labrie

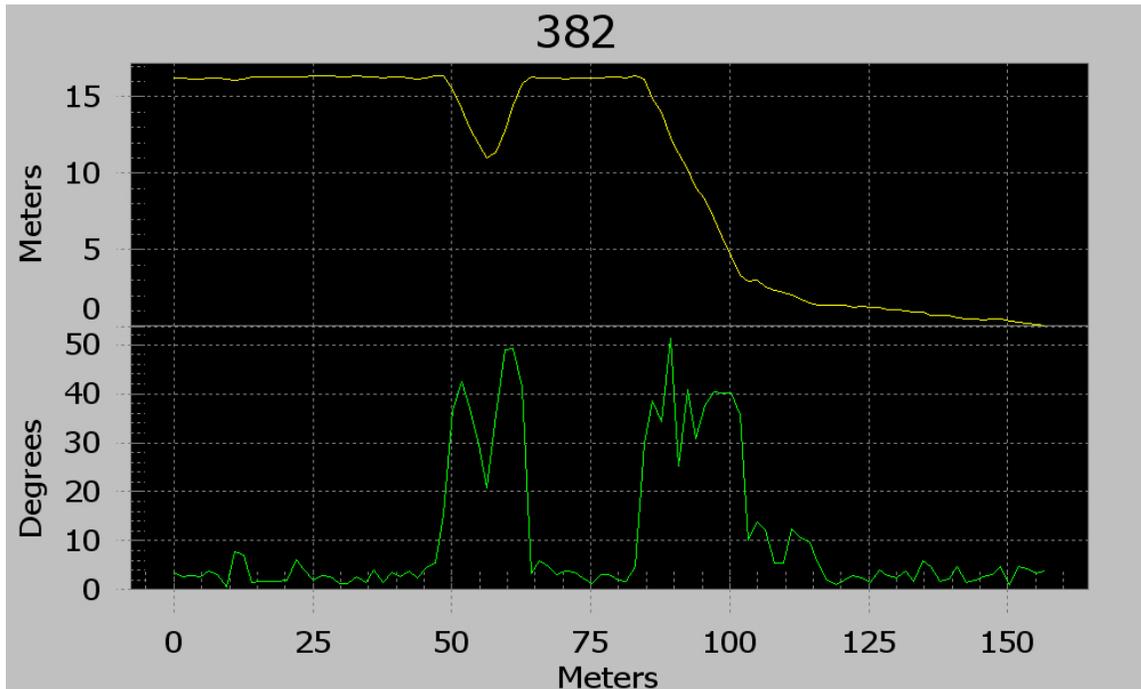


Figure 81: Profil au 382 Labrie

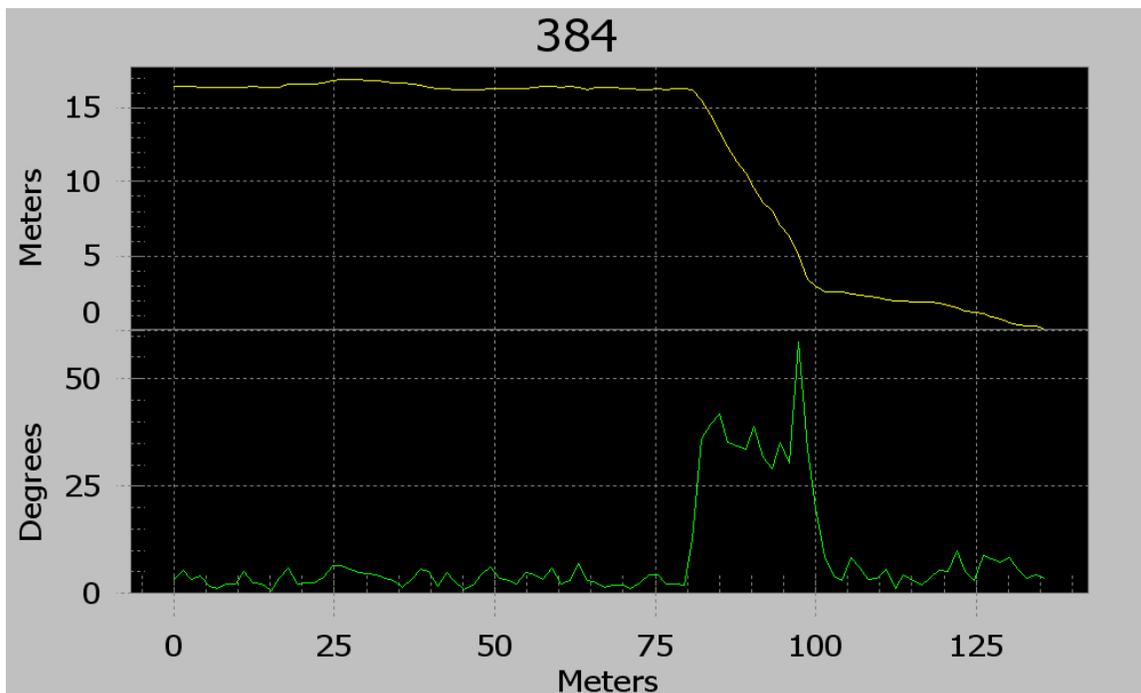


Figure 82: Profil au 384 Labrie

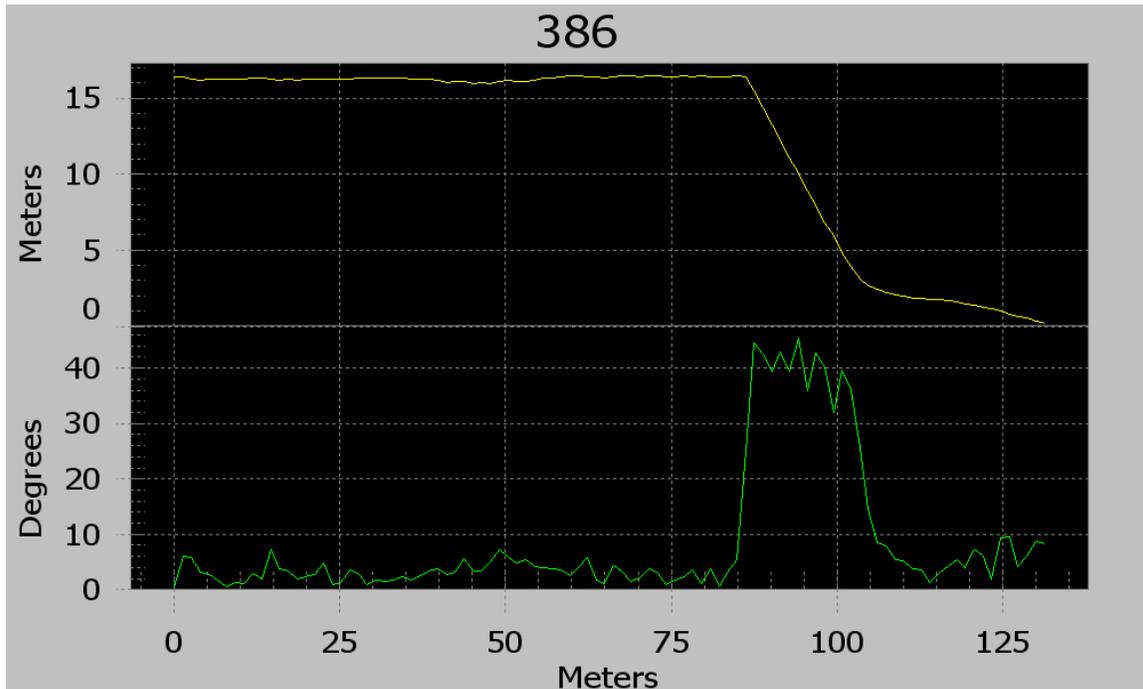


Figure 83: Profil au 386 Labrie

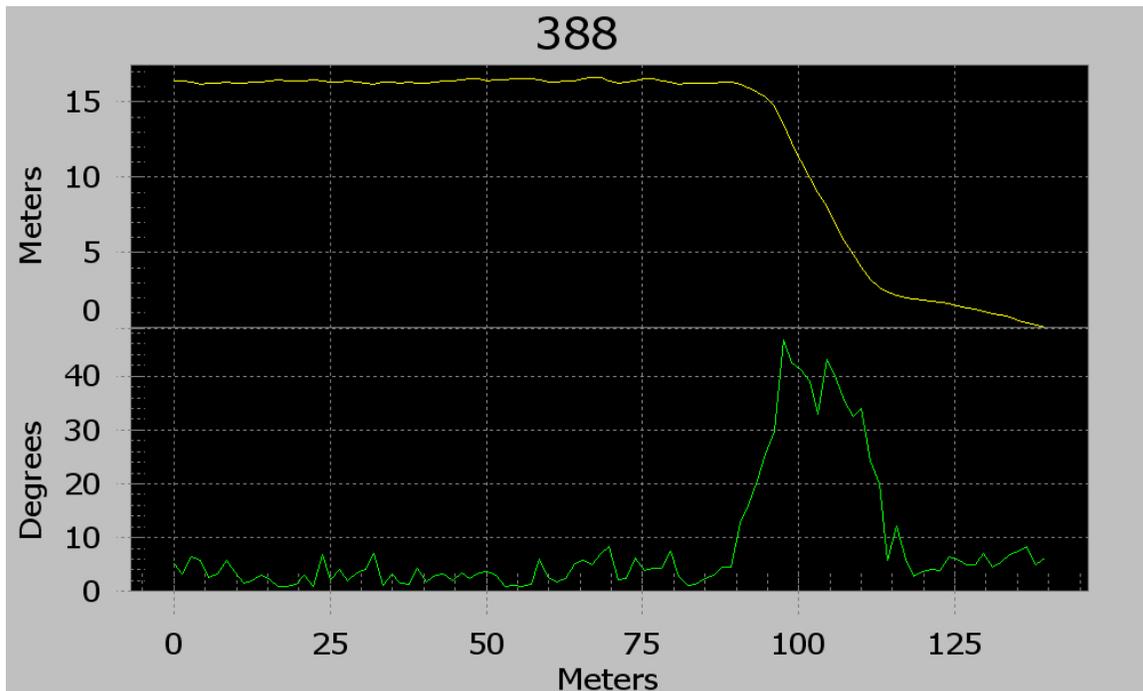


Figure 84: Profil au 388 Labrie

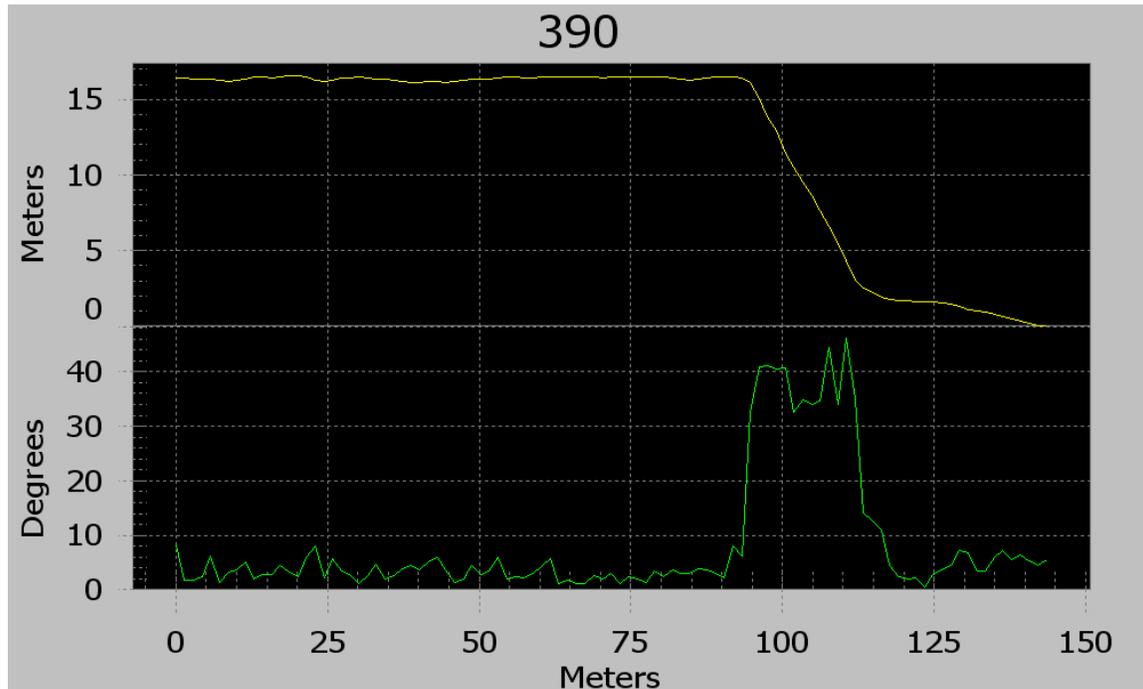


Figure 85: Profil au 390 Labrie

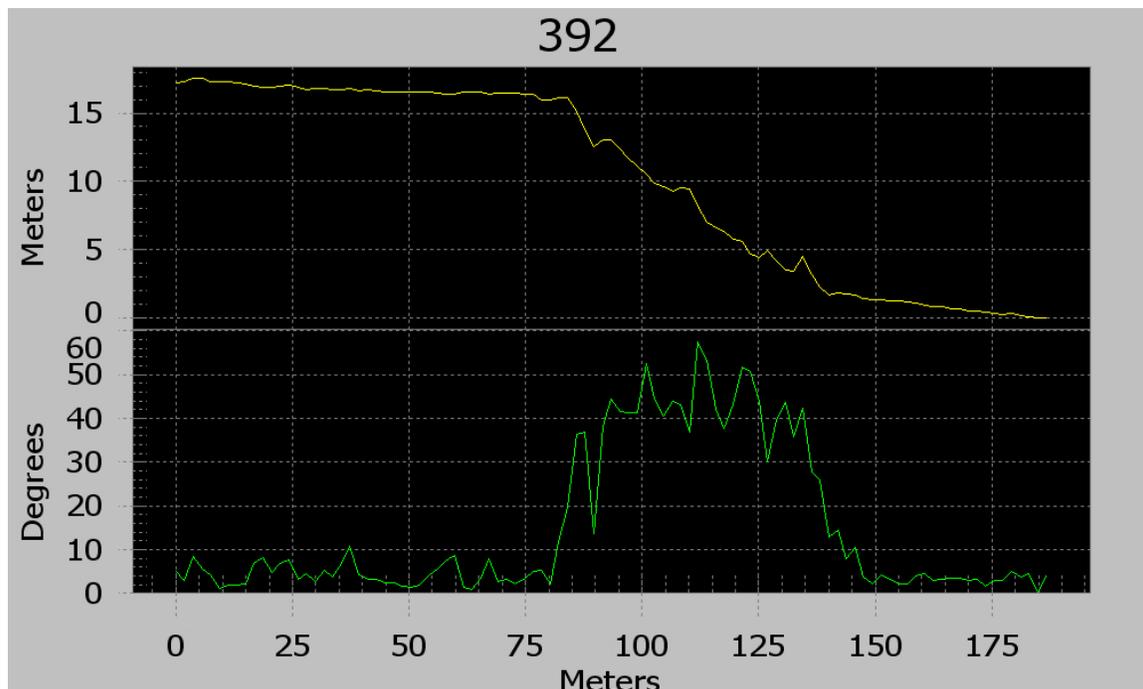


Figure 86: Profil au 392 Labrie



Annexe D : Analyses du signal de marée

Les résultats de cette annexe sont produits sur le CD-ROM qui accompagne ce rapport



Annexe D

Analyses du signal de la marée et des niveaux d'eau

TABLE DES MATIÈRES DE CETTE ANNEXE

| | | |
|---|---|----|
| 1 | ANALYSE DU SIGNAL DE MARÉE – BAIE-COMEAU | 3 |
| 2 | SIGNAL DE LA MARÉE – POINTE-AU-PÈRE ET RIMOUSKI | 14 |
| 3 | VALEURS COMPAREES DE BAIE-COMEAU ET RIMOUSKI | 23 |
| 4 | STATISTIQUES SUR LES NIVEAUX ANNUELS EXTREMES DE LA MAREE | 25 |

LISTE DES FIGURES DE CETTE ANNEXE

| | |
|--|----|
| Figure 1: Signal de marée et variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période complète | 4 |
| Figure 2: Courbe de distribution du niveau d'eau pour Baie-Comeau..... | 5 |
| Figure 3 : Signal de marée et variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période 1969 à 1971 | 6 |
| Figure 4: Signal de marée et variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période 1973 à 1981 | 7 |
| Figure 5 : Signal de marée et variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période 1982 à 1991 | 8 |
| Figure 6 : Variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période complète..... | 9 |
| Figure 7 : Signal de marée et variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période complète | 15 |
| Figure 8 : Courbe de distribution du niveau d'eau pour Rimouski – Période complète | 16 |
| Figure 9 : Variation du niveau moyen filtré à Rimouski – Période de 1964 à 2006 | 17 |
| Figure 10: Courbe de distribution du niveau d'eau pour Rimouski – Période 1964 à 2006 | 18 |
| Figure 11 : Signal enregistré à Baie-Comeau..... | 25 |
| Figure 12 : Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Baie-Comeau selon la loi Log-Pearson III | 26 |
| Figure 13 : Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Baie-Comeau selon la loi Log-Normal à 2 paramètres | 27 |
| Figure 14: Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Baie-Comeau selon la loi Normale..... | 28 |



| | |
|--|----|
| Figure 15: Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Baie-Comeau selon la loi de Weibull | 29 |
| Figure 16: Signal enregistré à Pointe au Père et Rimouski. | 30 |
| Figure 17 Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Rimouski selon la loi Log-Pearson III | 31 |
| Figure 18: Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Rimouski selon la loi Log-Normal à 2 paramètres | 32 |
| Figure 19 : Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Rimouski selon la loi de Weibull..... | 33 |

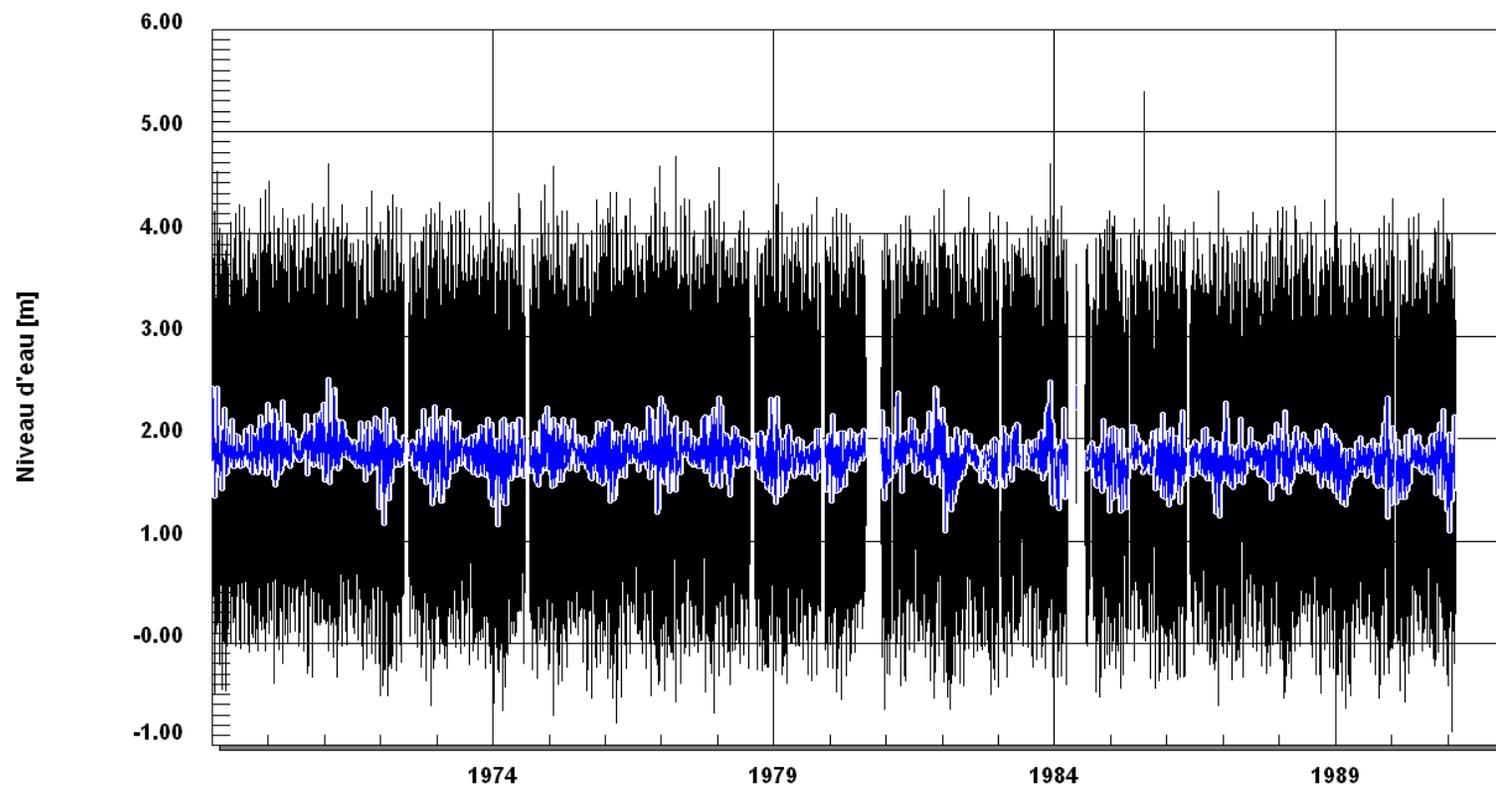
LISTE DES TABLEAUX DE CETTE ANNEXE

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Résultats de l'analyse harmonique pour la station de Baie-Comeau..... | 10 |
| Tableau 2 : Résultats du traitement statistique d'une époque pour Baie-Comeau – Définitions américaines | 12 |
| Tableau 3: Principaux <i>datums</i> canadiens | 13 |
| Tableau 4 : Résultats de l'analyse harmonique pour la station de Rimouski | 19 |
| Tableau 5 : Résultats du traitement statistique d'une époque pour Rimouski..... | 21 |
| Tableau 6: Principaux <i>datums</i> canadiens | 22 |
| Tableau 7 : Niveau géodésique de référence en m. des marées (Définitions américaines)..... | 23 |
| Tableau 8 : Niveaux géodésiques de référence des marées (Définitions canadiennes)..... | 23 |



1 Analyse du signal de marée – Baie-Comeau

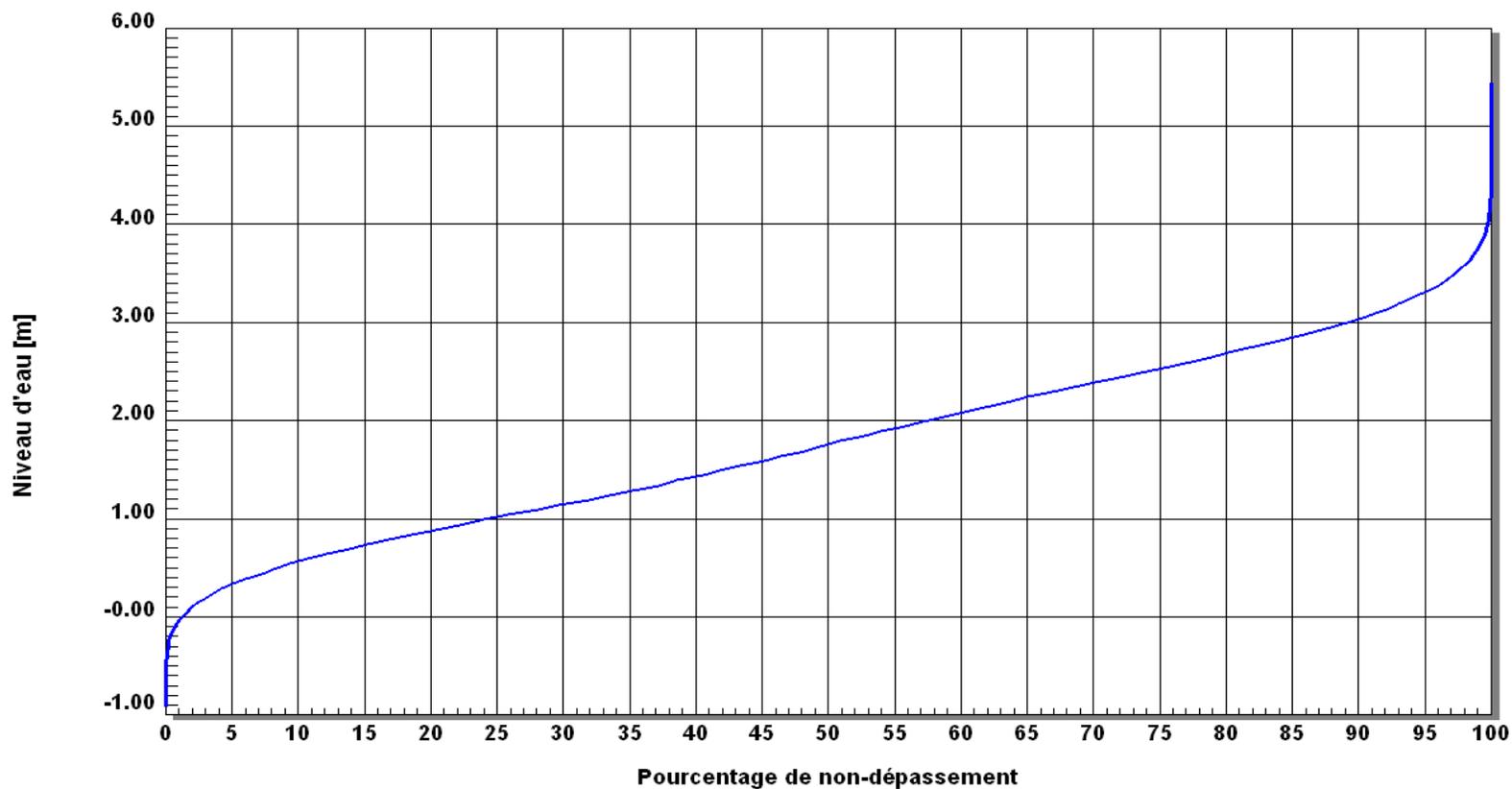
Remarque : ans les figures qui suivent, le signal marégraphique est tracé en noir. Le niveau moyen filtré (signal de marée éliminé) est tracé en bleu.



Baie-Comeau
Fichier 2840-1969_1991_slev.502

Répertoire : C:\d\cder\10136_100_Poit\Au\Oubré\Lot\Marée Baie-Comeau
2007-09-04 10:00

Figure 1: Signal de marée et variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période complète



Baie-Comeau
Fichier 2840-1969_1991_slev.502

Répertoire : C:\dtd\der\010100_100_Poin\Au\Ouhde\010103\Baie-Comeau
2007-09-04 10:57

Figure 2: Courbe de distribution du niveau d'eau pour Baie-Comeau

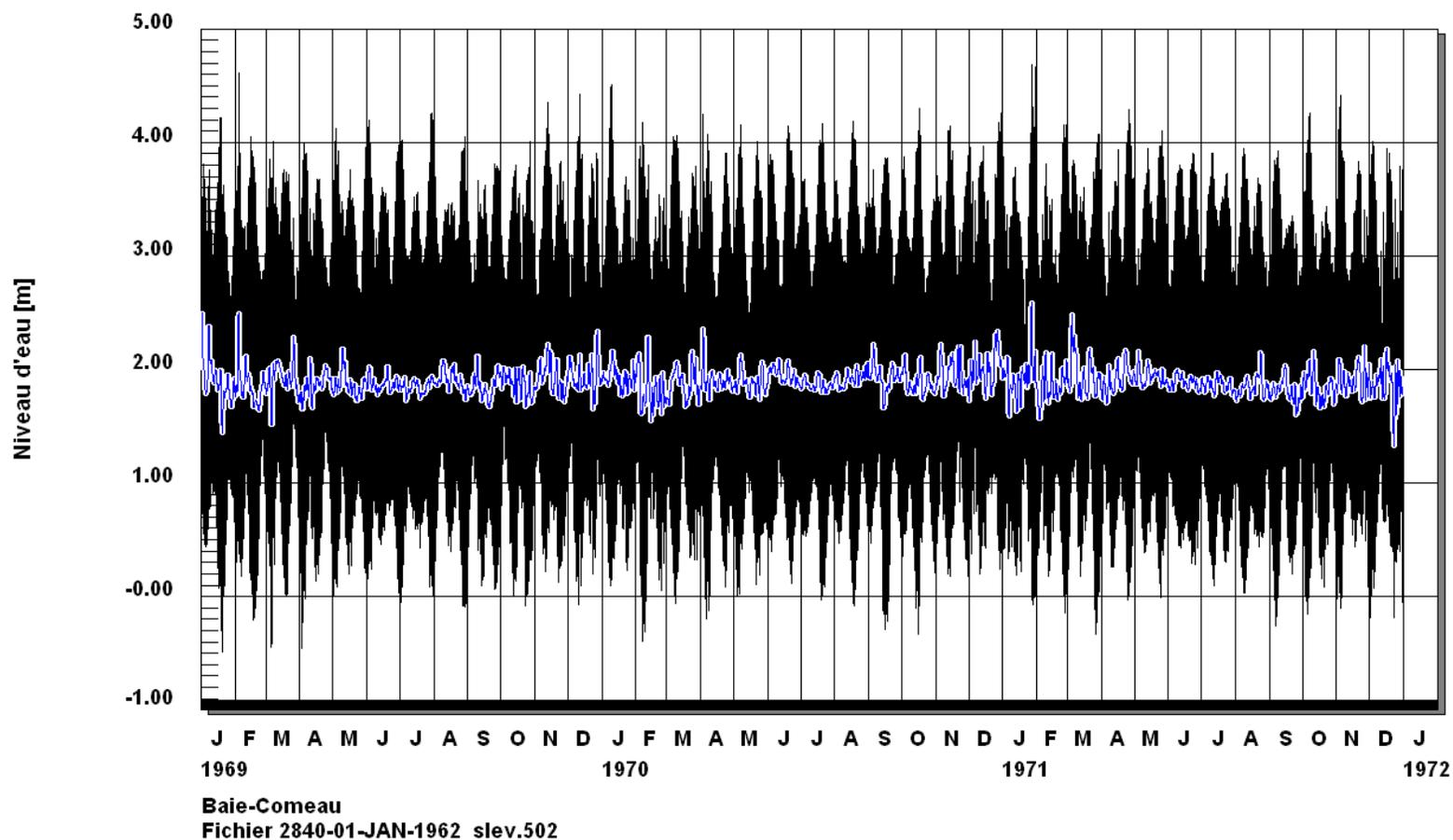
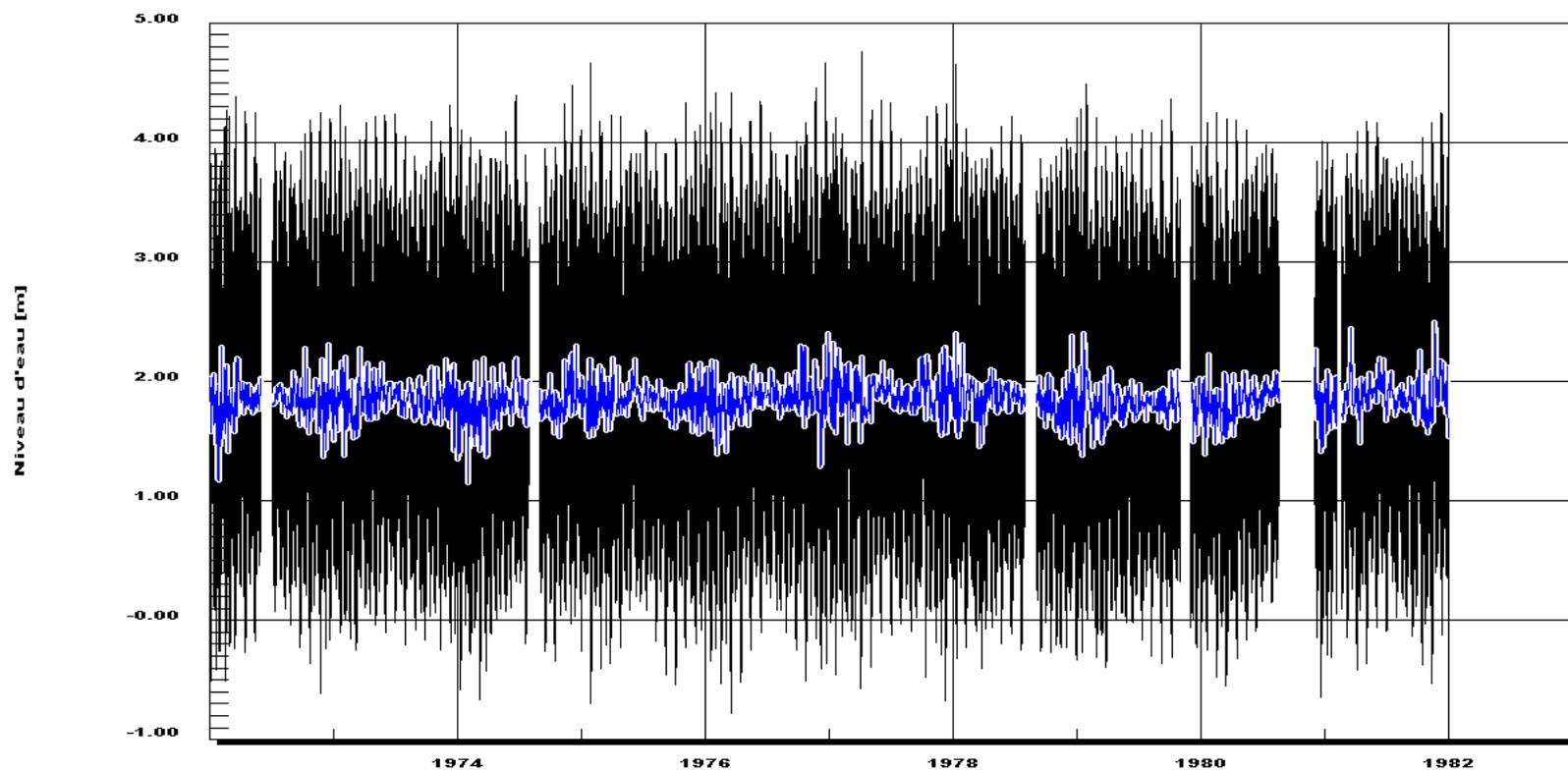


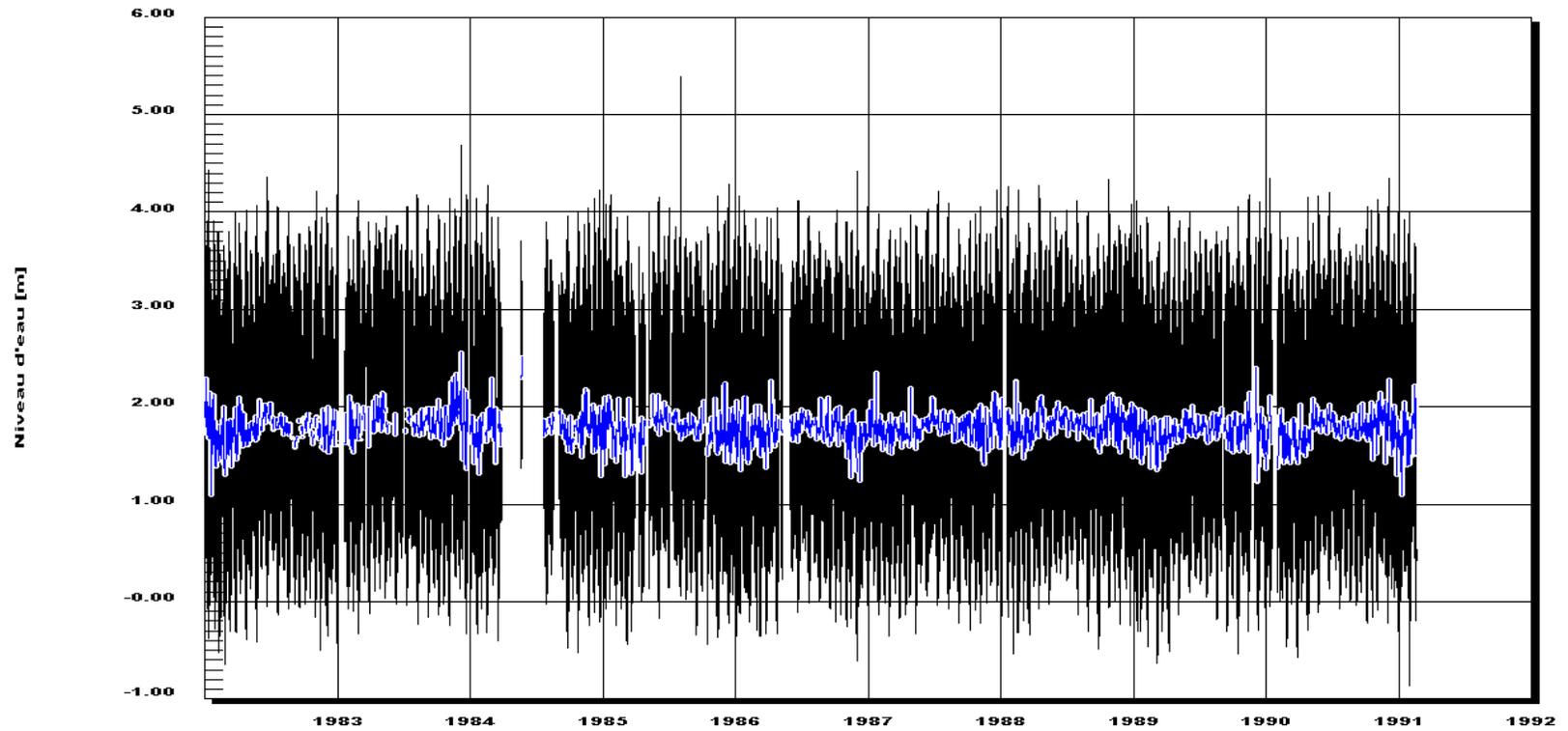
Figure 3 : Signal de marée et variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période 1969 à 1971



Baie-Comeau
Fichier 2840-01-jan-1972_slev.502

Répertoire : D:\do cder\o10 196_100_Points Au i Oubride oLo t\Marée Baie Comeau
2007-09-04 16:29

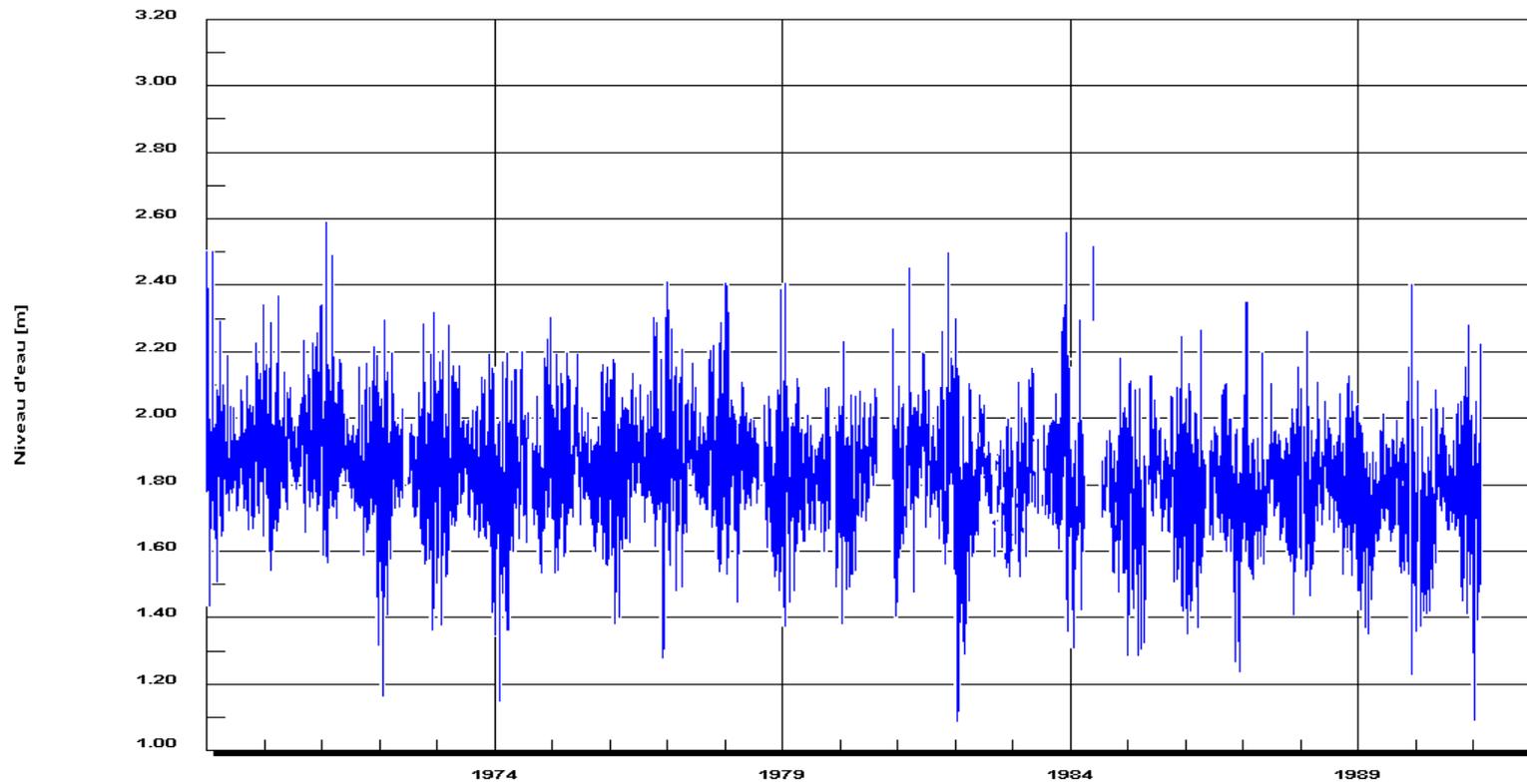
Figure 4: Signal de marée et variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période 1973 à 1981



Baie-Comeau
Fichier 2840-01-JAN-1982_slev.502

Répertoire : C:\do cder\ci10186_100_Points\Au\Outarde\ci10186\Baie-Comeau
2007-09-04 10:31

Figure 5 : Signal de marée et variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période 1982 à 1991



Baie-Comeau
Fichier 2840-1969_1991_slev_Corrige.502

Figure 6 : Variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période complète



Tableau 1 : Résultats de l'analyse harmonique pour la station de Baie-Comeau

```
# =====
# Analyse de la marée
# =====
# Fichier analysé :
# * D:\dossiers\10136_100_PointeAuxOutardes\Lots\MareeBaieComeau\2840-1969_1991_slev.502
# Ce fichier d'analyse :
# * D:\dossiers\10136_100_PointeAuxOutardes\Lots\MareeBaieComeau\2840-1969_1991_slev.tid0
# Date d'analyse : 2007-09-04 17:06
# Date de début d'enregistrement: 1969-01-01 01:00
# Date de mi-enregistrement: 1980-01-26 07:00
# Date de fin d'enregistrement: 1991-02-19 12:00
# =====
# Table des constituantes retenues pour l'analyse
# =====
```

| # | Ind | Iden | Freq | Inf | Final Ampli Phase | Moindres carrés Ampli Phase |
|---|-------|----------|------------|-----|----------------------|--------------------------------|
| # | # | | cycle/hour | | [m] [deg] | [m] [deg] |
| # | [1] | 000 ZO | 0.00000000 | | 1.8261 0.00 | 1.8261 0.00 |
| | [2] | 001 SA | 0.00011407 | | 0.0271 192.08 | 0.0271 169.93 |
| | [3] | 002 SSA | 0.00022816 | | 0.0291 148.30 | 0.0291 258.80 |
| | [4] | 003 MSM | 0.00130978 | | 0.0044 70.37 | 0.0044 276.14 |
| | [5] | 004 MM | 0.00151215 | | 0.0056 178.56 | 0.0056 119.46 |
| | [6] | 005 MSF | 0.00282193 | | 0.0048 211.31 | 0.0048 358.00 |
| | [7] | 006 MF | 0.00305009 | | 0.0098 247.86 | 0.0098 145.05 |
| | [8] | 007 ALP1 | 0.03439656 | | 0.0024 125.93 | 0.0020 172.79 |
| | [9] | 008 2Q1 | 0.03570635 | | 0.0029 163.72 | 0.0024 55.46 |
| | [10] | 009 SIG1 | 0.03590872 | | 0.0028 152.40 | 0.0023 141.26 |
| | [11] | 010 Q1 | 0.03721850 | | 0.0462 158.29 | 0.0383 352.27 |
| | [12] | 011 RHO1 | 0.03742087 | | 0.0074 184.54 | 0.0057 112.87 |
| | [13] | 012 O1 | 0.03873065 | | 0.2552 188.83 | 0.2129 324.84 |
| | [14] | 013 TAU1 | 0.03895881 | | 0.0019 147.37 | 0.0024 218.44 |
| | [15] | 014 BET1 | 0.04004043 | | 0.0052 239.26 | 0.0042 40.20 |
| | [16] | 015 NO1 | 0.04026859 | | 0.0104 184.97 | 0.0123 116.39 |
| | [17] | 016 CHI1 | 0.04047096 | | 0.0022 207.93 | 0.0018 230.69 |
| | [18] | 017 PI1 | 0.04143851 | | 0.0023 180.78 | 0.0023 132.90 |
| | [19] | 018 P1 | 0.04155258 | | 0.0711 195.79 | 0.0717 125.83 |
| | [20] | 019 S1 | 0.04166667 | | 0.0090 96.71 | 0.0065 326.03 |
| | [21] | 020 K1 | 0.04178074 | | 0.2508 194.93 | 0.2260 60.27 |
| | [22] | 021 PSI1 | 0.04189482 | | 0.0063 265.61 | 0.0062 104.25 |
| | [23] | 022 PHI1 | 0.04200890 | | 0.0071 211.69 | 0.0074 181.87 |
| | [24] | 023 THE1 | 0.04309052 | | 0.0017 213.76 | 0.0014 287.96 |
| | [25] | 024 J1 | 0.04329289 | | 0.0179 187.96 | 0.0150 0.26 |
| | [26] | 026 SO1 | 0.04460267 | | 0.0019 204.67 | 0.0016 218.61 |
| | [27] | 027 OO1 | 0.04483083 | | 0.0143 185.48 | 0.0096 320.74 |
| | [28] | 028 UPS1 | 0.04634299 | | 0.0050 208.52 | 0.0029 285.66 |
| | [29] | 033 OQ2 | 0.07597494 | | 0.0033 6.03 | 0.0034 176.25 |
| | [30] | 034 EPS2 | 0.07617731 | | 0.0091 339.54 | 0.0092 252.65 |
| | [31] | 038 2N2 | 0.07748709 | | 0.0301 13.82 | 0.0303 129.81 |
| | [32] | 039 MU2 | 0.07768946 | | 0.0442 4.68 | 0.0455 221.39 |
| | [33] | 041 N2 | 0.07899924 | | 0.2304 24.62 | 0.2373 87.96 |
| | [34] | 042 NU2 | 0.07920161 | | 0.0449 28.92 | 0.0466 187.93 |
| | [35] | 045 GAM2 | 0.08030902 | | 0.0199 17.95 | 0.0224 109.06 |
| | [36] | 046 H1 | 0.08039732 | | 0.0145 179.67 | 0.0145 28.15 |
| | [37] | 047 M2 | 0.08051139 | | 1.0916 47.69 | 1.1277 52.18 |
| | [38] | 048 H2 | 0.08062547 | | 0.0044 264.03 | 0.0044 245.79 |
| | [39] | 049 MKS2 | 0.08073955 | | 0.0113 36.59 | 0.0091 161.16 |
| | [40] | 052 LDA2 | 0.08182117 | | 0.0052 75.15 | 0.0054 105.46 |
| | [41] | 053 L2 | 0.08202354 | | 0.0203 81.88 | 0.0180 201.71 |
| | [42] | 055 T2 | 0.08321925 | | 0.0315 68.36 | 0.0315 240.51 |
| | [43] | 056 S2 | 0.08333332 | | 0.3584 84.87 | 0.3577 234.83 |
| | [44] | 057 R2 | 0.08344740 | | 0.0046 88.23 | 0.0057 30.57 |
| | [45] | 058 K2 | 0.08356148 | | 0.1403 70.71 | 0.1093 340.74 |
| | [46] | 059 MNS2 | 0.08484549 | | 0.0044 157.24 | 0.0044 157.24 |
| | [47] | 060 ETA2 | 0.08507363 | | 0.0094 79.60 | 0.0063 303.22 |
| | [48] | 067 MO3 | 0.11924204 | | 0.0084 119.08 | 0.0073 259.58 |
| | [49] | 068 M3 | 0.12076709 | | 0.0024 335.85 | 0.0025 162.33 |
| | [50] | 070 SO3 | 0.12206397 | | 0.0039 171.64 | 0.0032 97.60 |
| | [51] | 071 MK3 | 0.12229213 | | 0.0049 139.12 | 0.0046 8.94 |
| | [52] | 073 SK3 | 0.12511407 | | 0.0004 196.35 | 0.0003 211.63 |
| | [53] | 078 MN4 | 0.15951063 | | 0.0032 330.35 | 0.0034 38.18 |
| | [54] | 081 M4 | 0.16102278 | | 0.0048 60.81 | 0.0051 69.78 |



Annexe D : Analyses du signal de la marée et des niveaux d'eau

| | | | | | | | |
|-------|-----|------|------------|--------|--------|--------|--------|
| [55] | 083 | SN4 | 0.16233256 | 0.0006 | 257.66 | 0.0006 | 110.95 |
| [56] | 085 | MS4 | 0.16384471 | 0.0041 | 223.03 | 0.0042 | 17.47 |
| [57] | 086 | MK4 | 0.16407287 | 0.0027 | 216.74 | 0.0022 | 131.27 |
| [58] | 088 | S4 | 0.16666665 | 0.0015 | 11.78 | 0.0015 | 311.68 |
| [59] | 089 | SK4 | 0.16689481 | 0.0004 | 133.01 | 0.0003 | 193.00 |
| [60] | 095 | 2MK5 | 0.20280352 | 0.0015 | 12.81 | 0.0015 | 247.11 |
| [61] | 098 | 2SK5 | 0.20844739 | 0.0007 | 11.87 | 0.0006 | 177.11 |
| [62] | 102 | 2MN6 | 0.24002202 | 0.0018 | 103.48 | 0.0019 | 175.79 |
| [63] | 105 | M6 | 0.24153417 | 0.0028 | 130.08 | 0.0030 | 143.53 |
| [64] | 109 | 2MS6 | 0.24435611 | 0.0033 | 179.01 | 0.0035 | 337.93 |
| [65] | 110 | 2MK6 | 0.24458426 | 0.0010 | 114.06 | 0.0008 | 33.07 |
| [66] | 112 | 2SM6 | 0.24717804 | 0.0012 | 218.58 | 0.0012 | 162.96 |
| [67] | 113 | MSK6 | 0.24740620 | 0.0007 | 217.36 | 0.0005 | 281.83 |
| [68] | 119 | 3MK7 | 0.28331491 | 0.0004 | 224.15 | 0.0004 | 102.94 |
| [69] | 124 | M8 | 0.32204556 | 0.0008 | 217.97 | 0.0009 | 235.91 |



Tableau 2 : Résultats du traitement statistique d'une époque pour Baie-Comeau – Définitions américaines

```

* =====
* Epoch : Start : 1984      Duration: 19 years
* =====
* Station : 2840-1969_1991_slev
* =====
* U.S. Definitions
* =====

MHHW (Mean Higher High Water)      :    3.30
MHW (Mean High Water)              :    2.97
MSL (Mean Sea Level)               :    1.83
MLW (Mean Low Water)               :    0.67
MLLW (Mean Lower Low Water)        :    0.59
---Mean Level -----
DTL (Mean Tidal Level (MHHW+MLLW)/2) :    1.94
MTL (Mean Tidal Level (MHW+MLW)/2)  :    1.82
-- Ranges -----
Mn (MHW-MLW)                       :    2.31
DHQ (MHHW-MHW)                     :    0.32
DLQ (MLW-MLLW)                     :    0.08
Gt (MHHW-MLLW)                     :    2.70
* =====
Canadian datums from 19 years predictions
* =====
HW (Highest Water)                  :    4.12
HHWLT                               :    4.07
HHWMT                               :    3.30
MWL                                  :    1.83
LLWMT                               :    0.59
LLWLT                               :   -0.20
LW (Lowest Water)                   :   -0.29
* =====
Other Datums from 19 years predictions
* =====
MMHT (Mean Monthly High Tide)       :    3.93
MMLT (Mean Monthly Low Tide)        :   -0.01

```

Table 2 of Canadian Tide and Current Table (LUNITIDAL)

```

-----
Higher High Water Large Tide HHWLT   :    2.3
Higher High Water Mean Tide HHWMT   :    1.5
Mean Water Level                MWL   :    1.8

Lower Low Water Mean Tide LLWMT     :   -1.3
Lower Low Water Large Tide LLWLT    :   -1.8
Mean Tide Range                  MT    :    2.9
Large Tide Range                  LT    :    4.2
Extreme High Water                HW    :    4.1
Extreme Low Water                  LW    :   -0.3
-----

```

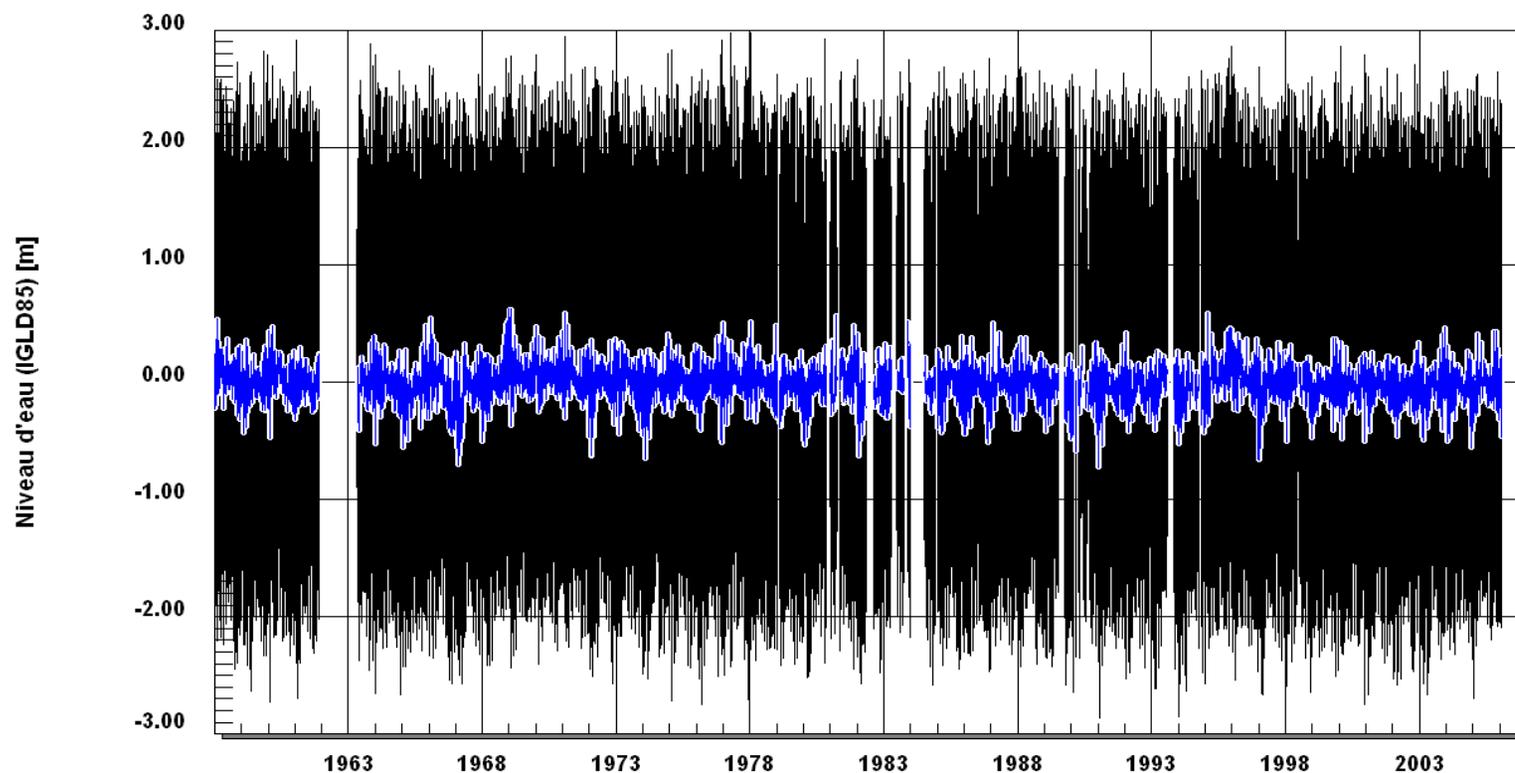


Tableau 3: Principaux *datums* canadiens

| Heights | | | | Evaluated Highest | Extremes Lowest | Mean Water Level |
|-----------------------------|------------|---------------------------|------------|-------------------|-----------------|------------------|
| Higher High Water Mean tide | Large tide | Lower Low Water Mean tide | Large tide | | | |
| m | m | m | m | m | m | m |
| 1.5 | 2.3 | -1.3 | -1.8 | 4.1 | -0.3 | 1.8 |

2 Signal de la marée – Pointe-au-Père et Rimouski

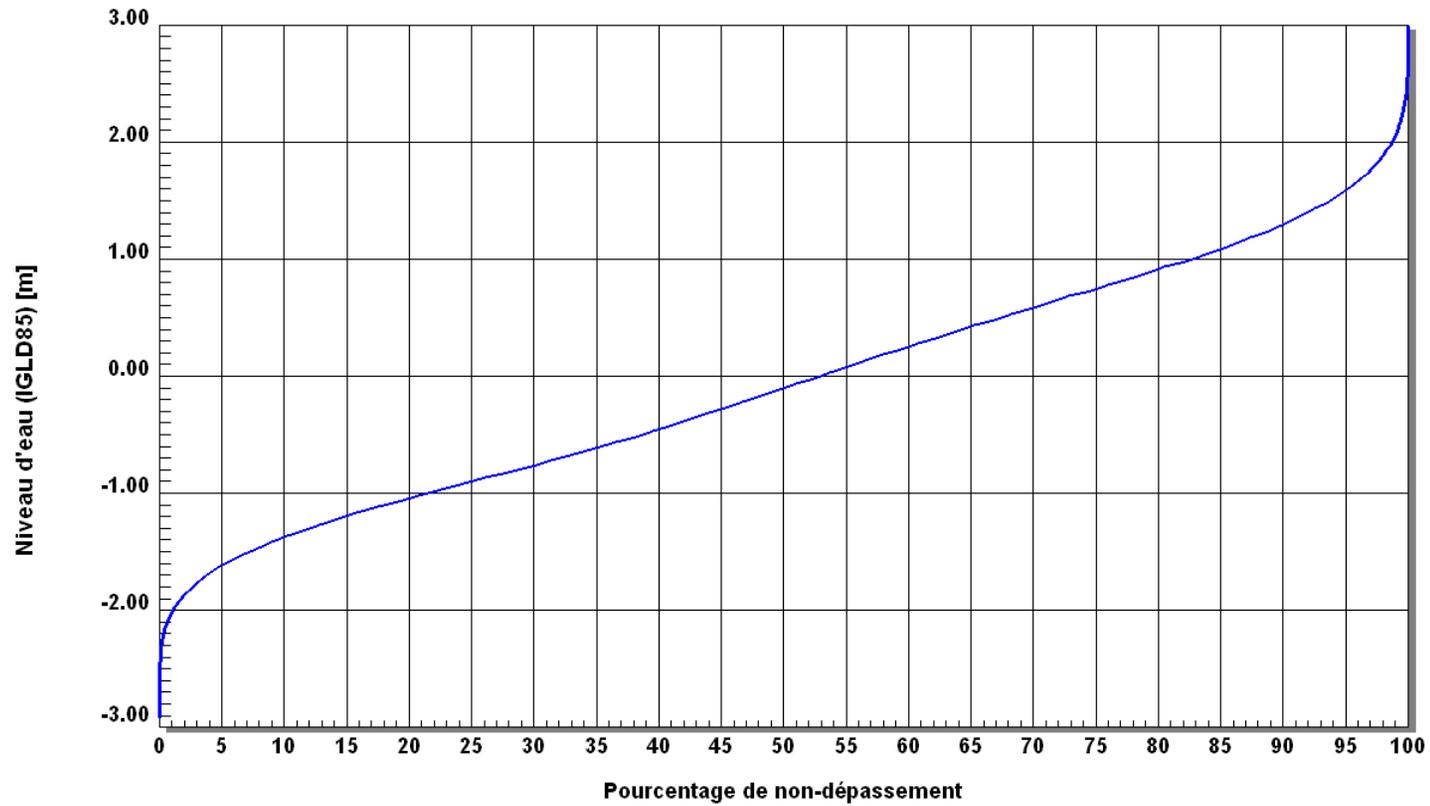
Dans les figures qui suivent, le signal marégraphique est tracé en noir. Le niveau moyen filtré (signal de marée éliminé) est tracé en bleu.



Pointe au Père et Rimouski, Env.Canada
Fichier PointeAuPereEtRimouski58_06.502

Répertoire : D:\60 c\der\10 136_100_PoiteAuPere\Outarde\Lo\Lo\Mare Rimouski
2007-09-04 10:47

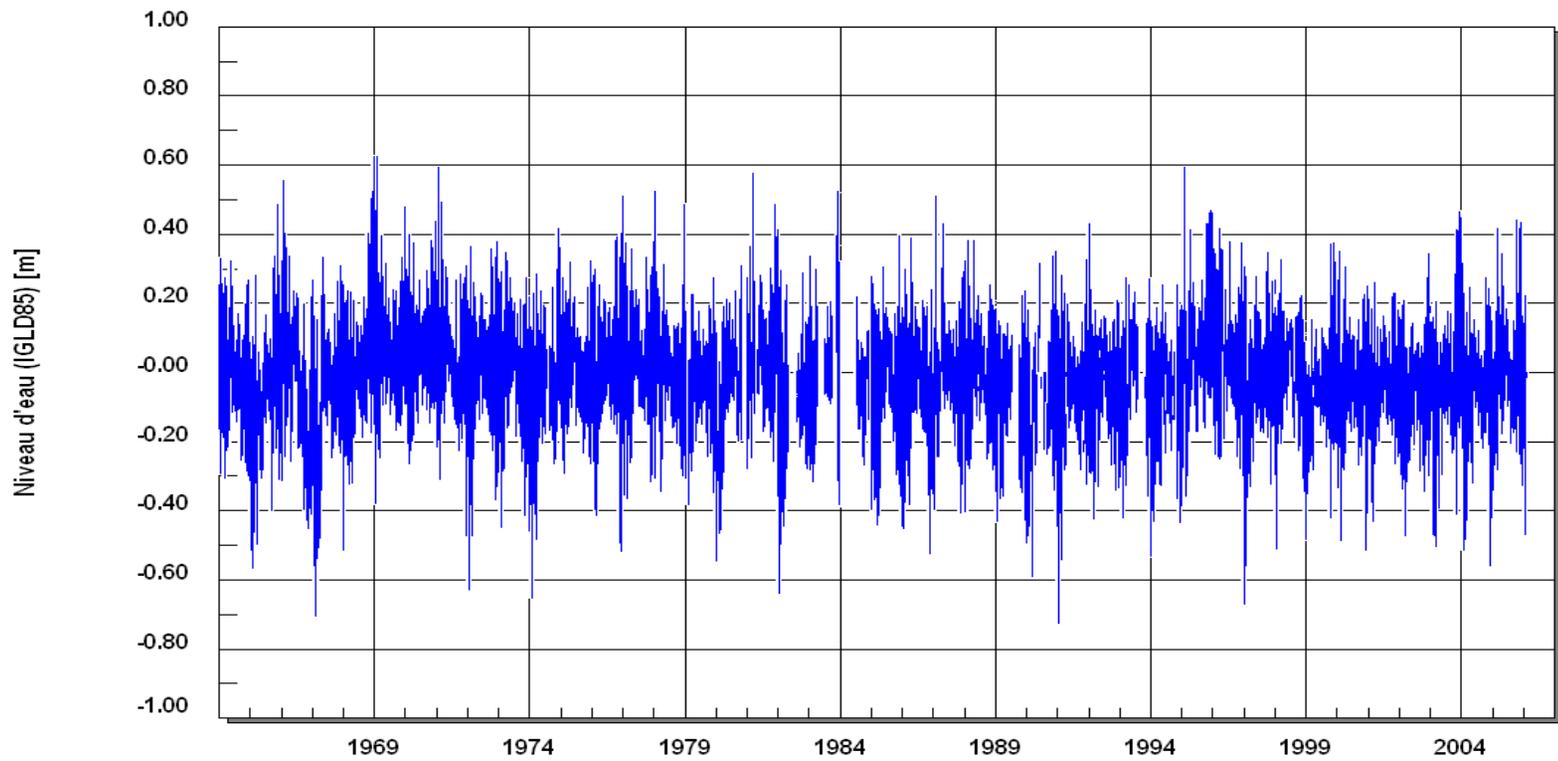
Figure 7 : Signal de marée et variation du niveau moyen filtré à Baie-Comeau – Période complète



Pointe au Père et Rimouski, Env.Canada
Fichier PointeAuPereEtRimouski58_06.502

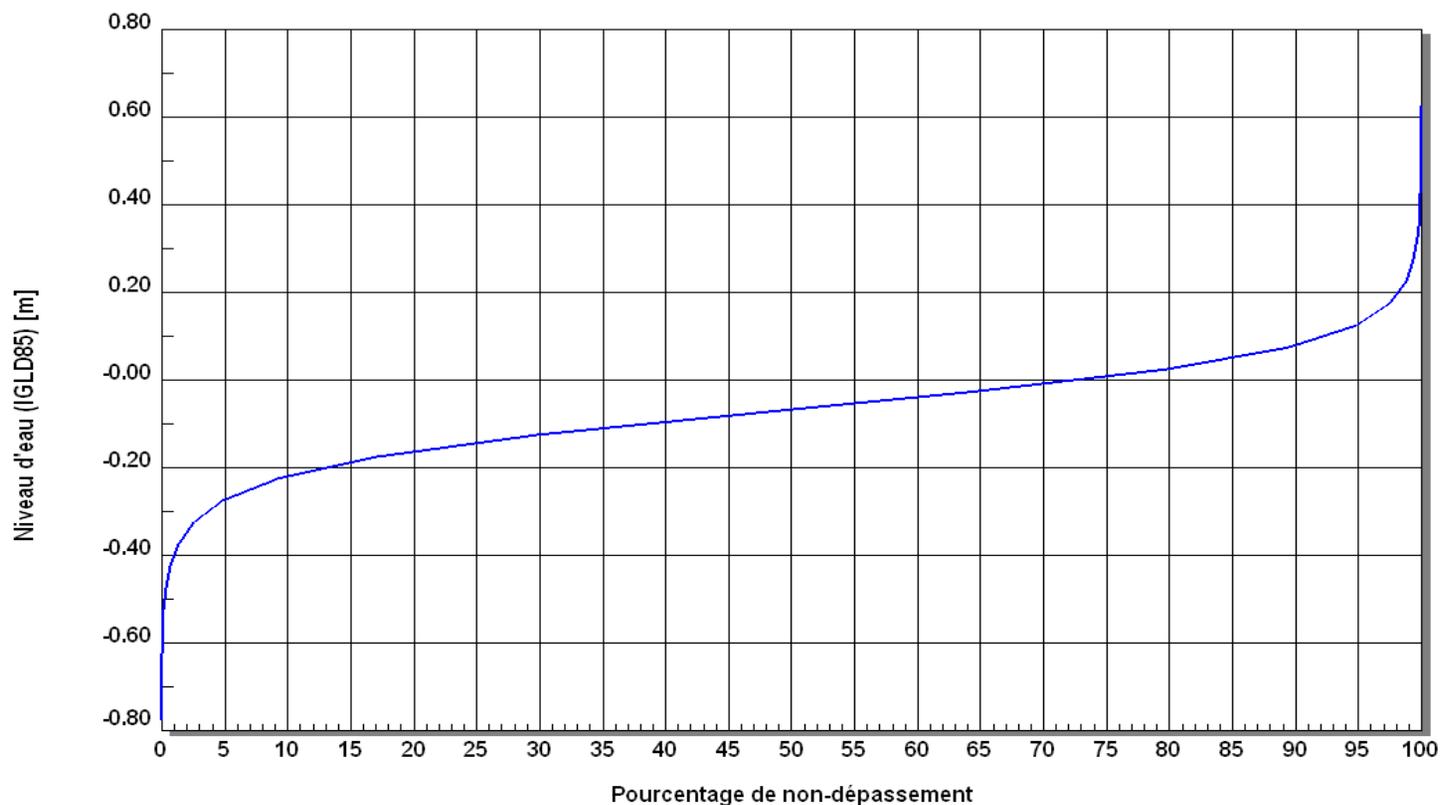
Fichier(s) : C:\160 cder\c10 134_100_PoiteAu\Oubinde c\Le fo\3tree Rimouski
2007-09-04 10:43

Figure 8 : Courbe de distribution du niveau d'eau pour Rimouski – Période complète



Pointe au Père et Rimouski, Env.Canada
Fichier PointeAuPereEtRimouski1964_2006.502

Figure 9 : Variation du niveau moyen filtré à Rimouski – Période de 1964 à 2006



Pointe au Père et Rimouski, Env.Canada
Fichier PointeAuPereEtRimouski1964_2006.502

Figure 10: Courbe de distribution du niveau d'eau pour Rimouski – Période 1964 à 2006

Tableau 4 : Résultats de l'analyse harmonique pour la station de Rimouski

```
# =====
#                               Analyse de la marée
#                               =====
# Fichier analysé :
# * D:\dossiers\10136_100_PointeAuxOutardes\Lots\MareeRimouski\PointeAuPereEtRimouski58_06.502
# Ce fichier d'analyse :
# * D:\dossiers\10136_100_PointeAuxOutardes\Lots\MareeRimouski\PointeAuPereEtRimouski58_06.tid0
# Date d'analyse : 2007-09-04 21:01
# Date de début d'enregistrement: 1958-01-01 00:00
# Date de mi-enregistrement: 1982-01-16 10:00
# Date de fin d'enregistrement: 2006-01-31 19:00
# =====
# Table des constituantes retenues pour l'analyse
# =====
```

| # | Ind | Iden | Freq | Inf | Final Ampli | Phase | Least Square Ampli | Square Phase |
|---|-------|------|------------|------------|----------------|--------|-----------------------|-----------------|
| # | | | cycle/hour | | [m] | [deg] | [m] | [deg] |
| # | [1] | 000 | ZO | 0.00000000 | -0.0151 | 0.00 | -0.0151 | 0.00 |
| | [2] | 001 | SA | 0.00011407 | 0.0225 | 173.56 | 0.0225 | 160.67 |
| | [3] | 002 | SSA | 0.00022816 | 0.0283 | 138.10 | 0.0283 | 267.05 |
| | [4] | 003 | MSM | 0.00130978 | 0.0021 | 78.66 | 0.0021 | 43.83 |
| | [5] | 004 | MM | 0.00151215 | 0.0115 | 259.34 | 0.0115 | 138.75 |
| | [6] | 005 | MSF | 0.00282193 | 0.0121 | 340.08 | 0.0121 | 184.66 |
| | [7] | 006 | MF | 0.00305009 | 0.0048 | 288.41 | 0.0048 | 261.94 |
| | [8] | 007 | ALP1 | 0.03439656 | 0.0007 | 143.18 | 0.0007 | 79.16 |
| | [9] | 008 | 2Q1 | 0.03570635 | 0.0018 | 169.52 | 0.0018 | 69.69 |
| | [10] | 009 | SIG1 | 0.03590872 | 0.0021 | 188.30 | 0.0020 | 4.15 |
| | [11] | 010 | Q1 | 0.03721850 | 0.0380 | 162.00 | 0.0368 | 302.35 |
| | [12] | 011 | RHO1 | 0.03742087 | 0.0073 | 159.37 | 0.0073 | 216.01 |
| | [13] | 012 | O1 | 0.03873065 | 0.2257 | 191.56 | 0.2144 | 211.89 |
| | [14] | 013 | TAU1 | 0.03895881 | 0.0019 | 114.37 | 0.0020 | 87.20 |
| | [15] | 014 | BET1 | 0.04004043 | 0.0030 | 262.66 | 0.0028 | 65.85 |
| | [16] | 015 | NO1 | 0.04026859 | 0.0198 | 156.14 | 0.0142 | 148.19 |
| | [17] | 016 | CHI1 | 0.04047096 | 0.0022 | 202.92 | 0.0021 | 76.07 |
| | [18] | 017 | PI1 | 0.04143851 | 0.0016 | 174.45 | 0.0016 | 63.27 |
| | [19] | 018 | P1 | 0.04155258 | 0.0742 | 197.78 | 0.0746 | 73.97 |
| | [20] | 019 | S1 | 0.04166667 | 0.0136 | 73.29 | 0.0097 | 256.42 |
| | [21] | 020 | K1 | 0.04178074 | 0.2405 | 194.43 | 0.2330 | 27.59 |
| | [22] | 021 | PSI1 | 0.04189482 | 0.0101 | 234.67 | 0.0100 | 47.27 |
| | [23] | 022 | PHI1 | 0.04200890 | 0.0052 | 213.96 | 0.0051 | 166.29 |
| | [24] | 023 | THE1 | 0.04309052 | 0.0018 | 176.15 | 0.0018 | 339.62 |
| | [25] | 024 | J1 | 0.04329289 | 0.0147 | 184.87 | 0.0151 | 263.79 |
| | [26] | 026 | SO1 | 0.04460267 | 0.0025 | 213.83 | 0.0024 | 253.38 |
| | [27] | 027 | OO1 | 0.04483083 | 0.0124 | 162.05 | 0.0093 | 6.60 |
| | [28] | 028 | UPS1 | 0.04634299 | 0.0024 | 175.42 | 0.0020 | 254.76 |
| | [29] | 033 | OQ2 | 0.07597494 | 0.0033 | 355.30 | 0.0040 | 211.29 |
| | [30] | 034 | EPS2 | 0.07617731 | 0.0098 | 347.14 | 0.0105 | 118.56 |
| | [31] | 038 | 2N2 | 0.07748709 | 0.0304 | 8.03 | 0.0342 | 103.78 |
| | [32] | 039 | MU2 | 0.07768946 | 0.0482 | 1.25 | 0.0498 | 13.54 |
| | [33] | 041 | N2 | 0.07899924 | 0.2587 | 28.03 | 0.2621 | 6.25 |
| | [34] | 042 | NU2 | 0.07920161 | 0.0469 | 25.67 | 0.0476 | 277.99 |
| | [35] | 045 | GAM2 | 0.08030902 | 0.0152 | 127.07 | 0.0167 | 241.62 |
| | [36] | 046 | H1 | 0.08039732 | 0.0282 | 79.38 | 0.0296 | 130.05 |
| | [37] | 047 | M2 | 0.08051139 | 1.2053 | 52.82 | 1.2233 | 270.26 |
| | [38] | 048 | H2 | 0.08062547 | 0.0332 | 31.69 | 0.0335 | 235.36 |
| | [39] | 049 | MKS2 | 0.08073955 | 0.0073 | 66.02 | 0.0067 | 69.60 |
| | [40] | 052 | LDA2 | 0.08182117 | 0.0092 | 123.02 | 0.0094 | 125.94 |
| | [41] | 053 | L2 | 0.08202354 | 0.0178 | 77.63 | 0.0204 | 3.82 |
| | [42] | 055 | T2 | 0.08321925 | 0.0216 | 63.62 | 0.0216 | 136.51 |
| | [43] | 056 | S2 | 0.08333332 | 0.3935 | 90.92 | 0.3932 | 150.80 |
| | [44] | 057 | R2 | 0.08344740 | 0.0088 | 271.96 | 0.0108 | 133.39 |
| | [45] | 058 | K2 | 0.08356148 | 0.1222 | 73.94 | 0.1105 | 279.96 |
| | [46] | 059 | MNS2 | 0.08484549 | 0.0044 | 16.14 | 0.0044 | 16.14 |
| | [47] | 060 | ETA2 | 0.08507363 | 0.0042 | 71.78 | 0.0043 | 169.19 |
| | [48] | 067 | MO3 | 0.11924204 | 0.0073 | 113.15 | 0.0071 | 350.92 |
| | [49] | 068 | M3 | 0.12076709 | 0.0023 | 344.19 | 0.0024 | 130.24 |
| | [50] | 070 | SO3 | 0.12206397 | 0.0027 | 173.84 | 0.0025 | 254.06 |
| | [51] | 071 | MK3 | 0.12229213 | 0.0048 | 131.12 | 0.0047 | 181.72 |
| | [52] | 073 | SK3 | 0.12511407 | 0.0004 | 10.02 | 0.0004 | 263.07 |
| | [53] | 078 | MN4 | 0.15951063 | 0.0054 | 16.42 | 0.0055 | 212.08 |
| | [54] | 081 | M4 | 0.16102278 | 0.0147 | 81.36 | 0.0151 | 156.25 |

Annexe D : Analyses du signal de la marée et des niveaux d'eau

| | | | | | | | |
|-------|-----|------|------------|--------|--------|--------|--------|
| [55] | 083 | SN4 | 0.16233256 | 0.0002 | 190.13 | 0.0002 | 228.23 |
| [56] | 085 | MS4 | 0.16384471 | 0.0051 | 188.51 | 0.0052 | 105.84 |
| [57] | 086 | MK4 | 0.16407287 | 0.0019 | 171.61 | 0.0018 | 235.07 |
| [58] | 088 | S4 | 0.16666665 | 0.0015 | 72.76 | 0.0015 | 192.52 |
| [59] | 089 | SK4 | 0.16689481 | 0.0010 | 147.56 | 0.0009 | 53.46 |
| [60] | 095 | 2MK5 | 0.20280352 | 0.0010 | 66.87 | 0.0010 | 334.92 |
| [61] | 098 | 2SK5 | 0.20844739 | 0.0001 | 162.61 | 0.0001 | 115.54 |
| [62] | 102 | 2MN6 | 0.24002202 | 0.0020 | 68.13 | 0.0021 | 121.23 |
| [63] | 105 | M6 | 0.24153417 | 0.0037 | 89.20 | 0.0039 | 21.53 |
| [64] | 109 | 2MS6 | 0.24435611 | 0.0045 | 139.82 | 0.0046 | 274.59 |
| [65] | 110 | 2MK6 | 0.24458426 | 0.0014 | 124.58 | 0.0013 | 45.49 |
| [66] | 112 | 2SM6 | 0.24717804 | 0.0012 | 195.88 | 0.0013 | 173.09 |
| [67] | 113 | MSK6 | 0.24740620 | 0.0008 | 161.63 | 0.0007 | 284.98 |
| [68] | 119 | 3MK7 | 0.28331491 | 0.0004 | 246.22 | 0.0004 | 11.71 |
| [69] | 124 | M8 | 0.32204556 | 0.0006 | 217.13 | 0.0006 | 6.90 |

Tableau 5 : Résultats du traitement statistique d'une époque pour Rimouski

```

* =====
* Epoch : Start : 1984      Duration: 19 years
* =====
* Station : PointeAuPereEtRimouski58_06
* =====
* U.S. Definitions
* =====

MHHW (Mean Higher High Water)      :    1.55
MHW (Mean High Water)              :    1.26
MSL (Mean Sea Level)               :   -0.02
MLW (Mean Low Water)               :   -1.27
MLLW (Mean Lower Low Water)        :   -1.36
---Mean Level -----
DTL (Mean Tidal Level (MHHW+MLLW)/2) :    0.10
MTL (Mean Tidal Level (MHW+MLW)/2)  :   -0.01
-- Ranges -----
Mn (MHW-MLW)                       :    2.53
DHQ (MHHW-MHW)                     :    0.29
DLQ (MLW-MLLW)                     :    0.08
Gt (MHHW-MLLW)                     :    2.91
* =====
  Canadian datums from 19 years predictions
* =====
HW (Highest Water)                  :    2.49
HHWLT                               :    2.42
HHWMT                               :    1.55
MWL                                  :   -0.02
LLWMT                               :   -1.36
LLWLT                               :   -2.17
LW (Lowest Water)                   :   -2.25
* =====
  Other Datums from 19 years predictions
* =====
MMHT (Mean Monthly High Tide)       :    2.25
MMLT (Mean Monthly Low Tide)        :   -2.00
-----
Table 2 of Canadian Tide and Current Table (LUNITIDAL)
-----
Higher High Water Large Tide HHWLT   :    2.5
Higher High Water Mean Tide HHWMT    :    1.6
Mean Water Level MWL                 :   -0.0

Lower Low Water Mean Tide LLWMT      :   -1.4
Lower Low Water Large Tide LLWLT     :   -2.0
Mean Tide Range MT                   :    3.1
Large Tide Range LT                  :    4.4
Extreme High Water HW                 :    2.5
Extreme Low Water LW                  :   -2.3

```

Tableau 6: Principaux *datums* canadiens

| Heights | | | | Evaluated Extremes | | Mean Water Level |
|--------------------------------|------------|------------------------------|------------|--------------------|--------|------------------|
| Higher High Water Mean tide | Large tide | Lower Low Water Mean tide | Large tide | Highest | Lowest | |
| m | m | m | m | m | m | m |
| 1.6 | 2.5 | -1.4 | -2.0 | 2.5 | -2.3 | -0.0 |

3 Valeurs comparées de Baie-Comeau et Rimouski

Tableau 7 : Niveau géodésique de référence en m. des marées (Définitions américaines)

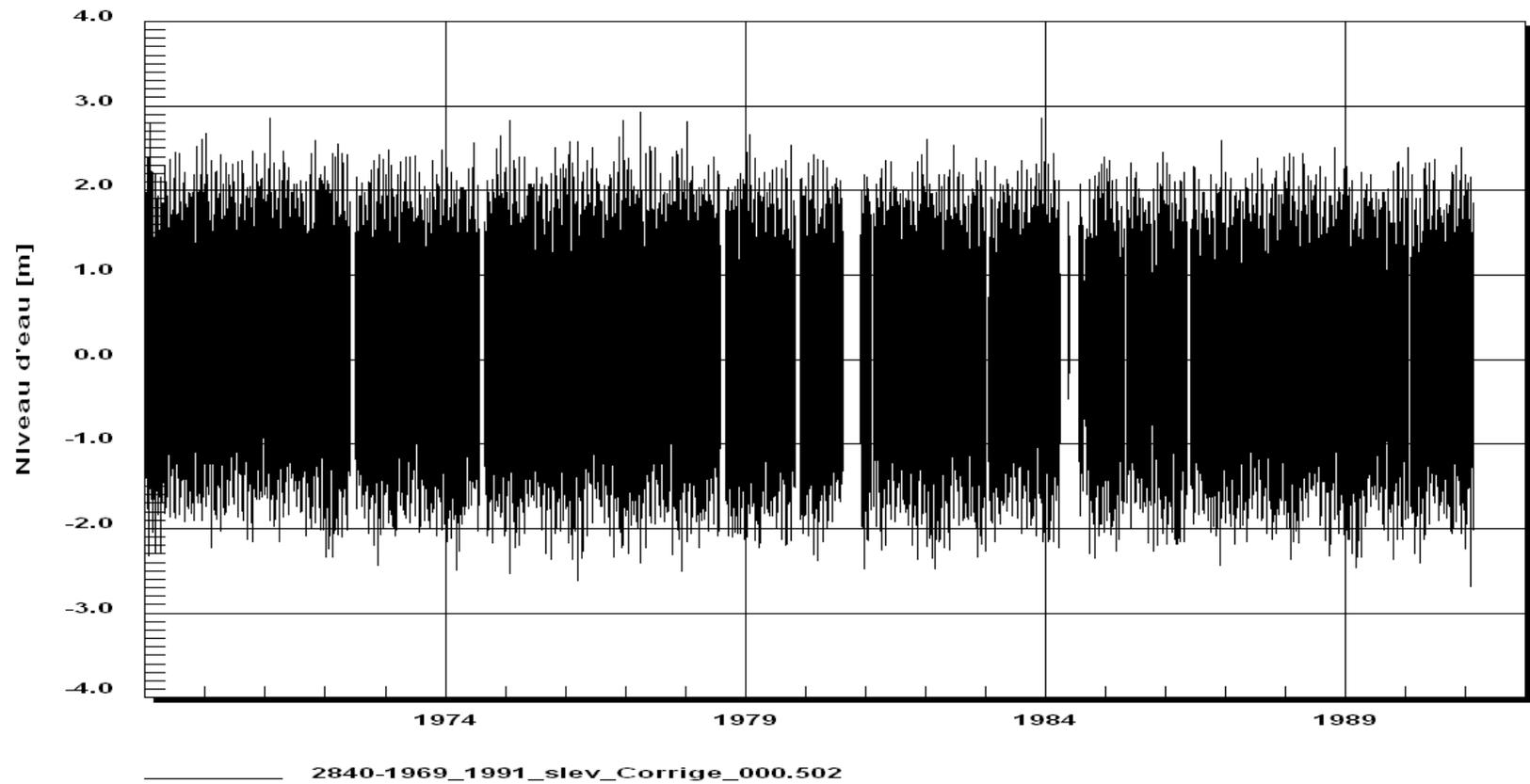
| Niveaux de référence | Baie-Comeau | Rimouski |
|---|-------------|----------|
| MHHW (<i>Mean Higher High Water</i>) Pleine mer supérieure - Grande marée | 1,53 | 1,55 |
| MHW (<i>Mean High Water</i>) Pleine mer supérieure – Marée moyenne | 1,30 | 1,26 |
| MSL (<i>Mean Sea Level</i>) Niveau moyen de la mer | -0,02 | -0,02 |
| MLW (<i>Mean Low Water</i>) Basse mer inférieure – Marée moyenne | -1,18 | -1,27 |
| MLLW (<i>Mean Lower Low Water</i>) Basse mer inférieure – Grande marée moyenne | -1,26 | -1,36 |
| Moyennes – Amplitudes de marée | | |
| DTL (<i>Maximum Tidal Level difference</i>) (MHHW+MLLW)/2 Amplitude moyenne de grande marée | 0,09 | 0,10 |
| MTL (<i>Mean Tidal Level</i>) (MHW+MLW)/2 Amplitude de marée moyenne | -0,03 | -0,01 |
| Écarts de niveaux | | |
| Mn (MHW-MLW) Marnage moyen | 2,31 | 2,53 |
| DHQ (MHHW-MHW) Différence de pleine mer | 0,32 | 0,29 |
| DLQ (MLW-MLLW) Différence de basses mer | 0,08 | 0,08 |
| Gt (MHHW-MLLW) Marnage de grande marée | 2,70 | 2,91 |

Tableau 8 : Niveaux géodésiques de référence des marées (Définitions canadiennes)

| Définitions canadiennes | Baie-Comeau | Rimouski |
|-------------------------|-------------|----------|
|-------------------------|-------------|----------|

| | | |
|--|-------|-------|
| HW (<i>Highest Water</i>) – Niveau maximum atteint | 2,27 | 2,49 |
| HHWLT (<i>Higher High Water Large Tide</i>) Pleine mer supérieure – Grande Marée | 2,22 | 2,42 |
| HHWMT (<i>Higher High Water Mean Tide</i>) Pleine mer supérieure – Marée moyenne | 1,45 | 1,55 |
| MWL (<i>Mean Water Level</i>) Niveau moyen de l'eau | -0,02 | -0,02 |
| LLWMT (<i>Lower Low Water Mean Tide</i>) Basse mer inférieure – Marée moyenne | -1,26 | -1,36 |
| LLWLT (<i>Lower Low Water Large Tide</i>) Basse mer inférieure – Grande marée | -2,05 | -2,17 |
| LW (<i>Lowest Water</i>) Niveau minimum atteint | -2,14 | -2,25 |
| Autres Datums | | |
| MMHT (<i>Mean Monthly High Tide</i>) Marée haute moyenne mensuelle | 2,08 | 2,25 |
| MMLT (<i>Mean Monthly Low Tide</i>) Marée basse moyenne mensuelle | -1,86 | -2,00 |

4 Statistiques sur les niveaux annuels extrêmes de la marée



Signal : Baie-Comeau

Figure 11 : Signal enregistré à Baie-Comeau

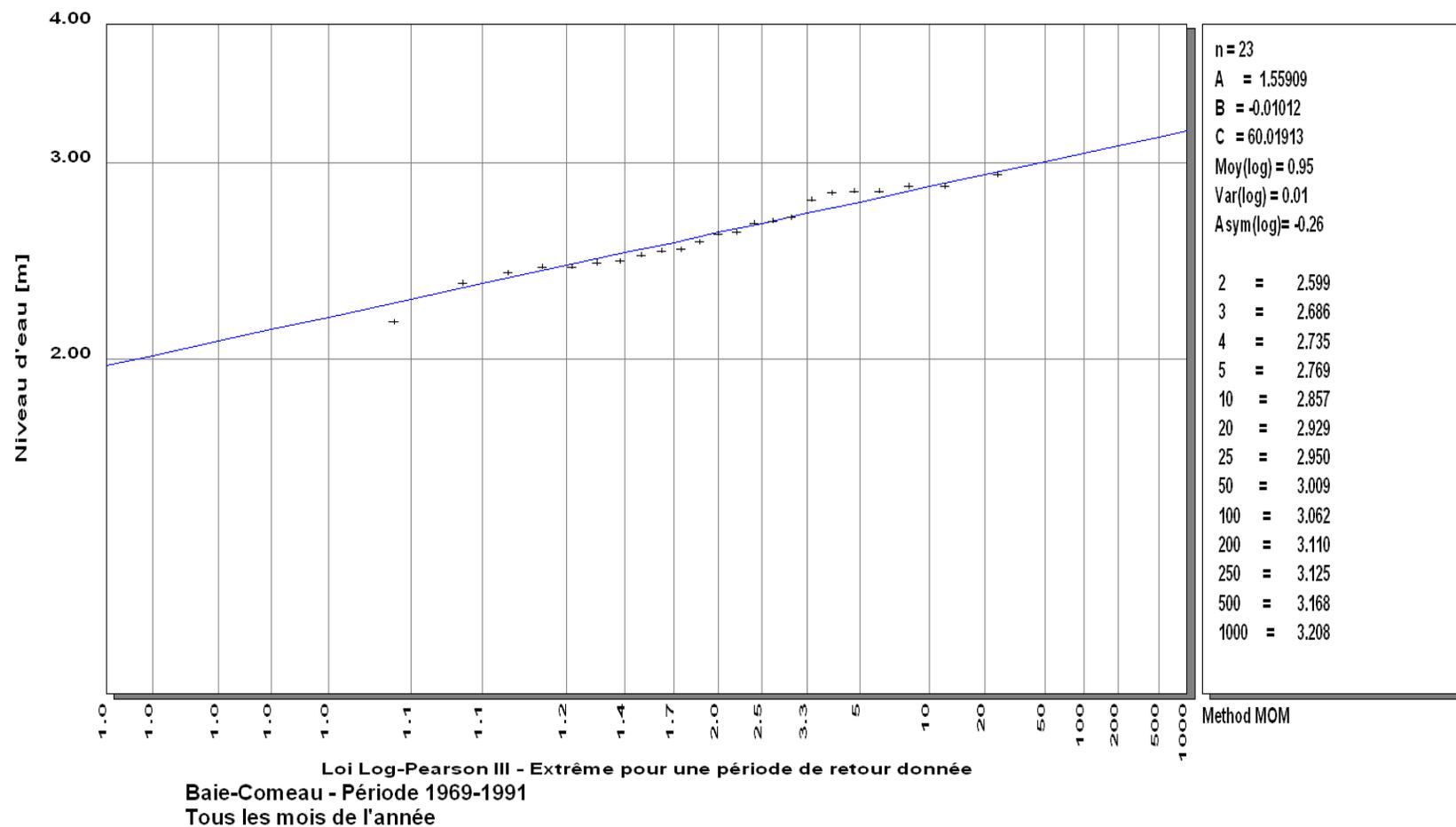


Figure 12 : Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Baie-Comeau selon la loi Log-Pearson III

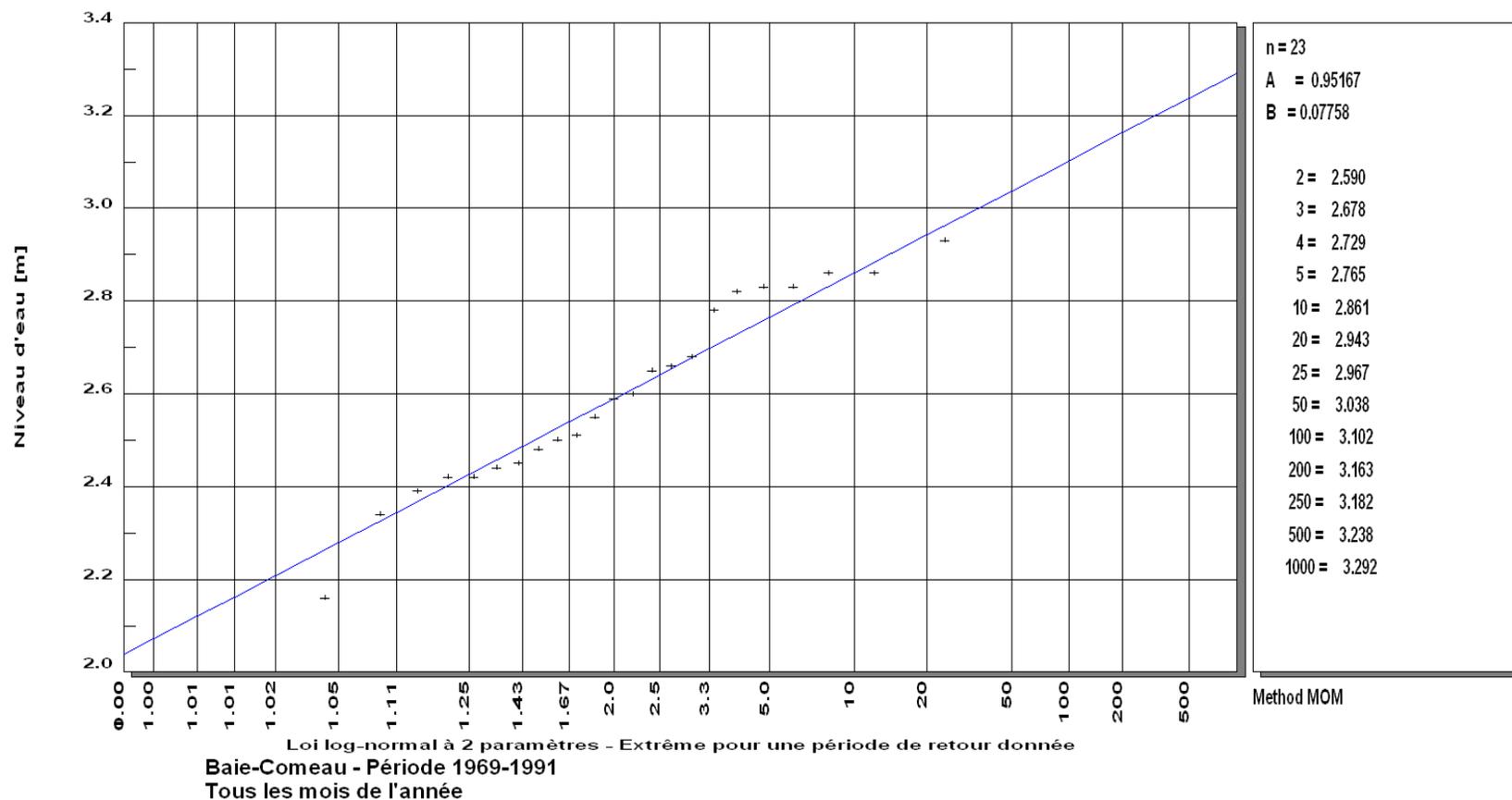
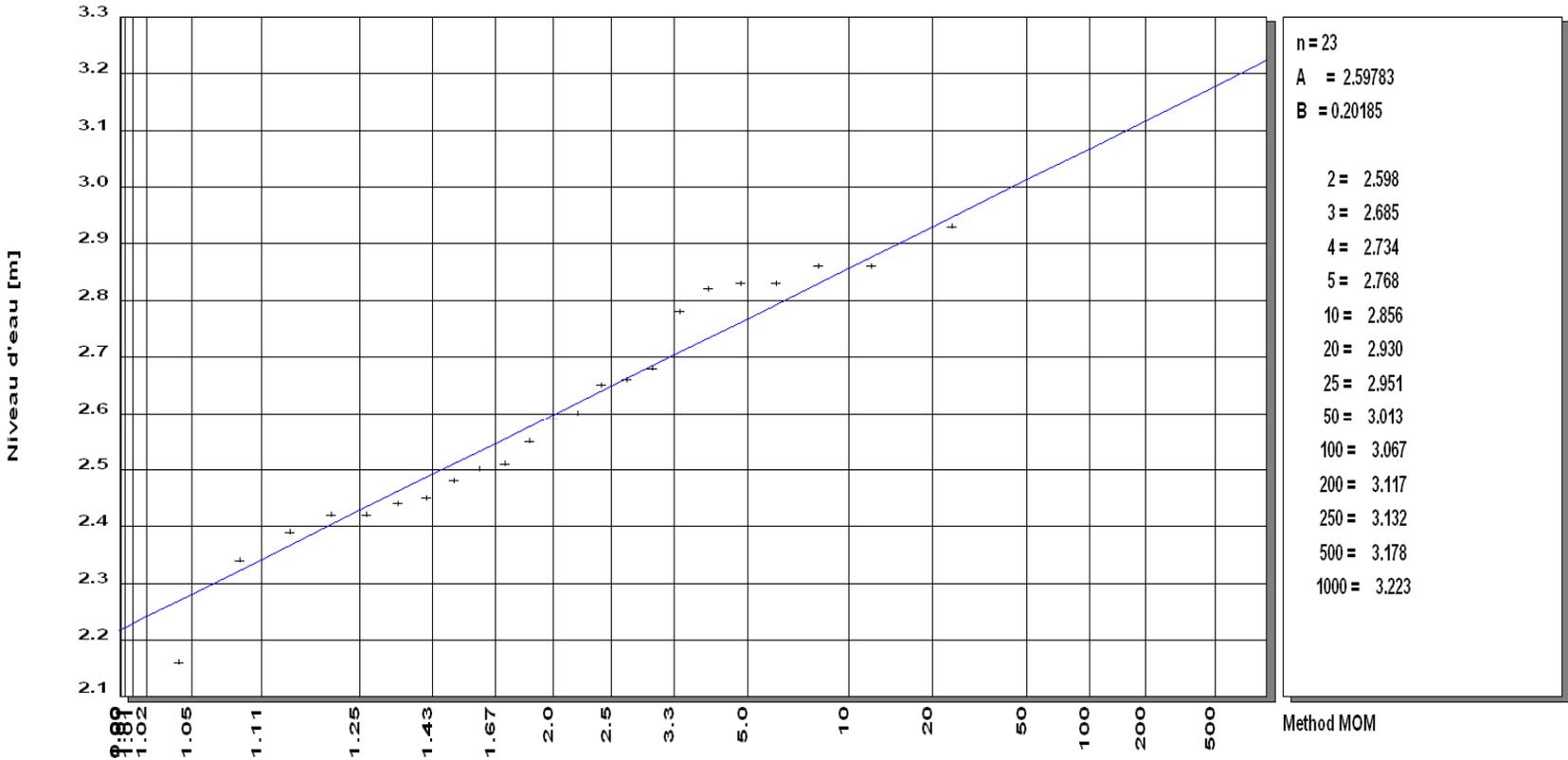
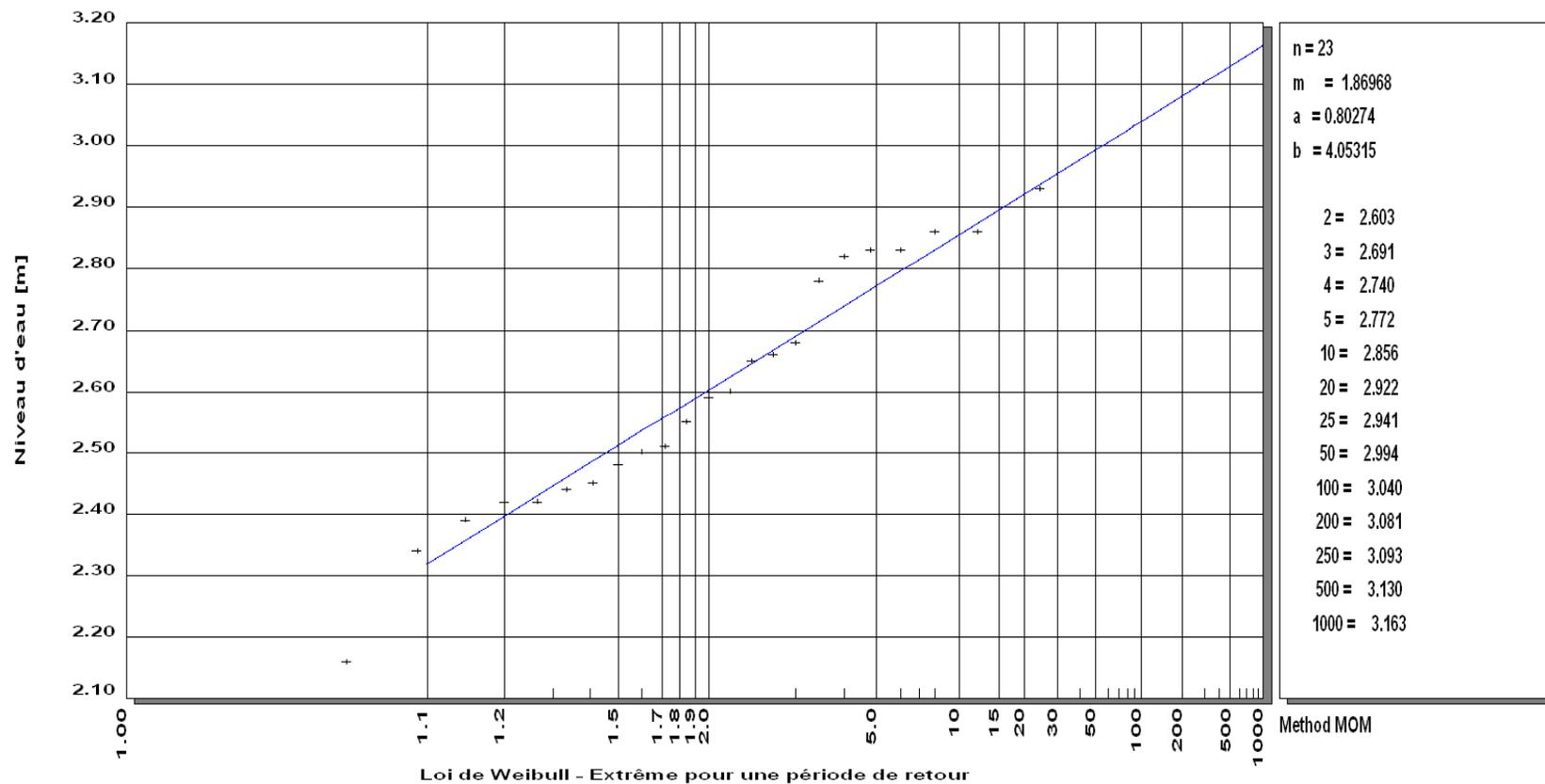


Figure 13 : Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Baie-Comeau selon la loi Log-Normal à 2 paramètres



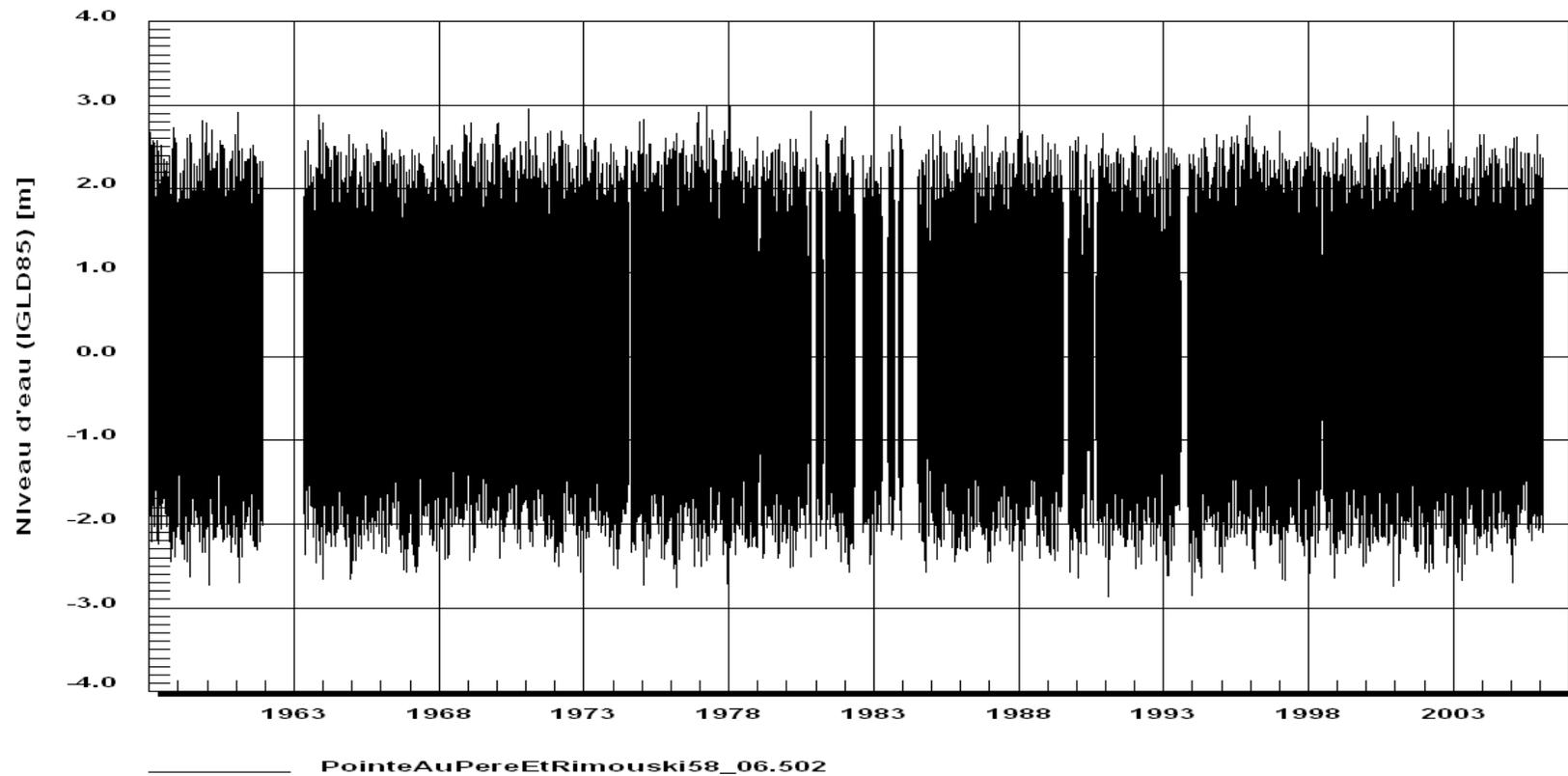
Loi normale - Extrême pour une période de retour donnée
 Baie-Comeau - Période 1969-1991
 Tous les mois de l'année

Figure 14: Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Baie-Comeau selon la loi Normale



Loi de Weibull - Extrême pour une période de retour
 Baie-Comeau - Période 1969-1991
 Tous les mois de l'année

Figure 15: Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Baie-Comeau selon la loi de Weibull



Signal : Pointe au Père et Rimouski, Env.Canada

Figure 16: Signal enregistré à Pointe au Père et Rimouski.

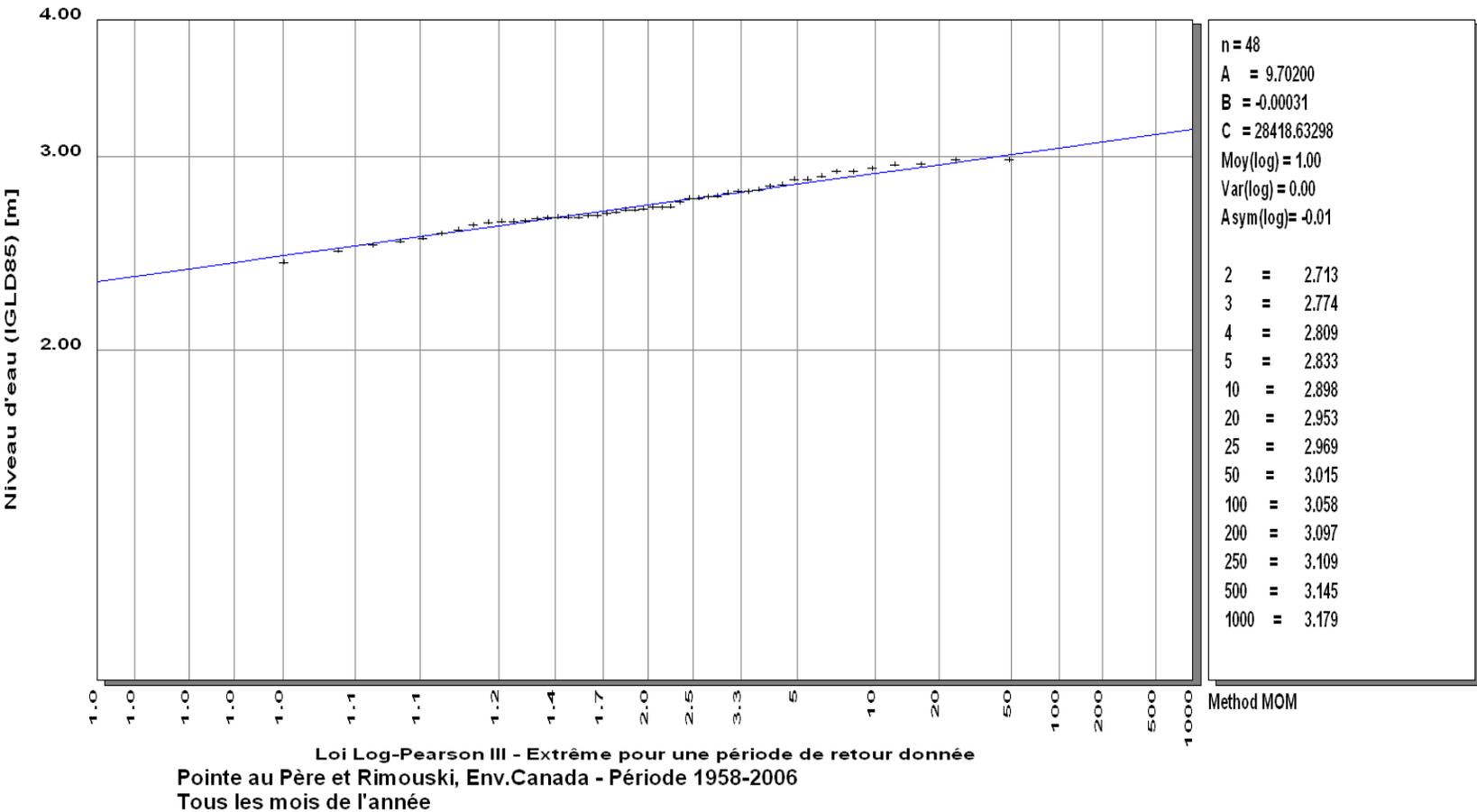


Figure 17 Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Rimouski selon la loi Log-Pearson III

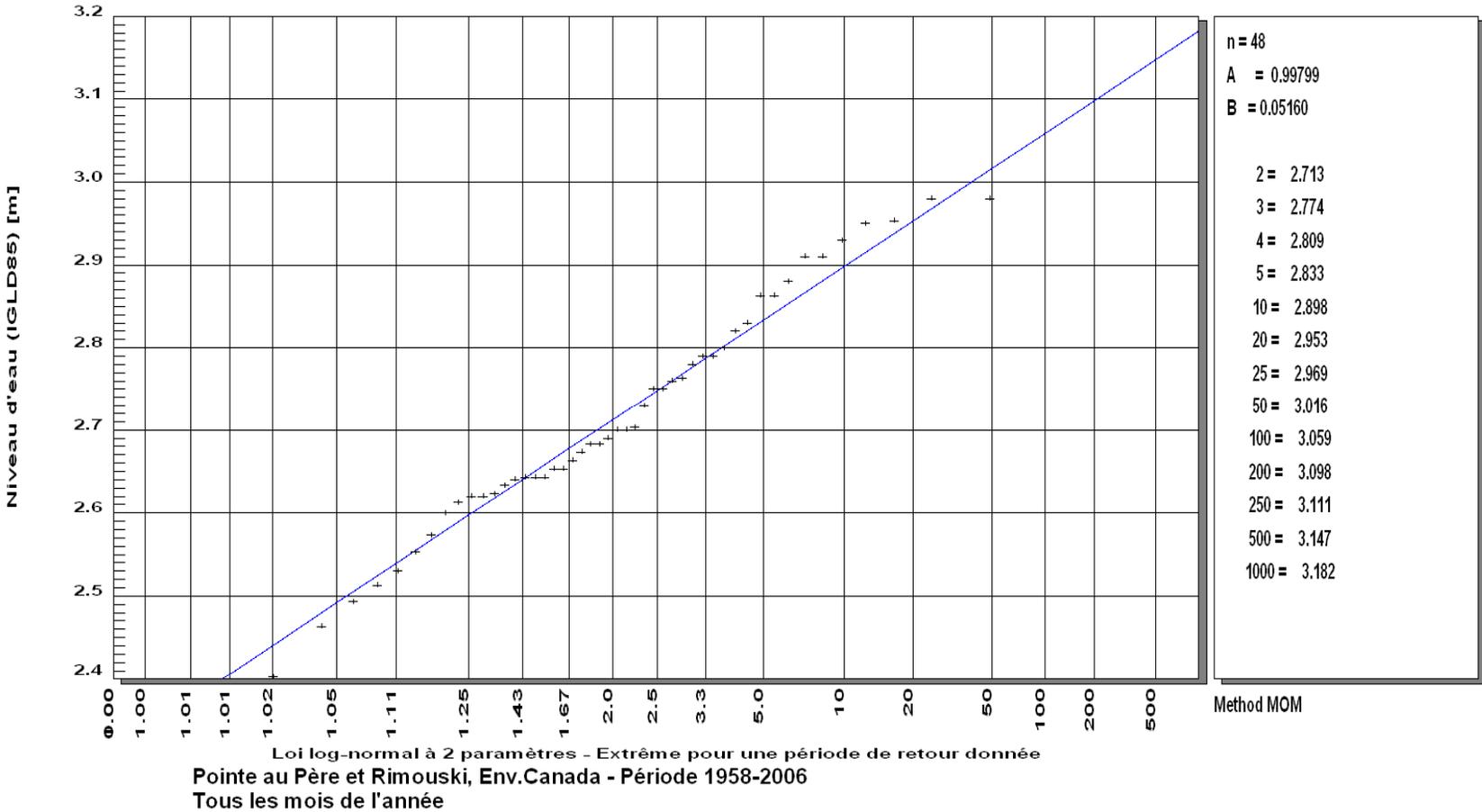
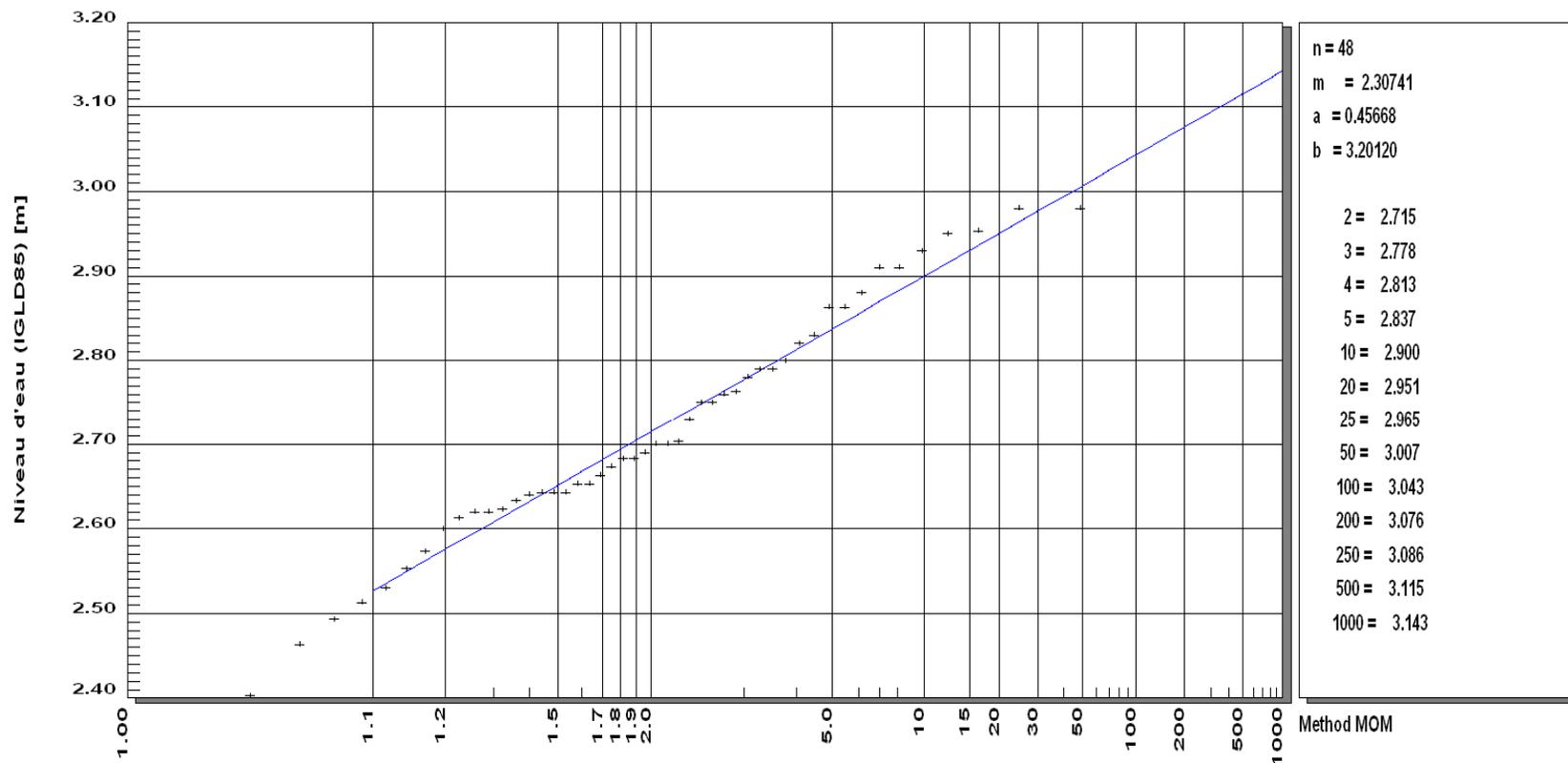


Figure 18: Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Rimouski selon la loi Log-Normal à 2 paramètres



Loi de Weibull - Extrême pour une période de retour
 Pointe au Père et Rimouski, Env.Canada - Période 1958-2006
 Tous les mois de l'année

Figure 19 : Ajustements des niveaux extrêmes annuels de Rimouski selon la loi de Weibull



Annexe E : Génération des vagues avec une série de vents horaires



Annexe E

Génération des vagues avec une série de vents horaires

TABLE DES MATIÈRES DE L'ANNEXE

| | | |
|-----|---|---|
| 1 | Introduction..... | 2 |
| 2 | Méthodologie..... | 2 |
| 2.1 | Analyse dimensionnelle..... | 3 |
| 2.2 | Calcul du fetch..... | 4 |
| 2.3 | Transformation de la vitesse du vent en hauteur de vague..... | 5 |
| 2.4 | Abaque des caractéristiques des vagues..... | 6 |
| 2.5 | Régime horaire des vagues..... | 8 |
| 3 | Cas de Pointe-aux-Outardes..... | 9 |

LISTE DES FIGURES DE L'ANNEXE

| | | |
|------------|--|----|
| Figure 1 | Abaque servant à déterminer les conditions de vagues..... | 7 |
| Figure 2: | Point focal, radiales et longueur du fetch effectif..... | 9 |
| Figure 3 : | Régime des vagues générées pour le point focal de la Figure 2..... | 10 |
| Figure 4 : | Pourcentage de non-dépassement de la hauteur de vague significative..... | 10 |

LISTE DES TABLEAUX DE L'ANNEXE

| | | |
|-------------|--|----|
| Tableau 1 : | Distribution pour toutes les années – Tous les niveaux d'eau..... | 12 |
| Tableau 2: | Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre 2 et 3 m..... | 13 |



1 Introduction

Cette annexe présente une synthèse des notions portant sur la génération des vagues à partir de séries de vents horaires mesurés. L'approche utilisée s'appuie sur les développements réalisés durant les années 1990 par l'auteur alors qu'il travaillait pour la Société d'Énergie de la Baie James à la réfection des protections en enrochement des digues et barrages de la phase I du complexe La Grande (Baie James)..

Pour caractériser le régime des sollicitations, un programme de mesures du vent et des vagues avait été implanté sur quatre réservoirs du complexe. Ce programme de mesures consistait:

- à mesurer les vagues avec des bouées accélérométriques en eau profonde à proximité des ouvrages durant la période d'eau libre, soit de juin à novembre;
- à mesurer le vent sur l'eau à des sites dégagés et représentatifs des conditions locales;
- à mesurer le vent sur terre aux aéroports régionaux.

La connaissance des caractéristiques du régime des vagues (plus de 38 000 enregistrements de vagues) et une analyse approfondie des enregistrements du vent et des vagues ont permis de particulariser les formules classiques de calcul de la vague à partir du vent et donc de calculer les sollicitations subies par les ouvrages depuis la mise en eau des réservoirs à partir du vent mesuré aux aéroports.

2 Méthodologie

Comme les enregistrements de vagues sont rares, on utilise les vents horaires mesurés à des stations locales, pour lesquelles des séries complètes couvrant plusieurs décennies sont disponibles. La littérature et les mesures effectuées par l'auteur lorsqu'il travaillait pour la SEBJ indiquent que les vents mesurés sur l'eau peuvent être supérieurs jusqu'à 30 km/h à ceux mesurés sur terre. Il est donc nécessaire de transformer les vents mesurés sur terre en vents sur l'eau pour établir les conditions réelles de sollicitation, soit la vague de conception. Deux approches sont possibles. La première consiste à traiter statistiquement les données du vent horaire pour obtenir les vents de récurrence retenue. Ces vents extrêmes sont ensuite transformés en vent sur l'eau avant d'être finalement transformés en vagues par l'intermédiaire de la fonction de transfert vent-vague.

La seconde approche consiste d'abord à transformer les vents mesurés sur terre en vent sur l'eau puis à les transformer en une série de hauteur de vague horaire avec la fonction de transfert vent-vague. Cette série est ensuite traitée statistiquement pour fournir la hauteur de vague de récurrence retenue. L'auteur privilégie la seconde approche car elle s'avère plus réaliste.

Pour la région de Pointe-aux-Outardes, il n'est pas nécessaire de transformer le vent mesuré sur terre en vent mesuré sur l'eau car l'aéroport est situé tout près du fleuve, en rive nord. Les vents



d'intérêts pour la génération des vagues sont ceux provenant du fleuve et donc aucune correction n'est nécessaire.

2.1 Analyse dimensionnelle

Afin de déterminer la sollicitation, la vitesse de vent provenant d'un secteur géo-graphique donné doit être transformée en une hauteur de vague, en considérant les caractéristiques locales du plan d'eau.

La hauteur de vague significative dépend principalement de la vitesse du vent, de la durée de l'épisode et de la longueur du fetch. En effet, si la durée est insuffisante, la hauteur de vague sera inférieure à la valeur maximale susceptible d'être atteinte. L'influence de la superficie et de la géométrie du plan d'eau est considérée en calculant une longueur effective du fetch associé à l'azimut d'où provient le vent.

Une analyse approfondie des données recueillies sur le territoire de la Baie James (SEBJ, 1996b) a été effectuée suivant l'approche présentée par Bretschneider (1952, 1964), retenue d'ailleurs par le CERC (1977, 1984) et apparaissant dans le Shore Protection Manual et le Coastal Engineering Manual.

Cette approche repose sur l'analyse dimensionnelle et l'hypothèse d'une relation linéaire dans le domaine des logarithmes pour déterminer les valeurs des coefficients α et exposants β par régression linéaire:

$$\frac{gH}{U_a^2} = \alpha_H \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^{\beta_H} \quad [2.1]$$

$$\frac{gT}{U_a} = \alpha_T \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^{\beta_T} \quad [2.2]$$

| | | | |
|------|-------|--|-------|
| avec | H | Hauteur de vague | [m] |
| | U | Vitesse du vent | [m/s] |
| | U_a | Facteur de frottement du vent ("wind stress factor") $U_a = 0,71 U^{1,23}$ | [m/s] |
| | F | Fetch | [m] |



g Accélération gravitationnelle [9,81 m/s²] [m/s²]

Pour les conditions où la durée est le facteur qui limite, on a :

$$\frac{gt}{U_a} = \alpha_t \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^{\beta_t} \quad [2.3]$$

Cette dernière équation permet d'établir la longueur du fetch associée en résolvant pour F , connaissant la durée t (s) du vent.

Cette analyse a confirmé que la qualité des régressions s'améliore lorsque la vitesse du vent est remplacée par le facteur de frottement du vent tel que défini dans l'édition 1984 du Shore Protection Manual.

Les valeurs obtenues pour les coefficients α et exposants β dépendent de la méthode de calcul du fetch. Les mesures réalisées sur les réservoirs de la Baie James ont permis de constater des écarts significatifs dans la qualité de la prédiction selon le choix de la méthode de calcul du fetch. Il faut retenir que la méthode de calcul du fetch et les valeurs des coefficients et exposants des équations précédentes sont liées et ne peuvent donc pas être dissociées.

2.2 Calcul du fetch

Une version modifiée de la méthode de Saville est retenue. Le secteur couvert passe de l'ouverture usuelle de 84° à une ouverture de 180°. L'analyse des enregistrements de vagues réalisés sur les réservoirs du Complexe La Grande où plusieurs méthodes de calcul ont été étudiées, a confirmé qu'un lissage important est requis pour les plans d'eau de forme irrégulière. Ainsi, les radiales sont évaluées à chaque degré :

$$F(\theta) = \frac{\sum_{\gamma=-90}^{90} R(\theta + \gamma) \cos^2(\gamma)}{\sum_{\gamma=-90}^{90} \cos(\gamma)} \quad [2.4]$$

avec

$R(\theta)$ Longueur de la radiale d'azimut θ [m]

$F(\theta)$ Longueur du fetch d'azimut θ [m]

γ Angle formé par une radiale avec la radiale centrale du secteur [°]



2.3 Transformation de la vitesse du vent en hauteur de vague

Le traitement de plus de 38 000 enregistrements de vagues provenant des sites de mesures du complexe La Grande a permis de fixer les valeurs des coefficients et exposants des relations adimensionnelles retenues (section 2.1), soient:

$$\frac{gH_{mo}}{U_a^2} = 0,00248 \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^{0,45} \quad [2.5]$$

$$\frac{gT_{02}}{U_a} = 0,510 \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^{0,225} \quad [2.6]$$

et

$$\frac{gt}{U_a} = 31,82 \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^{0,775} \quad [2.7]$$



avec:

| | | |
|----------|---|---------------------|
| H_{mo} | hauteur de vague significative = H_s | [m] |
| T_{02} | période moyenne des vagues | [s] |
| U_a | Facteur de frottement du vent ($U_a = 0,71 U^{1,23}$) | [m/s] |
| U | Vitesse du vent | [m/s] |
| F | Fetch | [m] |
| g | Accélération gravitationnelle (9,81 m/s ²) | [m/s ²] |

Pour simplifier les calculs, les variables recherchées ont été isolées et les relations ont été transformées en fonction d'unités de mesure plus appropriées:

$$H_{mo} = 0,001917 F^{0,45} U^{1,353} \quad [\text{m}] \quad [4.6]$$

$$T_{02} = 0,143 F^{0,225} U^{0,676} \quad [\text{s}] \quad [4.7]$$

et $t = 3,21 F^{0,775} U^{-0,676} \quad [\text{heure}] \quad [4.8]$

avec F en km, U en km/h.

La première équation donne la hauteur maximale observée lorsque le régime permanent des vagues est établi, c'est-à-dire au moment où le plan d'eau est complètement levé par l'effet soutenu du vent soufflant suffisamment longtemps et dans une même direction. La deuxième équation donne la période moyenne des vagues. La durée de temps minimale pour atteindre le régime permanent est évaluée avec la troisième formule.

2.4 Abaque des caractéristiques des vagues

L'abaque ci-dessous, générée avec ces équations, permet d'évaluer succinctement les caractéristiques des vagues pour des conditions données.

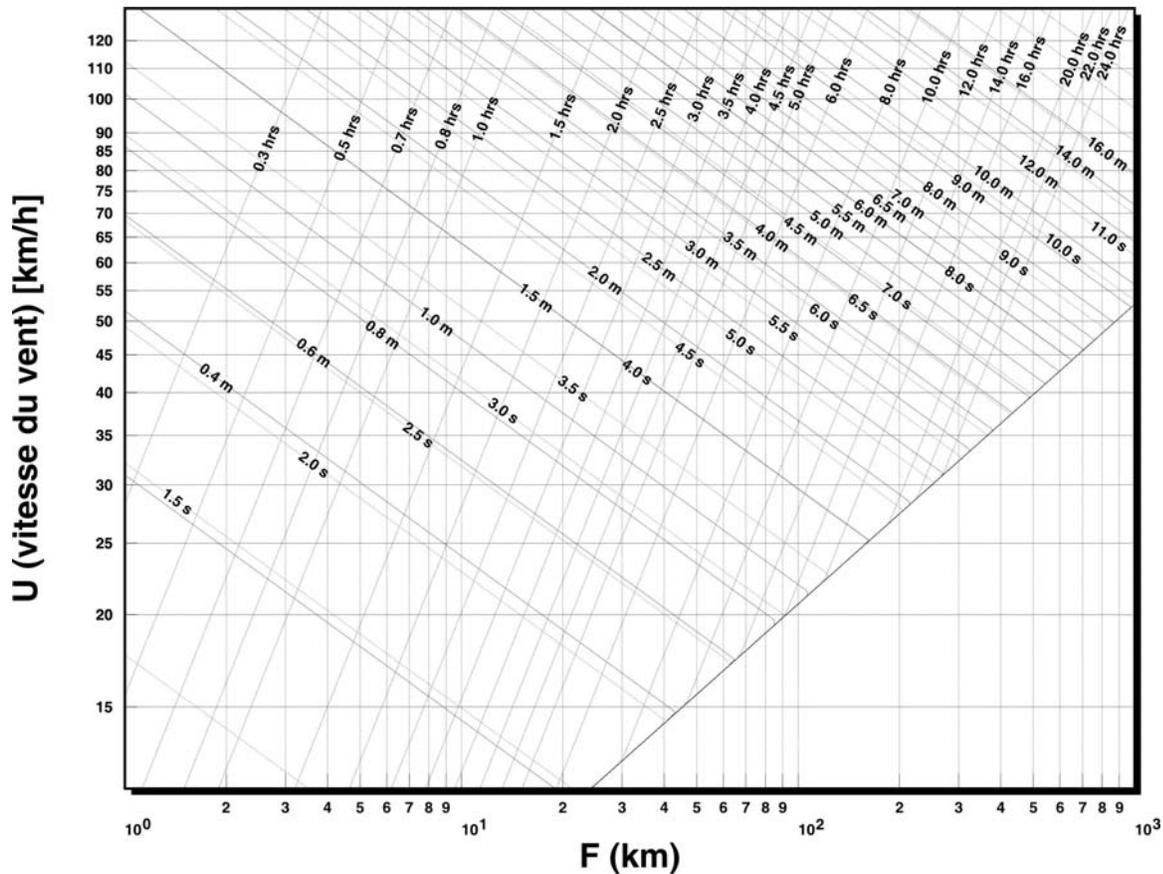


Figure 1 Abaque servant à déterminer les conditions de vagues.

Utilisation de l'abaque

- Soient $F=20$ km et $U = 50$ km/h depuis 1 heure. Le point d'intersection $[F,U]=[20, 50]$ donne une durée de temps supérieure à 1 heure. La durée est le facteur limitatif et il faut se déplacer vers la gauche jusqu'à l'interception avec la ligne de durée 1 heure. On lit alors une hauteur de vague d'environ 0,9 m et une période moyenne de 3,2 s.
- Soient $F=30$ km et $U=40$ km/h depuis 5 heures. Le point d'intersection $[F,U]=[30,50]$ donne une durée inférieure à 5 heures, soit 3,7 heures. Le fetch est le facteur limitatif et le plan d'eau est alors complètement levé pour ces conditions. On lit une hauteur de vague d'environ 1,30 m et une période moyenne de 3,8 s.
- Quelle est la hauteur de vague significative maximale pour un fetch de 10 km et un vent de 100 km/h?
- Le point d'intersection $[10,100]$ donne une hauteur de vague de 2,8 m et une période de 5,5 s.
- Quelle est la durée minimale requise pour atteindre les conditions décrites en C? 48 minutes.



2.5 Régime horaire des vagues

La série de valeurs horaires du vent est transformée en vagues par l'utilisation des relations présentées à la section précédente.

La procédure de calcul des valeurs horaires de la hauteur et de la période des vagues est la suivante:

- la vitesse du vent de l'heure est utilisée pour calculer la hauteur de vague significative (H_s) et la durée minimale du vent (t_{min}) associée qui est nécessaire pour atteindre cette hauteur de vague;
- si la valeur de t_{min} obtenue est égale ou inférieure à 1 heure, la valeur calculée pour H_s est retenue; dans le cas contraire, le calcul est repris en utilisant la vitesse du vent dont la durée est égale à t_{min} . On détermine alors le vent moyen des deux heures précédentes en calculant la moyenne vectorielle des valeurs horaires du vent et la durée avec cette nouvelle valeur. Si la durée est inférieure à 2 heures, on interpole la valeur du vent correspondant à cette durée et on reprend le calcul;
- pour tenir compte de l'atténuation rapide des vagues, observée sur les plans d'eau fermés, la vitesse du vent des heures antérieures utilisées dans le calcul du vent moyen est considérée égale à celle de l'heure présente lorsque la vitesse du vent décroît.



3 Cas de Pointe-aux-Outardes

Le régime des vagues est calculé pour le foyer apparaissant à la Figure 2, pour la période 1964-2006 avec les données de vent horaire de Pointe-Lebel.



Figure 2: Point focal, radiales et longueur du fetch effectif

Les résultats sont présentés à la Figure 3. On y voit que la hauteur de vague significative n'a dépassé la valeur de 5 m que 3 fois durant toute la période.

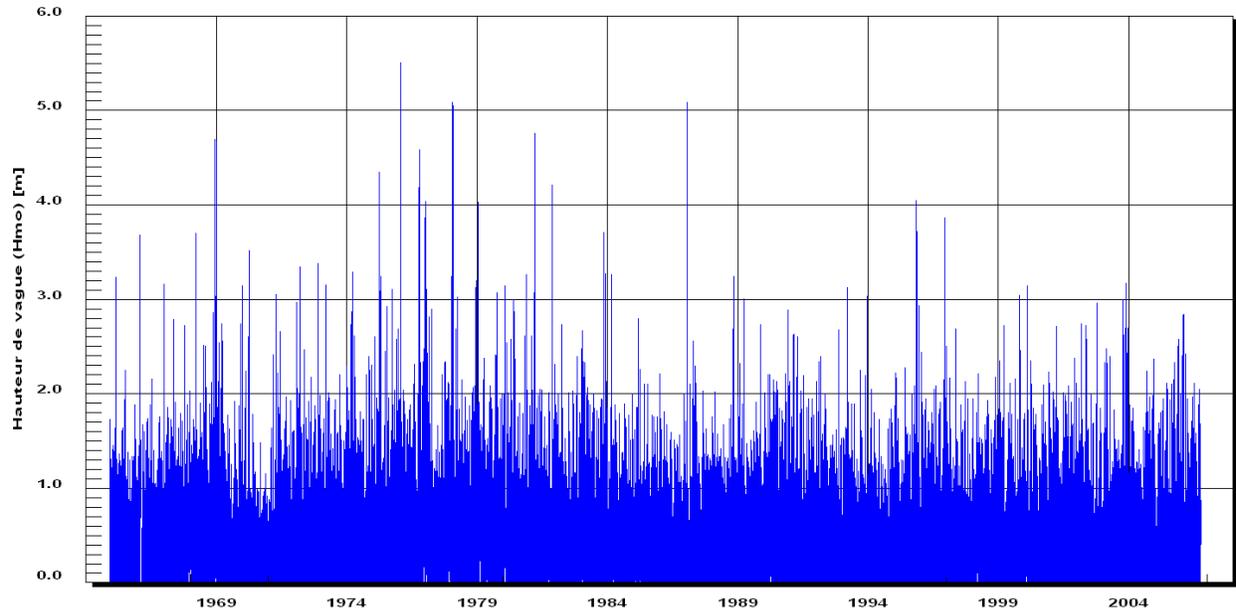


Figure 3 : Régime des vagues générées pour le point focal de la Figure 2

La Figure 4 présente les pourcentages de non-dépassement pour chacune des années de la série. La variabilité est forte pour les épisodes peu fréquents, ce qui est normal. La hauteur de vague qui est dépassée 1 % du temps est de l'ordre de 2 m.

Pourcentage de non-dépassement de la hauteur de vagues significative
Vagues au large de Pointe-aux-Outardes - Point POA8

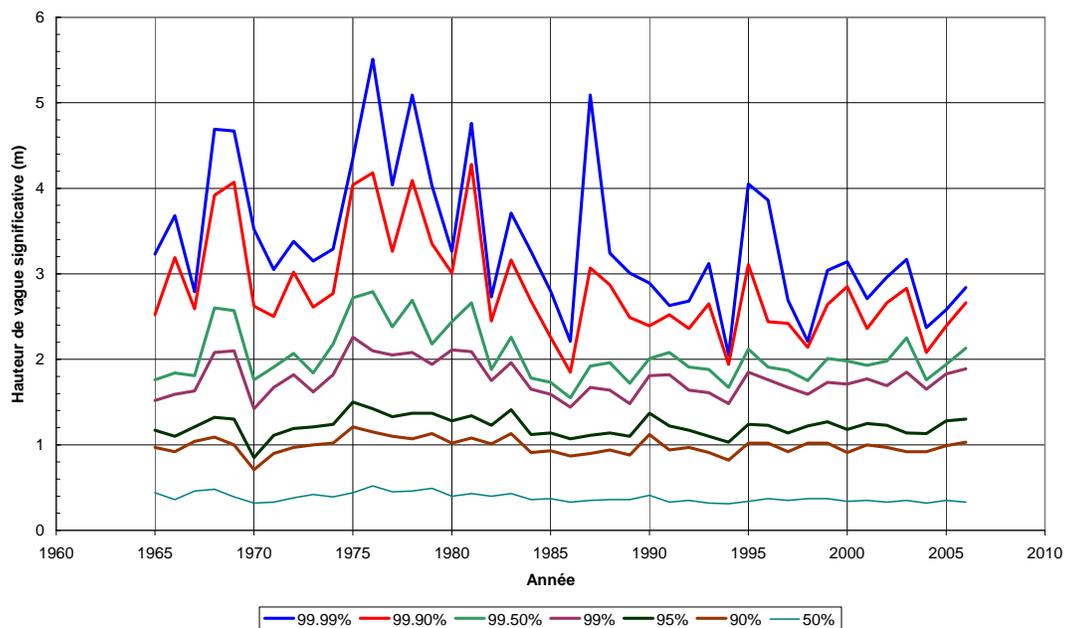


Figure 4 : Pourcentage de non-dépassement de la hauteur de vague significative



Le Tableau 1 présente la distribution des hauteurs de vagues par tranches de hauteurs de vagues et de direction quel que soit le niveau d'eau

alors

que

le



Tableau 2 présente la distribution lorsque le niveau d'eau est supérieur à la cote +2,0 m géodésique.

Tableau 1 : Distribution pour toutes les années – Tous les niveaux d'eau

| Hauteur de vagues (m) | Provenance (16 secteurs) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | % | Cumul |
|-----------------------|--------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 0.00 | 22695 | 2154 | 2586 | 2411 | 3101 | 1506 | 1429 | 1252 | 2721 | 2164 | 3263 | 4094 | 10695 | 11607 | 14091 | 8179 | 93948 | 25.70 | 25.70 |
| 0.20 | 4803 | 1867 | 4902 | 5780 | 7223 | 2153 | 1891 | 1646 | 4580 | 5288 | 6668 | 7486 | 16108 | 8835 | 10033 | 6646 | 95909 | 26.24 | 51.94 |
| 0.40 | 2472 | 1323 | 3502 | 6542 | 7567 | 1314 | 889 | 715 | 2847 | 5223 | 7499 | 7639 | 11967 | 3456 | 3937 | 2441 | 69333 | 18.97 | 70.90 |
| 0.60 | 1116 | 947 | 2830 | 5604 | 5559 | 765 | 438 | 377 | 1601 | 3388 | 6707 | 4954 | 5989 | 1172 | 1518 | 724 | 43689 | 11.95 | 82.85 |
| 0.80 | 404 | 552 | 2185 | 4124 | 3780 | 442 | 171 | 100 | 857 | 2216 | 5323 | 2640 | 2572 | 348 | 440 | 183 | 26337 | 7.20 | 90.06 |
| 1.00 | 149 | 355 | 1813 | 3284 | 2408 | 244 | 57 | 30 | 518 | 1423 | 3579 | 1205 | 937 | 90 | 119 | 69 | 16280 | 4.45 | 94.51 |
| 1.20 | 55 | 190 | 1214 | 1667 | 1127 | 115 | 15 | 13 | 290 | 884 | 2283 | 626 | 406 | 15 | 23 | 15 | 8938 | 2.44 | 96.96 |
| 1.40 | 9 | 124 | 727 | 792 | 430 | 42 | 8 | 8 | 131 | 541 | 1509 | 277 | 133 | 7 | 5 | 4 | 4747 | 1.30 | 98.25 |
| 1.60 | 1 | 77 | 458 | 457 | 219 | 11 | 3 | 2 | 72 | 317 | 938 | 156 | 62 | 3 | 1 | 2 | 2779 | 0.76 | 99.01 |
| 1.80 | 2 | 34 | 342 | 222 | 100 | 4 | 2 | 0 | 25 | 229 | 463 | 66 | 21 | 0 | 1 | 0 | 1511 | 0.41 | 99.43 |
| 2.00 | 2 | 12 | 174 | 139 | 44 | 1 | 0 | 0 | 4 | 102 | 241 | 24 | 10 | 0 | 0 | 0 | 753 | 0.21 | 99.63 |
| 2.20 | 0 | 9 | 100 | 107 | 21 | 0 | 0 | 0 | 8 | 39 | 111 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 406 | 0.11 | 99.74 |
| 2.40 | 0 | 6 | 82 | 82 | 10 | 1 | 0 | 0 | 2 | 28 | 52 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 269 | 0.07 | 99.82 |
| 2.60 | 0 | 0 | 72 | 64 | 13 | 0 | 0 | 0 | 2 | 17 | 21 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 194 | 0.05 | 99.87 |
| 2.80 | 0 | 2 | 48 | 52 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 139 | 0.04 | 99.91 |
| 3.00 | 0 | 3 | 43 | 48 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 121 | 0.03 | 99.94 |
| 3.20 | 0 | 1 | 15 | 31 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 | 0.01 | 99.96 |
| 3.40 | 0 | 0 | 7 | 14 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 0.01 | 99.96 |
| 3.60 | 0 | 0 | 6 | 19 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0.01 | 99.97 |
| 3.80 | 0 | 0 | 7 | 19 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | 0.01 | 99.98 |
| 4.00 | 0 | 0 | 6 | 15 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 0.01 | 99.99 |
| 4.20 | 0 | 0 | 12 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0.01 | 99.99 |
| 4.40 | 0 | 0 | 1 | 7 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0.00 | 99.99 |
| 4.60 | 0 | 0 | 5 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0.00 | 100.00 |
| 4.80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.00 | 100.00 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.00 | 100.00 |
| 5.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 5.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 5.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| Total | 31708 | 7656 | 21137 | 31497 | 31634 | 6598 | 4903 | 4143 | 13658 | 21888 | 38690 | 29189 | 48900 | 25533 | 30168 | 18263 | 365565 | | |
| Total (%) | 8.67 | 2.09 | 5.78 | 8.62 | 8.65 | 1.80 | 1.34 | 1.13 | 3.74 | 5.99 | 10.58 | 7.98 | 13.38 | 6.98 | 8.25 | 5.00 | 365565 | | |



Tableau 2: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre 2 et 3 m

| Hauteur de vagues (m) | Provenance (16 secteurs) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | % | Cumul |
|-----------------------|--------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 0.00 | 405 | 39 | 41 | 34 | 29 | 12 | 15 | 9 | 30 | 26 | 59 | 69 | 127 | 149 | 216 | 103 | 1363 | 27.40 | 27.40 |
| 0.20 | 41 | 28 | 79 | 94 | 63 | 20 | 18 | 19 | 51 | 67 | 112 | 91 | 147 | 100 | 163 | 84 | 1177 | 23.66 | 51.06 |
| 0.40 | 48 | 16 | 39 | 88 | 72 | 16 | 13 | 10 | 18 | 32 | 98 | 82 | 142 | 44 | 61 | 33 | 812 | 16.32 | 67.38 |
| 0.60 | 28 | 9 | 51 | 82 | 86 | 12 | 5 | 2 | 20 | 41 | 91 | 52 | 82 | 20 | 19 | 9 | 609 | 12.24 | 79.62 |
| 0.80 | 9 | 5 | 33 | 70 | 44 | 7 | 1 | 1 | 2 | 26 | 75 | 38 | 32 | 12 | 7 | 2 | 364 | 7.32 | 86.93 |
| 1.00 | 10 | 8 | 36 | 48 | 33 | 7 | 1 | 1 | 5 | 9 | 28 | 15 | 19 | 2 | 1 | 1 | 224 | 4.50 | 91.44 |
| 1.20 | 4 | 8 | 23 | 34 | 16 | 0 | 0 | 1 | 7 | 25 | 22 | 20 | 10 | 0 | 0 | 0 | 170 | 3.42 | 94.85 |
| 1.40 | 1 | 5 | 15 | 16 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 22 | 14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 97 | 1.95 | 96.80 |
| 1.60 | 0 | 1 | 15 | 14 | 6 | 0 | 0 | 0 | 2 | 7 | 8 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1.21 | 98.01 |
| 1.80 | 0 | 0 | 13 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 7 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 37 | 0.74 | 98.75 |
| 2.00 | 0 | 0 | 3 | 10 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 0.42 | 99.18 |
| 2.20 | 0 | 1 | 2 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0.36 | 99.54 |
| 2.40 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0.14 | 99.68 |
| 2.60 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.10 | 99.78 |
| 2.80 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.10 | 99.88 |
| 3.00 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.04 | 99.92 |
| 3.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 99.92 |
| 3.40 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.04 | 99.96 |
| 3.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 99.96 |
| 3.80 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.02 | 99.98 |
| 4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 99.98 |
| 4.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.02 | 100.00 |
| 4.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| Total | 546 | 120 | 356 | 515 | 377 | 74 | 53 | 43 | 137 | 245 | 528 | 389 | 566 | 327 | 467 | 232 | 4975 | | |
| Total (%) | 10.97 | 2.41 | 7.16 | 10.35 | 7.58 | 1.49 | 1.07 | 0.86 | 2.75 | 4.92 | 10.61 | 7.82 | 11.38 | 6.57 | 9.39 | 4.66 | 4975 | | |



Annexe F : Épisodes de tempêtes – Vagues supérieures à 3 m - Amplitude de la marée à Baie-Comeau et Rimouski

Les résultats de cette annexe sont produits sur le CD-ROM qui accompagne ce rapport



Annexe F

Épisodes de tempêtes – Vagues supérieures à 3 m Amplitude de la marée à Baie-Comeau et Rimouski

TABLE DES MATIÈRES DE L'ANNEXE

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Événements de vagues supérieurs à 3,0 m de hauteur de vague significative..... | 4 |
| 2 | Statistiques sur les vagues générées..... | 54 |

LISTE DES FIGURES DE L'ANNEXE

| | | |
|-------------|---|----|
| Figure 1: | Point focal retenu pour la génération des vagues..... | 3 |
| Figure 2: | 1965-02-26 1h00 – 3,2 m..... | 4 |
| Figure 3: | 1966-01-31 3h00 3,7 m..... | 5 |
| Figure 4: | 1966-12-25 20h00 3,2 m..... | 6 |
| Figure 5: | 1968-03-24 9h00 3,7 m..... | 7 |
| Figure 6: | 1968-12-05 4h00 4,7 m..... | 8 |
| Figure 7: | 1968-12-16 1h00 3,0 m..... | 9 |
| Figure 8: | 1969-01-08 2h00 4,7 m..... | 10 |
| Figure 9: | 1969-12-27 11h00 3,1 m..... | 11 |
| Figure 10 : | 1970-04-03 5h00 3,5 m..... | 12 |
| Figure 11 : | 1971-04-16 7h00 3,0 m..... | 13 |
| Figure 12: | 1972-03-23 12h00 3,3 m..... | 14 |
| Figure 13: | 1972-11-26 20h00 3,4 m..... | 15 |
| Figure 14 : | 1973-03-18 11h00 3,1 m..... | 16 |
| Figure 15 : | 1974-03-17 17h00 3,3 m..... | 17 |
| Figure 16: | 1975-04-04 4,3 m..... | 18 |
| Figure 17: | 1975-04-20 6h00 3,2 m..... | 19 |
| Figure 18 : | 1975-09-29 14h00 3,1 m..... | 20 |
| Figure 19 : | 1976-02-02 18h00 5,5 m..... | 21 |
| Figure 20: | 1976-10-10 4h00 4,2 m..... | 22 |



| | |
|---|----|
| Figure 21 : 1976-10-21 16h00 4,6 m..... | 23 |
| Figure 22: 1976-12-27 6h00 3,9 m..... | 24 |
| Figure 23: 1977-01-11 01h00 4,0 m..... | 25 |
| Figure 24: 1977-01-29 18h00 3,1 m..... | 26 |
| Figure 25: 1978-01-10 10h00 3,2 m..... | 27 |
| Figure 26: 1978-01-26 20h00 5,1 m..... | 28 |
| Figure 27 : 1978-04-02 0h00 3,0 m..... | 29 |
| Figure 28: 1978-12-18 3h00 3,1 m..... | 30 |
| Figure 29: 1978-12-26 4h00 3,2 m..... | 31 |
| Figure 30 : 1979-01-22 3h00 4,0 m..... | 32 |
| Figure 31: 1979-10-06 18h00 3,1 m..... | 33 |
| Figure 32: 1980-01-23 22h00 3,1 m..... | 34 |
| Figure 33: 1980-05-21 18h00 3,0 m..... | 35 |
| Figure 34 : 1980-11-29 7h00 3,3 m..... | 36 |
| Figure 35: 1981-03-18 2h00 et 17h00 4,8 m et 3,1 m..... | 37 |
| Figure 36: 1981-11-21 14h00 4,2 m..... | 38 |
| Figure 37 : 1983-11-17 4h00 3,7 m..... | 39 |
| Figure 38: 1983-12-07 6h00 3,3 m..... | 40 |
| Figure 39 : 1984-02-29 7h00 3,3 m..... | 41 |
| Figure 40: 1984-02-29 7h00 3,3 m..... | 42 |
| Figure 41: 1987-01-23 11h00 5,1 m..... | 43 |
| Figure 42: 1988-11-02 19h00 3,2 m..... | 44 |
| Figure 43 : 1989-04-07 16h00 3,0 m..... | 45 |
| Figure 44: 1993-03-14 8h00 3,1 m..... | 46 |
| Figure 45: 1993-12-22 4h00 3,0 m..... | 47 |
| Figure 46: 1995-11-15 14h00 4,0 m..... | 48 |
| Figure 47: 1996-12-08 16h00 3,9 m..... | 49 |
| Figure 48 : 1999-10-23 19h00 3,0 m..... | 50 |
| Figure 49: 2000-02-09 0h00 3,1 m..... | 51 |
| Figure 50: 2003-10-15 20h00 3,0 m..... | 52 |
| Figure 51: 2003-11-29 11h00 3,2 m..... | 53 |



Figure 1: Point focal retenu pour la génération des vagues



1 Événements de vagues supérieurs à 3,0 m de hauteur de vague significative

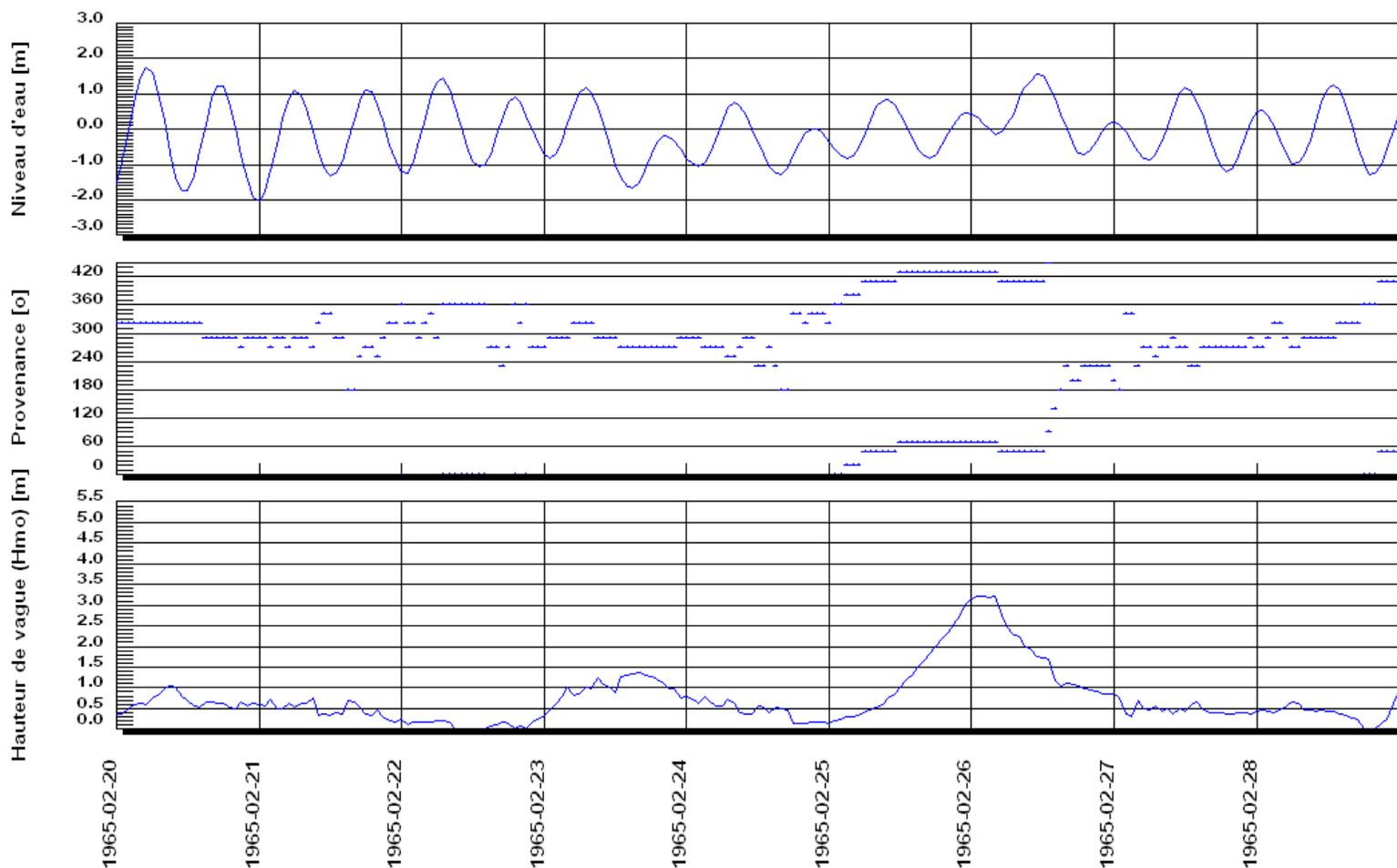


Figure 2: 1965-02-26 1h00 – 3,2 m

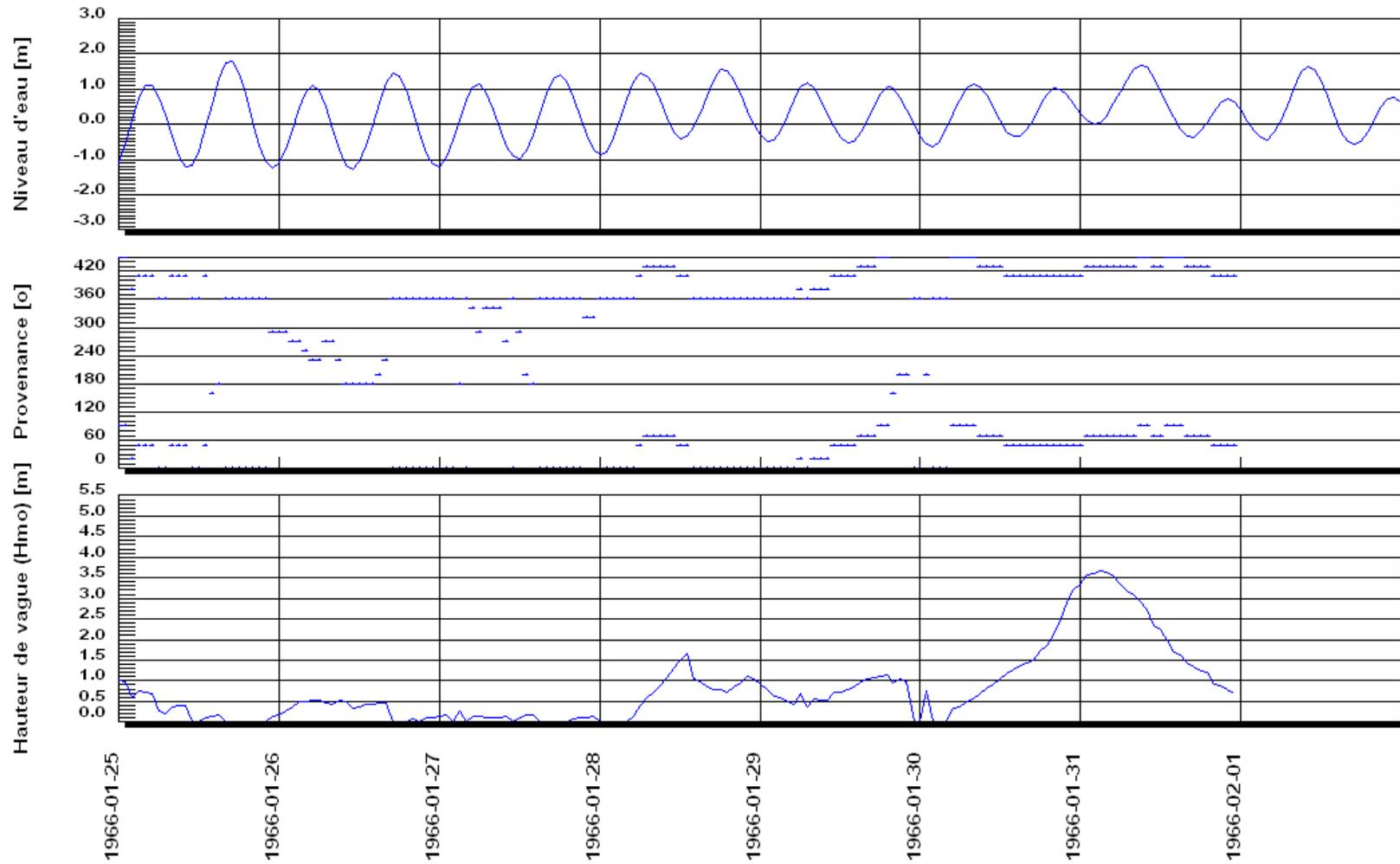


Figure 3: 1966-01-31 3h00 3,7 m

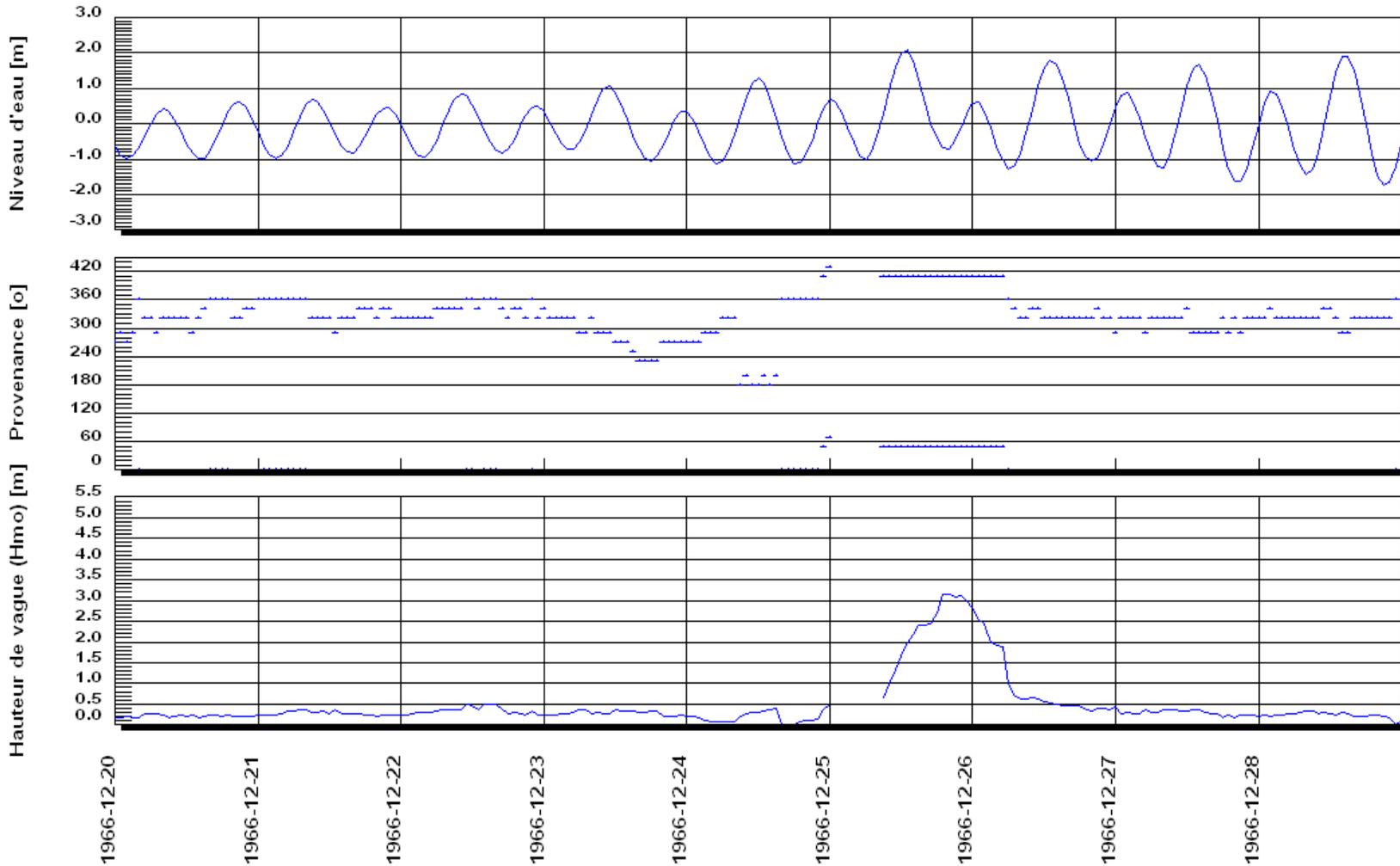


Figure 4: 1966-12-25 20h00 3,2 m

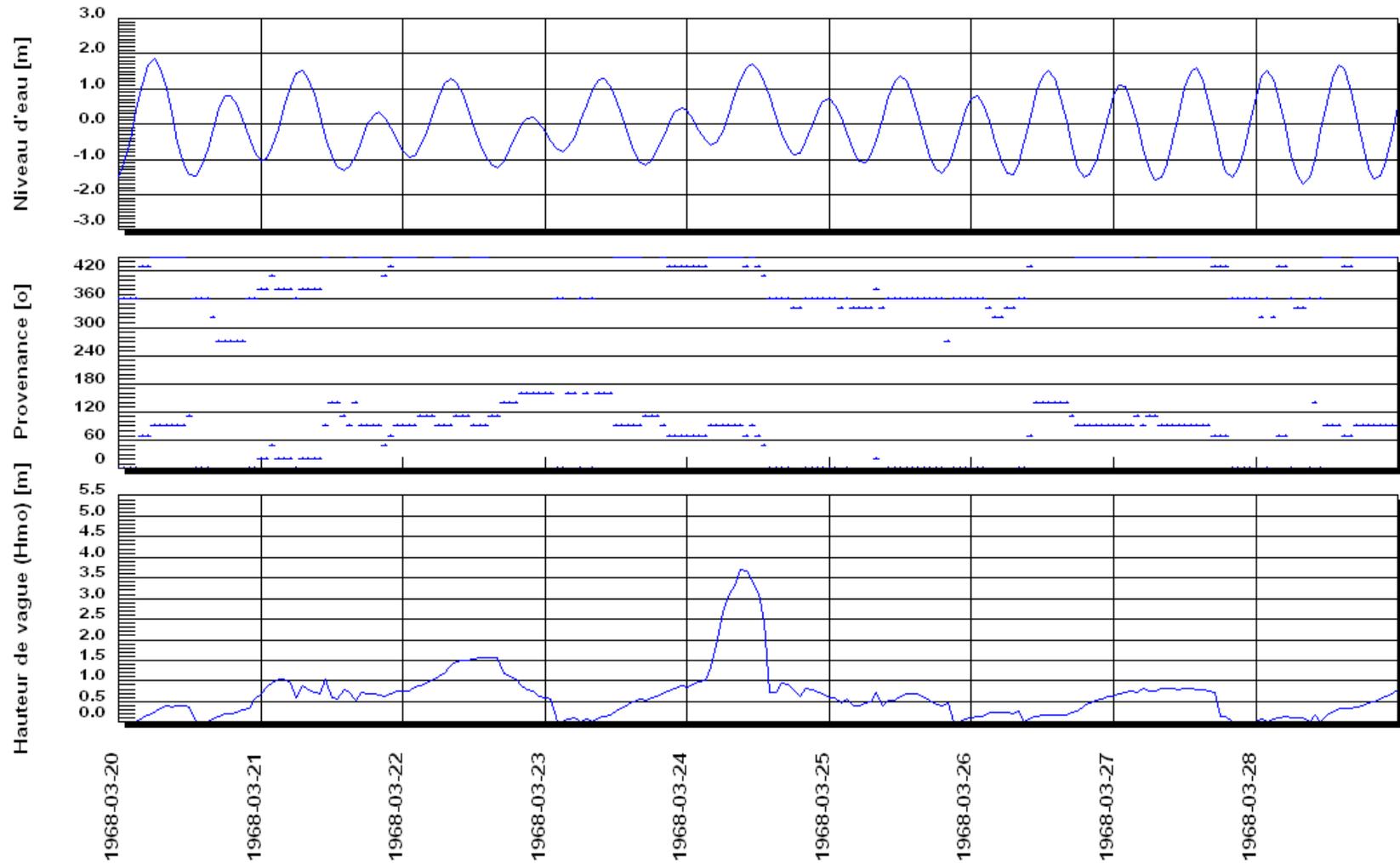


Figure 5: 1968-03-24 9h00 3,7 m

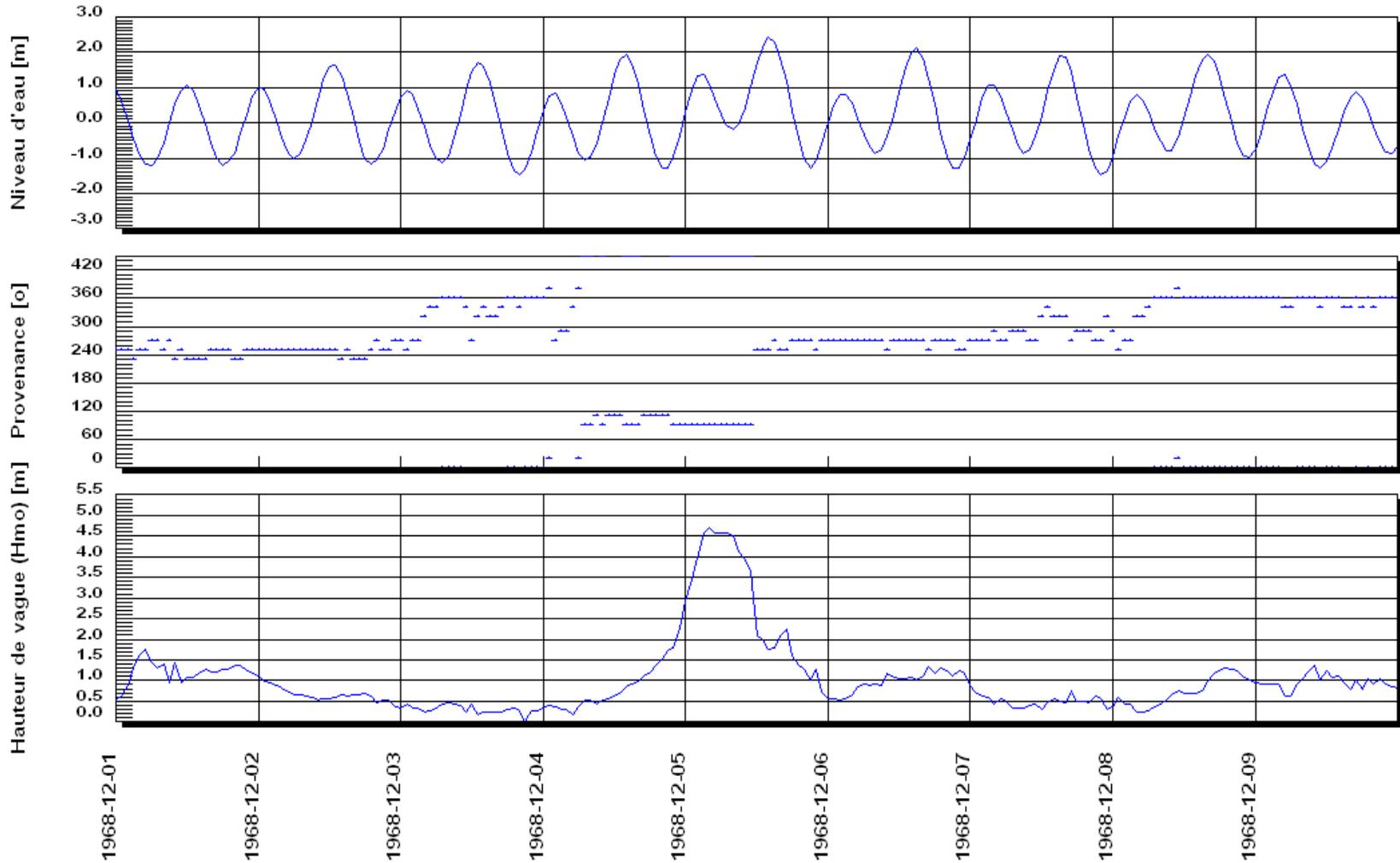


Figure 6: 1968-12-05 4h00 4,7 m

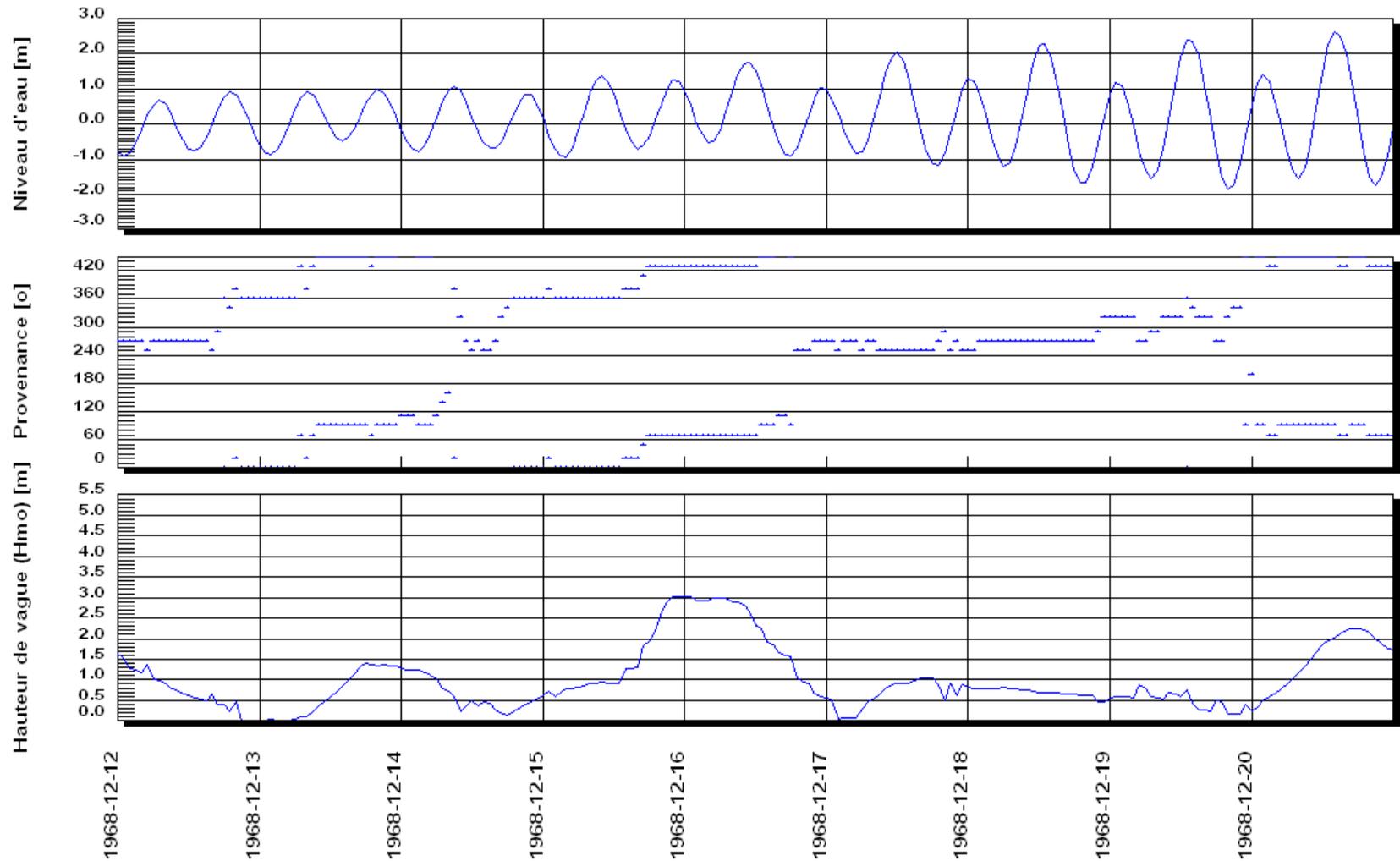


Figure 7: 1968-12-16 1h00 3,0 m

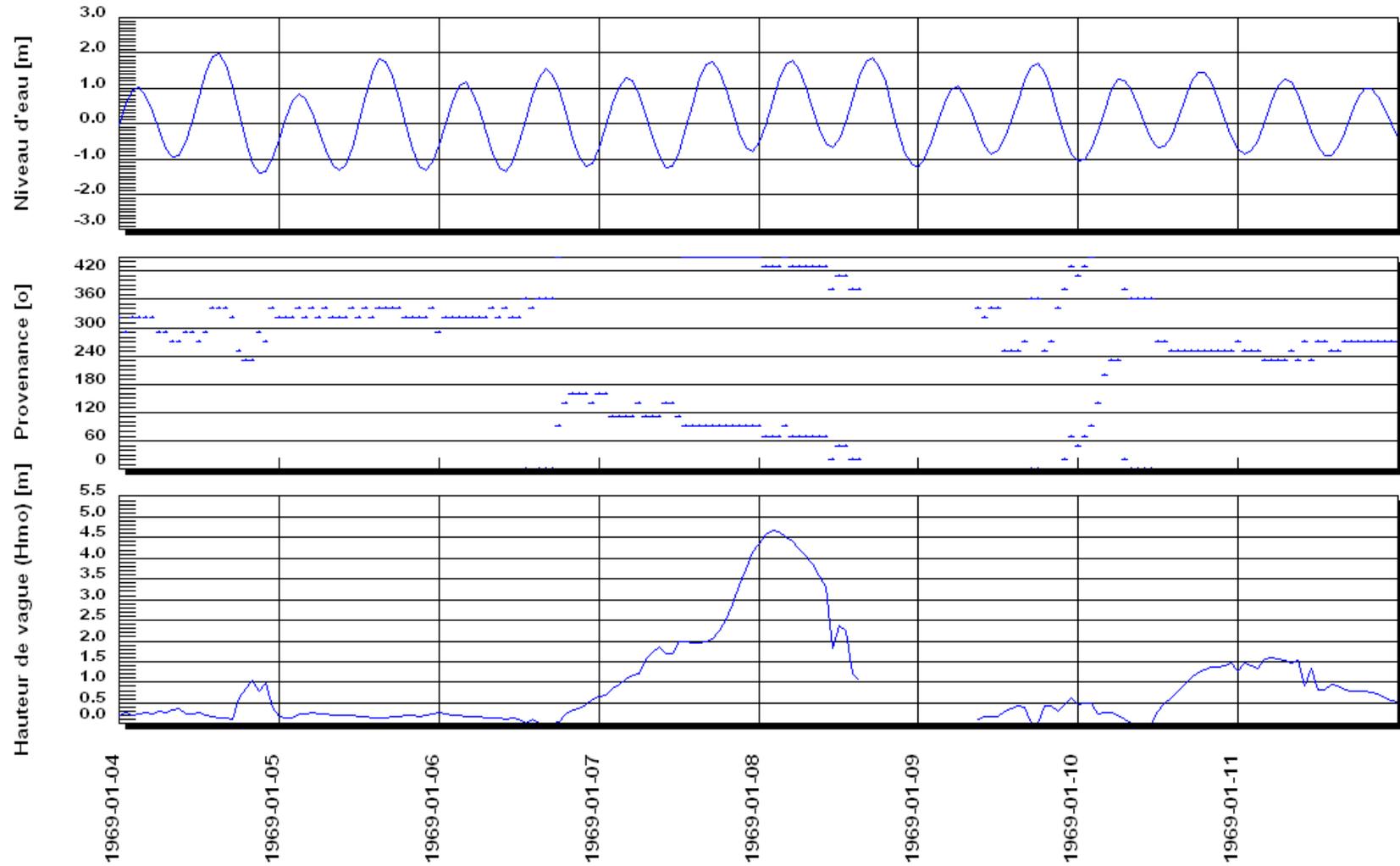


Figure 8: 1969-01-08 2h00 4,7 m

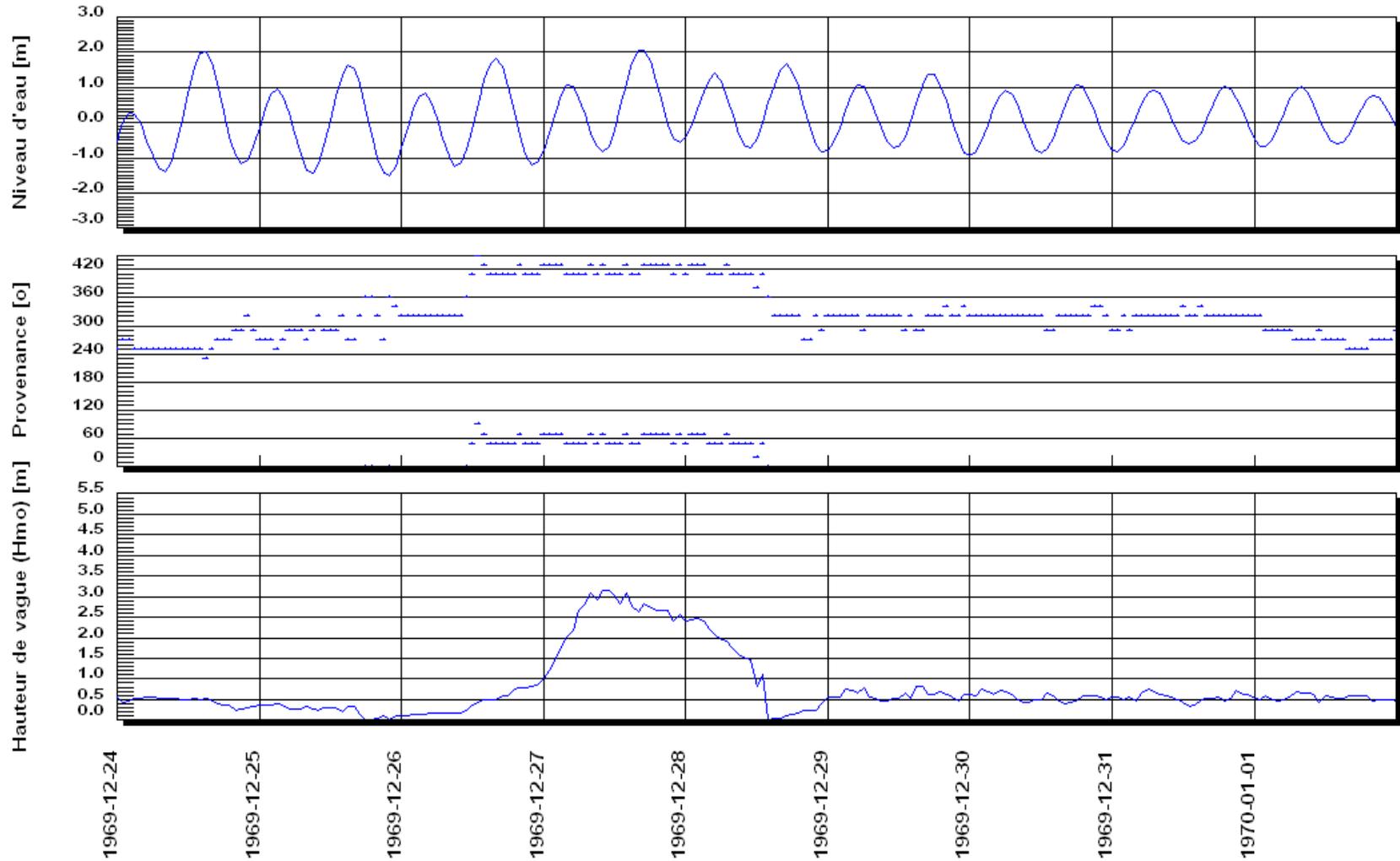


Figure 9: 1969-12-27 11h00 3,1 m

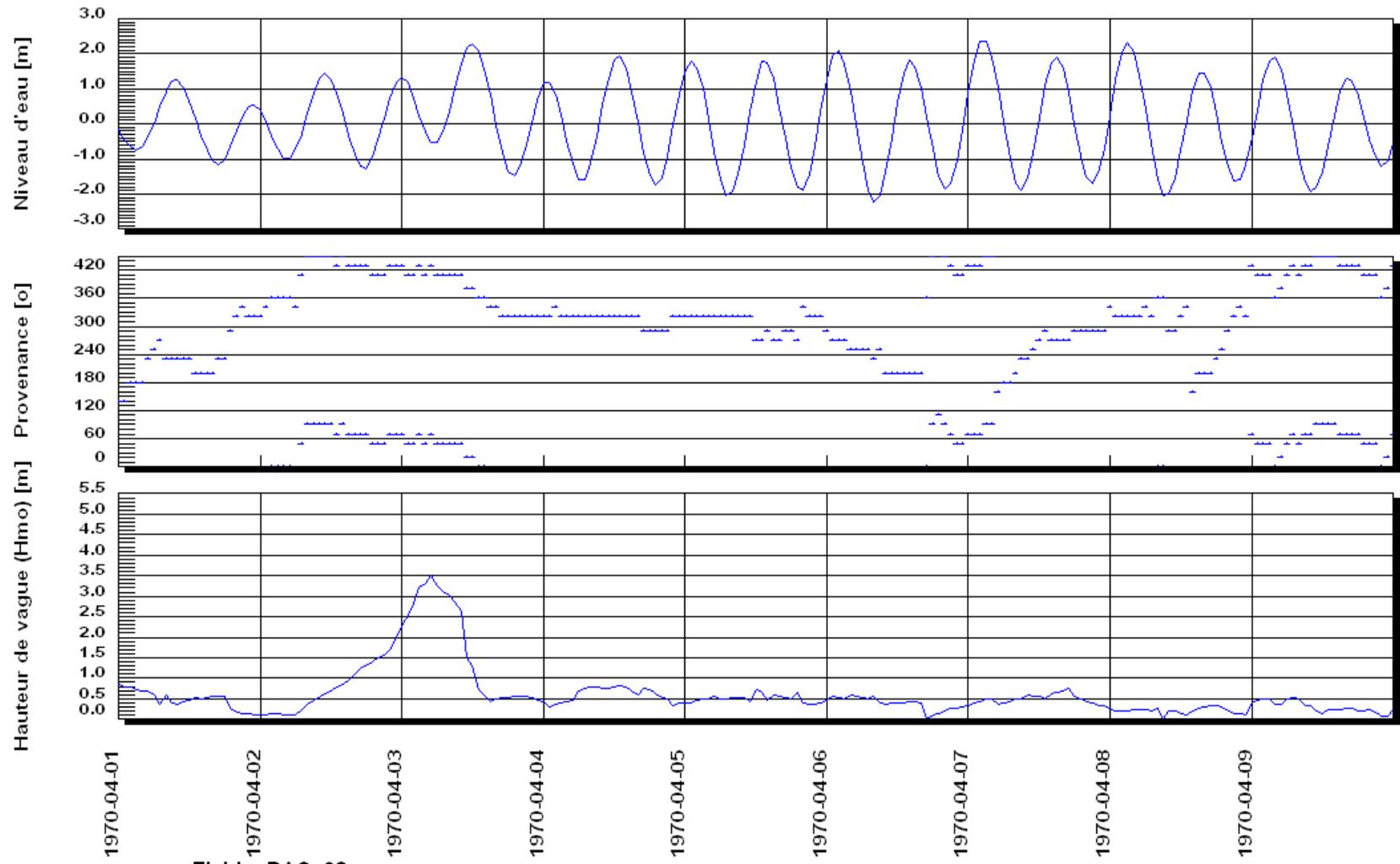


Figure 10 : 1970-04-03 5h00 3,5 m

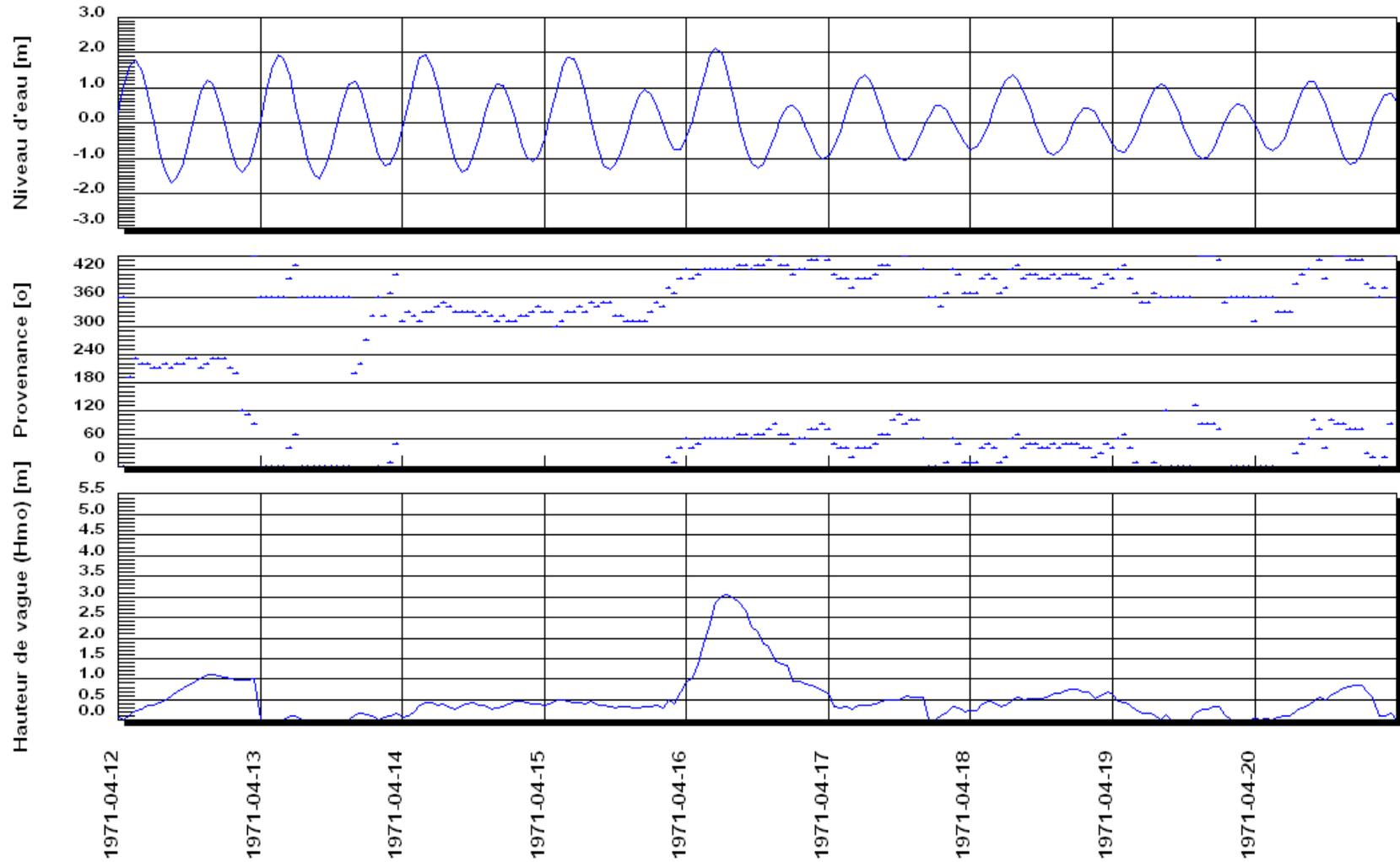


Figure 11 : 1971-04-16 7h00 3,0 m

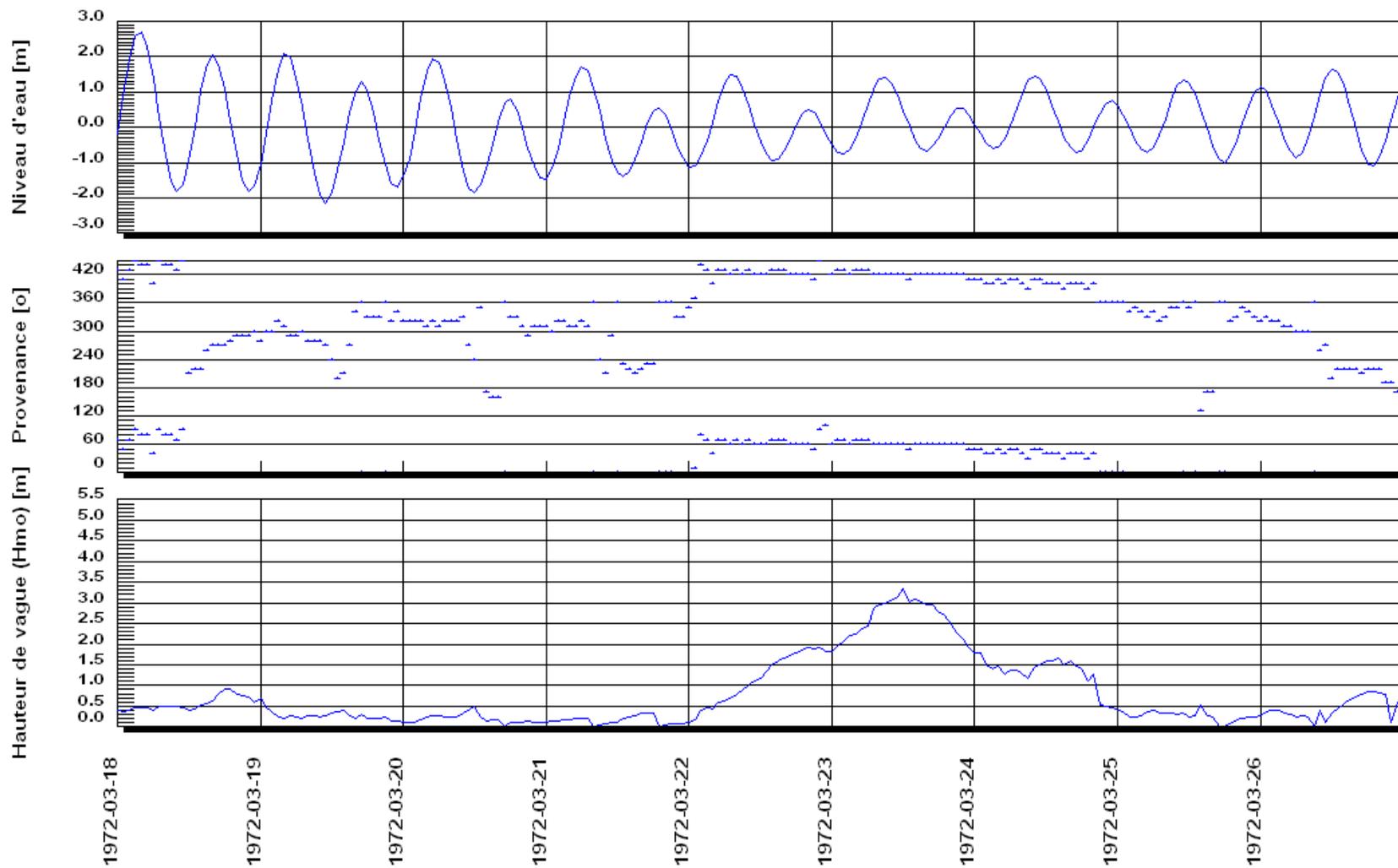


Figure 12: 1972-03-23 12h00 3,3 m

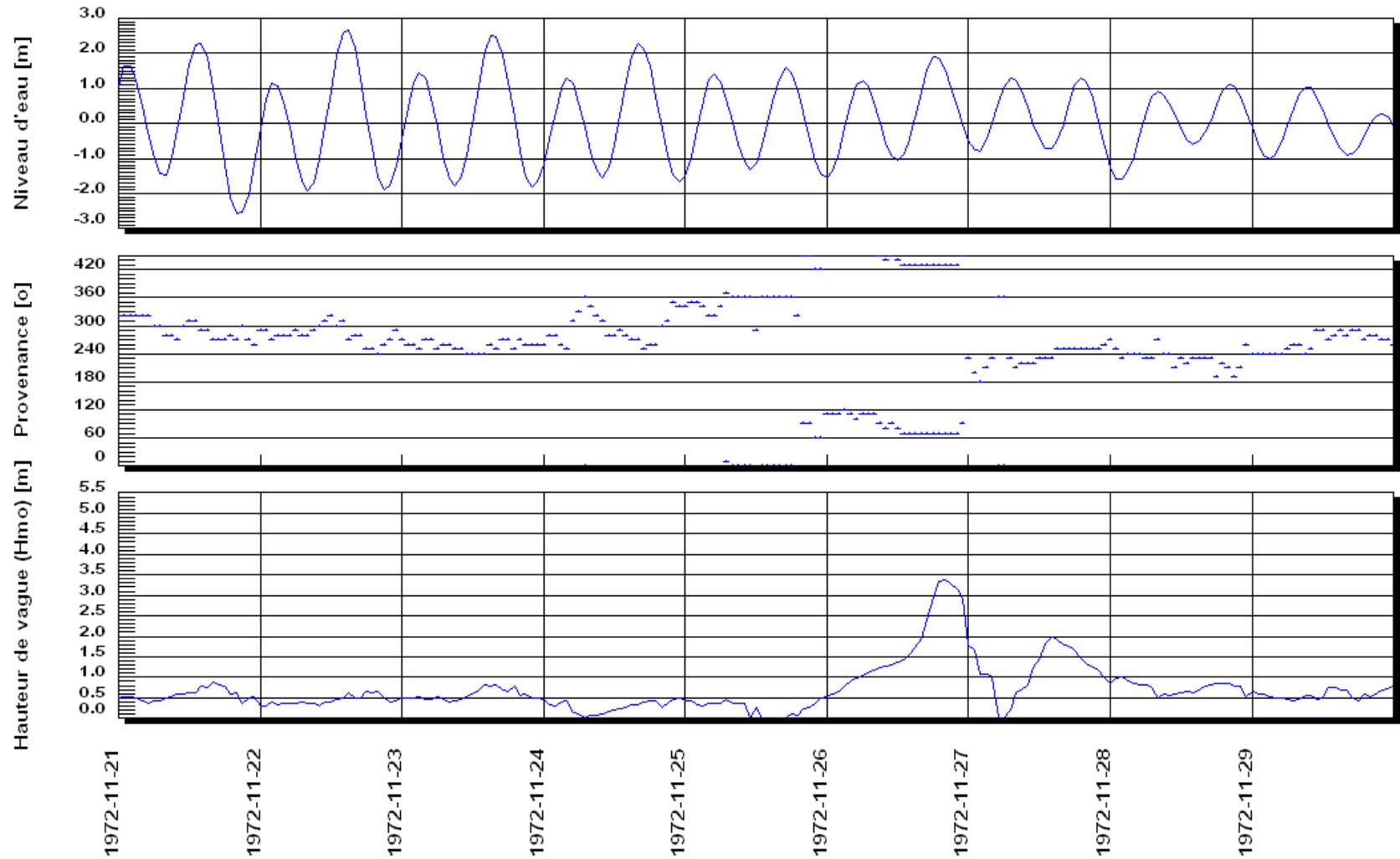


Figure 13: 1972-11-26 20h00 3,4 m

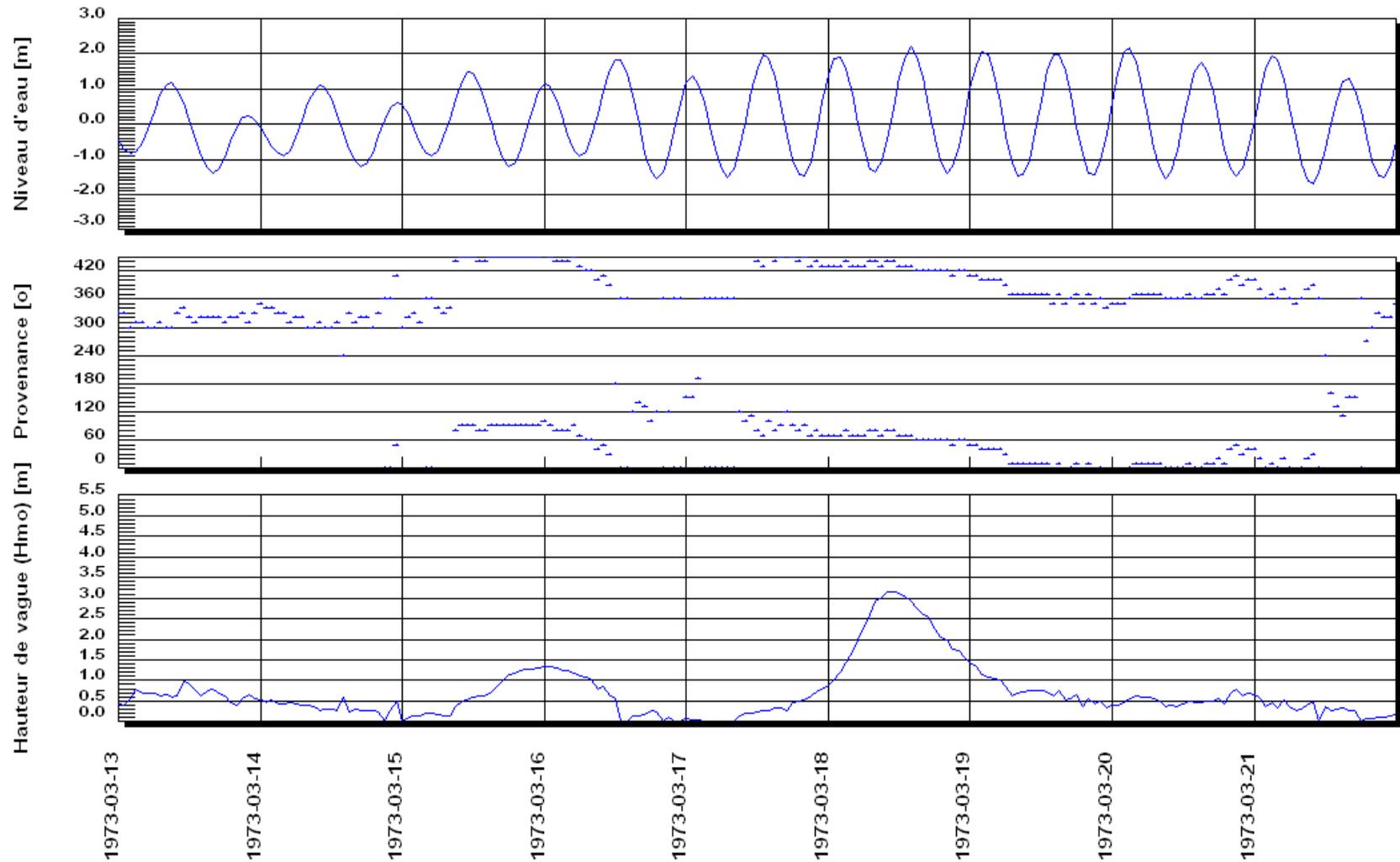


Figure 14 : 1973-03-18 11h00 3,1 m

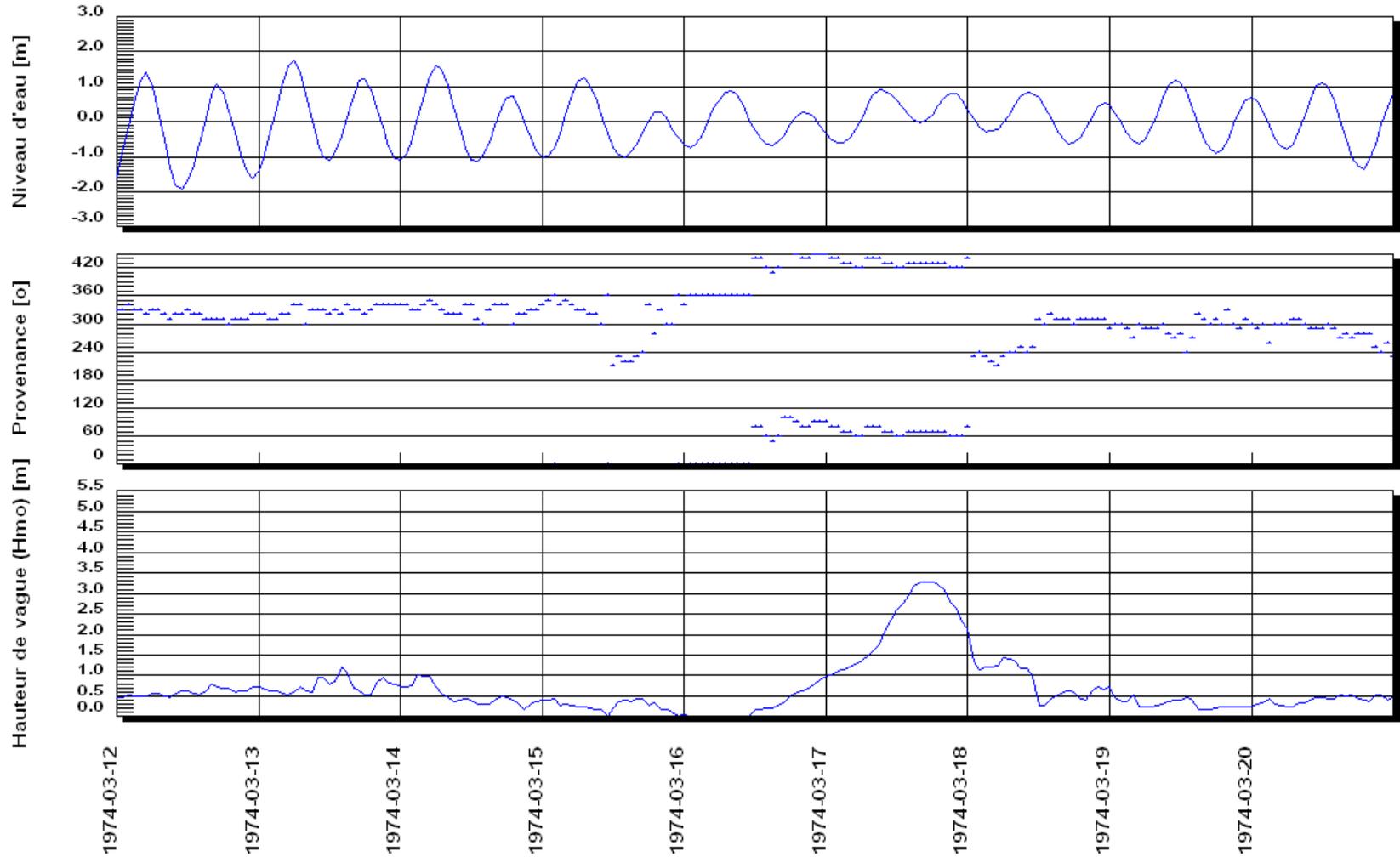


Figure 15 : 1974-03-17 17h00 3,3 m

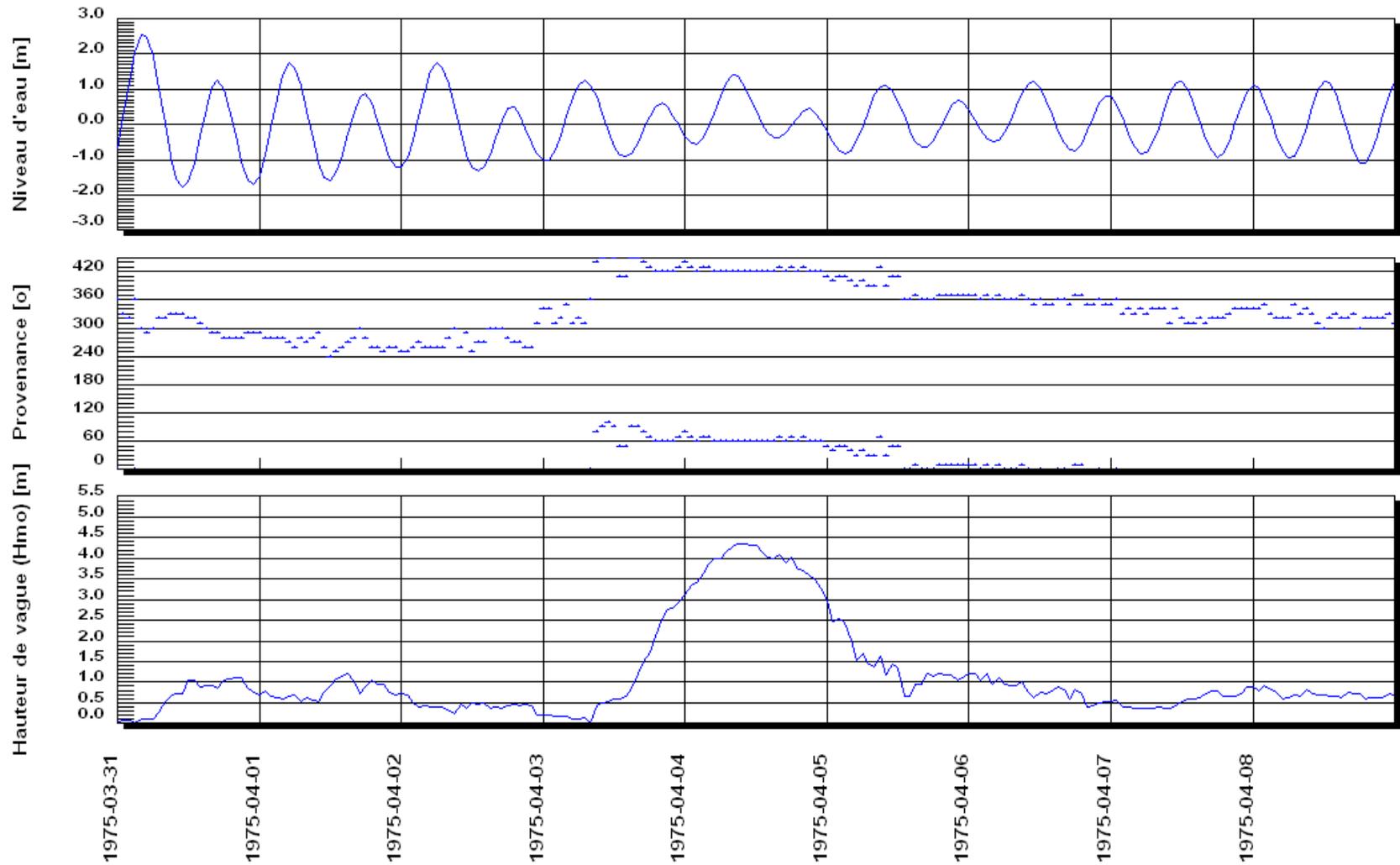


Figure 16: 1975-04-04 4,3 m

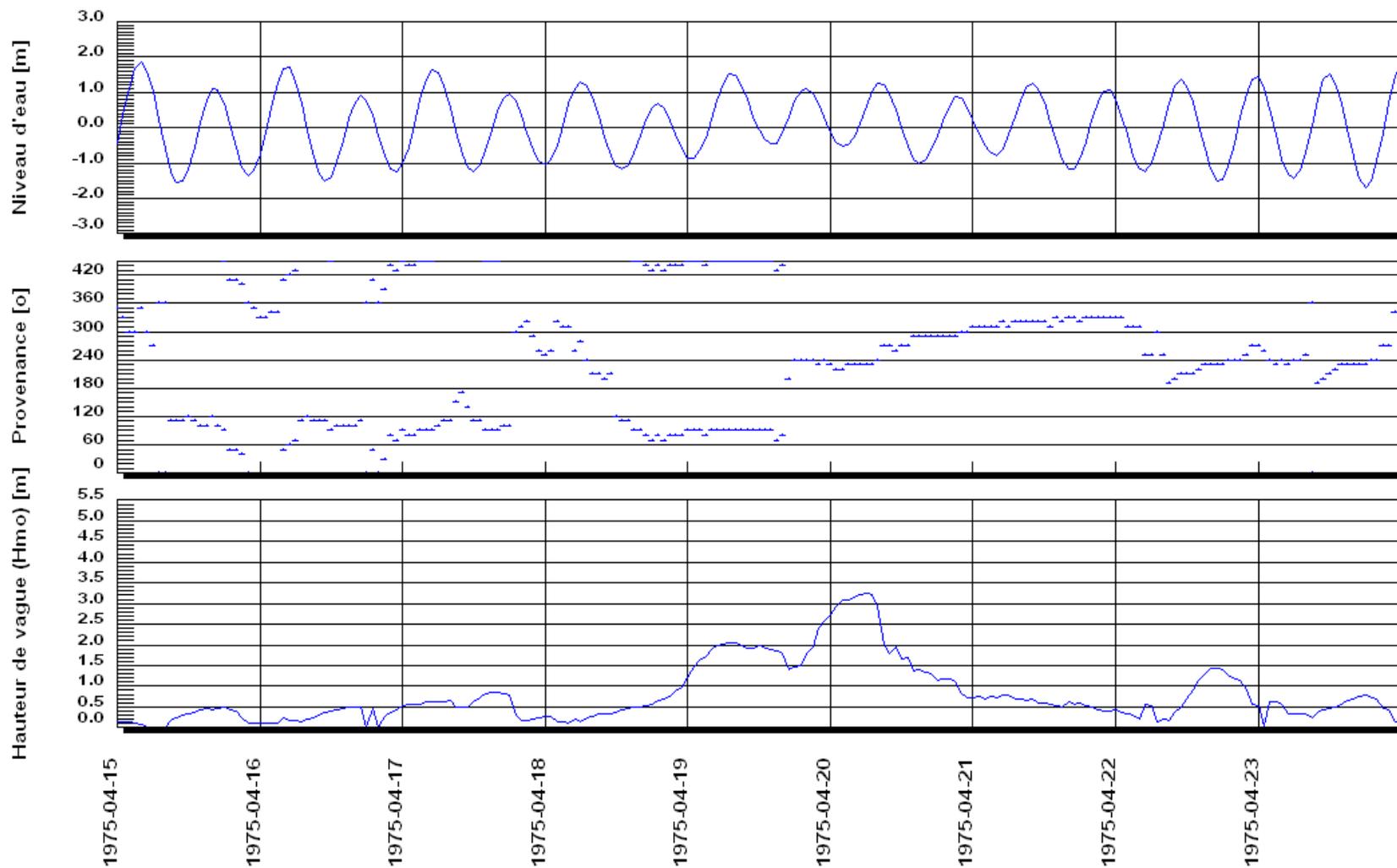


Figure 17: 1975-04-20 6h00 3,2 m

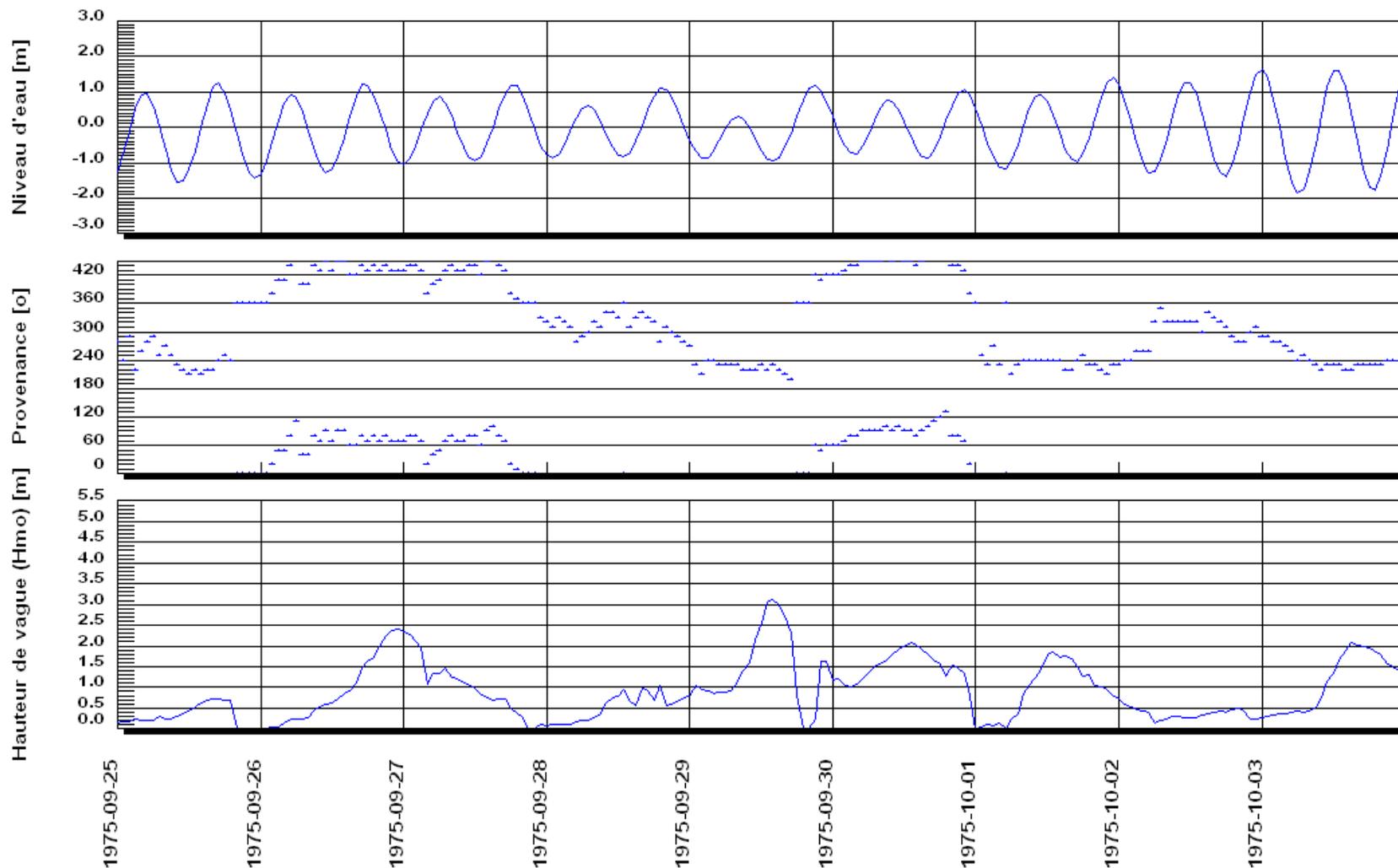


Figure 18 : 1975-09-29 14h00 3,1 m

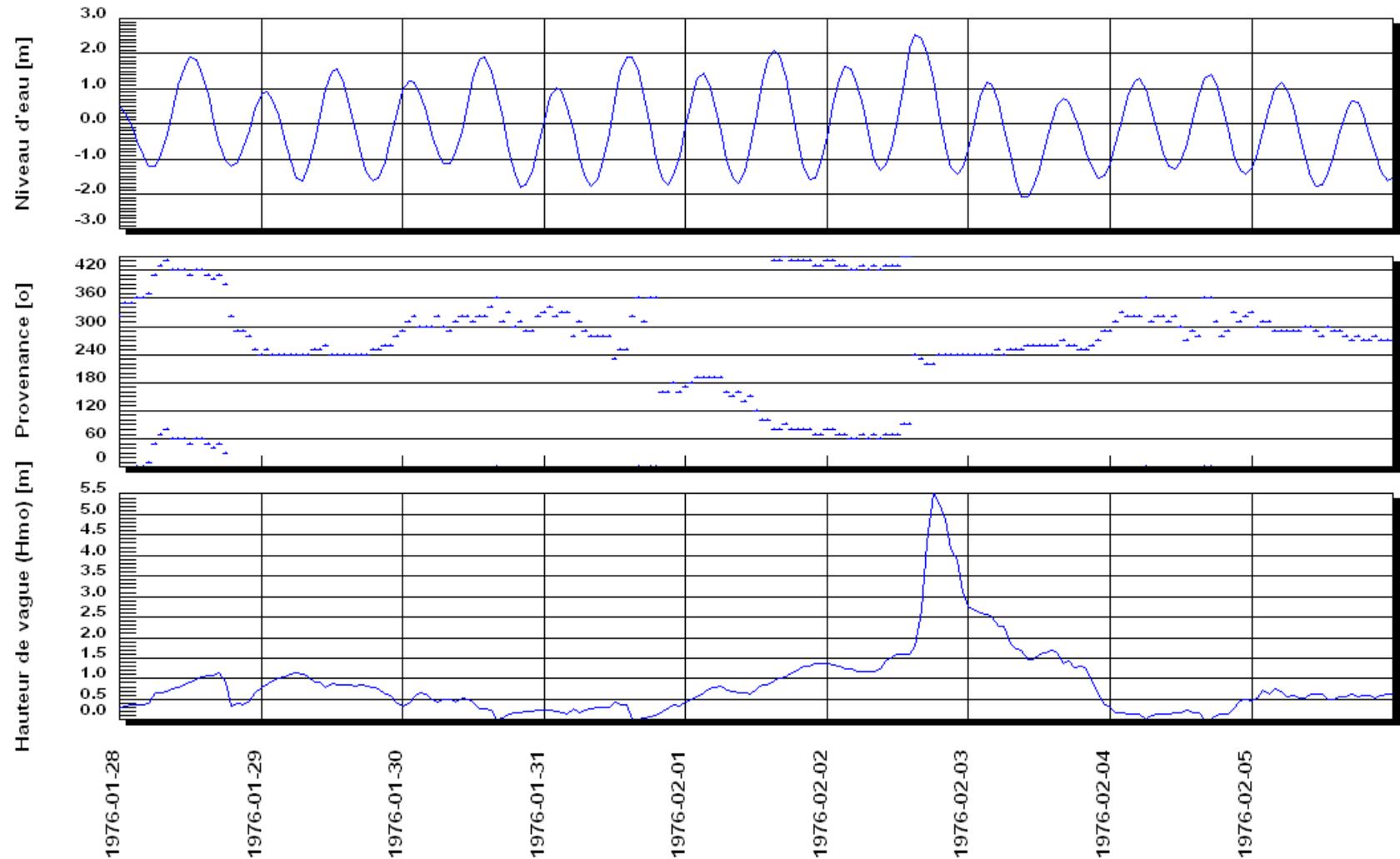


Figure 19 : 1976-02-02 18h00 5,5 m

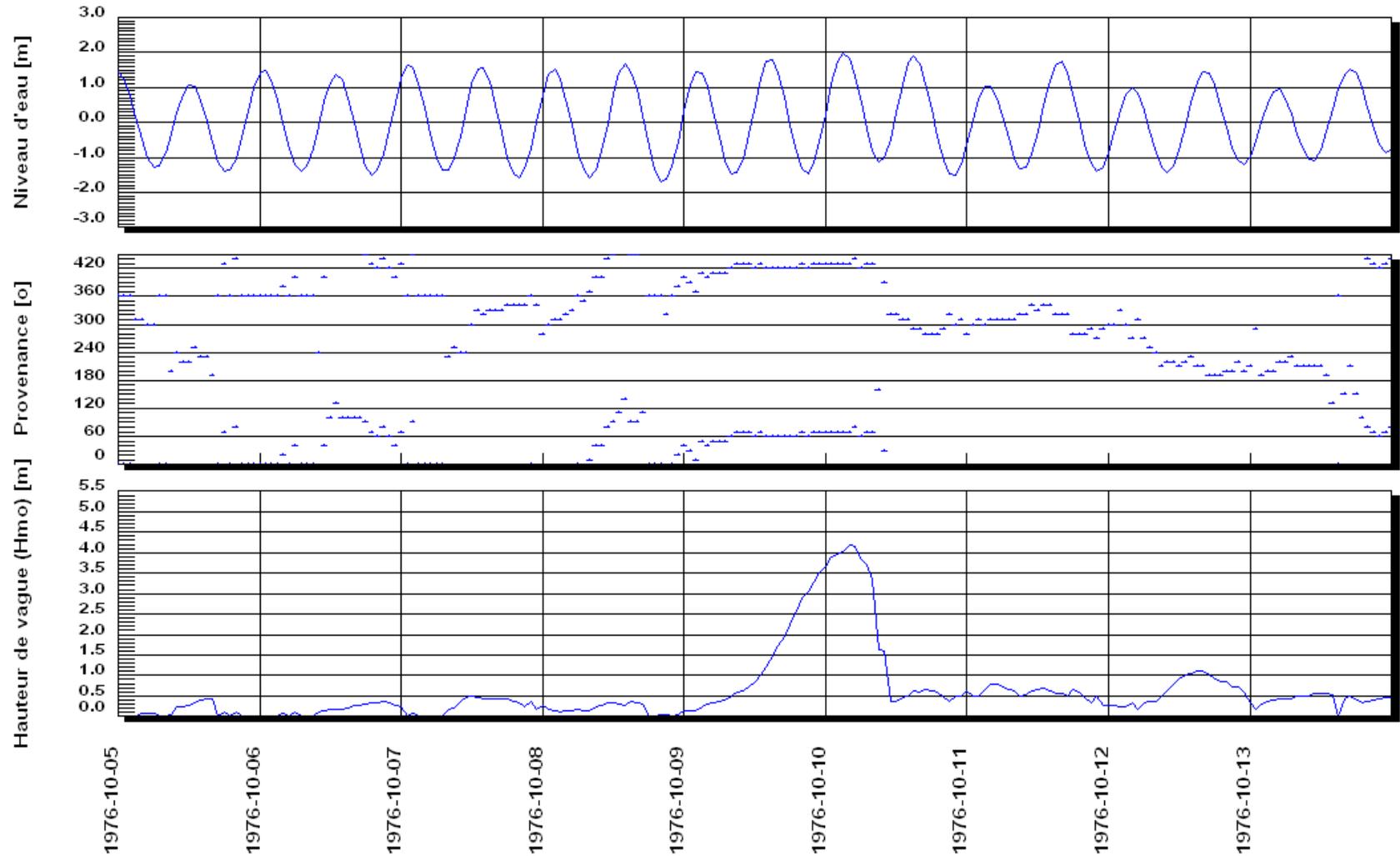


Figure 20: 1976-10-10 4h00 4,2 m

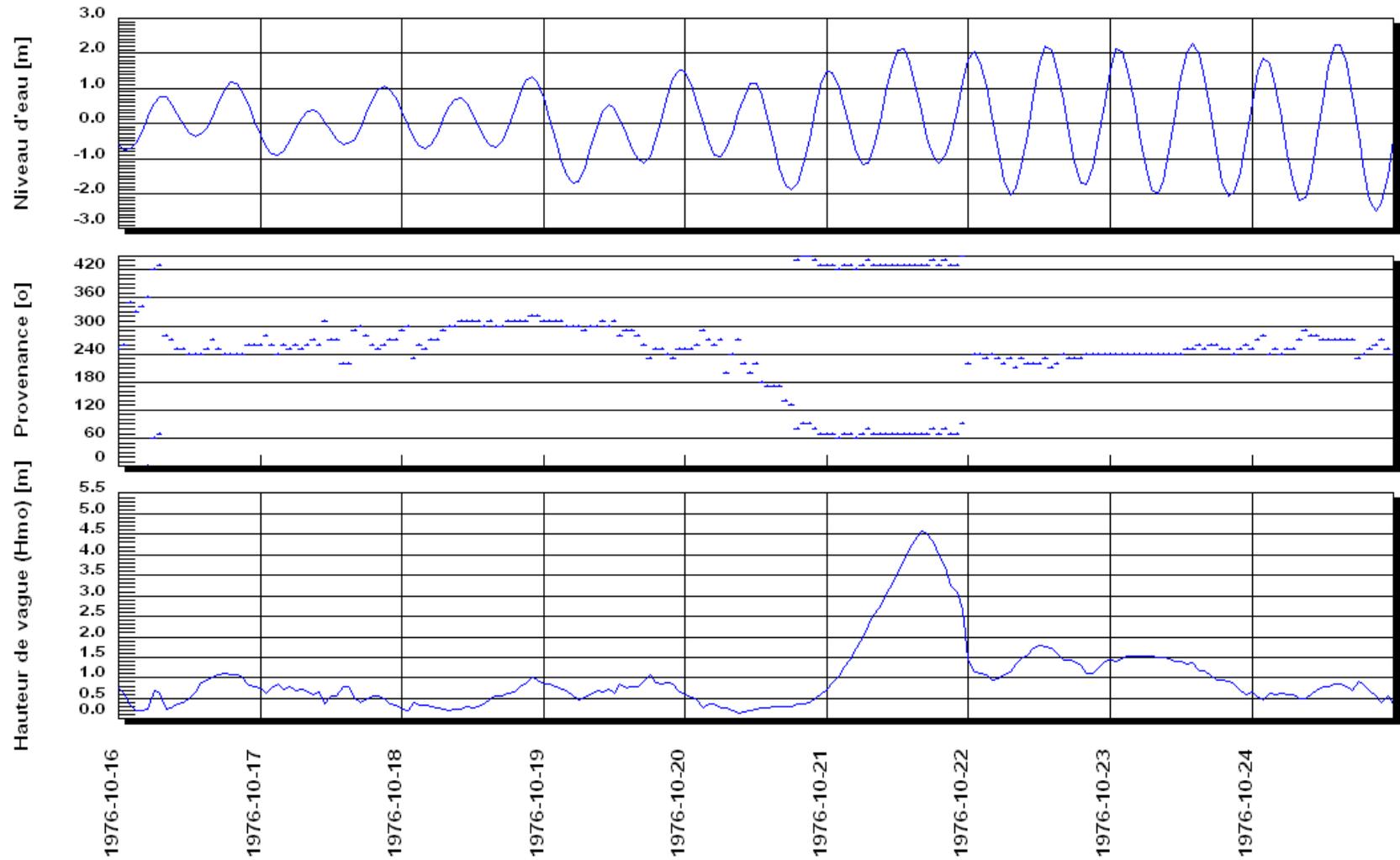


Figure 21 : 1976-10-21 16h00 4,6 m

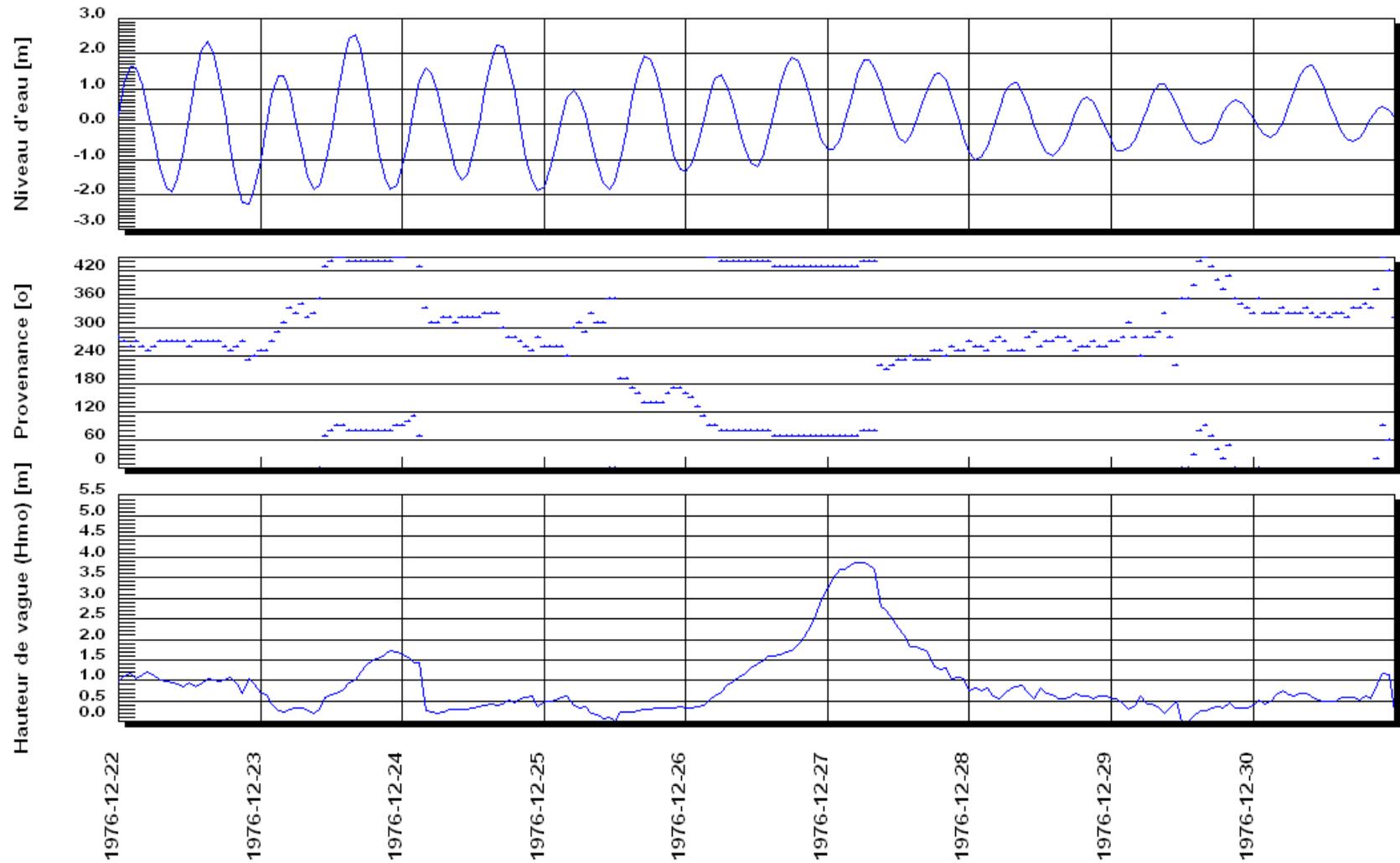


Figure 22: 1976-12-27 6h00 3,9 m

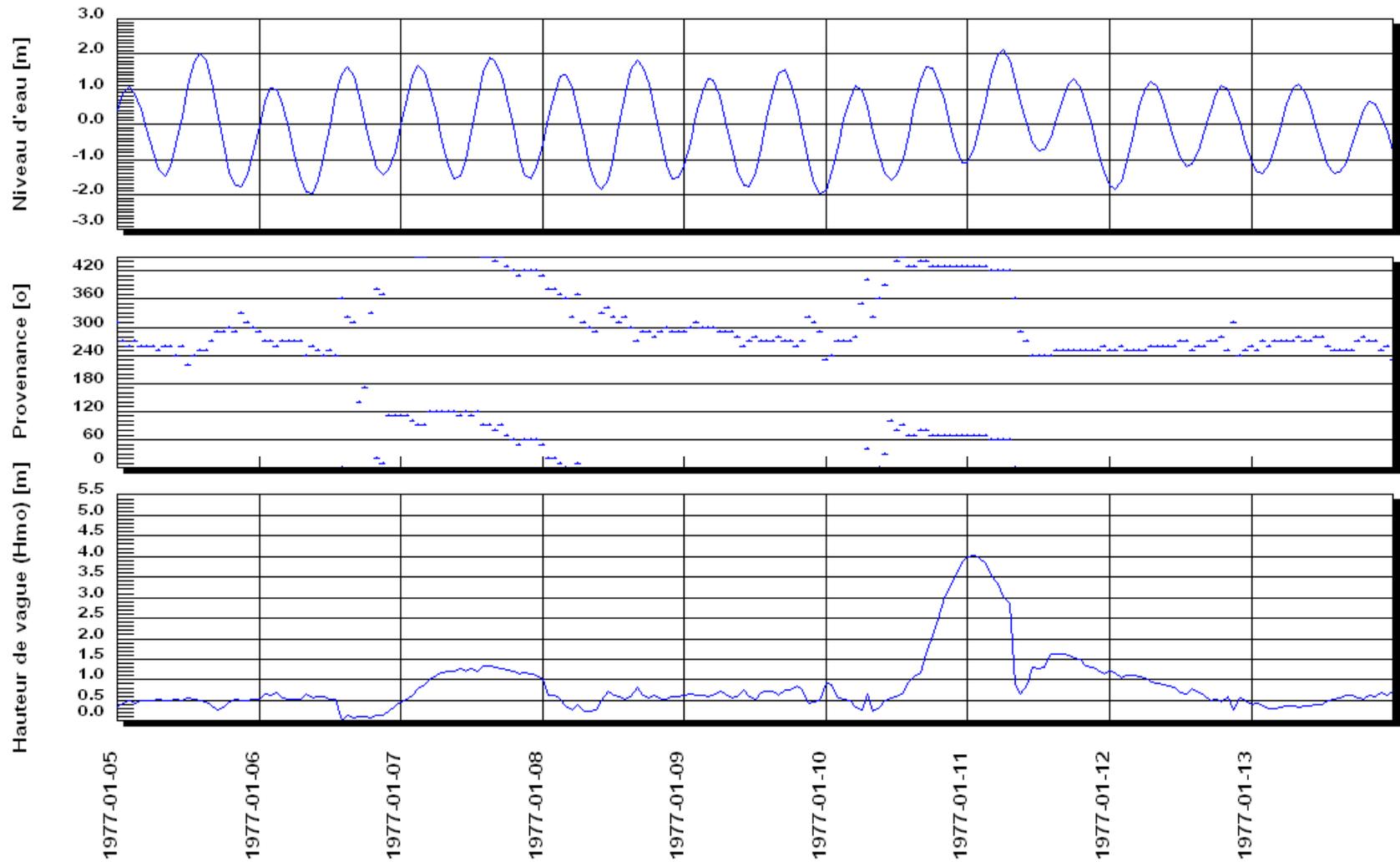


Figure 23: 1977-01-11 01h00 4,0 m

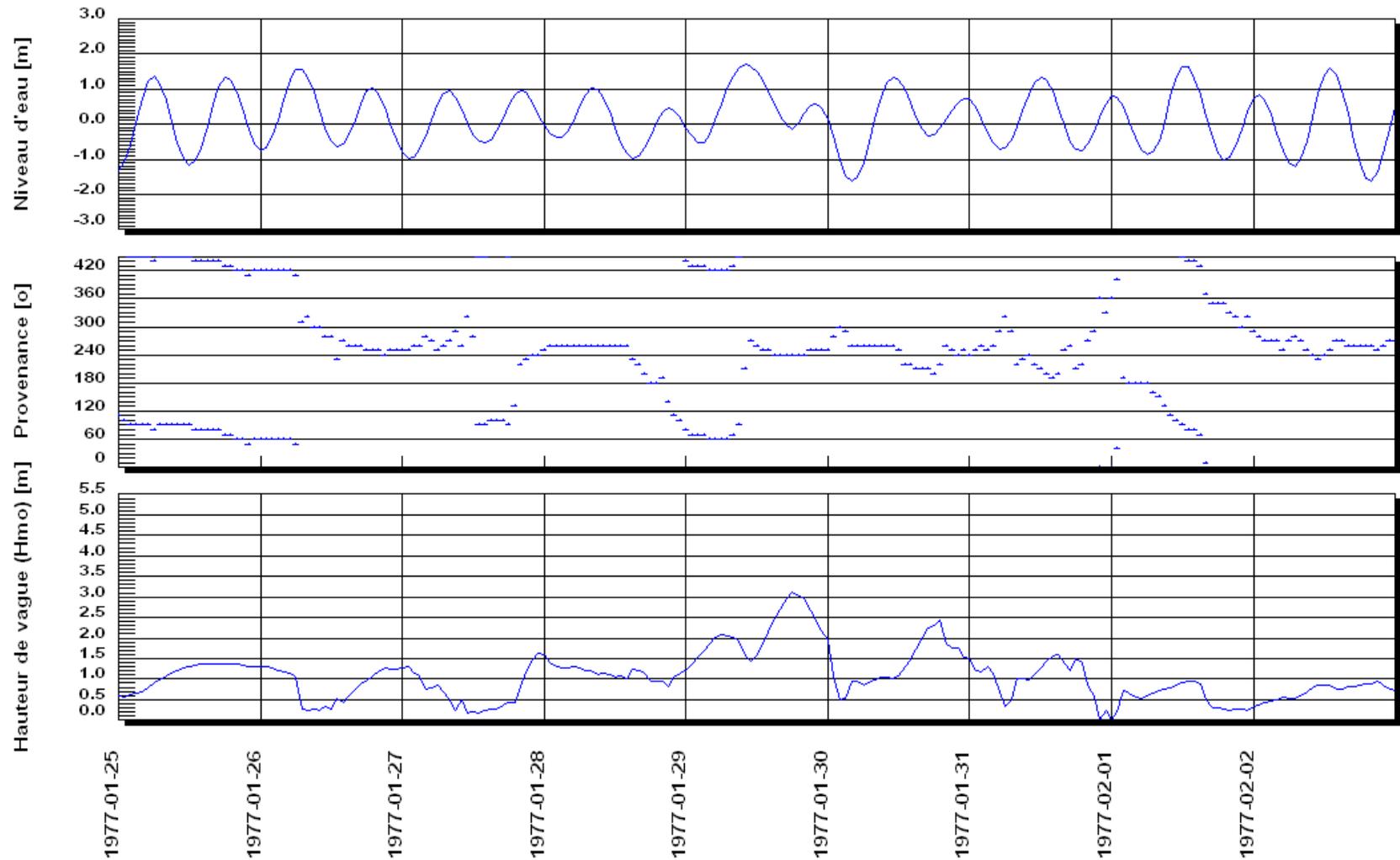


Figure 24: 1977-01-29 18h00 3,1 m

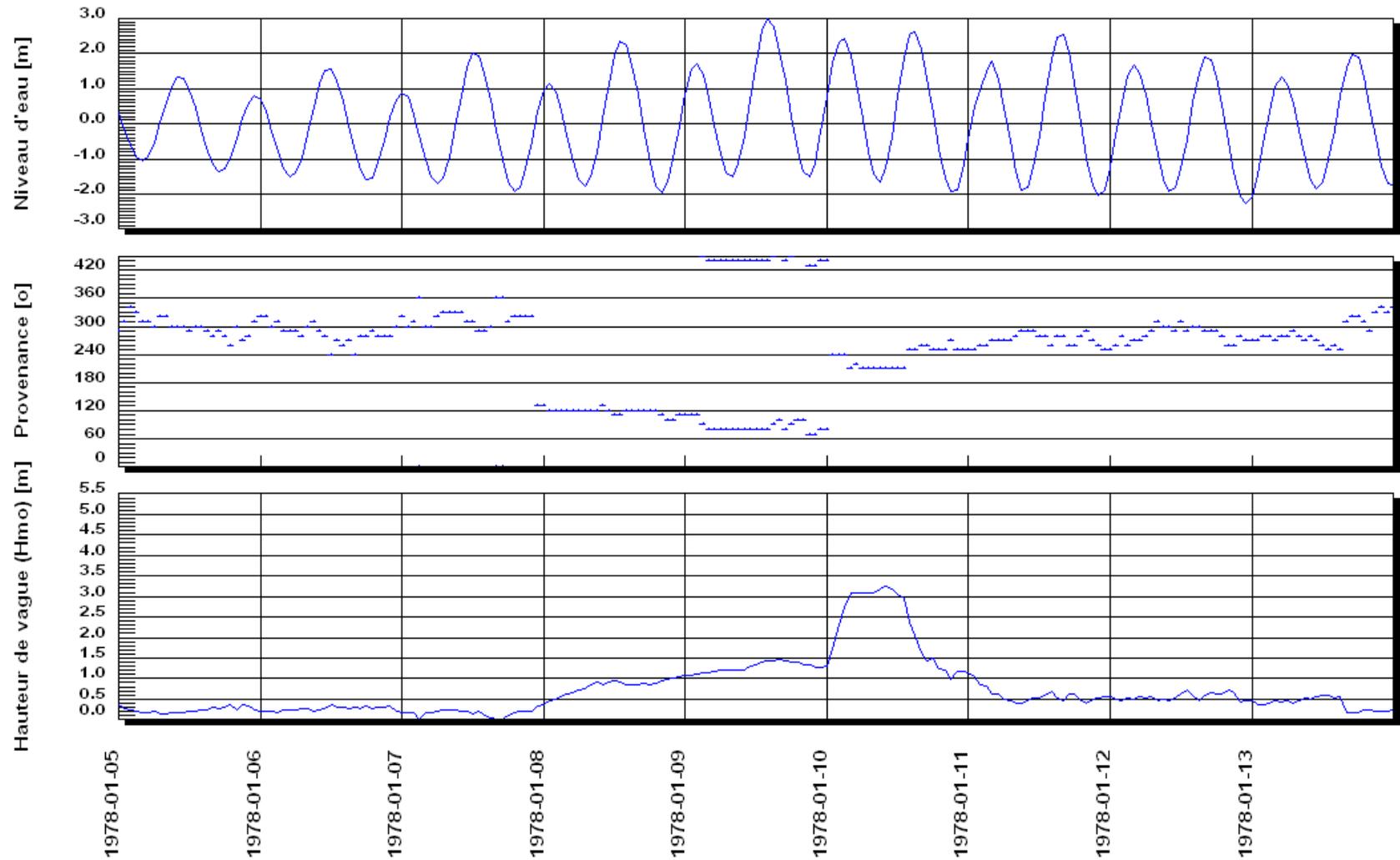


Figure 25: 1978-01-10 10h00 3,2 m

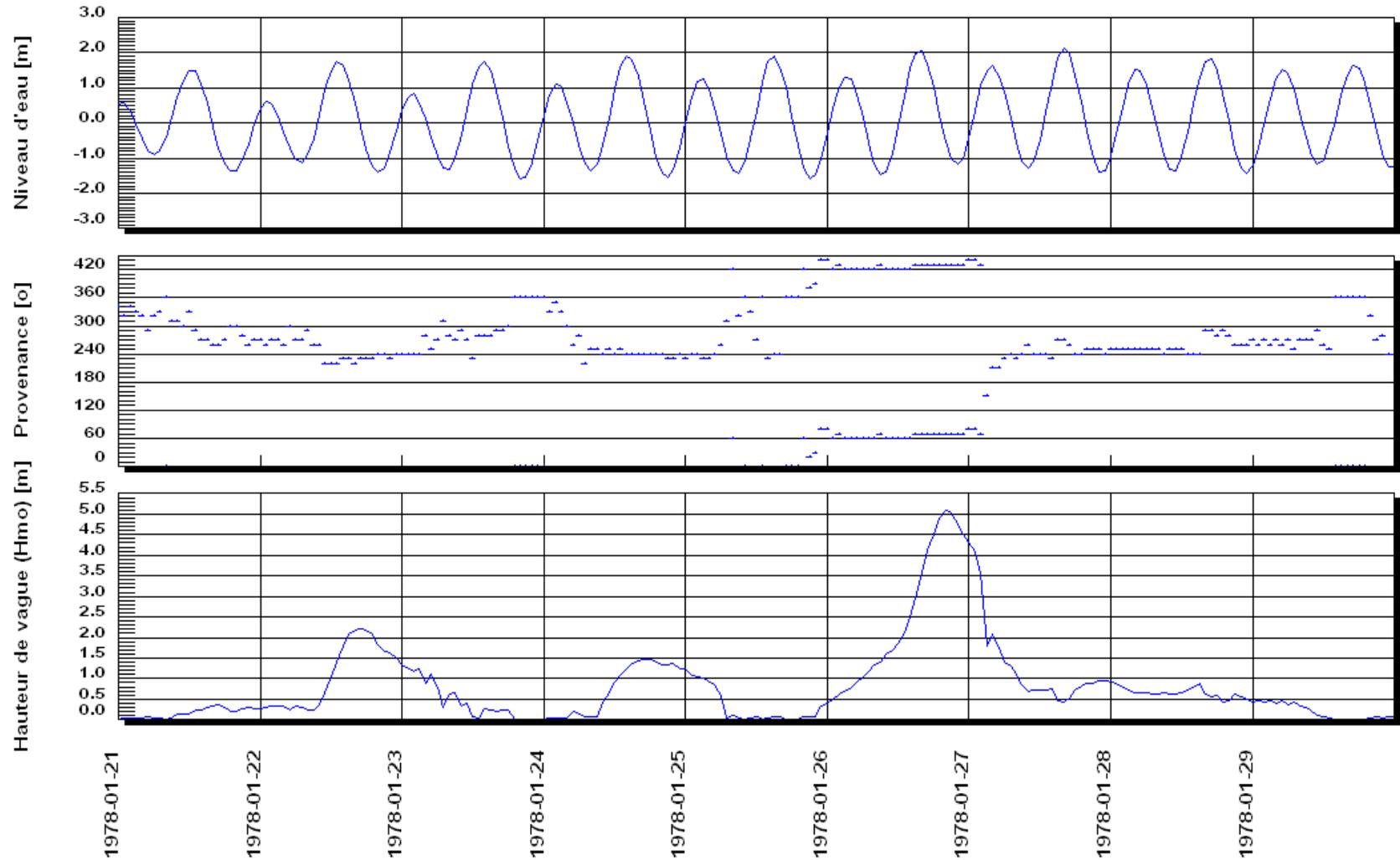


Figure 26: 1978-01-26 20h00 5,1 m

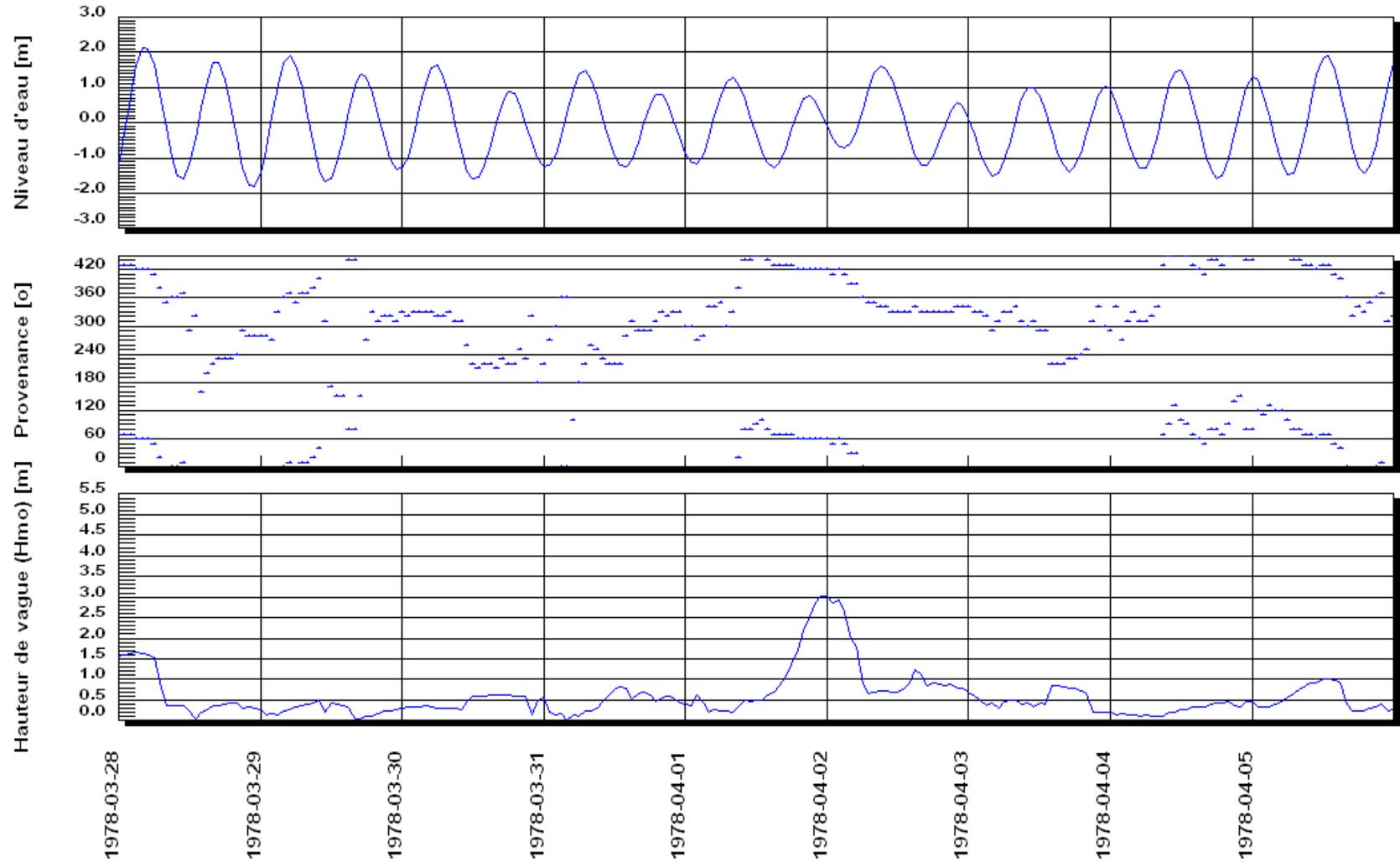


Figure 27 : 1978-04-02 0h00 3,0 m

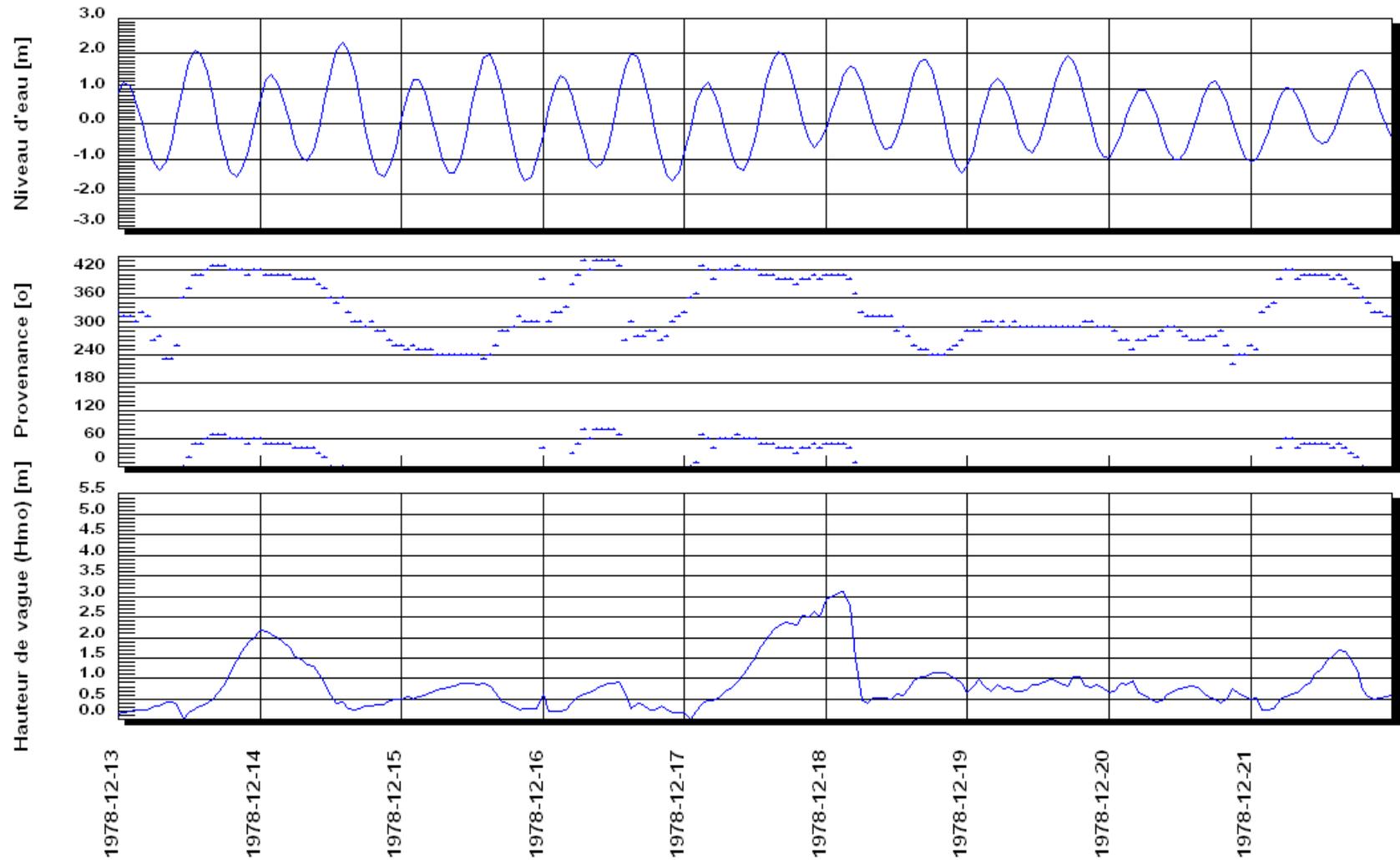


Figure 28: 1978-12-18 3h00 3,1 m

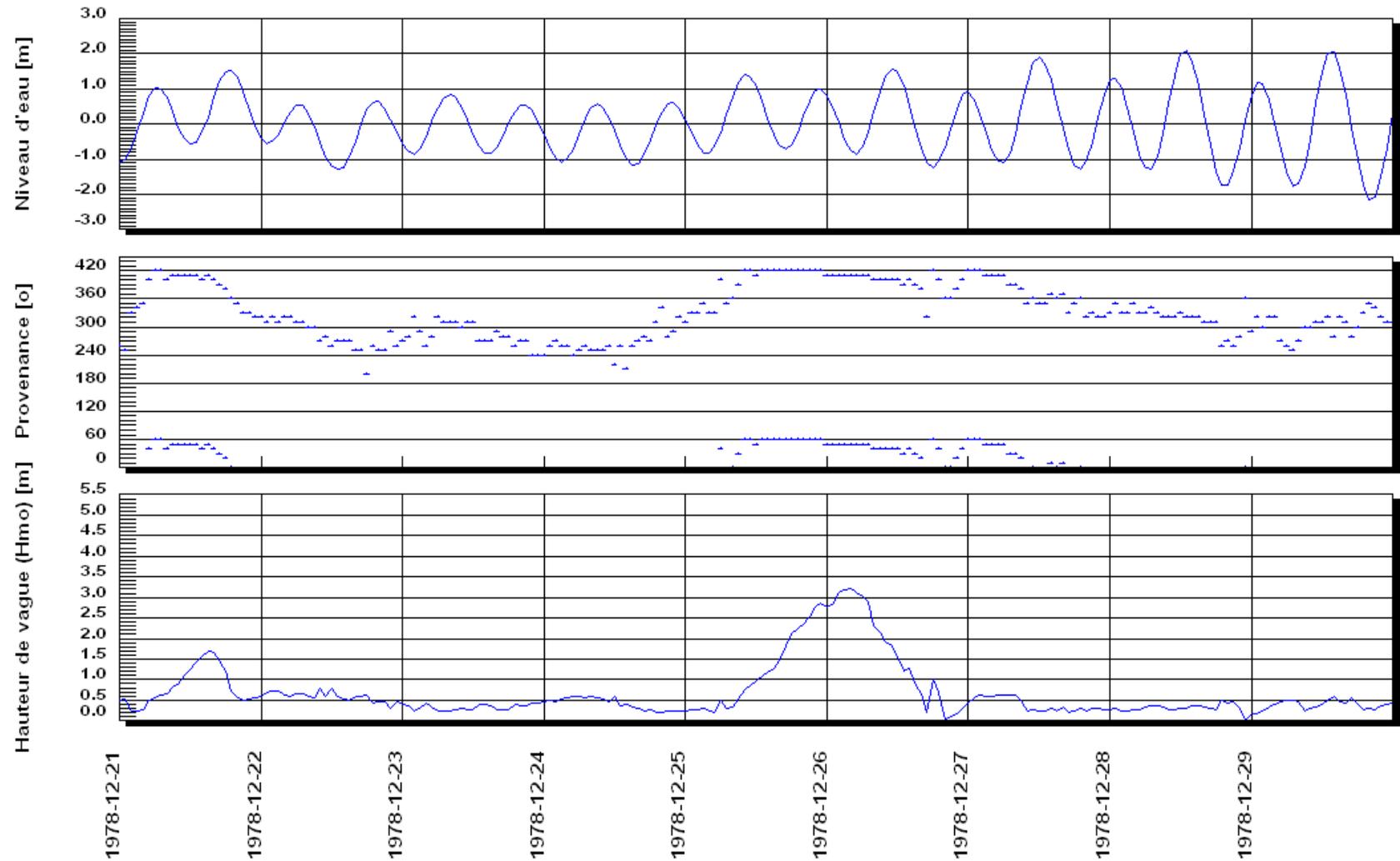


Figure 29: 1978-12-26 4h00 3,2 m

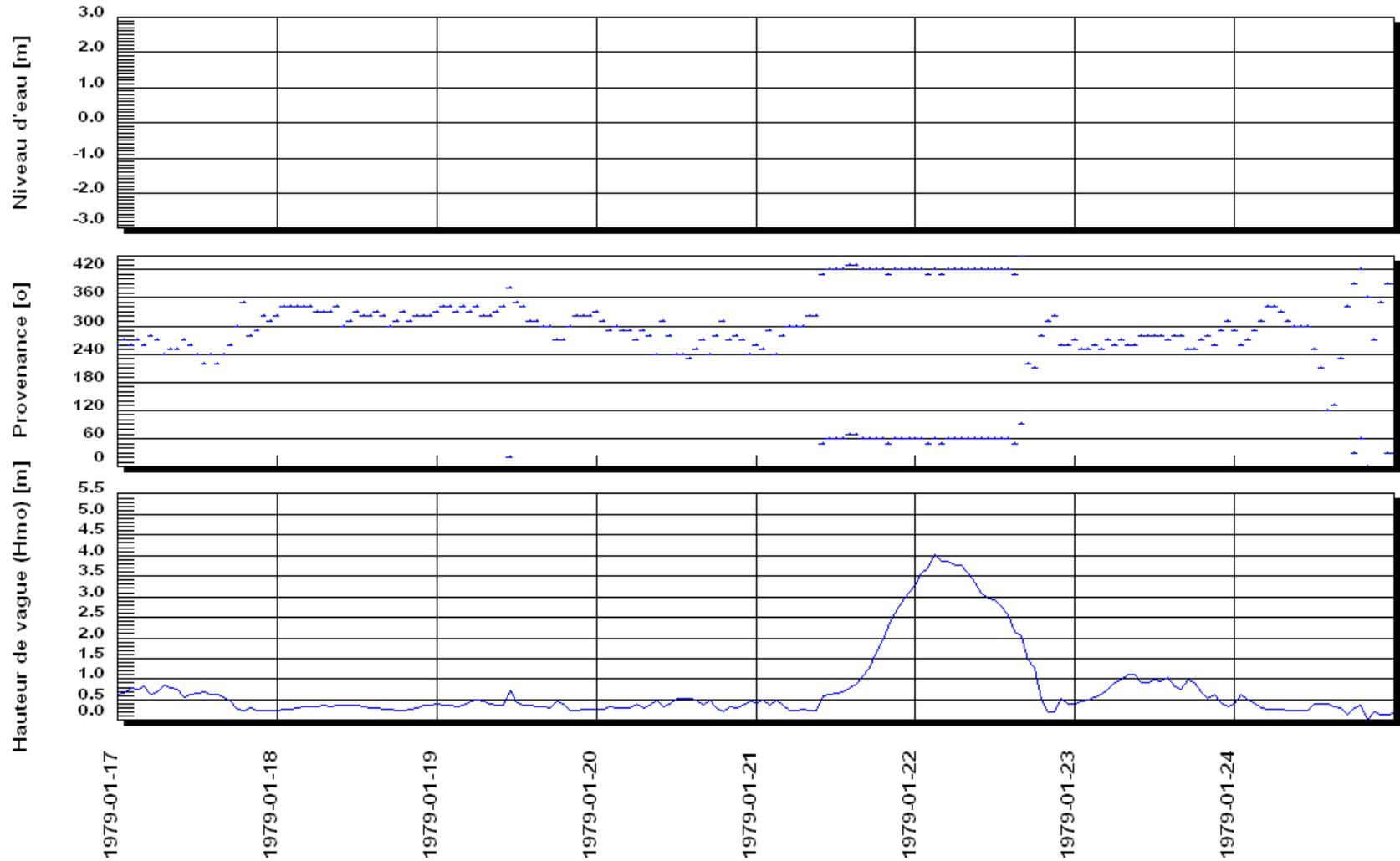


Figure 30 : 1979-01-22 3h00 4,0 m

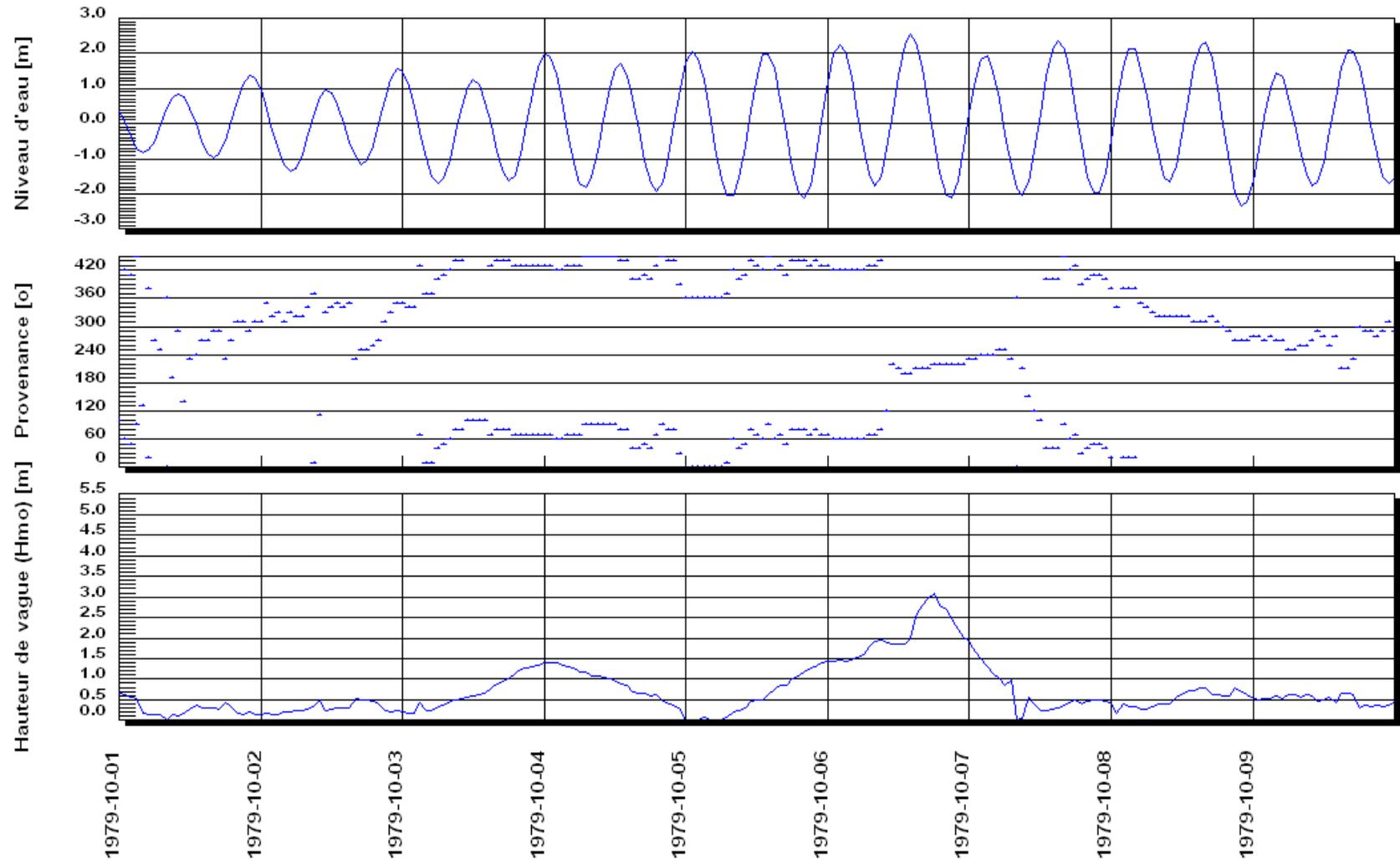


Figure 31: 1979-10-06 18h00 3,1 m

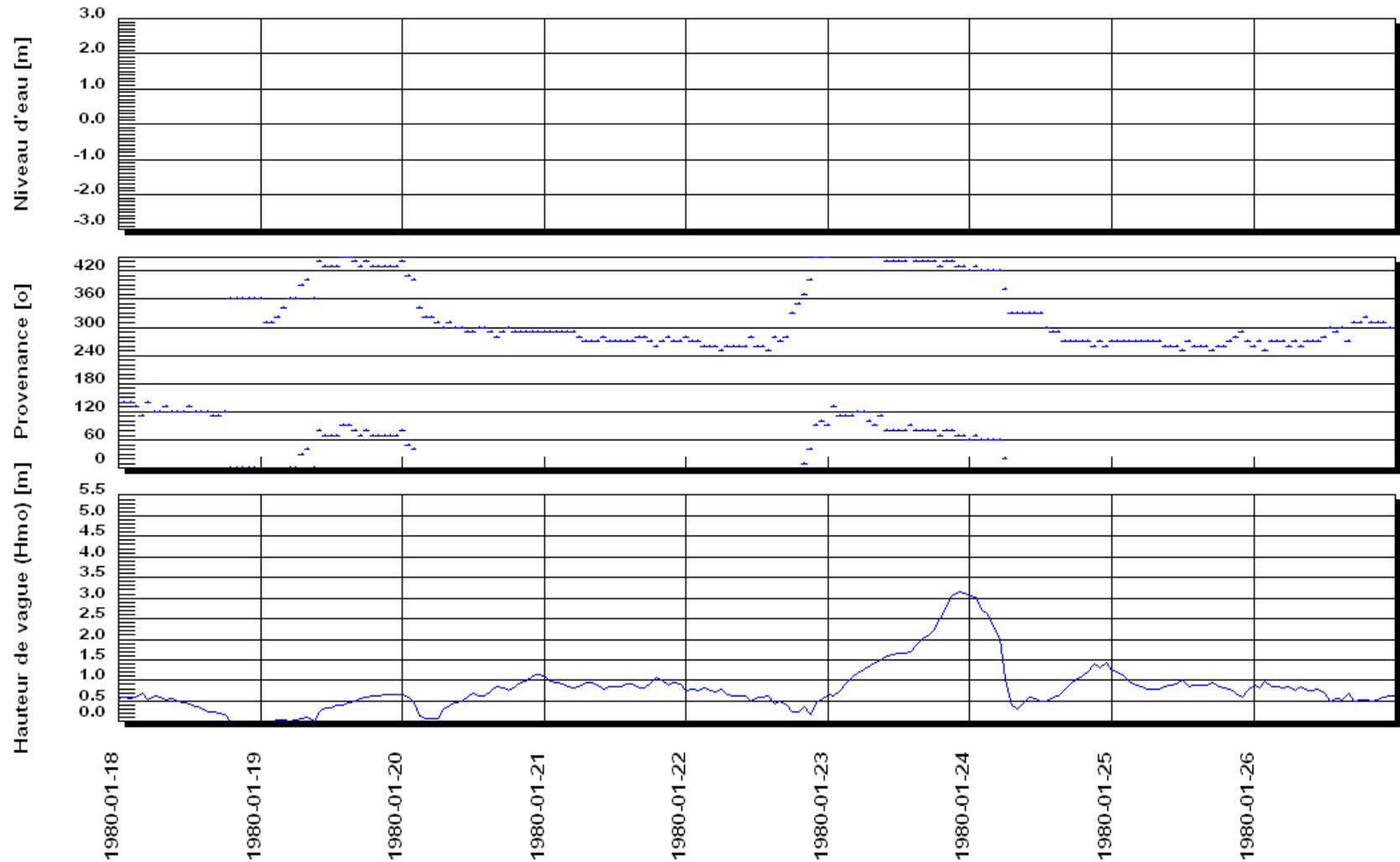


Figure 32: 1980-01-23 22h00 3,1 m

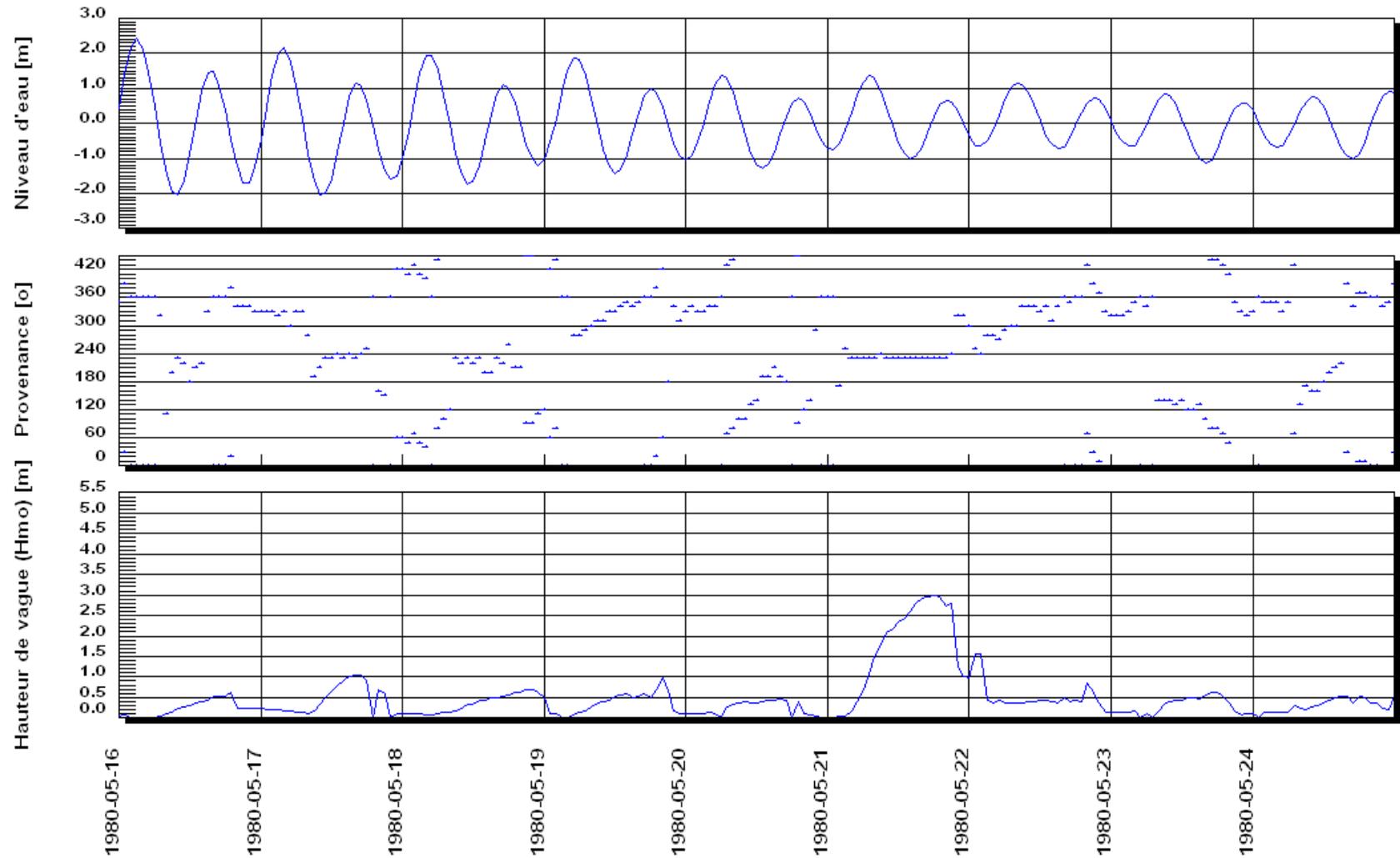


Figure 33: 1980-05-21 18h00 3,0 m

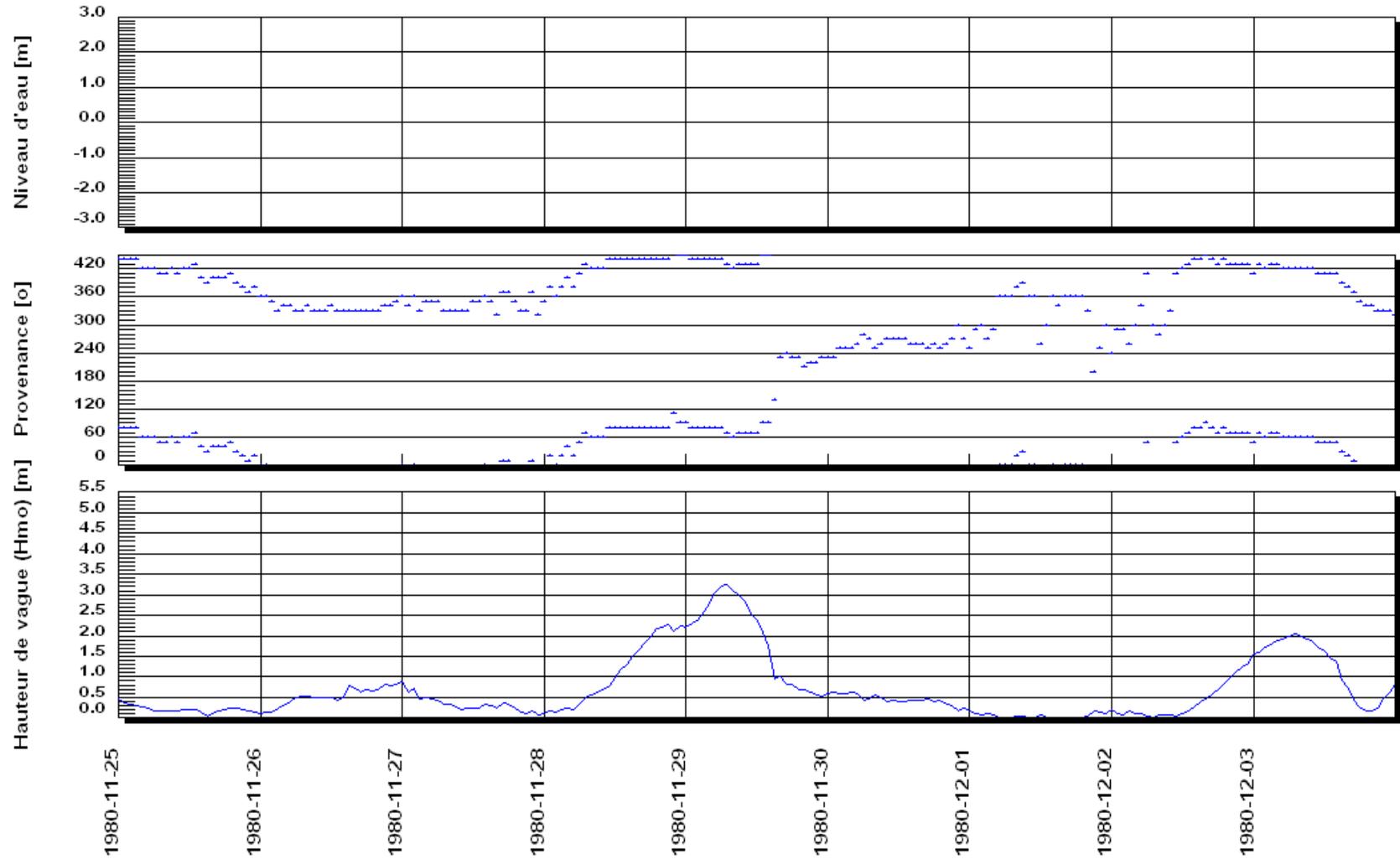


Figure 34 : 1980-11-29 7h00 3,3 m

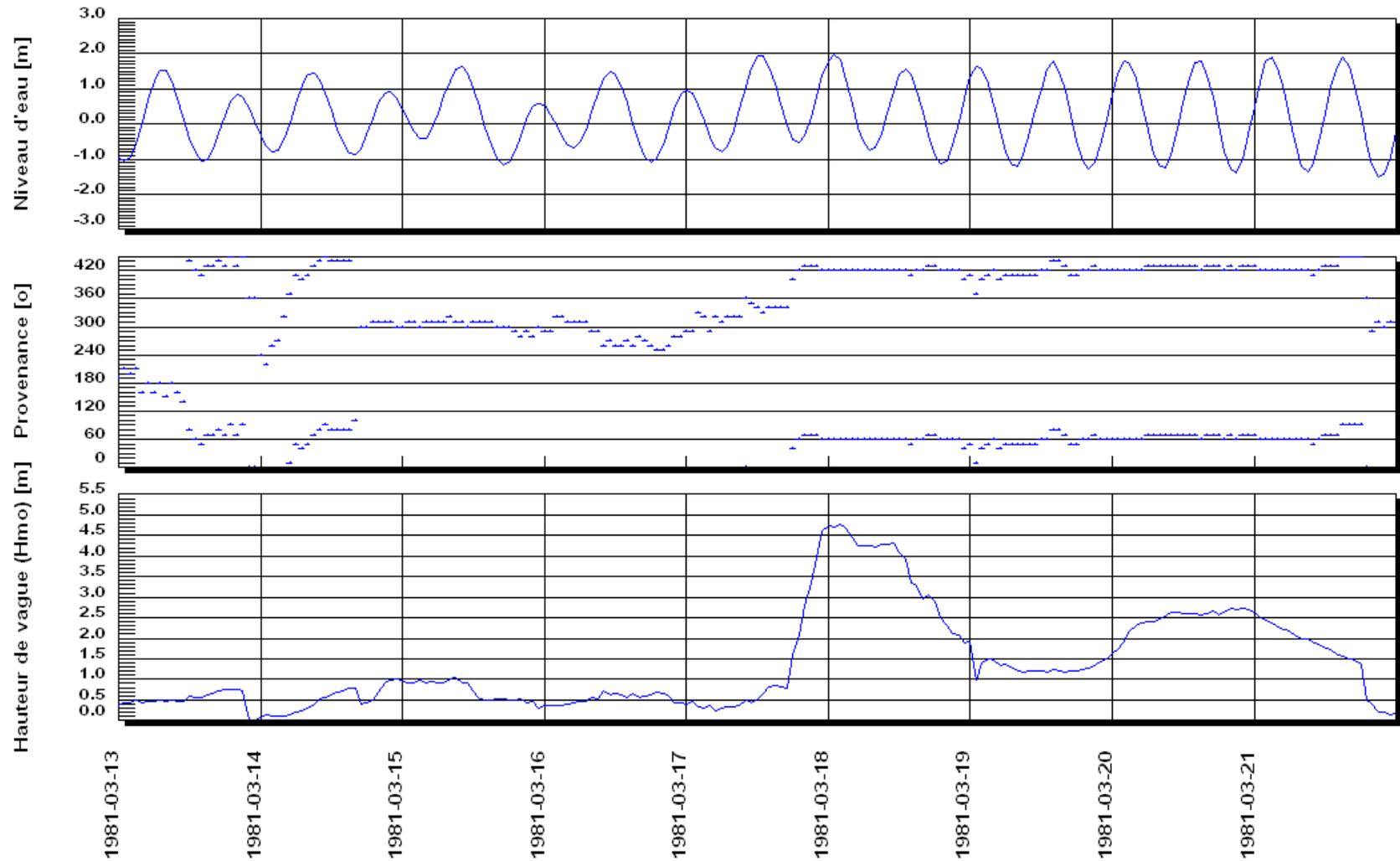


Figure 35: 1981-03-18 2h00 et 17h00 4,8 m et 3,1 m

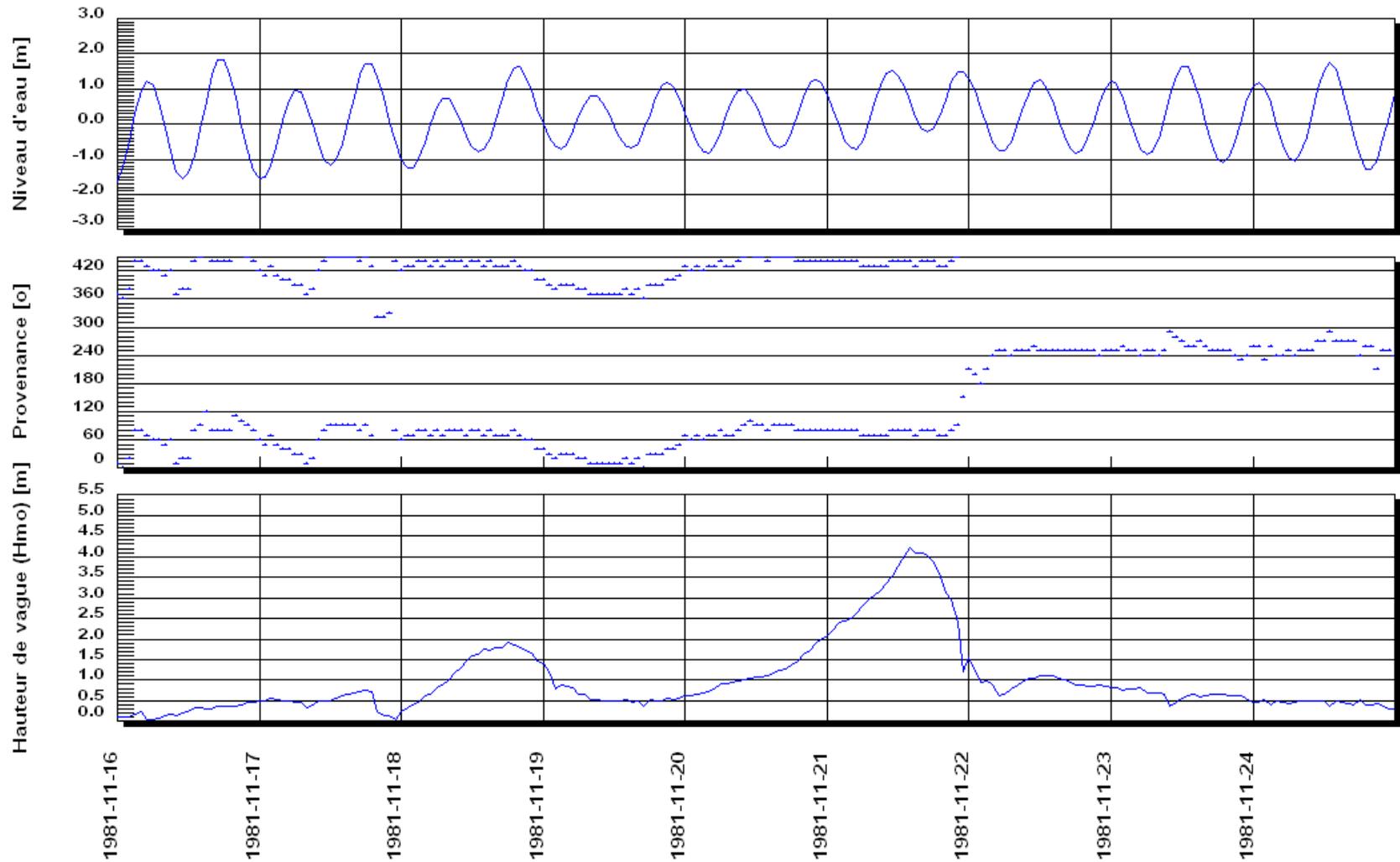


Figure 36: 1981-11-21 14h00 4,2 m

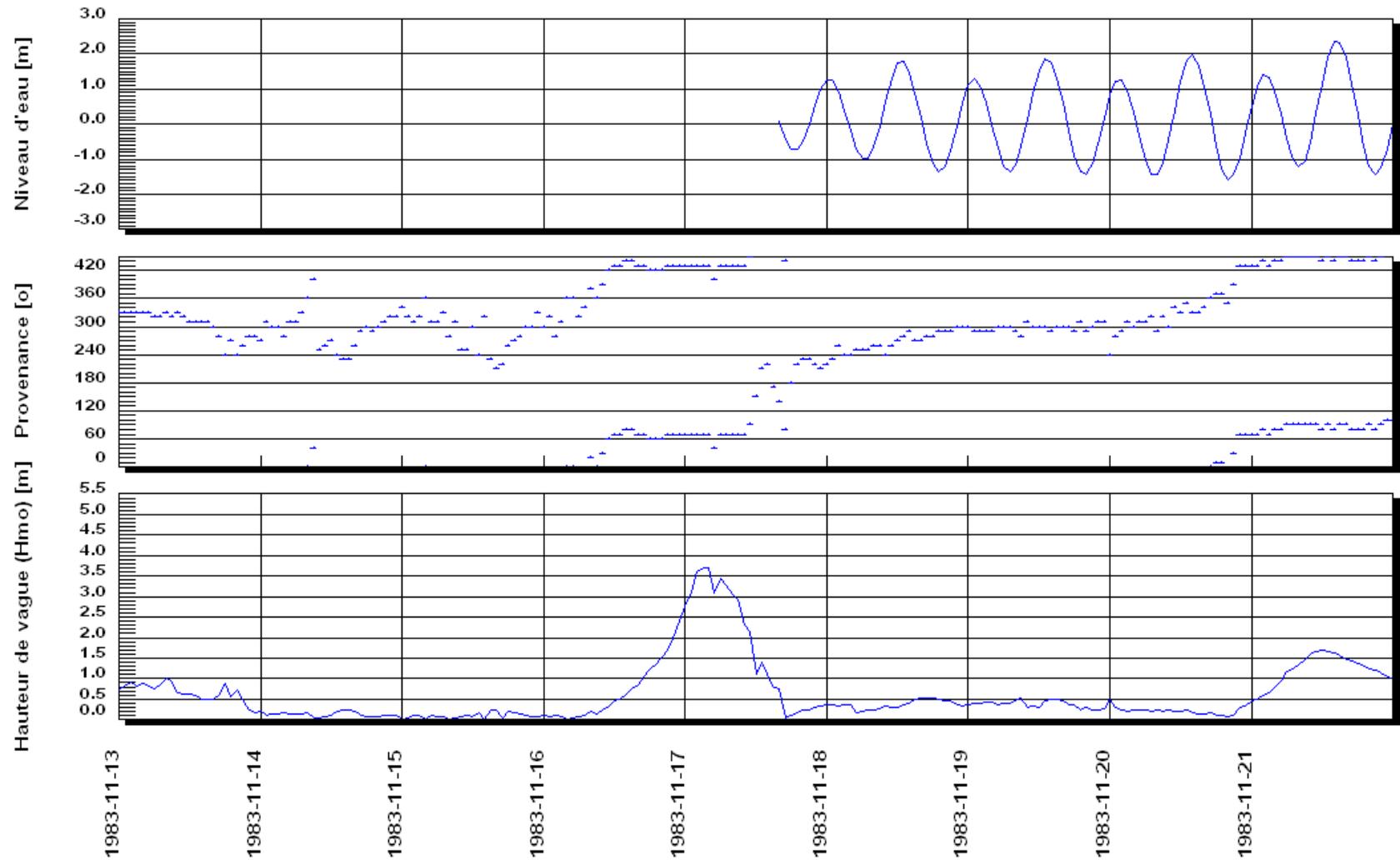


Figure 37 : 1983-11-17 4h00 3,7 m

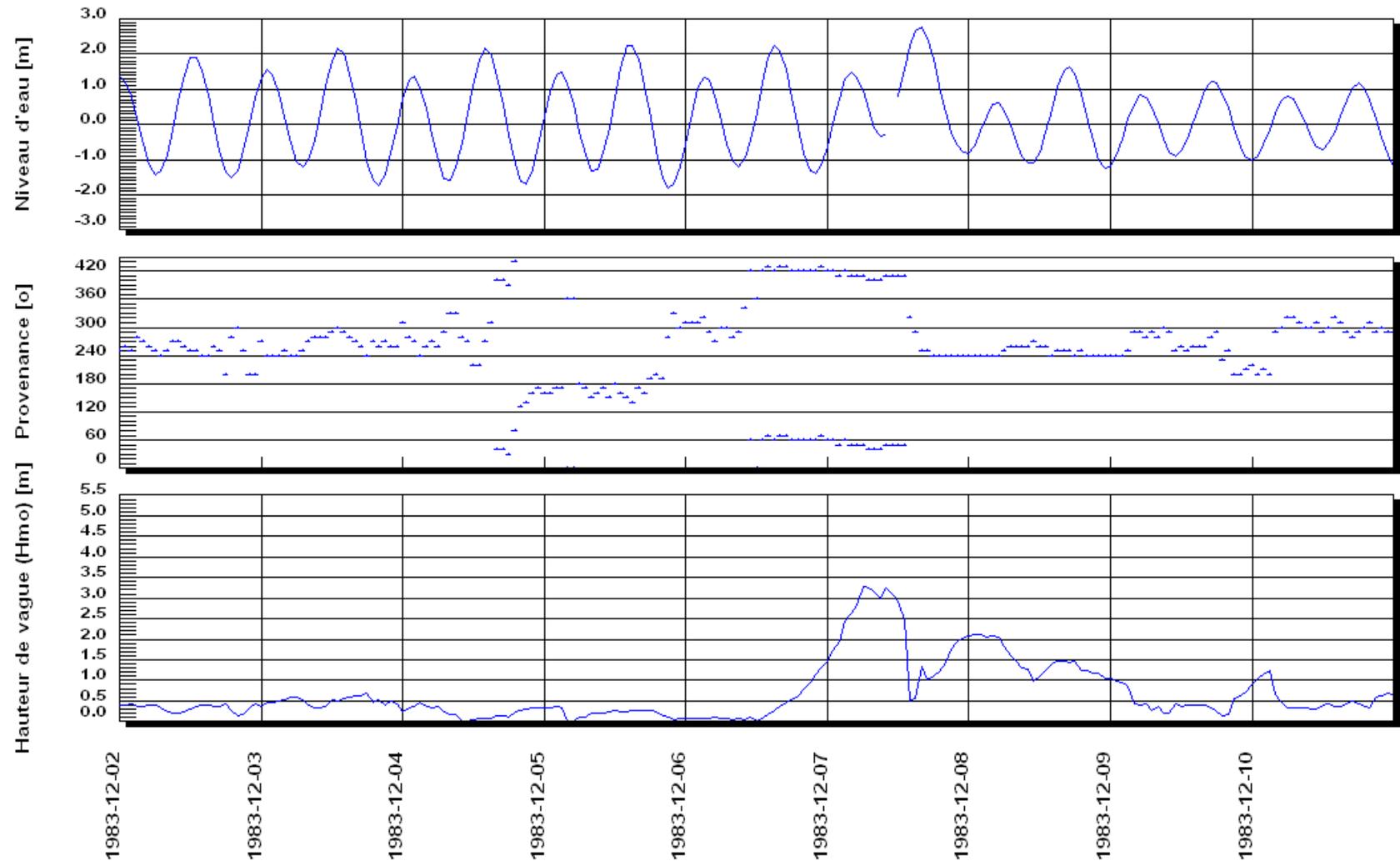
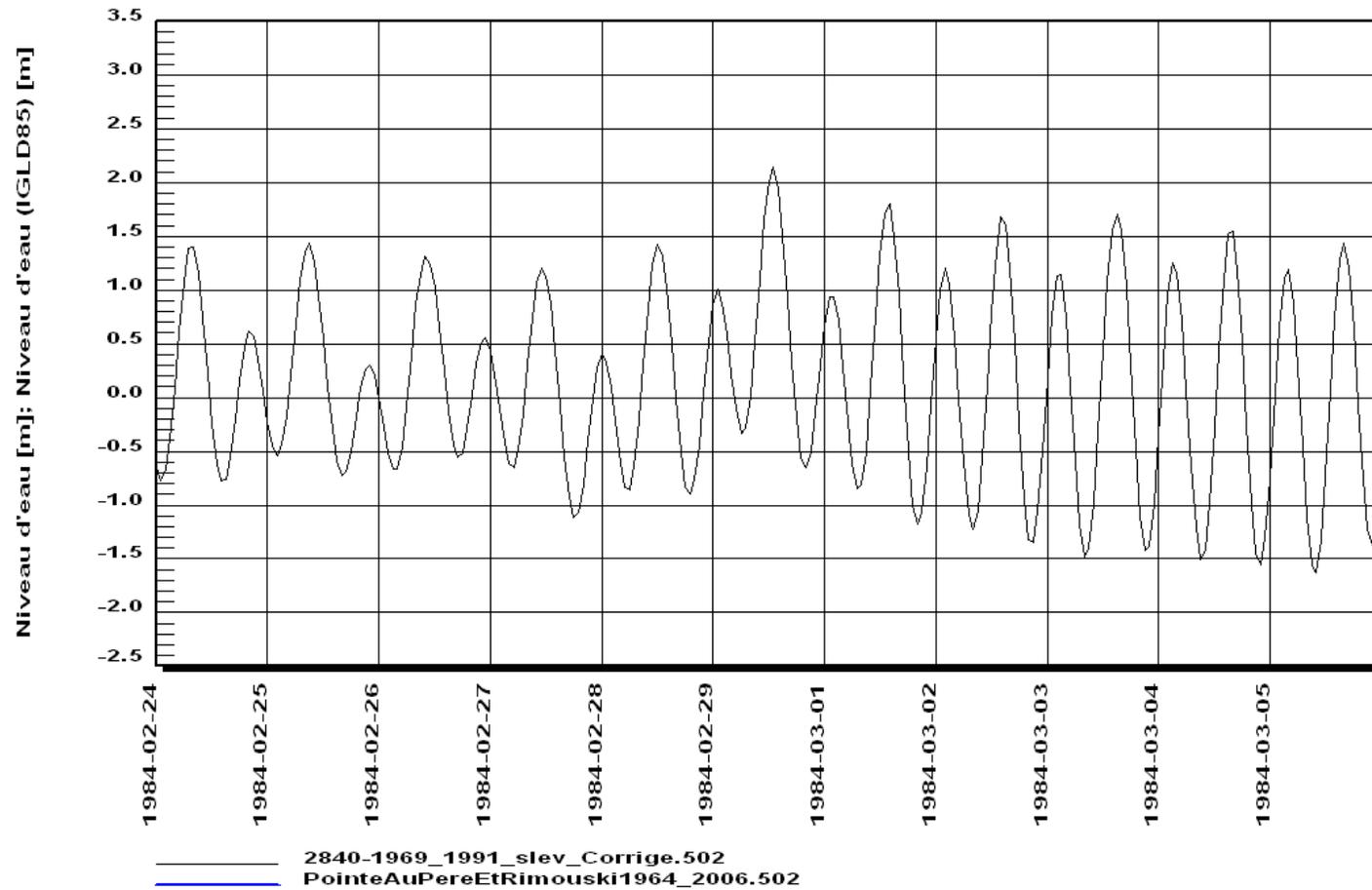


Figure 38: 1983-12-07 6h00 3,3 m



Signal 1 : Baie-Comeau + -1.800

Signal 2 : Pointe au Père et Rimouski, Env.Canada

Figure 39 : 1984-02-29 7h00 3,3 m

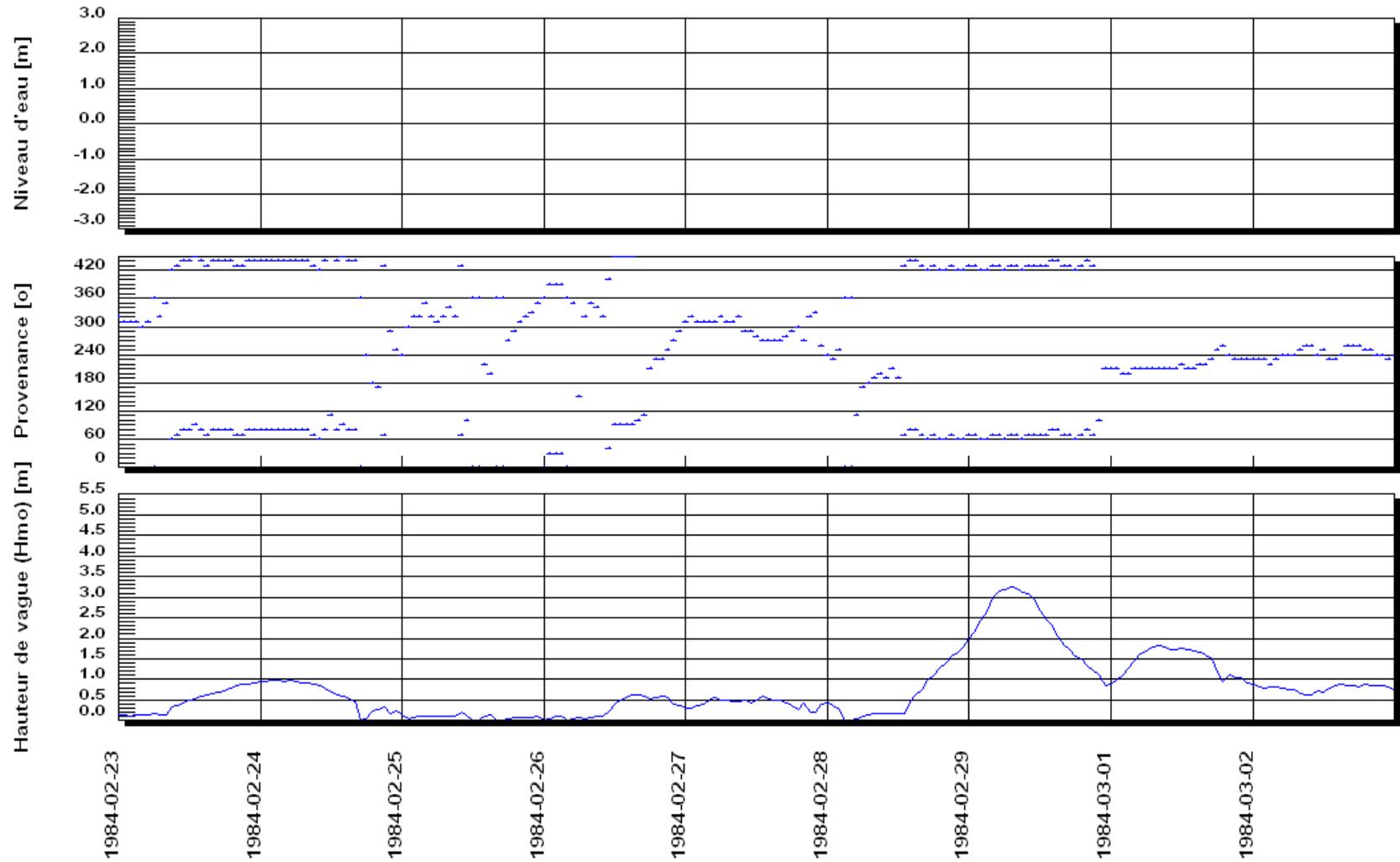


Figure 40: 1984-02-29 7h00 3,3 m

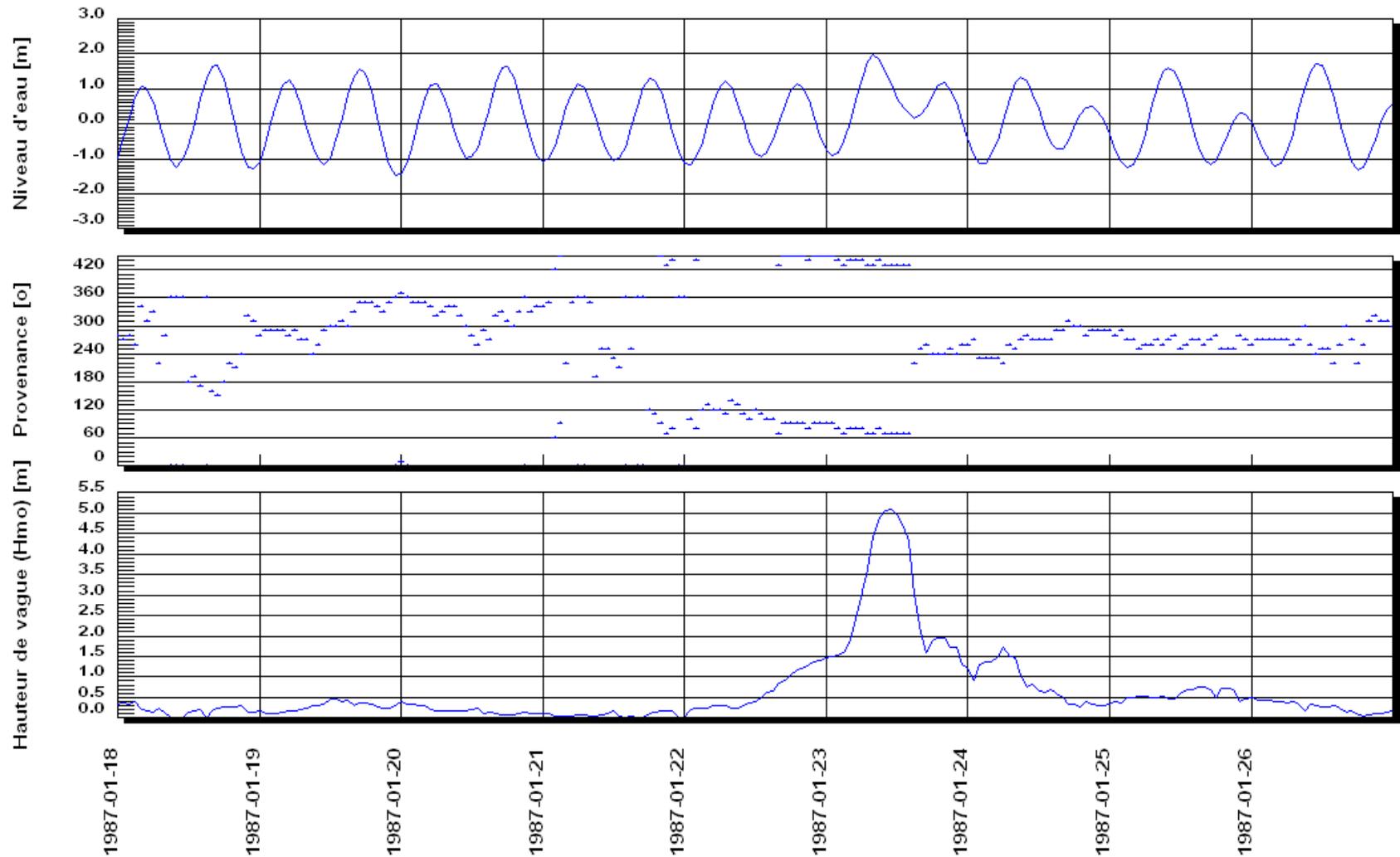


Figure 41: 1987-01-23 11h00 5,1 m

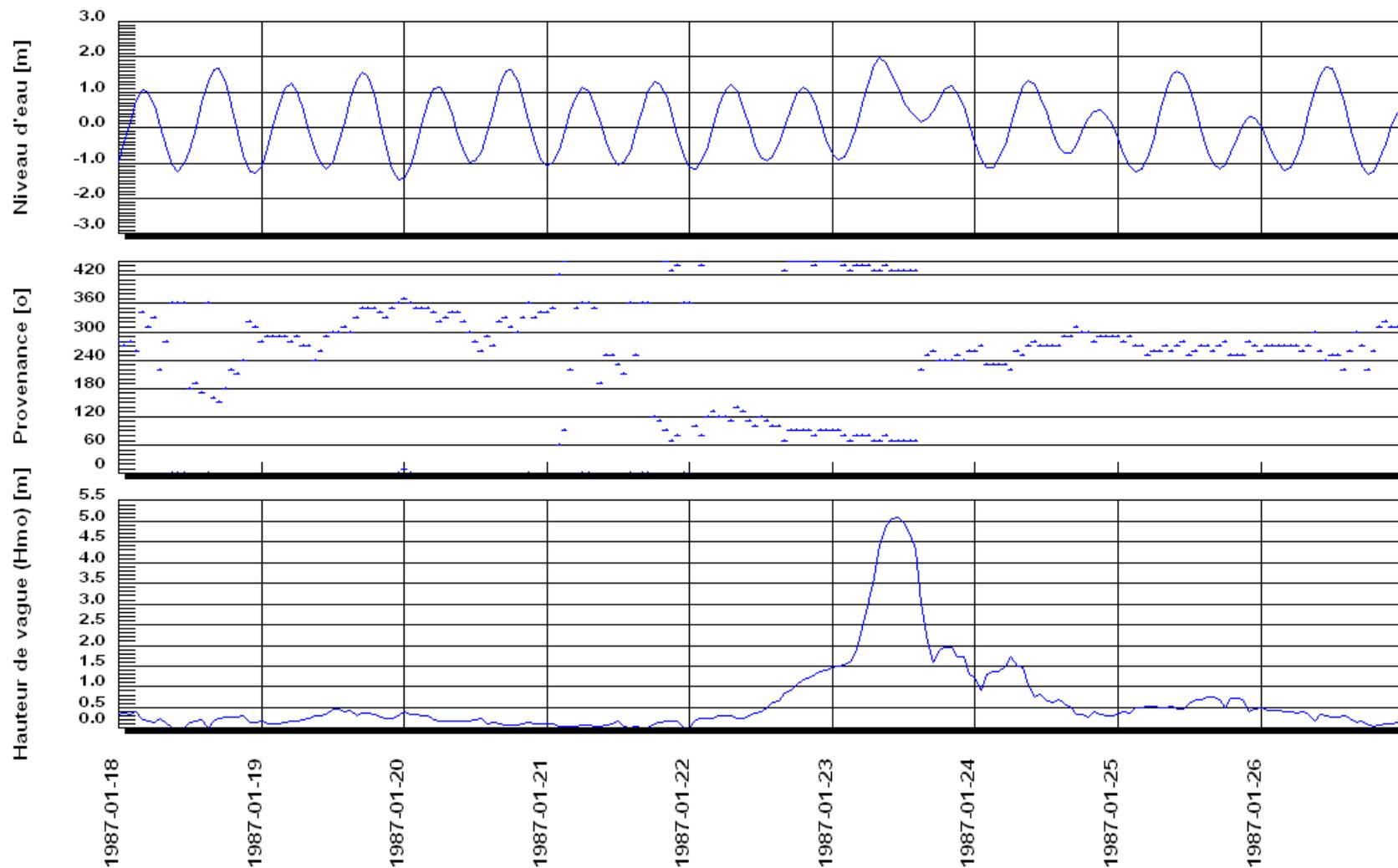


Figure 42: 1988-11-02 19h00 3,2 m

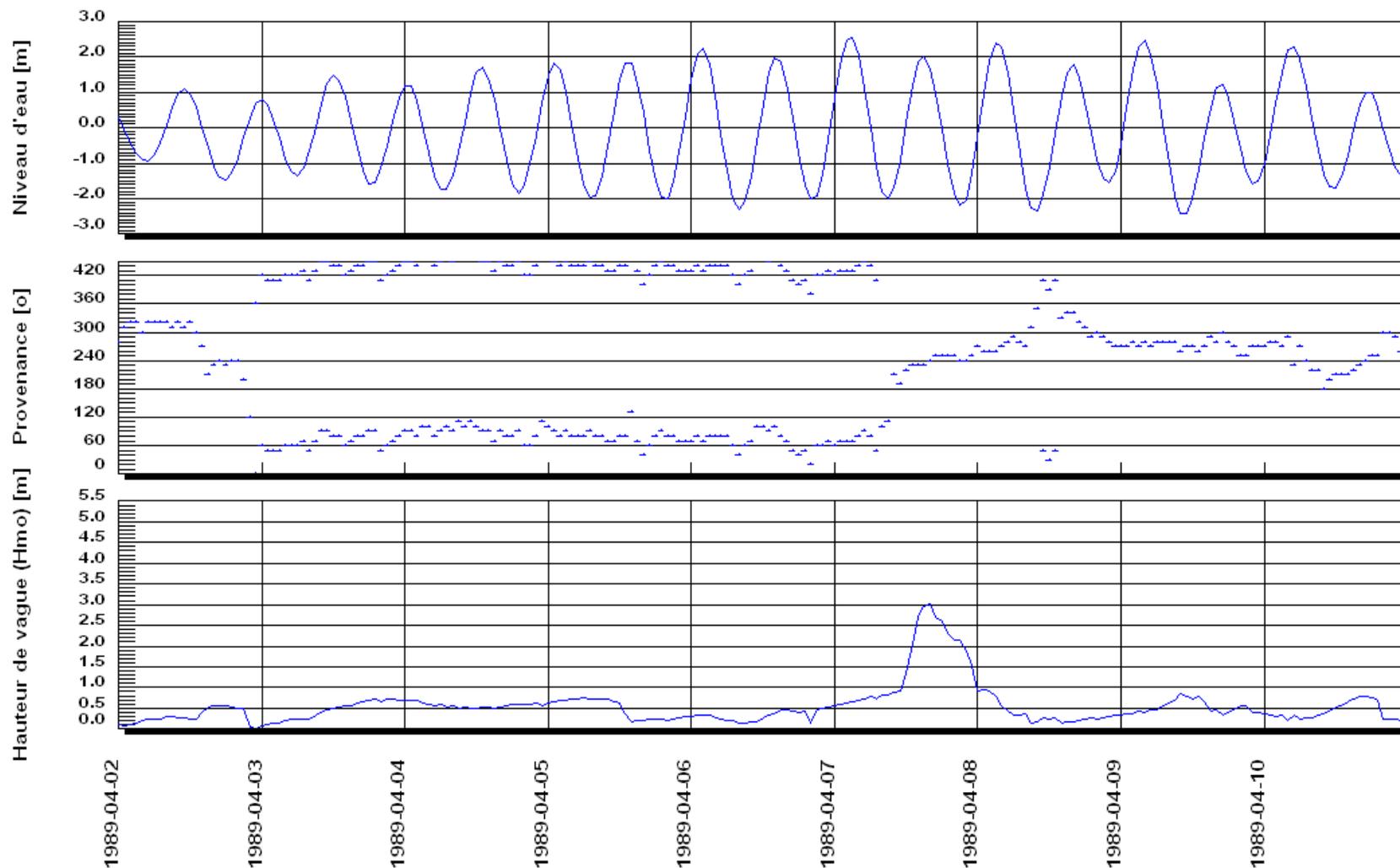


Figure 43 : 1989-04-07 16h00 3,0 m

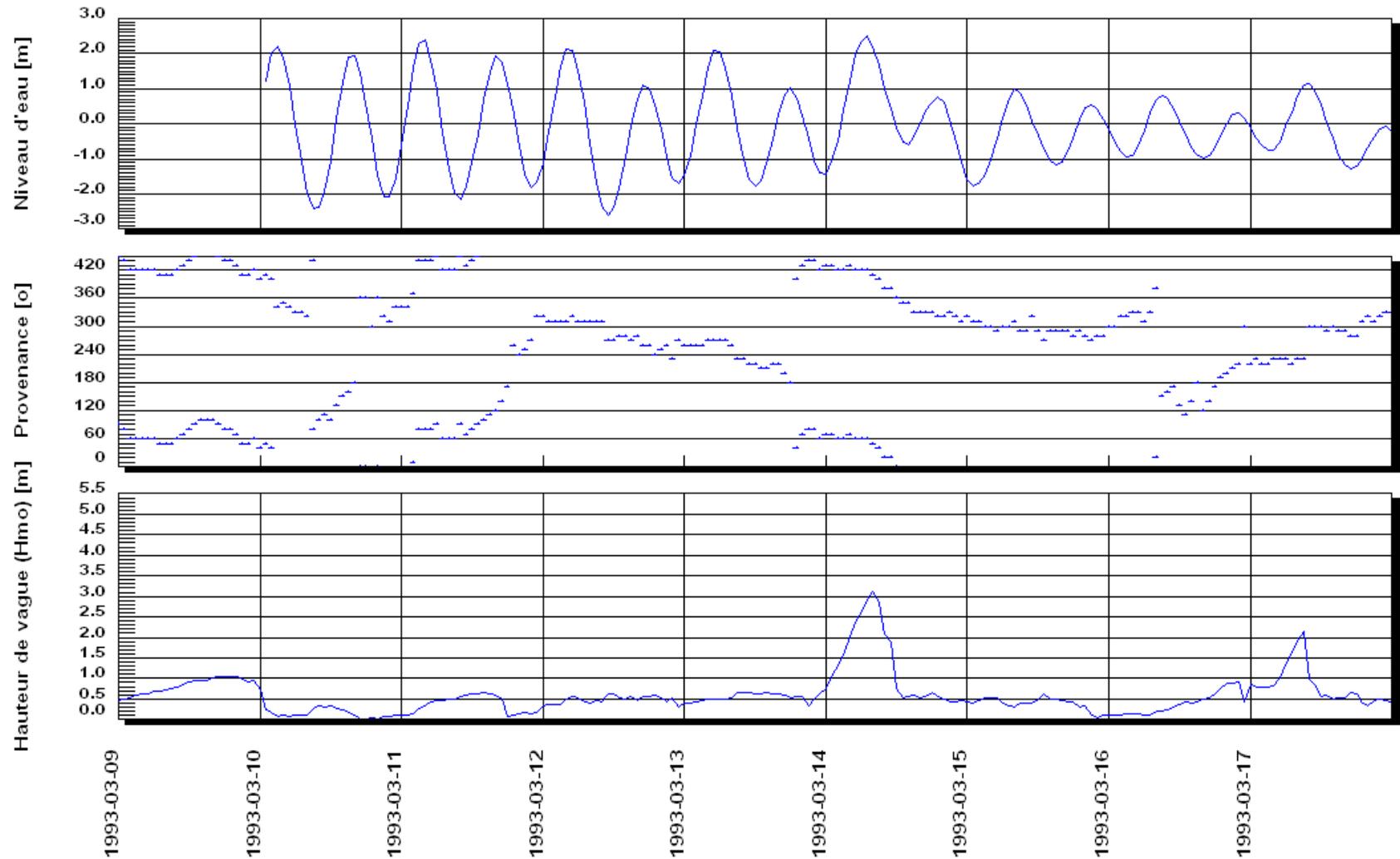


Figure 44: 1993-03-14 8h00 3,1 m

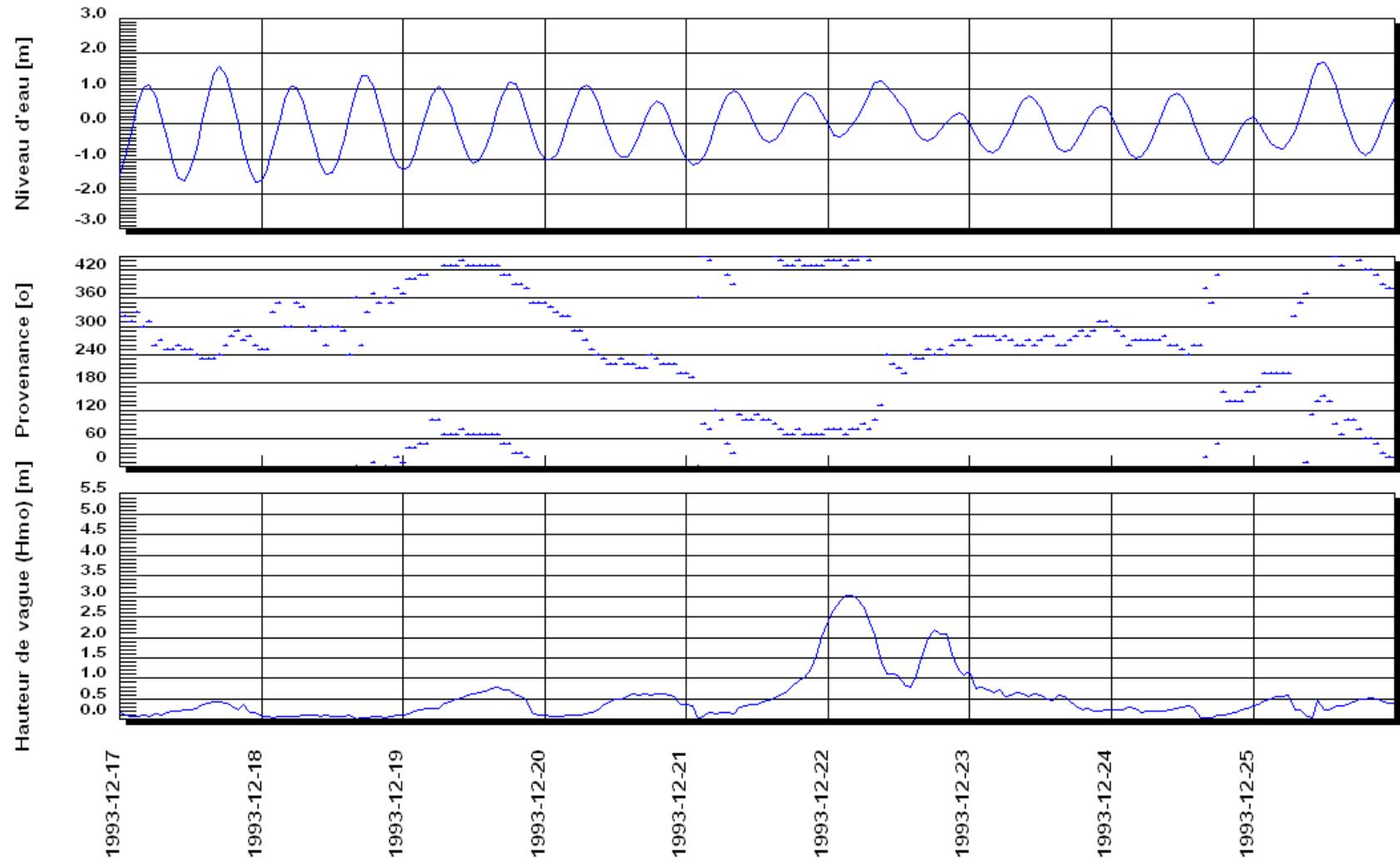


Figure 45: 1993-12-22 4h00 3,0 m

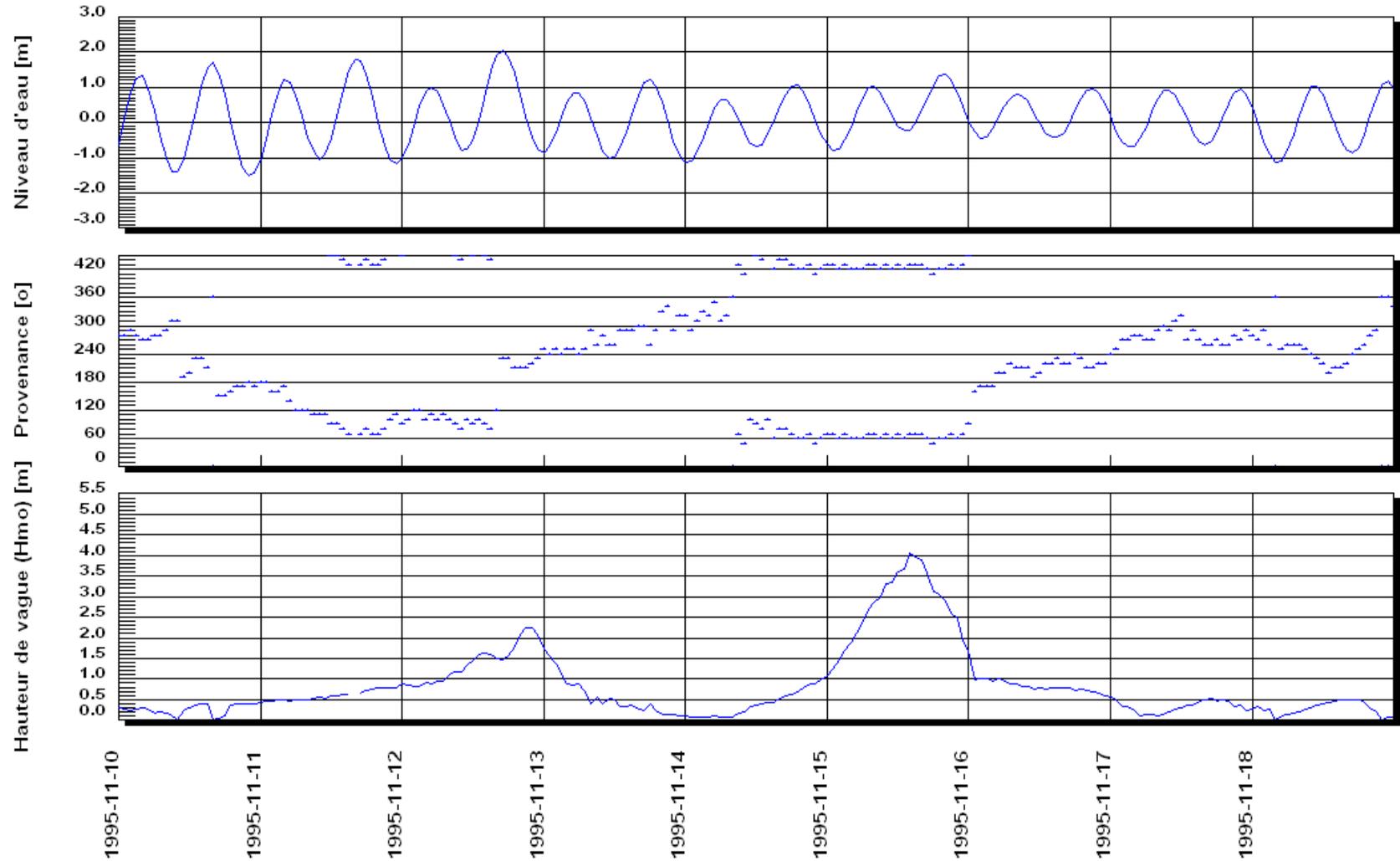


Figure 46: 1995-11-15 14h00 4,0 m

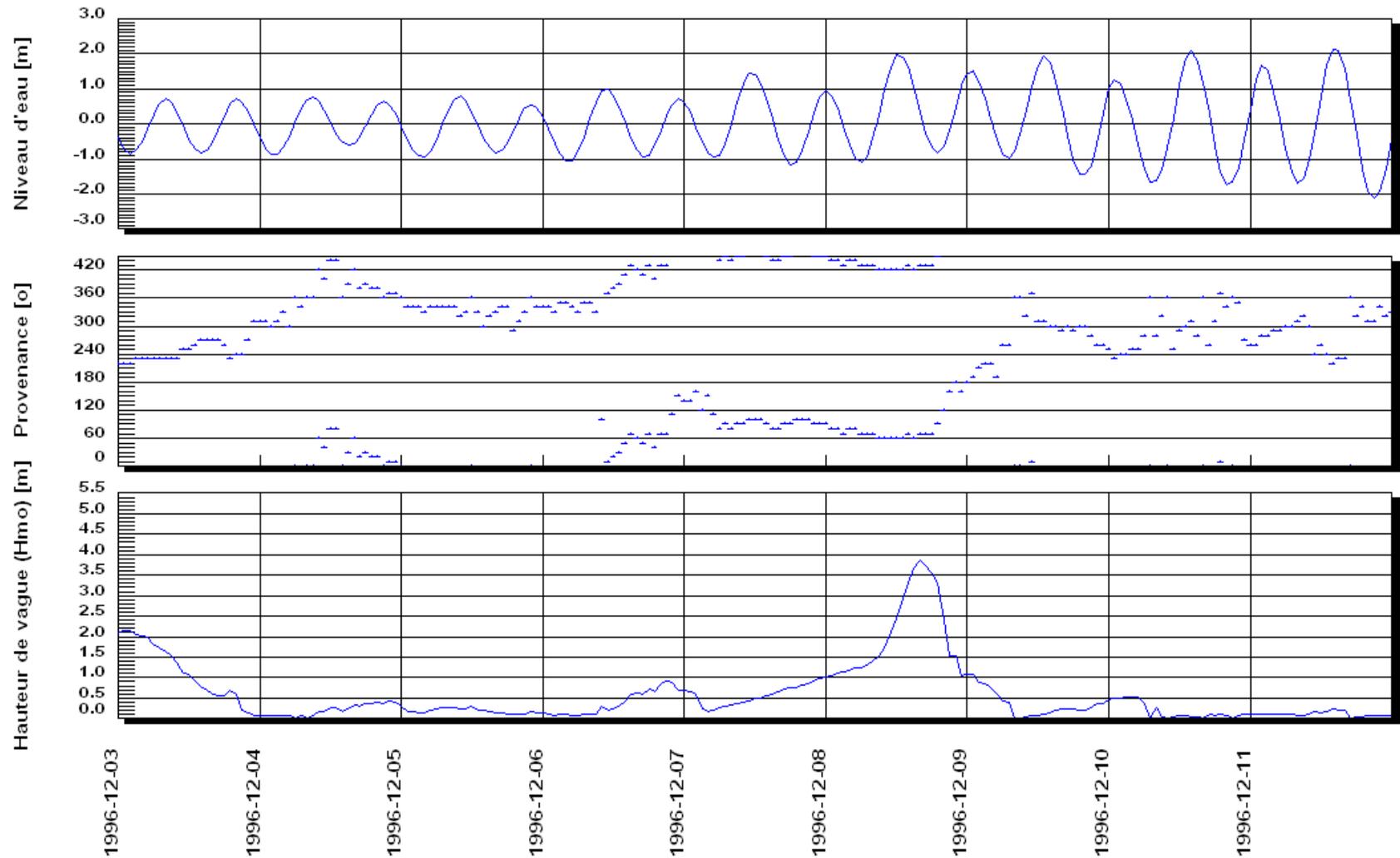


Figure 47: 1996-12-08 16h00 3,9 m

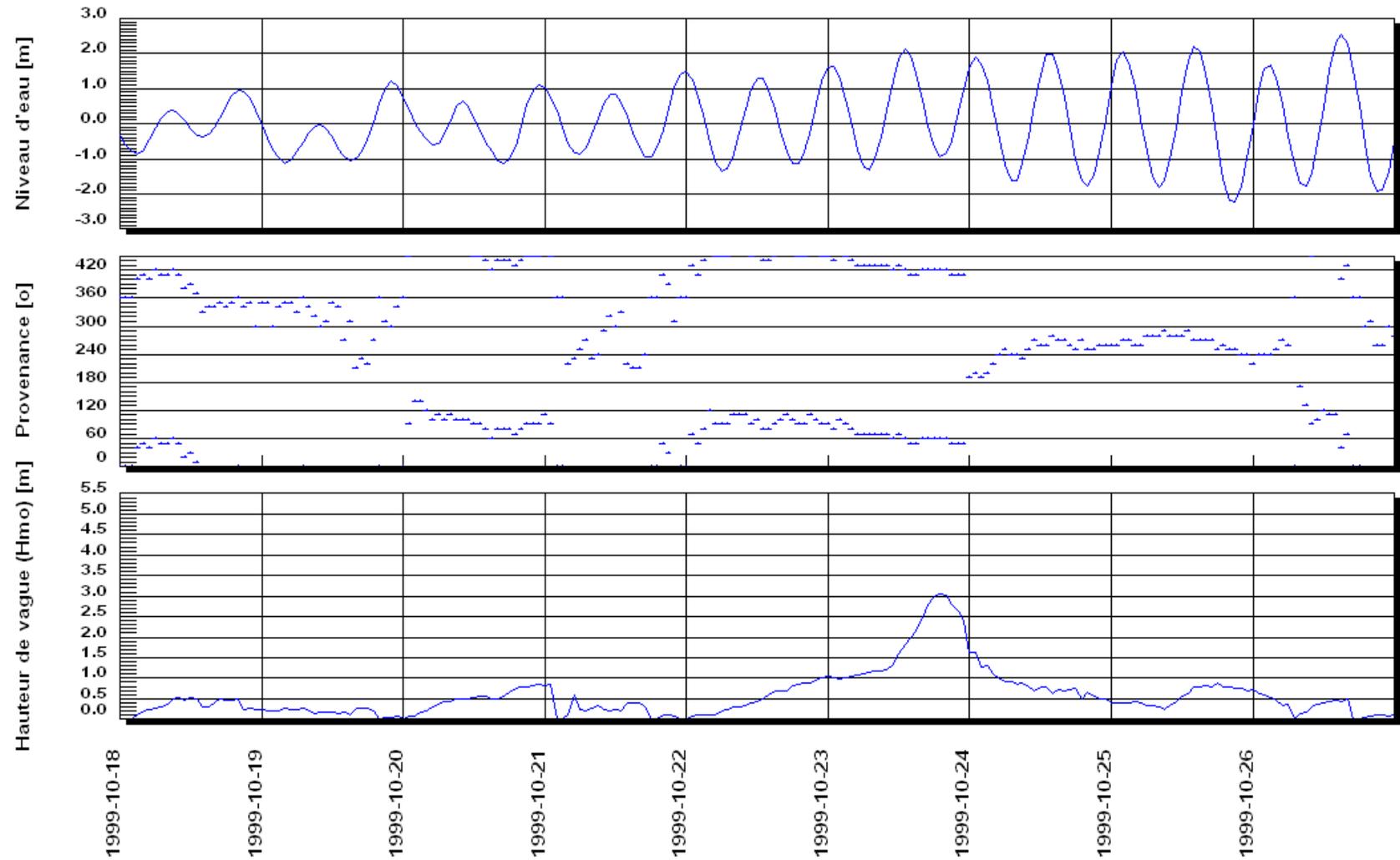


Figure 48 : 1999-10-23 19h00 3,0 m

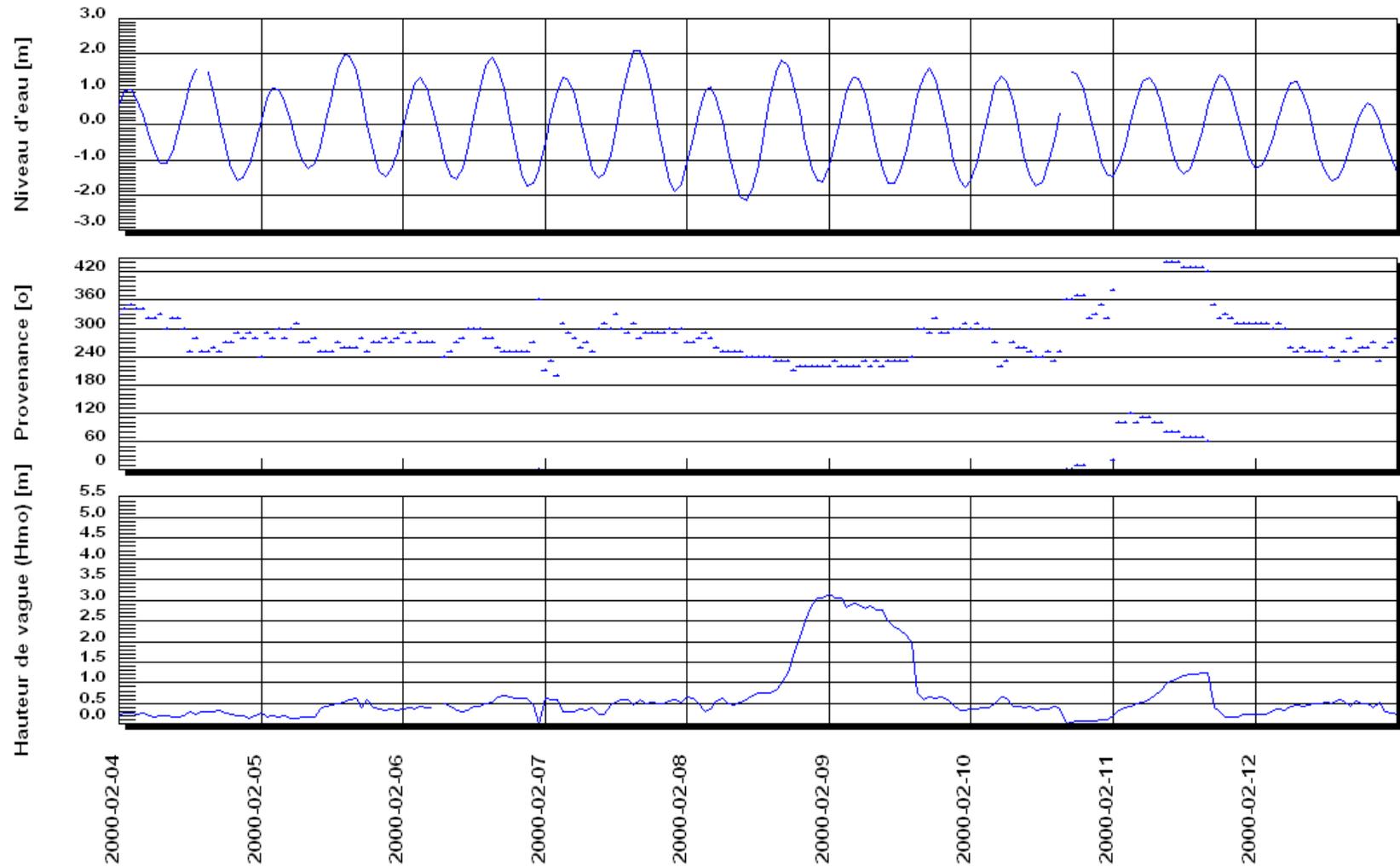


Figure 49: 2000-02-09 0h00 3,1 m

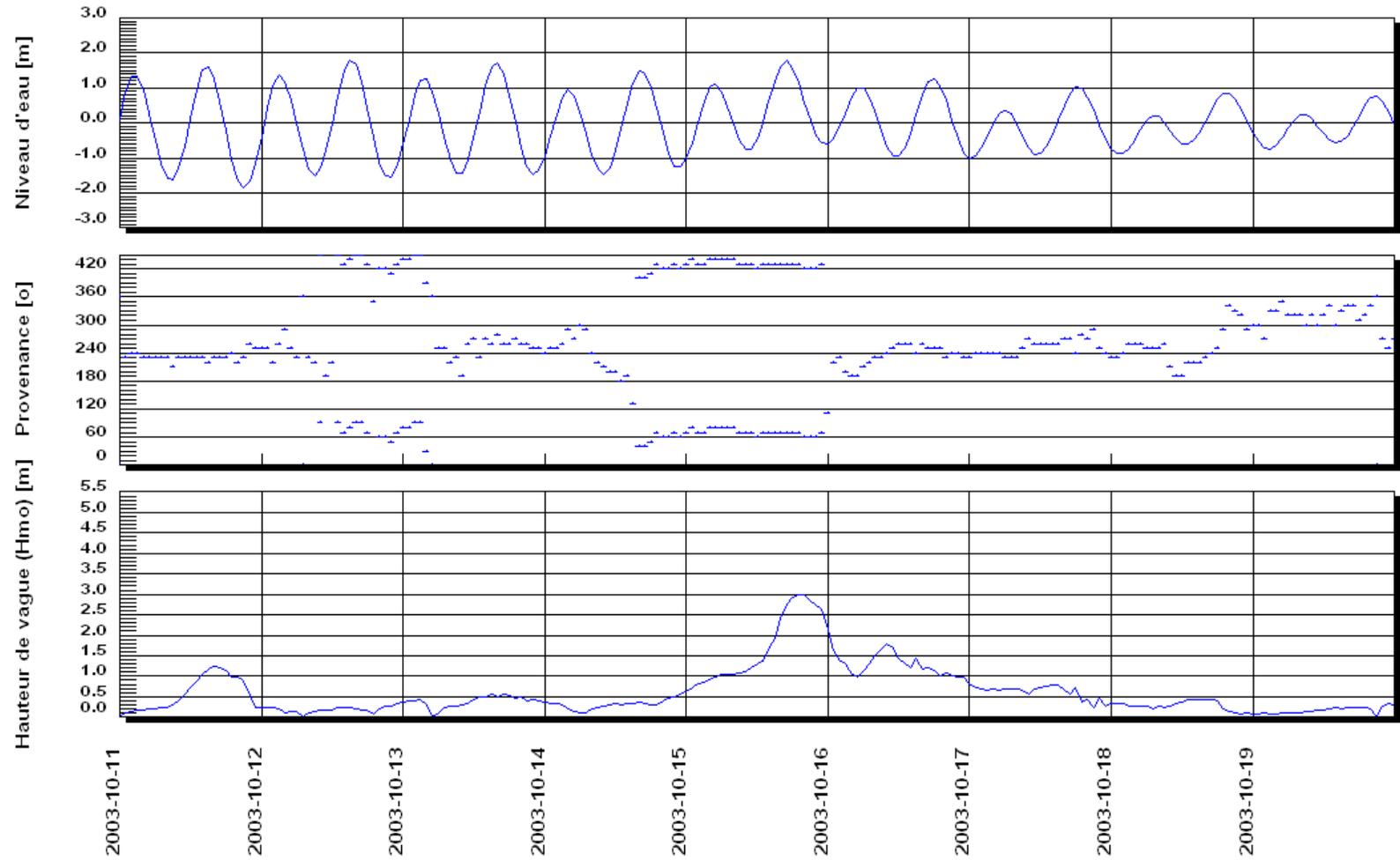


Figure 50: 2003-10-15 20h00 3,0 m

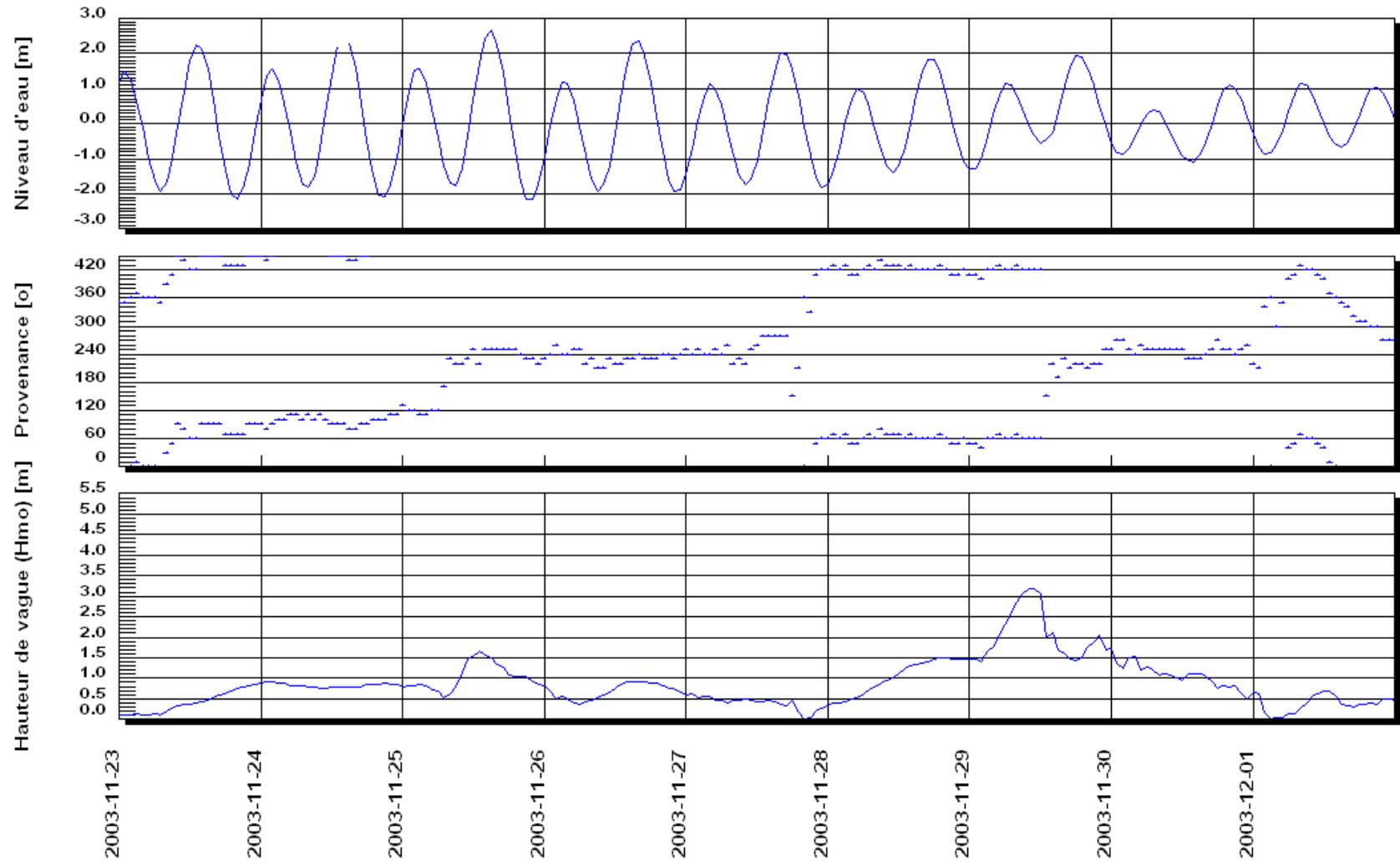
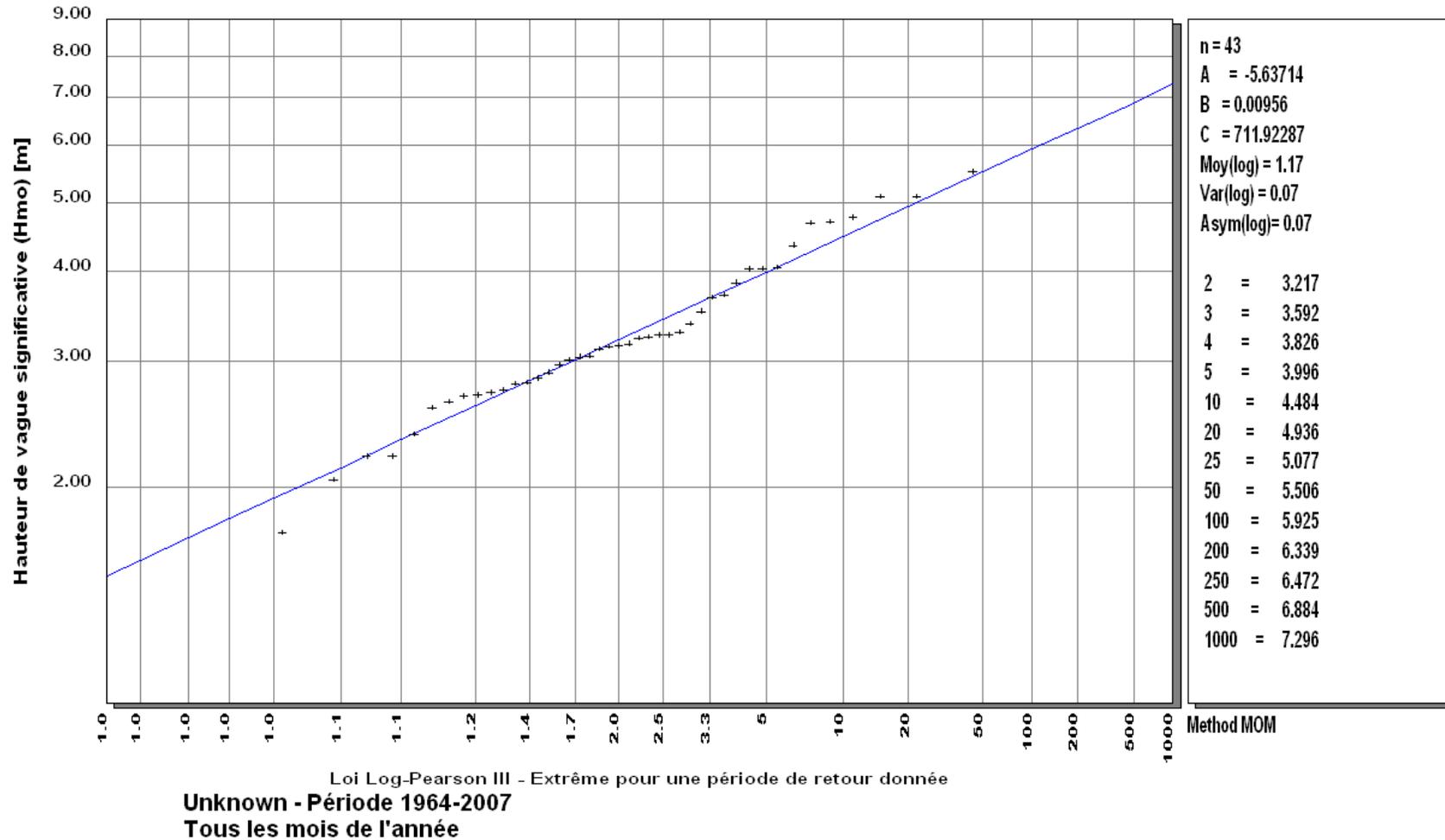


Figure 51: 2003-11-29 11h00 3,2 m

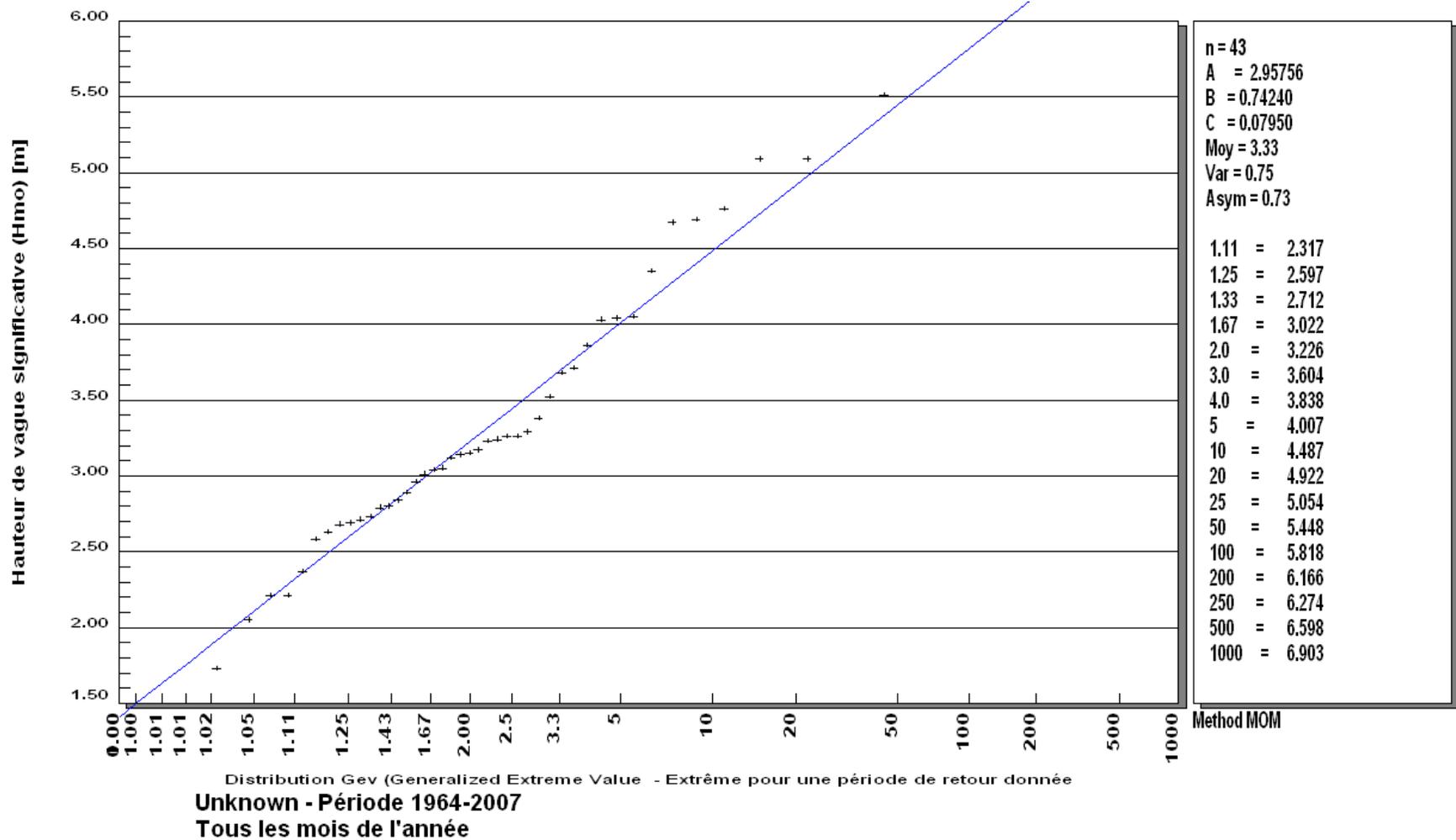


2 Statistiques sur les vagues générées



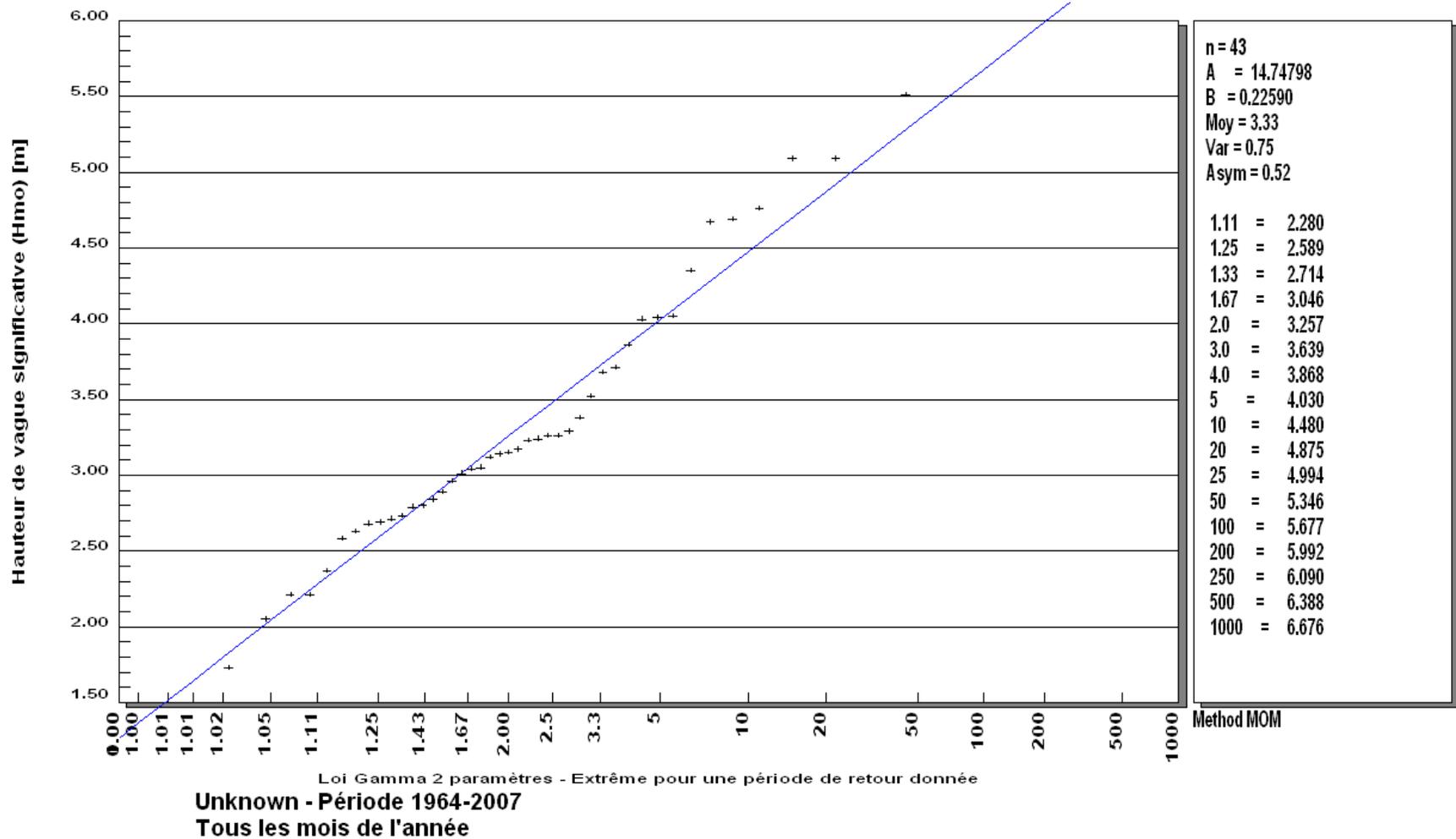


Annexe F : Épisodes de tempêtes – Hauteurs de vagues significatives supérieures à 3,0 m



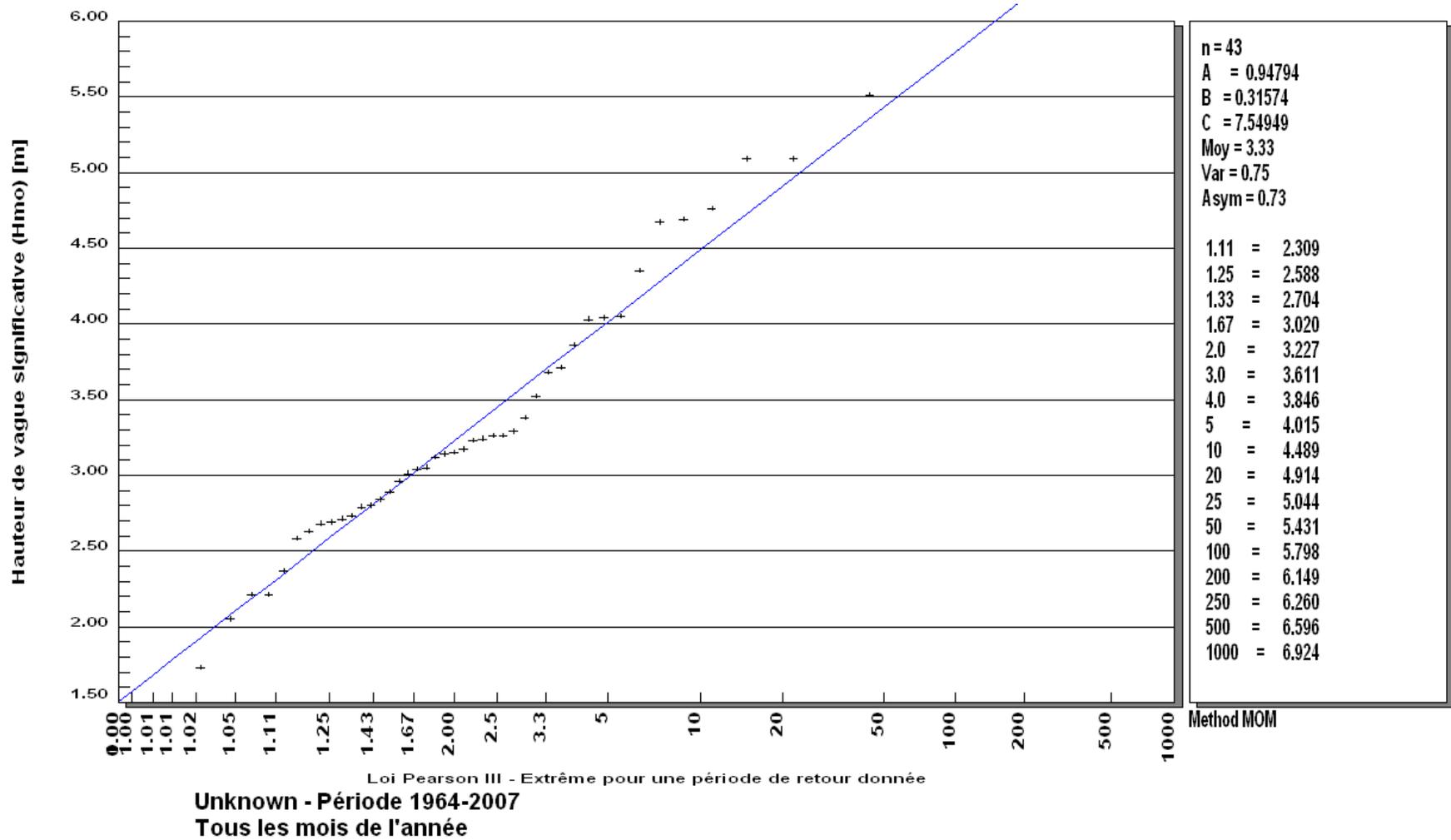


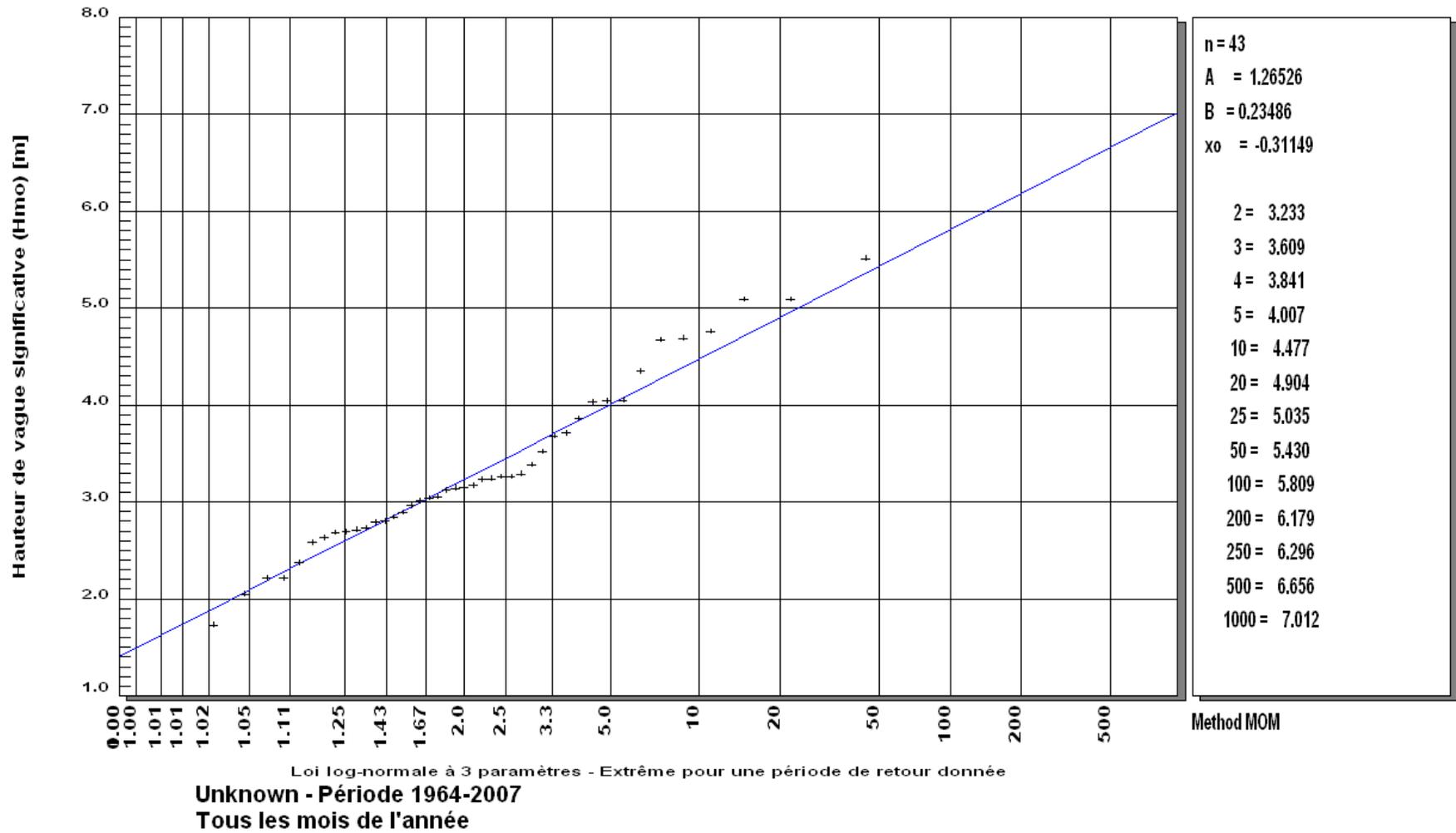
Annexe F : Épisodes de tempêtes – Hauteurs de vagues significatives supérieures à 3,0 m





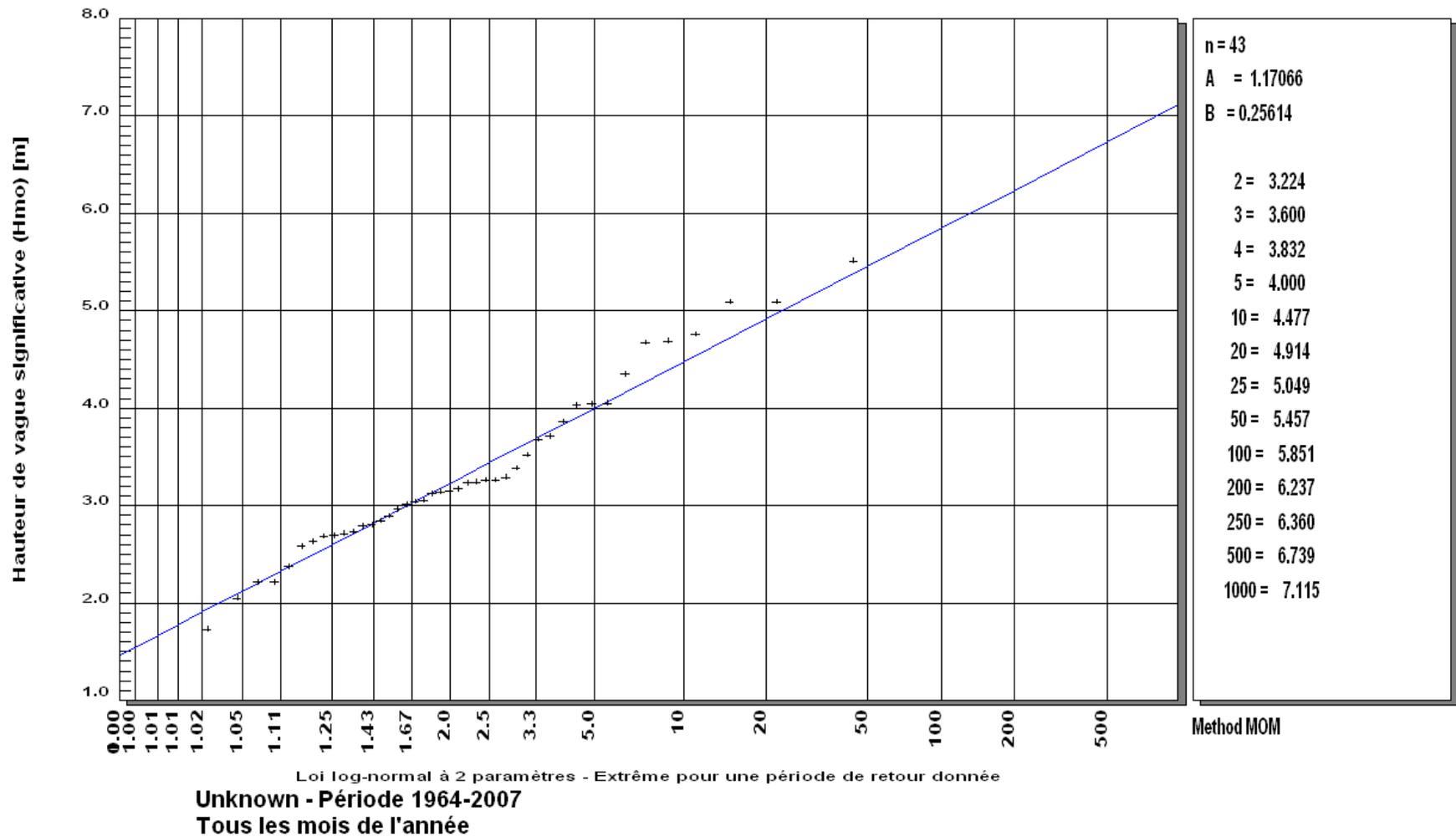
Annexe F : Épisodes de tempêtes – Hauteurs de vagues significatives supérieures à 3,0 m

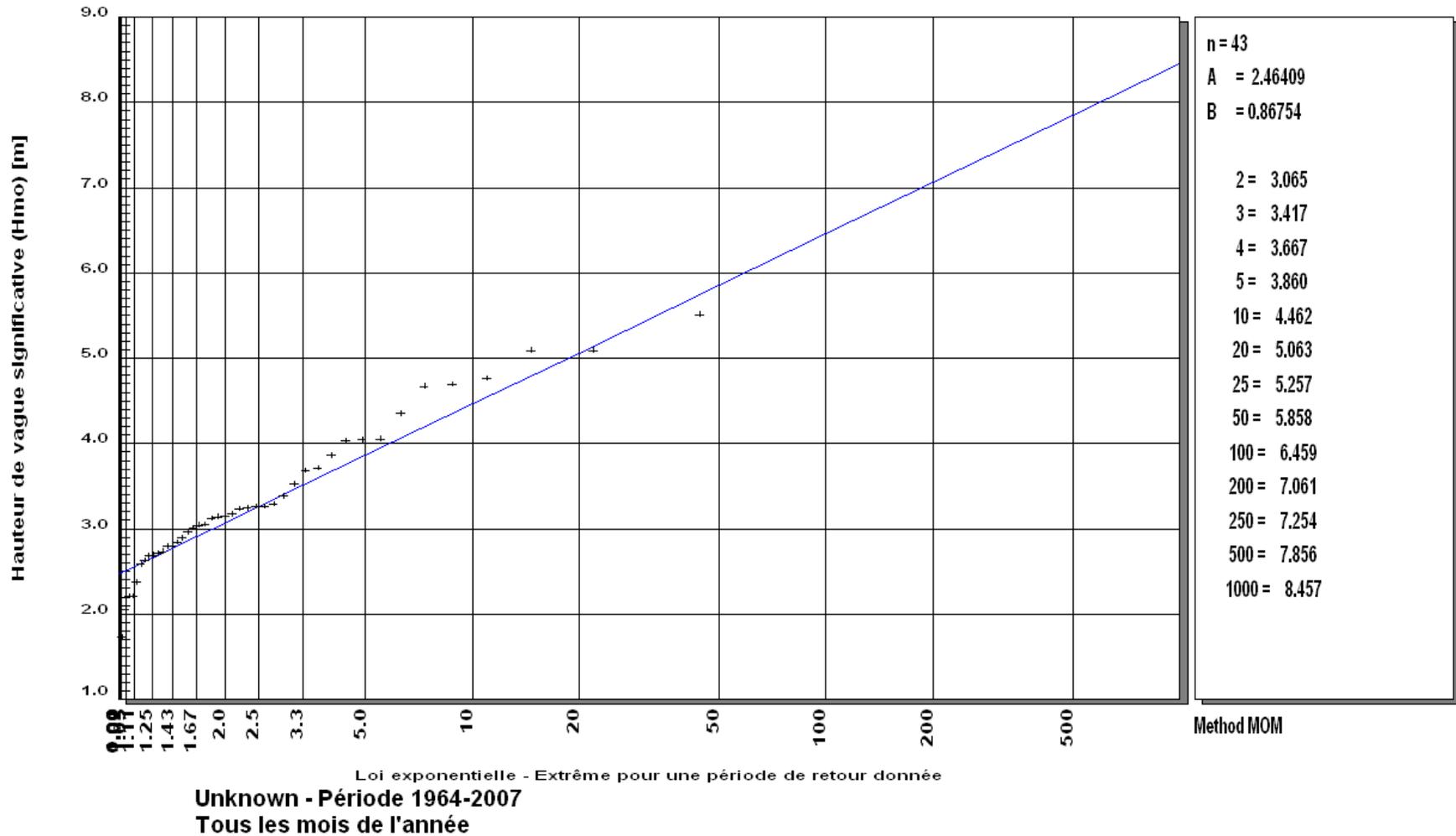






Annexe F : Épisodes de tempêtes – Hauteurs de vagues significatives supérieures à 3,0 m







Annexe G : Distribution des vagues générées au large de Pointe-aux-Outardes

Les résultats de cette annexe sont produits sur le CD-ROM qui accompagne ce rapport



Annexe G : Distribution des vagues générées au large de Pointe-aux-Outardes

TABLE DES TABLEAUX DE L'ANNEXE

| | |
|---|---|
| Tableau 1: Distribution pour toutes les années – Tous les niveaux d'eau..... | 3 |
| Tableau 2: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre -3 et -2 m..... | 4 |
| Tableau 3: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre -2 et -1 m..... | 5 |
| Tableau 4: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre -1 et 0 m..... | 6 |
| Tableau 5: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre 0 et 1 m..... | 7 |
| Tableau 6: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre 1 et 2 m..... | 8 |
| Tableau 7: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre 2 et 3 m..... | 9 |



Figure 1: Fetch calculé au point focal PA08



Tableau 1: Distribution pour toutes les années – Tous les niveaux d'eau

| Hauteur de vagues (m) | Provenance (16 secteurs) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | % Cumul | |
|-----------------------|--------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 0.00 | 22695 | 2154 | 2586 | 2411 | 3101 | 1506 | 1429 | 1252 | 2721 | 2164 | 3263 | 4094 | 10695 | 11607 | 14091 | 8179 | 93948 | 25.70 | 25.70 |
| 0.20 | 4803 | 1867 | 4902 | 5780 | 7223 | 2153 | 1891 | 1646 | 4580 | 5288 | 6668 | 7486 | 16108 | 8835 | 10033 | 6646 | 95909 | 26.24 | 51.94 |
| 0.40 | 2472 | 1323 | 3502 | 6542 | 7567 | 1314 | 889 | 715 | 2847 | 5223 | 7499 | 7639 | 11967 | 3456 | 3937 | 2441 | 69333 | 18.97 | 70.90 |
| 0.60 | 1116 | 947 | 2830 | 5604 | 5559 | 765 | 438 | 377 | 1601 | 3388 | 6707 | 4954 | 5989 | 1172 | 1518 | 724 | 43689 | 11.95 | 82.85 |
| 0.80 | 404 | 552 | 2185 | 4124 | 3780 | 442 | 171 | 100 | 857 | 2216 | 5323 | 2640 | 2572 | 348 | 440 | 183 | 26337 | 7.20 | 90.06 |
| 1.00 | 149 | 355 | 1813 | 3284 | 2408 | 244 | 57 | 30 | 518 | 1423 | 3579 | 1205 | 937 | 90 | 119 | 69 | 16280 | 4.45 | 94.51 |
| 1.20 | 55 | 190 | 1214 | 1667 | 1127 | 115 | 15 | 13 | 290 | 884 | 2283 | 626 | 406 | 15 | 23 | 15 | 8938 | 2.44 | 96.96 |
| 1.40 | 9 | 124 | 727 | 792 | 430 | 42 | 8 | 8 | 131 | 541 | 1509 | 277 | 133 | 7 | 5 | 4 | 4747 | 1.30 | 98.25 |
| 1.60 | 1 | 77 | 458 | 457 | 219 | 11 | 3 | 2 | 72 | 317 | 938 | 156 | 62 | 3 | 1 | 2 | 2779 | 0.76 | 99.01 |
| 1.80 | 2 | 34 | 342 | 222 | 100 | 4 | 2 | 0 | 25 | 229 | 463 | 66 | 21 | 0 | 1 | 0 | 1511 | 0.41 | 99.43 |
| 2.00 | 2 | 12 | 174 | 139 | 44 | 1 | 0 | 0 | 4 | 102 | 241 | 24 | 10 | 0 | 0 | 0 | 753 | 0.21 | 99.63 |
| 2.20 | 0 | 9 | 100 | 107 | 21 | 0 | 0 | 0 | 8 | 39 | 111 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 406 | 0.11 | 99.74 |
| 2.40 | 0 | 6 | 82 | 82 | 10 | 1 | 0 | 0 | 2 | 28 | 52 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 269 | 0.07 | 99.82 |
| 2.60 | 0 | 0 | 72 | 64 | 13 | 0 | 0 | 0 | 2 | 17 | 21 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 194 | 0.05 | 99.87 |
| 2.80 | 0 | 2 | 48 | 52 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 139 | 0.04 | 99.91 |
| 3.00 | 0 | 3 | 43 | 48 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 121 | 0.03 | 99.94 |
| 3.20 | 0 | 1 | 15 | 31 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 | 0.01 | 99.96 |
| 3.40 | 0 | 0 | 7 | 14 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 0.01 | 99.96 |
| 3.60 | 0 | 0 | 6 | 19 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0.01 | 99.97 |
| 3.80 | 0 | 0 | 7 | 19 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | 0.01 | 99.98 |
| 4.00 | 0 | 0 | 6 | 15 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 0.01 | 99.99 |
| 4.20 | 0 | 0 | 12 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0.01 | 99.99 |
| 4.40 | 0 | 0 | 1 | 7 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0.00 | 99.99 |
| 4.60 | 0 | 0 | 5 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0.00 | 100.00 |
| 4.80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.00 | 100.00 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.00 | 100.00 |
| 5.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 5.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 5.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| Total | 31708 | 7656 | 21137 | 31497 | 31634 | 6598 | 4903 | 4143 | 13658 | 21888 | 38690 | 29189 | 48900 | 25533 | 30168 | 18263 | 365565 | | |
| Total (%) | 8.67 | 2.09 | 5.78 | 8.62 | 8.65 | 1.80 | 1.34 | 1.13 | 3.74 | 5.99 | 10.58 | 7.98 | 13.38 | 6.98 | 8.25 | 5.00 | 365565 | | |



Tableau 2: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre -3 et -2 m

| Hauteur de vagues (m) | Provenance (16 secteurs) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | % Cumul | |
|-----------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 0.00 | 133 | 24 | 16 | 15 | 17 | 10 | 10 | 12 | 26 | 20 | 29 | 36 | 79 | 105 | 103 | 78 | 713 | 25.20 | 25.20 |
| 0.20 | 46 | 11 | 30 | 30 | 65 | 10 | 12 | 15 | 34 | 57 | 52 | 81 | 171 | 89 | 61 | 48 | 812 | 28.70 | 53.91 |
| 0.40 | 15 | 5 | 14 | 40 | 27 | 2 | 4 | 1 | 18 | 37 | 73 | 93 | 171 | 32 | 26 | 17 | 575 | 20.33 | 74.23 |
| 0.60 | 3 | 3 | 15 | 33 | 17 | 2 | 3 | 0 | 15 | 15 | 75 | 75 | 89 | 16 | 13 | 6 | 380 | 13.43 | 87.66 |
| 0.80 | 2 | 1 | 9 | 20 | 13 | 2 | 0 | 0 | 2 | 12 | 47 | 34 | 29 | 6 | 5 | 1 | 183 | 6.47 | 94.13 |
| 1.00 | 0 | 1 | 5 | 11 | 6 | 1 | 0 | 0 | 4 | 4 | 29 | 10 | 11 | 0 | 1 | 0 | 83 | 2.93 | 97.07 |
| 1.20 | 0 | 1 | 5 | 8 | 6 | 1 | 0 | 0 | 1 | 5 | 8 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 41 | 1.45 | 98.52 |
| 1.40 | 0 | 0 | 3 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 19 | 0.67 | 99.19 |
| 1.60 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0.35 | 99.54 |
| 1.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0.21 | 99.75 |
| 2.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.07 | 99.82 |
| 2.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0.11 | 99.93 |
| 2.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.04 | 99.96 |
| 2.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.04 | 100.00 |
| 2.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 3.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 3.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 3.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 3.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 3.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| Total | 199 | 46 | 97 | 165 | 153 | 28 | 29 | 28 | 100 | 155 | 329 | 333 | 560 | 248 | 209 | 150 | 2829 | | |
| Total (%) | 7.03 | 1.63 | 3.43 | 5.83 | 5.41 | 0.99 | 1.03 | 0.99 | 3.53 | 5.48 | 11.63 | 11.77 | 19.79 | 8.77 | 7.39 | 5.30 | 2829 | | |



Tableau 3: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre -2 et -1 m

| Hauteur de vagues (m) | Provenance (16 secteurs) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | % Cumul | |
|-----------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 0.00 | 4026 | 361 | 484 | 448 | 610 | 315 | 270 | 204 | 534 | 392 | 575 | 699 | 1955 | 2179 | 2481 | 1497 | 17030 | 26.53 | 26.53 |
| 0.20 | 831 | 290 | 844 | 1034 | 1302 | 375 | 336 | 309 | 872 | 1040 | 1220 | 1427 | 3127 | 1646 | 1691 | 1173 | 17517 | 27.28 | 53.81 |
| 0.40 | 361 | 220 | 590 | 1099 | 1214 | 192 | 134 | 110 | 520 | 953 | 1273 | 1516 | 2366 | 602 | 663 | 438 | 12251 | 19.08 | 72.89 |
| 0.60 | 169 | 147 | 447 | 916 | 880 | 120 | 75 | 77 | 264 | 596 | 1141 | 1026 | 1087 | 198 | 249 | 132 | 7524 | 11.72 | 84.61 |
| 0.80 | 44 | 69 | 319 | 623 | 596 | 69 | 30 | 22 | 116 | 372 | 939 | 503 | 500 | 54 | 87 | 31 | 4374 | 6.81 | 91.42 |
| 1.00 | 11 | 35 | 304 | 486 | 350 | 49 | 8 | 3 | 88 | 237 | 624 | 198 | 177 | 14 | 18 | 11 | 2613 | 4.07 | 95.49 |
| 1.20 | 7 | 18 | 153 | 254 | 170 | 15 | 4 | 2 | 45 | 175 | 374 | 106 | 65 | 2 | 2 | 2 | 1394 | 2.17 | 97.67 |
| 1.40 | 2 | 10 | 96 | 128 | 57 | 5 | 1 | 0 | 23 | 91 | 219 | 54 | 21 | 1 | 0 | 0 | 708 | 1.10 | 98.77 |
| 1.60 | 0 | 10 | 42 | 43 | 27 | 0 | 3 | 1 | 11 | 54 | 143 | 26 | 12 | 0 | 1 | 1 | 374 | 0.58 | 99.35 |
| 1.80 | 0 | 2 | 28 | 27 | 14 | 0 | 0 | 0 | 5 | 33 | 71 | 10 | 3 | 0 | 0 | 0 | 193 | 0.30 | 99.65 |
| 2.00 | 0 | 1 | 19 | 8 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 24 | 31 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 94 | 0.15 | 99.80 |
| 2.20 | 0 | 1 | 9 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 24 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 48 | 0.07 | 99.87 |
| 2.40 | 0 | 0 | 7 | 11 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41 | 0.06 | 99.94 |
| 2.60 | 0 | 0 | 2 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0.03 | 99.96 |
| 2.80 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0.01 | 99.97 |
| 3.00 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0.01 | 99.99 |
| 3.20 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.00 | 99.99 |
| 3.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 99.99 |
| 3.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 99.99 |
| 3.80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.01 | 100.00 |
| 4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 4.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.60 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 4.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 5.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| Total | 5451 | 1164 | 3347 | 5102 | 5227 | 1141 | 861 | 728 | 2480 | 3988 | 6653 | 5573 | 9314 | 4696 | 5192 | 3285 | 64202 | | |
| Total (%) | 8.49 | 1.81 | 5.21 | 7.95 | 8.14 | 1.78 | 1.34 | 1.13 | 3.86 | 6.21 | 10.36 | 8.68 | 14.51 | 7.31 | 8.09 | 5.12 | 64202 | | |



Tableau 4: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre -1 et 0 m

| Hauteur de vagues (m) | Provenance (16 secteurs) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | % Cumul | |
|-----------------------|--------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 0.00 | 6939 | 654 | 813 | 701 | 1007 | 461 | 444 | 408 | 860 | 683 | 970 | 1235 | 3386 | 3539 | 4301 | 2571 | 28972 | 25.34 | 25.34 |
| 0.20 | 1565 | 573 | 1510 | 1862 | 2311 | 669 | 587 | 509 | 1492 | 1630 | 2013 | 2329 | 5057 | 2738 | 3133 | 2110 | 30088 | 26.31 | 51.65 |
| 0.40 | 753 | 404 | 1096 | 2084 | 2467 | 415 | 272 | 241 | 938 | 1676 | 2415 | 2306 | 3642 | 1121 | 1236 | 776 | 21842 | 19.10 | 70.75 |
| 0.60 | 358 | 291 | 889 | 1787 | 1772 | 248 | 148 | 125 | 505 | 1082 | 2098 | 1450 | 1856 | 363 | 482 | 231 | 13685 | 11.97 | 82.72 |
| 0.80 | 134 | 193 | 713 | 1327 | 1169 | 117 | 59 | 28 | 301 | 740 | 1648 | 835 | 770 | 98 | 154 | 48 | 8334 | 7.29 | 90.01 |
| 1.00 | 46 | 131 | 545 | 1101 | 757 | 68 | 21 | 9 | 177 | 482 | 1100 | 382 | 264 | 31 | 39 | 22 | 5175 | 4.53 | 94.53 |
| 1.20 | 16 | 59 | 339 | 531 | 341 | 37 | 3 | 4 | 98 | 290 | 760 | 197 | 130 | 3 | 5 | 11 | 2824 | 2.47 | 97.00 |
| 1.40 | 4 | 36 | 213 | 238 | 119 | 17 | 2 | 4 | 51 | 189 | 487 | 74 | 42 | 2 | 0 | 1 | 1479 | 1.29 | 98.29 |
| 1.60 | 0 | 23 | 151 | 139 | 63 | 5 | 0 | 1 | 15 | 88 | 281 | 59 | 21 | 0 | 0 | 0 | 846 | 0.74 | 99.03 |
| 1.80 | 1 | 12 | 100 | 62 | 30 | 1 | 1 | 0 | 7 | 66 | 140 | 23 | 9 | 0 | 1 | 0 | 453 | 0.40 | 99.43 |
| 2.00 | 0 | 4 | 45 | 43 | 13 | 0 | 0 | 0 | 1 | 26 | 91 | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 233 | 0.20 | 99.63 |
| 2.20 | 0 | 0 | 29 | 28 | 6 | 0 | 0 | 0 | 3 | 16 | 40 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 124 | 0.11 | 99.74 |
| 2.40 | 0 | 3 | 28 | 23 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | 15 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 82 | 0.07 | 99.81 |
| 2.60 | 0 | 0 | 27 | 21 | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66 | 0.06 | 99.87 |
| 2.80 | 0 | 0 | 13 | 16 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 | 0.03 | 99.91 |
| 3.00 | 0 | 3 | 19 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43 | 0.04 | 99.94 |
| 3.20 | 0 | 0 | 4 | 9 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0.01 | 99.96 |
| 3.40 | 0 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0.01 | 99.96 |
| 3.60 | 0 | 0 | 1 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0.01 | 99.97 |
| 3.80 | 0 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.00 | 99.98 |
| 4.00 | 0 | 0 | 2 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0.01 | 99.99 |
| 4.20 | 0 | 0 | 5 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0.01 | 99.99 |
| 4.40 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.00 | 100.00 |
| 4.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 5.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| Total | 9816 | 2386 | 6544 | 10014 | 10076 | 2039 | 1537 | 1329 | 4449 | 6986 | 12076 | 8899 | 15183 | 7895 | 9351 | 5770 | 114350 | | |
| Total (%) | 8.58 | 2.09 | 5.72 | 8.76 | 8.81 | 1.78 | 1.34 | 1.16 | 3.89 | 6.11 | 10.56 | 7.78 | 13.28 | 6.90 | 8.18 | 5.05 | 114350 | | |



Tableau 5: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre 0 et 1 m

| Hauteur de vagues (m) | Provenance (16 secteurs) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | % Cumul | |
|-----------------------|--------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------------|---------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 0.00 | 7354 | 704 | 792 | 812 | 1010 | 480 | 493 | 441 | 859 | 708 | 1073 | 1347 | 3413 | 3823 | 4705 | 2586 | 30600 | 25.19 | 25.19 |
| 0.20 | 1556 | 664 | 1630 | 1906 | 2506 | 767 | 659 | 579 | 1511 | 1759 | 2163 | 2357 | 5242 | 3027 | 3413 | 2218 | 31957 | 26.31 | 51.49 |
| 0.40 | 864 | 476 | 1205 | 2204 | 2593 | 484 | 311 | 250 | 944 | 1782 | 2444 | 2506 | 3896 | 1147 | 1296 | 793 | 23195 | 19.09 | 70.59 |
| 0.60 | 353 | 330 | 979 | 1882 | 1819 | 236 | 143 | 114 | 550 | 1130 | 2209 | 1653 | 2009 | 405 | 516 | 225 | 14553 | 11.98 | 82.57 |
| 0.80 | 143 | 195 | 740 | 1449 | 1280 | 157 | 55 | 31 | 303 | 738 | 1727 | 860 | 822 | 121 | 121 | 74 | 8816 | 7.26 | 89.82 |
| 1.00 | 56 | 119 | 646 | 1075 | 849 | 75 | 19 | 9 | 181 | 506 | 1240 | 411 | 301 | 30 | 45 | 20 | 5582 | 4.59 | 94.42 |
| 1.20 | 16 | 70 | 478 | 550 | 372 | 40 | 4 | 3 | 97 | 287 | 722 | 196 | 122 | 8 | 13 | 2 | 2980 | 2.45 | 96.87 |
| 1.40 | 1 | 37 | 262 | 263 | 158 | 12 | 4 | 2 | 39 | 169 | 522 | 76 | 40 | 4 | 2 | 2 | 1593 | 1.31 | 98.18 |
| 1.60 | 0 | 25 | 169 | 166 | 75 | 3 | 0 | 0 | 29 | 119 | 327 | 45 | 19 | 2 | 0 | 0 | 979 | 0.81 | 98.99 |
| 1.80 | 1 | 12 | 133 | 82 | 30 | 1 | 0 | 0 | 7 | 77 | 159 | 13 | 3 | 0 | 0 | 0 | 518 | 0.43 | 99.42 |
| 2.00 | 2 | 6 | 62 | 54 | 11 | 0 | 0 | 0 | 2 | 30 | 76 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 252 | 0.21 | 99.62 |
| 2.20 | 0 | 3 | 38 | 44 | 7 | 0 | 0 | 0 | 3 | 12 | 22 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 132 | 0.11 | 99.73 |
| 2.40 | 0 | 2 | 27 | 27 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 11 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80 | 0.07 | 99.80 |
| 2.60 | 0 | 0 | 28 | 20 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66 | 0.05 | 99.85 |
| 2.80 | 0 | 0 | 23 | 19 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56 | 0.05 | 99.90 |
| 3.00 | 0 | 0 | 14 | 26 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47 | 0.04 | 99.94 |
| 3.20 | 0 | 1 | 9 | 14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0.02 | 99.96 |
| 3.40 | 0 | 0 | 5 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0.01 | 99.97 |
| 3.60 | 0 | 0 | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0.01 | 99.97 |
| 3.80 | 0 | 0 | 5 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0.01 | 99.98 |
| 4.00 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.00 | 99.99 |
| 4.20 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0.00 | 99.99 |
| 4.40 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.00 | 100.00 |
| 4.60 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.00 | 100.00 |
| 4.80 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.00 | 100.00 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 5.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| Total | 10346 | 2644 | 7256 | 10617 | 10727 | 2255 | 1688 | 1429 | 4526 | 7336 | 12712 | 9481 | 15868 | 8567 | 10111 | 5920 | 121483 | | |
| Total (%) | 8.52 | 2.18 | 5.97 | 8.74 | 8.83 | 1.86 | 1.39 | 1.18 | 3.73 | 6.04 | 10.46 | 7.80 | 13.06 | 7.05 | 8.32 | 4.87 | 121483 | | |



Tableau 6: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre 1 et 2 m

| Hauteur de vagues (m) | Provenance (16 secteurs) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | % Cumul | |
|-----------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 0.00 | 3838 | 372 | 440 | 401 | 428 | 228 | 197 | 178 | 412 | 335 | 557 | 708 | 1735 | 1812 | 2285 | 1344 | 15270 | 26.45 | 26.45 |
| 0.20 | 764 | 301 | 809 | 854 | 976 | 312 | 279 | 215 | 620 | 735 | 1108 | 1201 | 2364 | 1235 | 1572 | 1013 | 14358 | 24.87 | 51.33 |
| 0.40 | 431 | 202 | 558 | 1027 | 1194 | 205 | 155 | 103 | 409 | 743 | 1196 | 1136 | 1750 | 510 | 655 | 384 | 10658 | 18.46 | 69.79 |
| 0.60 | 205 | 167 | 449 | 904 | 985 | 147 | 64 | 59 | 247 | 524 | 1093 | 698 | 866 | 170 | 239 | 121 | 6938 | 12.02 | 81.81 |
| 0.80 | 72 | 89 | 371 | 635 | 678 | 90 | 26 | 18 | 133 | 328 | 887 | 370 | 419 | 57 | 66 | 27 | 4266 | 7.39 | 89.20 |
| 1.00 | 26 | 61 | 277 | 563 | 413 | 44 | 8 | 8 | 63 | 185 | 558 | 189 | 165 | 13 | 15 | 15 | 2603 | 4.51 | 93.71 |
| 1.20 | 12 | 34 | 216 | 290 | 222 | 22 | 4 | 3 | 42 | 102 | 397 | 105 | 75 | 2 | 3 | 0 | 1529 | 2.65 | 96.36 |
| 1.40 | 1 | 36 | 138 | 142 | 78 | 8 | 1 | 2 | 18 | 86 | 254 | 58 | 25 | 0 | 3 | 1 | 851 | 1.47 | 97.83 |
| 1.60 | 1 | 18 | 81 | 92 | 47 | 3 | 0 | 0 | 15 | 49 | 176 | 21 | 5 | 1 | 0 | 1 | 510 | 0.88 | 98.71 |
| 1.80 | 0 | 8 | 68 | 46 | 21 | 2 | 1 | 0 | 4 | 48 | 83 | 19 | 4 | 0 | 0 | 0 | 304 | 0.53 | 99.24 |
| 2.00 | 0 | 1 | 45 | 24 | 12 | 0 | 0 | 0 | 1 | 22 | 40 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 151 | 0.26 | 99.50 |
| 2.20 | 0 | 4 | 22 | 20 | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81 | 0.14 | 99.64 |
| 2.40 | 0 | 1 | 20 | 17 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 58 | 0.10 | 99.74 |
| 2.60 | 0 | 0 | 13 | 12 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 | 0.07 | 99.81 |
| 2.80 | 0 | 2 | 8 | 12 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | 0.05 | 99.86 |
| 3.00 | 0 | 0 | 7 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 0.04 | 99.90 |
| 3.20 | 0 | 0 | 2 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0.02 | 99.92 |
| 3.40 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.01 | 99.92 |
| 3.60 | 0 | 0 | 1 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0.01 | 99.94 |
| 3.80 | 0 | 0 | 1 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0.01 | 99.95 |
| 4.00 | 0 | 0 | 2 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0.02 | 99.96 |
| 4.20 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.01 | 99.97 |
| 4.40 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.01 | 99.98 |
| 4.60 | 0 | 0 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0.01 | 99.99 |
| 4.80 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 99.99 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.00 | 100.00 |
| 5.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 100.00 |
| 5.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| Total | 5350 | 1296 | 3537 | 5084 | 5074 | 1061 | 735 | 586 | 1966 | 3178 | 6392 | 4514 | 7409 | 3800 | 4838 | 2906 | 57726 | | |
| Total (%) | 9.27 | 2.25 | 6.13 | 8.81 | 8.79 | 1.84 | 1.27 | 1.02 | 3.41 | 5.51 | 11.07 | 7.82 | 12.83 | 6.58 | 8.38 | 5.03 | 57726 | | |

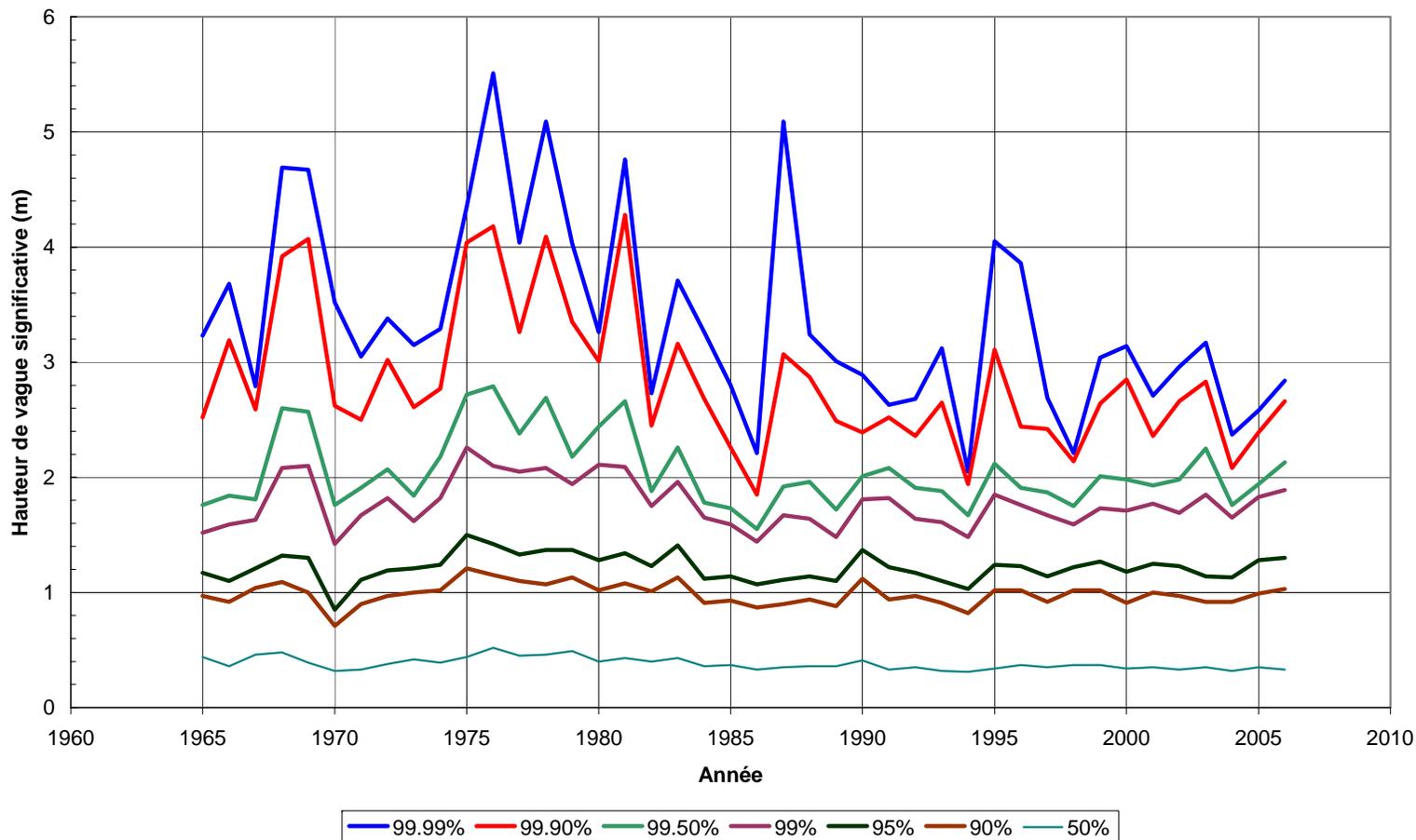


Tableau 7: Distribution pour toutes les années - Niveau d'eau entre 2 et 3 m

| Hauteur de vagues (m) | Provenance (16 secteurs) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | % Cumul | |
|-----------------------|--------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
| 0.00 | 405 | 39 | 41 | 34 | 29 | 12 | 15 | 9 | 30 | 26 | 59 | 69 | 127 | 149 | 216 | 103 | 1363 | 27.40 | 27.40 |
| 0.20 | 41 | 28 | 79 | 94 | 63 | 20 | 18 | 19 | 51 | 67 | 112 | 91 | 147 | 100 | 163 | 84 | 1177 | 23.66 | 51.06 |
| 0.40 | 48 | 16 | 39 | 88 | 72 | 16 | 13 | 10 | 18 | 32 | 98 | 82 | 142 | 44 | 61 | 33 | 812 | 16.32 | 67.38 |
| 0.60 | 28 | 9 | 51 | 82 | 86 | 12 | 5 | 2 | 20 | 41 | 91 | 52 | 82 | 20 | 19 | 9 | 609 | 12.24 | 79.62 |
| 0.80 | 9 | 5 | 33 | 70 | 44 | 7 | 1 | 1 | 2 | 26 | 75 | 38 | 32 | 12 | 7 | 2 | 364 | 7.32 | 86.93 |
| 1.00 | 10 | 8 | 36 | 48 | 33 | 7 | 1 | 1 | 5 | 9 | 28 | 15 | 19 | 2 | 1 | 1 | 224 | 4.50 | 91.44 |
| 1.20 | 4 | 8 | 23 | 34 | 16 | 0 | 0 | 1 | 7 | 25 | 22 | 20 | 10 | 0 | 0 | 0 | 170 | 3.42 | 94.85 |
| 1.40 | 1 | 5 | 15 | 16 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 22 | 14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 97 | 1.95 | 96.80 |
| 1.60 | 0 | 1 | 15 | 14 | 6 | 0 | 0 | 0 | 2 | 7 | 8 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1.21 | 98.01 |
| 1.80 | 0 | 0 | 13 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 7 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 37 | 0.74 | 98.75 |
| 2.00 | 0 | 0 | 3 | 10 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 21 | 0.42 | 99.18 |
| 2.20 | 0 | 1 | 2 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0.36 | 99.54 |
| 2.40 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0.14 | 99.68 |
| 2.60 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.10 | 99.78 |
| 2.80 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.10 | 99.88 |
| 3.00 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.04 | 99.92 |
| 3.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 99.92 |
| 3.40 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.04 | 99.96 |
| 3.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 99.96 |
| 3.80 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.02 | 99.98 |
| 4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 99.98 |
| 4.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.02 | 100.00 |
| 4.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 4.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 5.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| 6.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 |
| Total | 546 | 120 | 356 | 515 | 377 | 74 | 53 | 43 | 137 | 245 | 528 | 389 | 566 | 327 | 467 | 232 | 4975 | | |
| Total (%) | 10.97 | 2.41 | 7.16 | 10.35 | 7.58 | 1.49 | 1.07 | 0.86 | 2.75 | 4.92 | 10.61 | 7.82 | 11.38 | 6.57 | 9.39 | 4.66 | 4975 | | |



Pourcentage de non-dépassement de la hauteur de vagues significative
Vagues au large de Pointe-aux-Outardes - Point POA8





Annexe H : Profils de plage en équilibre et protection des berges

Les résultats de cette annexe sont produits sur le CD-ROM qui accompagne ce rapport



Annexe H

Profils de plage en équilibre et protection des berges

TABLE DES MATIÈRES DE L'ANNEXE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUCTION | 7 |
| 2 | TRANSPORT LITTORAL PERPENDICULAIRE À LA CÔTE (TRANSVERSAL)..... | 9 |
| 2.1 | Transport à court terme | 9 |
| 2.2 | Transport à long terme et profondeur de fermeture..... | 9 |
| 2.2.1 | Profondeur de fermeture d'après Hallermeir..... | 9 |
| 2.2.2 | Profondeur de fermeture d'après Hands..... | 10 |
| 2.2.3 | Profondeur de fermeture par analyse de profils..... | 10 |
| 2.2.4 | Profondeur de fermeture obtenue par essais sur modèle réduit..... | 10 |
| 2.2.5 | Profondeur de fermeture évaluée pour Pointe-aux-Outardes | 12 |
| 2.2.6 | Discussion | 14 |
| 2.3 | Largeur de la plage à Pointe-aux-Outardes | 15 |
| 2.3.1 | Type d'attaque par la vague | 18 |
| 2.4 | Position de la limite du profil d'équilibre au large..... | 20 |
| 2.4.1 | Cas de Pointe-aux-Outardes | 20 |
| 2.5 | Profil d'équilibre de la plage | 20 |
| 2.5.1 | Détermination du paramètre A selon Dean..... | 21 |
| 2.5.2 | Détermination du paramètre A selon Kriebel, Kraus et Larson | 22 |
| 2.5.3 | Détermination du paramètre A selon Hanson et Kraus (1989)..... | 23 |
| 2.5.4 | Particularisation pour Pointe-aux-Outardes | 23 |
| 2.6 | Vitesse de chute des particules | 25 |
| 2.6.1 | Calcul de la chute pour Pointe-aux-Outardes..... | 25 |
| 2.7 | Formation de barres au large | 26 |
| 2.7.1 | Cas de Pointe-aux-Outardes | 26 |
| 2.8 | Évaluation du taux de retrait de la berme provoqué par un rehaussement du niveau d'eau..... | 27 |
| 2.8.1 | Application au site de Pointe-aux-Outardes | 29 |
| 3 | TRANSPORT LITTORAL PARALLÈLE À LA CÔTE (LONGITUDINAL) | 32 |
| 3.1 | Vitesse du courant longitudinal induite par le régime des vagues..... | 32 |
| 3.2 | Indice de profondeur de déferlement (« <i>Breaking depth index</i> »)..... | 33 |
| 3.2.1 | Calcul pour le cas de Pointe-aux-Outardes | 34 |
| 3.3 | Indice de hauteur de déferlement (« <i>Breaking height index</i> »)..... | 35 |
| 3.4 | Pente modifiée de la berge | 35 |
| 3.4.1 | Calcul pour Pointe-aux-Outardes | 36 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.5 | Vitesse du courant longitudinal pour Pointe-aux-Outardes..... | 36 |
| 3.6 | Capacité de transport longitudinal..... | 38 |
| 3.6.1 | Potentiel de transport instantané..... | 39 |
| 3.6.2 | Le transport à long terme | 41 |
| 4 | RECHARGE DE LA PLAGE..... | 42 |
| 4.1 | Largeur minimale de plage sèche | 42 |
| 4.2 | Calcul du facteur d'amplification du volume requis | 43 |
| 4.2.1 | Calcul du facteur d'amplification pour Pointe-aux-Outardes..... | 43 |
| 4.3 | Calculs de la longévité du projet | 45 |
| 4.3.1 | La diffusivité latérale | 46 |
| 4.3.2 | Calculs d'une variation de volume pour une recharge rectangulaire sur un tronçon rectiligne de plage..... | 47 |
| 4.3.3 | Effet de la longueur du domaine enrichi sur la longévité..... | 48 |
| 4.3.4 | Effets du régime des vagues sur la diffusivité latérale | 49 |
| 4.3.5 | Calcul de la demi-vie d'une recharge de plage rectangulaire..... | 49 |
| 4.3.6 | Application des concepts au cas de Pointe-aux-Outardes | 49 |
| 5 | PROTECTION DES BERGES PAR BERME EN ENROCHEMENT | 53 |
| 5.1 | État des connaissances concernant la protection par berme | 53 |
| 5.2 | Calcul de l'enrochement..... | 54 |
| 5.3 | Étalement..... | 55 |
| 5.4 | Facteur de forme..... | 55 |
| 5.5 | Épaisseur minimale du <i>riprap</i> | 56 |
| 5.6 | Filtres..... | 57 |
| 5.7 | Revanche | 58 |
| 5.8 | Application au cas de Pointe-aux-Outardes | 59 |
| 5.8.1 | <i>Riprap</i> sans affouillement | 60 |
| 5.8.2 | <i>Riprap</i> avec 1 m d'affouillement..... | 60 |
| 5.8.3 | Abaque pour évaluer la masse minimum requise..... | 60 |
| 5.8.4 | Calcul de la revanche | 61 |
| 6 | PROTECTION PAR CHAMP D'ÉPIS | 62 |
| 6.1 | État des connaissances concernant les épis (tiré du CEM)..... | 63 |
| 6.2 | Règles de base pour l'utilisation d'épis..... | 64 |
| 6.3 | Profils typiques d'épis conventionnels en enrochement..... | 64 |
| 6.3.1 | Épi dimensionné pour résister à un ouragan (USA)..... | 65 |
| 6.3.2 | Épi de type « queue de poisson » (<i>fishtail</i> , UK)..... | 65 |
| 6.4 | Impact du quai de Pointe-aux-Outardes | 67 |
| 6.5 | Cas de Pointe-aux-Outardes | 70 |
| 7 | PROTECTION PAR BRISE-LAMES D'AVANT-CÔTE (OFFSHORE)..... | 71 |
| 7.1 | Protection en brise-lames d'avant-côte réalisée à Pointe-Lebel..... | 73 |
| 7.2 | Discussion | 75 |
| 8 | SCHÉMA DE PROTECTION POUR POINTE-AUX-OUTARDES..... | 76 |

| | | |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| 8.1 | Protection additionnelle..... | 79 |
| 8.2 | Remarques..... | 79 |
| 9 | CONCLUSION | 80 |
| | BIBLIOGRAPHIE DE L'ANNEXE..... | 81 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1: Exemple de reprofilage suite à l'attaque d'une vague de 1,5 m durant 10 heures | 10 |
| Figure 2 : Pourcentage de non-dépassement de la hauteur de vague significative | 12 |
| Figure 3: Ajustement des hauteurs de vagues significatives extrêmes (AEV) pour Pointe-aux-Outardes..... | 14 |
| Figure 4: Profil de plage typique pour Pointe-aux-Outardes..... | 15 |
| Figure 5: Largeur du trait de plage (en vert) | 16 |
| Figure 6: Plage à marée haute | 16 |
| Figure 7: Largeur du trait de plage évaluée d'après les données LIDAR. | 17 |
| Figure 8: Schéma descriptif de la remontée des vagues | 18 |
| Figure 9: Types de vagues déferlantes – Source : CEM, 2003..... | 19 |
| Figure 10: Exemple de profil de plage en équilibre..... | 21 |
| Figure 11: Variation du paramètre d'échelle pour les sédiments..... | 22 |
| Figure 12: Granulométrie en milieu de plage pour Pointe-aux-Outardes | 24 |
| Figure 13: Granulométrie en haut de plage pour Pointe-aux-Outardes..... | 24 |
| Figure 14: Critère de formation de barres pour Pointe-aux-Outardes | 27 |
| Figure 15: Définition des variables pour le calcul du recul des berges. | 28 |
| Figure 16 : Taux annuel de relèvement du niveau d'eau moyen le long de la côte américaine..... | 30 |
| Figure 17: Indice de déferlement en fonction du nombre d'Irribaren..... | 34 |
| Figure 18: Vitesse du courant longitudinal pour une pente de plage de 100H:1V | 36 |
| Figure 19: Vitesse du courant longitudinal pour une pente de plage de 50H:1V..... | 37 |
| Figure 20: Vitesse du courant longitudinal pour une pente de plage de 25H:1V..... | 37 |
| Figure 21: Vitesse du courant longitudinal pour une pente de plage de 16H:1V..... | 38 |
| Figure 22 : Capacité de transport littoral parallèle à la côte | 40 |
| Figure 23: Largeur de plage minimum requise. | 42 |

| | |
|--|-----------|
| Figure 24: Granulométrie du sable de sablière à Pointe-aux-Outardes (Saint-Laurent) | 44 |
| Figure 25: Abaque de détermination du facteur de remplissage - Sablière | 44 |
| Figure 26: Abaque de détermination du facteur de remplissage – Haut de plage..... | 45 |
| Figure 27 : Définition des paramètres de profondeur..... | 46 |
| Figure 28: Recharge de plage rectangulaire de longueur $2a$ et de largeur Y_0..... | 47 |
| Figure 29 : Courbes adimensionnelles servant à solutionner une recharge initiale rectangulaire..... | 47 |
| Figure 30 :Taux d'attrition adimensionnel d'une recharge rectangulaire de longueur $2a$. | 48 |
| Figure 31: Abaque pour le calcul de la largeur de plage | 52 |
| Figure 32: Protection en enrochement..... | 53 |
| Figure 33 : Exemple de coupe d'un ouvrage de retenue illustrant l'utilisation de couches filtre (tiré de SEBJ, 1996)..... | 57 |
| Figure 34 : Fuseaux des courbes granulométriques acceptées pour les couches filtres.. | 58 |
| Figure 35 : Étapes menant à la destruction d'une berme en enrochement..... | 59 |
| Figure 36 : Masse minimum requise sous des conditions particulières..... | 61 |
| Figure 37 : Champs d'épis (Tiré de CIRIA C683)..... | 62 |
| Figure 38 : Angle de 6° suggéré par le CEM pour la transition en fin de série d'épis (Échelle transversale amplifiée) | 64 |
| Figure 39 : Section transversale d'un épi pouvant résister à un ouragan..... | 65 |
| Figure 40 : Vue en plan d'un épi de type « queue de poisson » <i>fishtail</i> – Concept récent. | 66 |
| Figure 41 : Coupe-type d'un bras externe | 66 |
| Figure 42: Quai de Pointe-aux-Outardes. Définition des paramètres. | 67 |
| Figure 43: Premier ajustement d'une courbe cubique pour évaluer la largeur de la plage | 68 |
| Figure 44: Second ajustement d'une courbe cubique pour évaluer la largeur de plage | 69 |
| Figure 45: Formule adimensionnelle d'évaluation de la largeur de plage à proximité du quai..... | 69 |
| Figure 47 : Définition des paramètres pour un brise-lame d'avant-côte | 71 |

| | |
|--|-----------|
| Figure 46: Brise-lames d'avant-côte (<i>offshore</i>)..... | 71 |
| Figure 48 : Classement de différents projets de brise-lames d'avant-côte en fonction de rapports adimensionnels (tiré du USACE Vol V – partie 3)..... | 73 |
| Figure 49 : Brise-lames d'avant-côte à Pointe-Lebel..... | 74 |
| Figure 50 : Implantations de brise-lames d'avant-côte..... | 75 |
| Figure 51: Localisation des sections transversales pour l'évaluation des volumes de recharge..... | 76 |
| Figure 52 : Profil d'équilibre implanté à la section 3. | 77 |
| Figure 53 : Variation du volume requis par mètre linéaire de plage..... | 77 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----------|
| Tableau 1 Paramètres pour le calcul de la remontée de la vague | 58 |
|---|-----------|



1 Introduction

Cette annexe présente une synthèse des notions portant sur les concepts de profils de plage en équilibre et de protection de berges soit par enrochement soit par construction d'épis ou de brise-lames d'avant-côte (*offshore*). Ces notions sont décrites dans le « *Coastal Engineering Manual* » (CEM¹) du corps des ingénieurs de l'armée américaine (*US Army Corps of Engineers*, USACE, 2003) et dans le « *Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering* » produit conjointement par le « *Construction Industry Research and Information Association* » (CIRIA²) et le « *Center for civil engineering research and codes* » (CUR). Le CIRIA sera cité en référence à cet ouvrage dans la suite de ce document. Nous avons aussi puisé dans le « *Guide pratique pour le dimensionnement du riprap* », produit par la Société d'Énergie de la Baie James et qui a été élaboré pour la réhabilitation du *riprap* des ouvrages de retenue du Complexe La Grande. Nous n'inventons donc rien, mais proposons, suite à la lecture de ces documents, une démarche d'analyse qui permet de bien camper la problématique et de proposer des solutions de stabilisation qui s'appuient sur des concepts acceptés et éprouvés. On cherche ainsi à éviter les écueils associés à des tentatives empiriques improvisées qui, trop souvent, se traduisent par des échecs. Il faut comprendre que le milieu maritime est complexe et que la nature déchaînée ne fait pas de quartier. On doit donc chercher à intégrer des solutions qui minimisent les impacts, qui tendent à créer un régime sédimentaire en équilibre et qui procurent une protection accrue pour le littoral et les gens qui y vivent.

C'est dans cette optique que l'on cherche à rétablir un profil d'équilibre pour la plage de la partie ouest de l'estran de la péninsule de Manicouagan (Pointe-aux-Outardes). L'existence d'un profil d'équilibre est un concept largement utilisé pour développer des modèles conceptuels et numériques pour la réhabilitation (CEM vol. IV, chapitre 3.)

Lorsque la plage est en équilibre, on retrouve généralement :

- des profils qui tendent à être concaves vers le haut
- des sables fins qui sont associés aux faibles pentes et des sables grossiers associés à des pentes plus fortes
- une plage relativement plane à une élévation supérieure à la zone de remontée (« *swash zone*») de la vague.

¹ USACE 2003. *Coastal Engineering Manual*. 5 volumes. United States Army Corps of Engineers. Engineering Manual EM 1110-2-1100.

² CIRIA, « *Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering* », CIRIA Special publication 83, CUR report 154, A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield/1991, ISBN 0-86017-326-7, 607 p.



- lorsqu'il y a de fortes vagues, elles induisent des pentes plus faibles mais qui ont alors tendance à former des barres d'avant-côte.

L'hypothèse maîtresse s'avère que le fond de plage tend vers un état d'équilibre lorsque soumis à des conditions de vagues *moyennes*. Cette approche ne tient pas compte de bien des facteurs. Cette simplification permet quand même de caractériser bien des profils de plage étudiés partout dans le monde.

Le concept s'appuie sur des suppositions qui ne sont pas nécessairement vérifiées en nature, notamment :

1. *Que le mouvement des sédiments est essentiellement le résultat du courant orbital généré par les vagues;* Dans les faits, les courants générés par la marée, le vent et la gravité font en sorte que les sédiments se déplacent. La question est de savoir s'ils sont remplacés par d'autres sources d'apport.
2. *Qu'il existe une profondeur de fermeture (« depth of closure ») et qu'il n'y a pas de pertes de matériaux au-delà de cette frontière;* Les mesures ont démontré qu'il pouvait y avoir des pertes significatives au-delà de la profondeur théorique de fermeture. Ce phénomène est notamment observé sur de larges estrans dans le golfe du Mexique, avec des vents soufflant vers le large. Ce phénomène est donc possible à Pointe-aux-Outardes du fait du long estran qui est présent.

Malgré ses imperfections, cette approche permet d'obtenir un profil réaliste quand on compare les résultats obtenus aux mesures réalisées un peu partout dans le monde.

La notion de profil d'équilibre s'appuie sur les analyses du mouvement des sables sur la plage. Historiquement, le mouvement des sédiments a été étudié en considérant, soit le mouvement perpendiculaire à la plage (« *cross shore* » ou transversal), soit le mouvement parallèle à celle-ci (« *longshore* » ou longitudinal). Les sections 2 et 3 traitent de ces deux phénomènes et jettent les bases sur lesquelles on peut appuyer un dimensionnement de profil de plage, qui est traité à la section 4. La description de méthodes plus ou moins dures, en opposition à la recharge de plage qui est considérée comme douce, fait l'objet des sections 5, 6 et 7 qui traitent respectivement de la protection linéaire en enrochement le long des berges, de l'utilisation d'épis stabilisateurs et de brise-lames d'avant-côte, ces deux derniers pouvant être envisagés de concert avec la recharge de plage. La section 8 présente un concept proposé pour le cas de Pointe-aux-Outardes qui s'appuie sur les analyses et calculs réalisés tout au long de cette annexe avec les caractéristiques et paramètres propres à ce site.

Les résultats de cette démarche sont rapportés en bref dans le rapport principal.



2 Transport littoral perpendiculaire à la côte (transversal)

2.1 Transport à court terme

On doit différencier les effets à court et long termes lorsqu'on considère protéger une plage. Durant les tempêtes, les niveaux d'eau sont habituellement élevés et les hauteurs de vagues importantes. Pour ces conditions, il y a une profondeur limite jusqu'à laquelle le transport de sédiments est significatif. L'ajustement du profil de la plage est plus rapide dans les zones de faible profondeur. En général, la limite de transport effectif pour des événements de tempête est située dans la zone dont la profondeur est associée au déferlement (h_b).

La limite supérieure (près de la rive) correspond à celle atteinte par la remontée des vagues (« *runup* »). La berme peut s'élargir en période d'accrétion et s'amincir durant les tempêtes.

2.2 Transport à long terme et profondeur de fermeture

L'établissement de la limite de la zone de fluctuation du profil de la plage est associé au concept de profondeur de fermeture (« *closure depth* » h_c) (CEM, III-3-3).

2.2.1 Profondeur de fermeture d'après Hallermeir

Hallermeir établit cette profondeur en utilisant la hauteur de vague significative efficace (H_e) et sa période (T_e) significative efficace qui ne sont excédées que 12 heures par année (0,14 % du temps) :

$$h_c = 2.28 H_e - 68.5 \left(\frac{H_e^2}{gT_e^2} \right)$$

Cette profondeur doit être calculée lorsque le niveau d'eau est au niveau de la marée basse moyenne (« Mean Low Water ou MLW ») (CEM IV-3-5).

La valeur de H_e peut être estimée à partir de la hauteur de vague significative moyenne annuelle $\overline{H_s}$ et son écart-type σ_H .

$$H_e = \overline{H_s} + 5.6\sigma_H$$

L'équation de Hallermeir est valable pour du sable de quartz ($2\,600\text{ kg/m}^3$) et des diamètres médians variant entre 0.16 et 0.42 mm. Pour des valeurs supérieures, l'équation est sujette à caution.



2.2.2 Profondeur de fermeture d'après Hands

Hands évalue la profondeur de fermeture au lac Michigan à environ deux fois la hauteur de vague calculée pour la période de retour de 5 ans. On peut appliquer cette règle du pouce pour comparer le résultat à celui obtenu avec la formule de Hallermeir.

2.2.3 Profondeur de fermeture par analyse de profils

On peut établir empiriquement la profondeur de fermeture par analyse de multiples profils mesurés le long de la côte et en recherchant la profondeur pour laquelle il y a peu de variabilité de la cote du fond en fonction du temps.

2.2.4 Profondeur de fermeture obtenue par essais sur modèle réduit

La Figure 1, tirée du CEM-III-3-3, décrit l'évolution du profil de la plage et la position de la profondeur de fermeture pour un épisode donné de tempête. On cherche à obtenir une réponse similaire, à savoir un profil d'équilibre qui se situe à une distance suffisante du pied de talus pour assurer une protection satisfaisante. Ces conditions de tempêtes sont associées à une période de retour déterminée lors du dimensionnement.

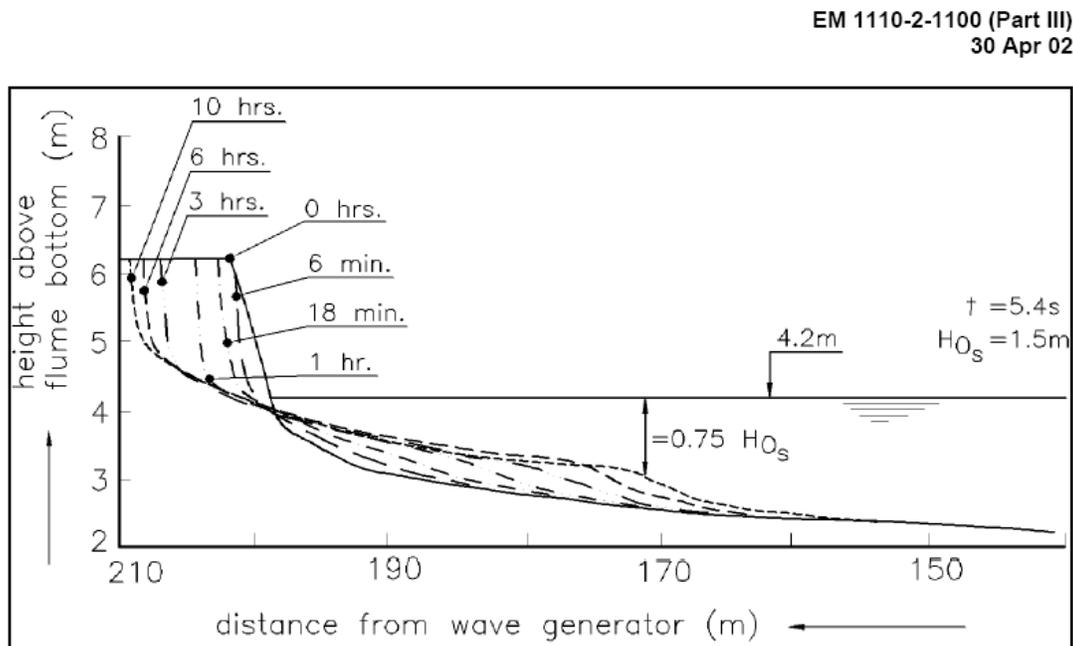


Figure III-3-16. Erosional profile evolution, large wave tank results (Vellinga 1983)

Tiré du CEM,2003

Figure 1: Exemple de reprofilage suite à l'attaque d'une vague de 1,5 m durant 10 heures





2.2.5 Profondeur de fermeture évaluée pour Pointe-aux-Outardes

Pour Pointe-aux-Outardes, l'élévation de la marée basse moyenne (« Mean Low Water ou MLW ») est donnée au tableau 7 de l'annexe D et se situe à -1,18 m. Cette valeur correspond à celle à laquelle le capteur de pression a été installé. La distance à la rive était alors de 230 m.

En s'appuyant sur la génération des vagues (annexe E), on peut calculer la hauteur de vague significative effective (H_{eff}). Cette notion est présentée à la section 4.3.4 traitant de la diffusivité latérale. La valeur obtenue est de 0,53 m. La valeur moyenne est 0,35 m et la valeur rms vaut 0,4 m.

La Figure 2, tirée de l'annexe G, permet d'évaluer la valeur de la hauteur de vague significative en eau profonde dépassée 12 heures par année (99,9% de non dépassement). Elle varie entre 2,5 et 4 m. La valeur moyenne est de l'ordre de 3 m. On retient cette valeur pour les calculs.

Pourcentage de non-dépassement de la hauteur de vagues significative
Vagues au large de Pointe-aux-Outardes - Point POA8

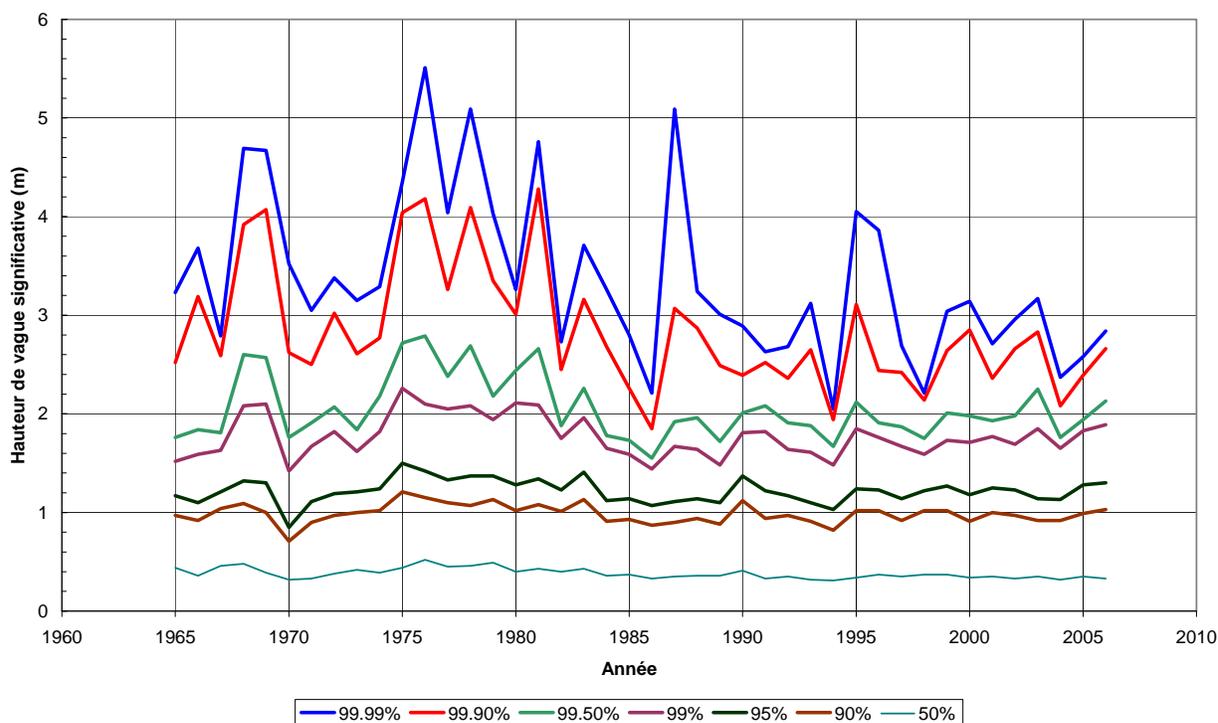


Figure 2 : Pourcentage de non-dépassement de la hauteur de vague significative



Méthode de Hallermeir

On pose l'hypothèse que pour ces conditions, la cambrure de la vague en eau profonde est à 0,06, ce qui donne une longueur d'onde de $3/0,06$ soit 50 m. La période associée est tirée de l'équation :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}$$

et vaut 5,7 secondes. La profondeur de fermeture est calculée comme suit :

$$h_c = 2.28 H_e - 68.5 \left(\frac{H_e^2}{gT_e^2} \right) = 2.28 * 3.0 - 68.5 \left(\frac{3^2}{9.81 * 5.7^2} \right) = 4.9 \text{ m}$$

Cette profondeur doit être calculée lorsque le niveau d'eau est au niveau de la marée basse moyenne (« Mean Low Water ou MLW »). On soustrait alors 1,2 m pour obtenir finalement 6,1 m. Cette profondeur est retrouvée à limite de l'estran, au large, ce qui signifie que le transport est possible sur tout l'estran.

L'application de la deuxième méthode donne une valeur inférieure

$$H_e = \overline{H_s} + 5.6\sigma_H = 0.35 + 5.6 * 0.4 = 2.8 \text{ m}$$

Soustrayant 1,2 m on obtient une cote de -4,0 m.

Méthode de Hans

Les statistiques sur les vagues extrêmes (annexe G section 2) sont utilisées pour calculer la hauteur de vague significative dont la période de retour est de 5 ans. On retient l'ajustement avec la loi Log-Pearson III (Figure 3) ce qui donne une valeur de 4,0 m. Deux fois cette valeur donne donc 8,0 m et cette profondeur se situe à nouveau à la limite de l'estran.

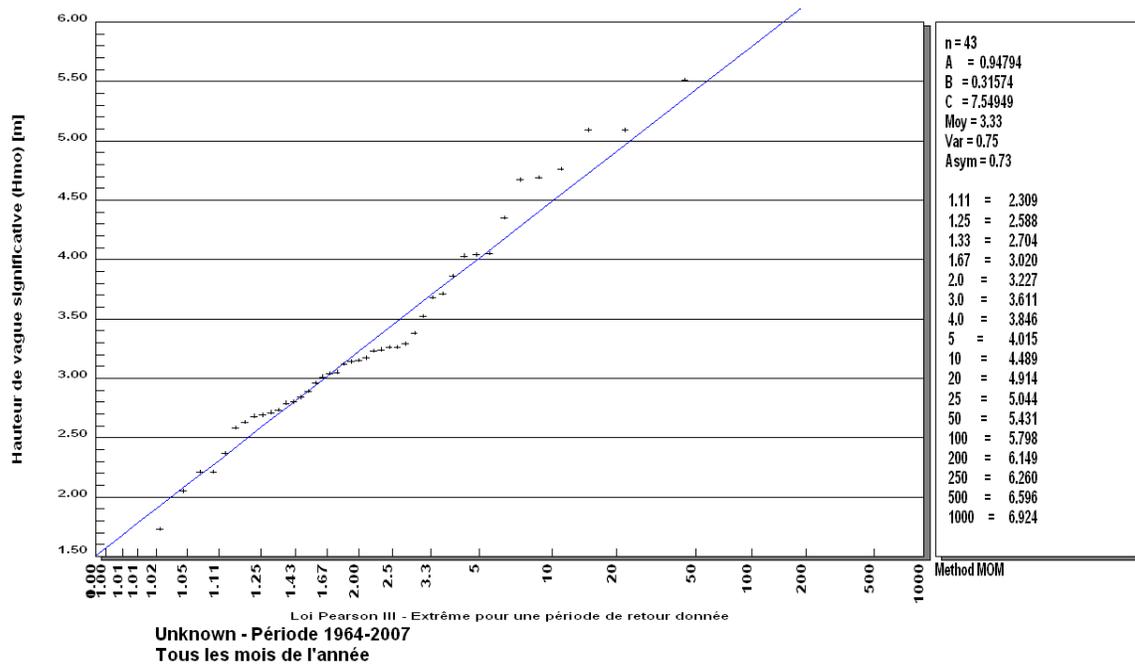


Figure 3: Ajustement des hauteurs de vagues significatives extrêmes (AEV) pour Pointe-aux-Outardes.

2.2.6 Discussion

L'application des formules ci-haut, indique que le transport à long terme peut se produire sur l'estran en entier. D'après les équations présentées, la profondeur de fermeture se situe, à toute fin pratique, à la limite de l'estran pour ce qui est de Pointe-aux-Outardes. Pour le transport à court terme, la zone située près de la rive est celle qui nous intéresse et la profondeur de déferlement est le critère à considérer.

La Figure 4 présente un profil de plage typique pour Pointe-aux-Outardes. Pour l'estran de Pointe-aux-Outardes la profondeur moyenne de l'estran est d'environ -1,5 m. Le niveau d'eau varie fréquemment entre les cotes -1,8 et 2,3 m (chapitre 5.2 du rapport principal) et la profondeur de déferlement est fonction de la profondeur d'eau et de la hauteur de vague significative :

$$h_d = \frac{H_s}{\gamma_{br}} \quad \gamma_{br} \approx 0.78, \text{ indice de déferlement traité à la section 3.2}$$

La hauteur de vague limite susceptible d'attaquer la plage varie donc avec le niveau d'eau au-dessus de l'estran et la zone de déferlement varie au gré des marées avec la hauteur d'eau. Pour fixer les idées, on peut retenir un niveau d'eau à 2,3 m et une profondeur moyenne de l'estran à -1,5 m, ce qui donne une hauteur de vague limite de 3 m. Cette hauteur peut s'avérer inférieure lorsqu'on tient compte des caractéristiques de l'estran et du frottement qui a lieu lors de la propagation de la vague.

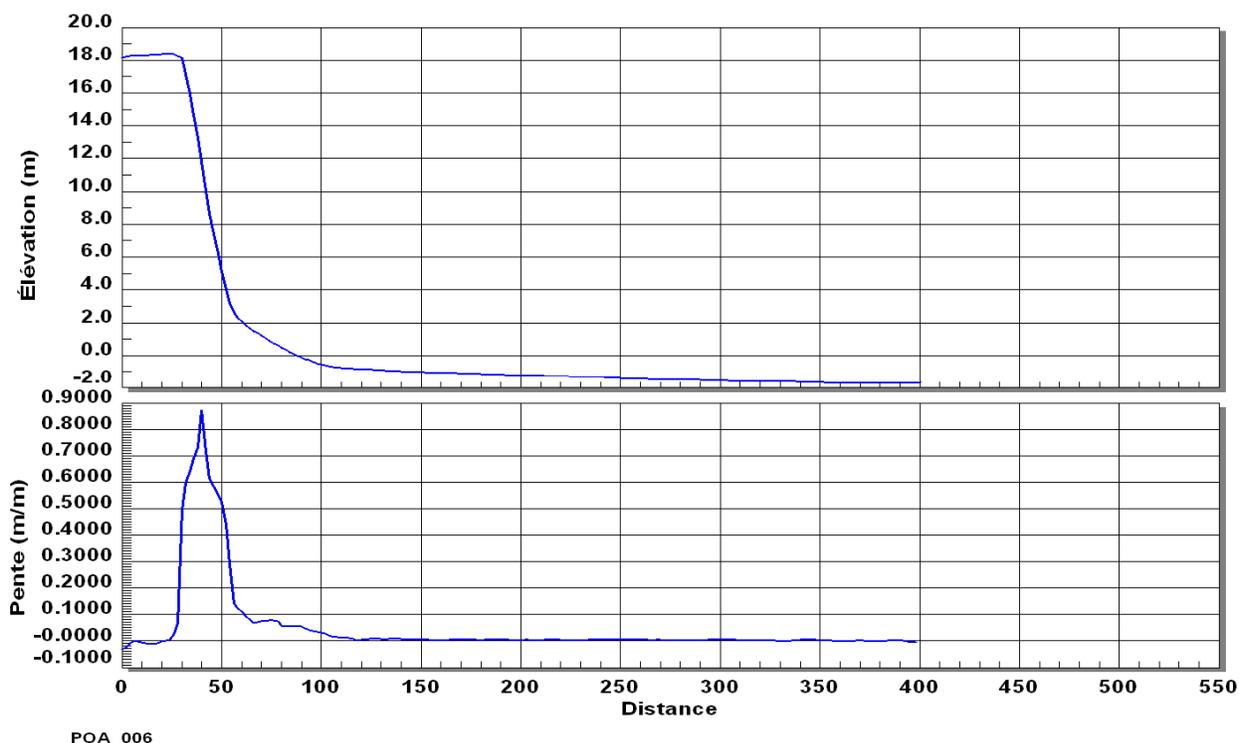


Figure 4: Profil de plage typique pour Pointe-aux-Outardes

2.3 Largeur de la plage à Pointe-aux-Outardes

De la Figure 4, on peut établir que la plage se situe entre les élévations 2,0 m et -0,5 m. La distance entre ces deux points est de 40 m pour une pente moyenne de 6,2%. La distance entre le pied de talus et le niveau d'eau moyen (cote 0) est d'une trentaine de mètres. Nous nous intéressons à la largeur du trait de plage, qu'on définit ici comme la distance entre le niveau d'eau moyen (niveau moyen de la mer) et le pied de talus.

La Figure 5 et la Figure 7 permettent d'évaluer la largeur du trait de plage qui est représenté en vert. Cette largeur varie, pour la plus grande partie de la plage, entre 20 et 50 m.. À l'inspection, une largeur minimale de 30 m apparaît souhaitable.

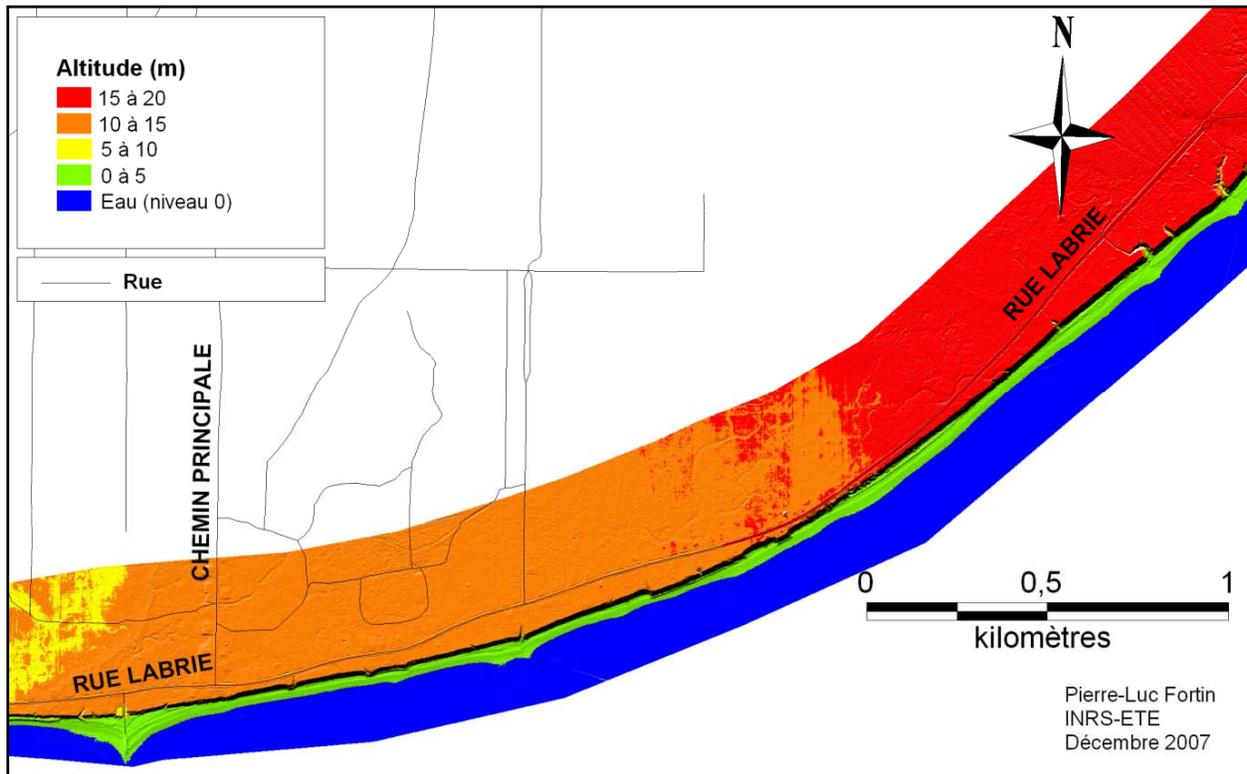


Figure 5: Largeur du trait de plage (en vert)

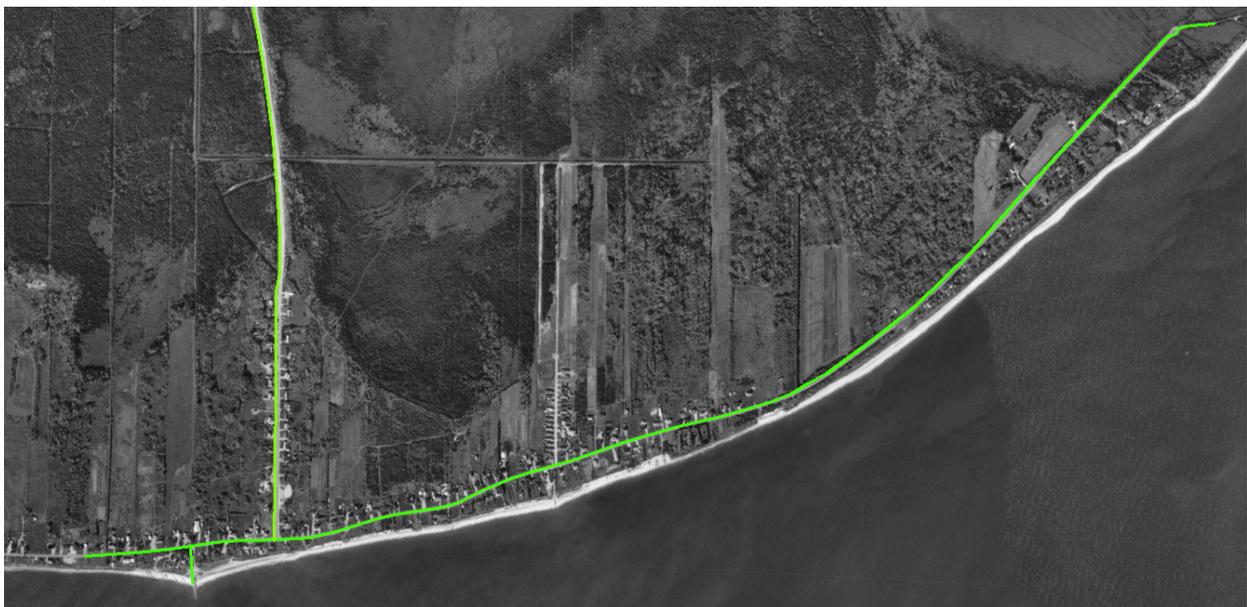


Figure 6: Plage à marée haute

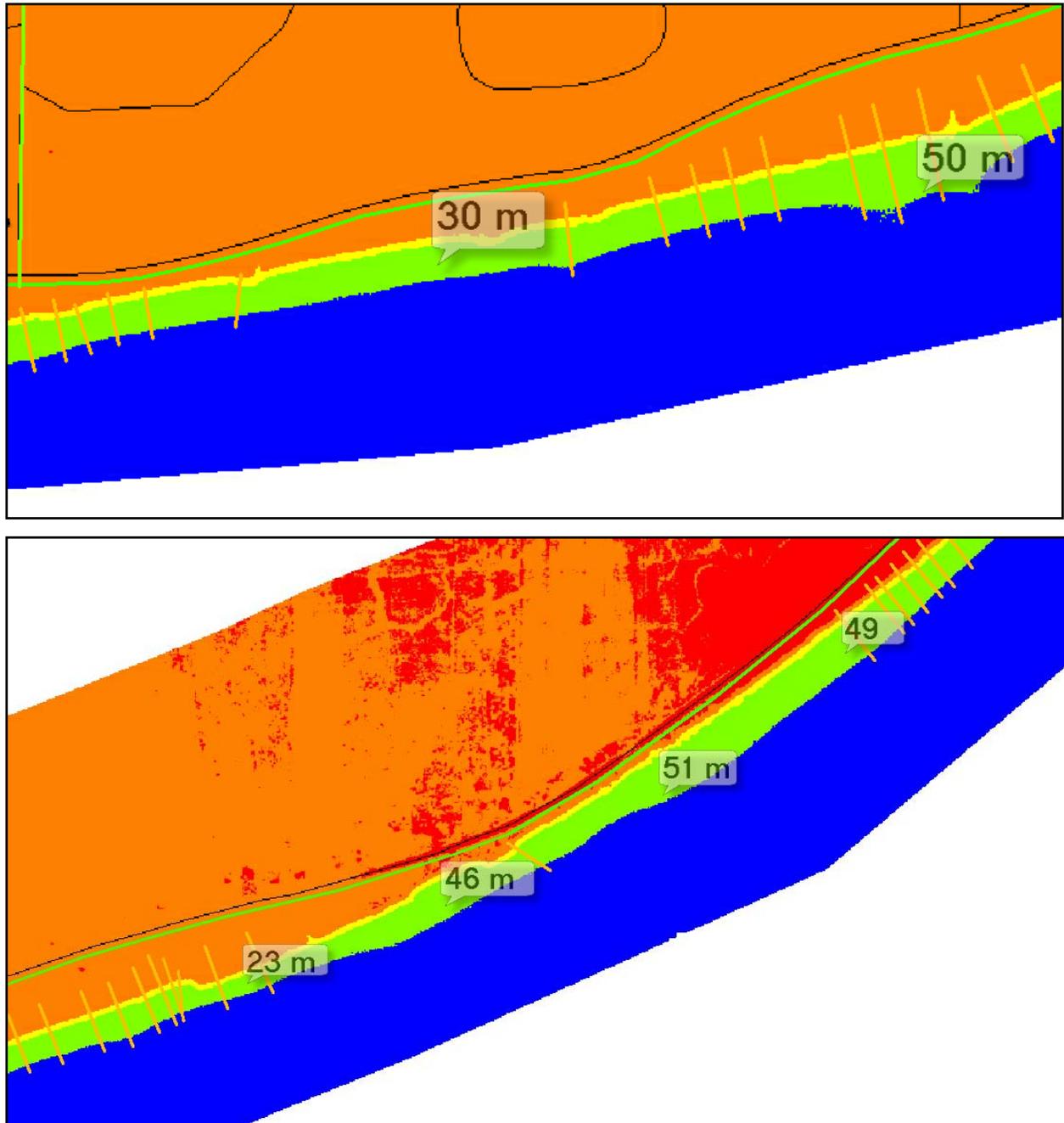


Figure 7: Largeur du trait de plage évaluée d'après les données LIDAR.



2.3.1 Type d'attaque par la vague

La remontée due aux vagues (Figure 8) dépend de la hauteur de vague incidente en eau profonde (H_0), de la pente de la plage ($\tan \beta$) et de la cambrure de la vague (H_0/L_0) qui est le rapport entre la hauteur de la vague et sa longueur d'onde.

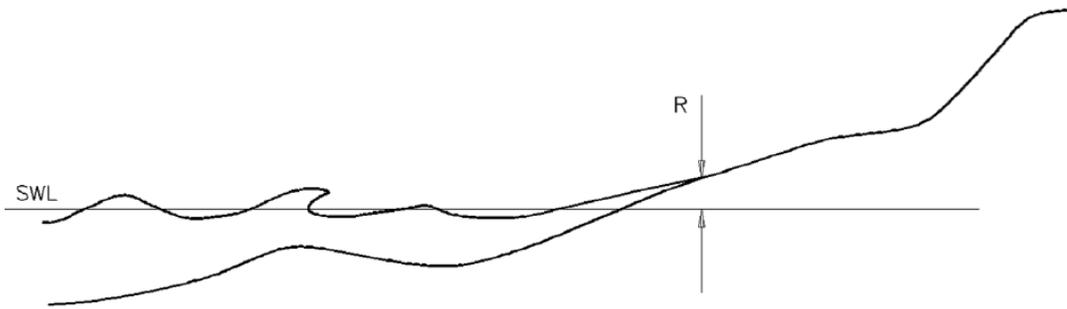


Figure 8: Schéma descriptif de la remontée des vagues

Le paramètre ξ_0 est le paramètre de similarité du déferlement ou nombre d'Iribaren :

$$\xi_0 = \tan \beta \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

Ce paramètre permet de catégoriser le type de déferlement. Ainsi (voir Figure 9) les catégories sont :

- Vagues déferlantes ou s'effondrant : $\xi_0 > 3.3$
- Vagues plongeantes : $0.5 < \xi_0 < 3.3$
- Vagues s'écrasant : $\xi_0 < 0.5$

Cas de Pointe-aux-Outardes

Pour le cas de la Figure 4, la pente moyenne de la plage est 16 H pour 1 V ou 0.06. En conditions de tempêtes, la valeur de la cambrure s'approche de 0.06 et alors la valeur du paramètre de similarité vaut :

$$\xi_0 = \tan \beta \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{0.06}{\sqrt{0.06}} = 0,245$$



Vague s'écrasant (Spilling)



Vague plongeante (Plunging)



Vague déferlante (surging)



Vague s'effondrant (collapsing)

Source CEM, Figure II-4-1

Figure 9: Types de vagues déferlantes – Source : CEM, 2003

Les vagues s'écrasent donc sur cette plage.



2.4 Position de la limite du profil d'équilibre au large

Pour le calcul du profil d'équilibre d'une plage, on assume que la valeur de h_c est représentative de la profondeur de fermeture pour la réponse à long terme et que pour le court terme (tempêtes) la zone est délimitée par la profondeur au déferlement (H_b). (CEM-III-3-3).

Le concept de profondeur de fermeture est souvent mal interprété. Il ne s'agit pas de la limite à laquelle il n'y a plus de changement du profil de plage. De fait, la variation du niveau d'eau, dû à la marée, provoque le déplacement de cette limite. Il s'agit donc d'une limite calculée ponctuellement et qui se déplace au gré des conditions de marées et de surcote-décote. En dépit des difficultés d'analyse produites par ce déplacement constant, on cherche quand même à établir quels sont les paramètres qui permettent d'évaluer la réponse **à long terme** d'un profil de plage soumis à ces conditions changeantes.

On vise donc à appliquer le concept de profil d'équilibre en se concentrant sur la région située près de la rive puisque l'objectif est de créer une zone tampon pouvant protéger le pied de talus des attaques se produisant durant les événements extrêmes. On cherche donc un profil d'équilibre dans cette région, sachant toutefois que pour des niveaux d'eau moindre et des tempêtes moyennes, il y aura forcément attaque de la plage à une distance plus éloignée du pied de talus et une possible réorganisation des sédiments plus au large. Ceci signifie qu'une recharge cyclique est requise et nécessaire. Une quantification de cette recharge (en termes de volumes et de fréquence) est nécessaire si on veut éventuellement évaluer les coûts globaux des travaux de réhabilitation.

On doit aussi considérer quel est l'événement à retenir pour le dimensionnement. Il va de soi que l'effort requis sera plus élevée si on retient une tempête dont la période de retour est de 10 ans par rapport à celle dont la période de retour serait de 5 ans.

2.4.1 Cas de Pointe-aux-Outardes

Rappelons qu'au chapitre 5.1 du rapport principal, les mesures réalisées par la firme Génivar ont indiqué que la bande de 25 m, calculée à partir de la rive, montrait des signes évidents d'aggradation ou de dégradation au gré des événements subis durant la période de mesures.

L'analyse, réalisée dans cette étude sur les relevés LIDAR, a permis de localiser subjectivement la limite aux environs du *datum* MLW (*datum* américain présenté à l'annexe D), soit la cote -1,1 m (d'après le système de *datums* américain). La distance à la rive est variable mais est de l'ordre de cent à 150 m.

2.5 Profil d'équilibre de la plage

Le profil d'une plage en équilibre peut être représenté par l'équation générale suivante :

$$h = A y^n$$



avec une valeur de $n = 2/3$ généralement admise (Brunn, 1954 et Dean 1977 pour un cas où la force dominante est la dissipation de l'énergie de la vague par unité de volume). Dean a trouvé une valeur de 0.4 pour deux autres cas.

Le paramètre A est fonction de la dimension des grains D . Le CEM propose la formule (III-3-14) pour établir le profil d'équilibre souhaité :

$$h = A y^{2/3}$$

La variable h représente la profondeur d'eau à une distance y de la rive et le paramètre A est un paramètre d'échelle qui dépend principalement des caractéristiques du sédiment formant la plage.

Le trait vert, sur la **Figure 10**, présente la surface de remplissage requise pour créer le profil de plage en équilibre pour une valeur de d_{50} du grain de sable bien défini. On doit d'abord déterminer l'élévation de la plage sèche et sa largeur pour fixer l'origine des calculs servant à fixer le profil. Cet aspect est traité plus en détail dans le chapitre 4 portant sur la recharge de plage.

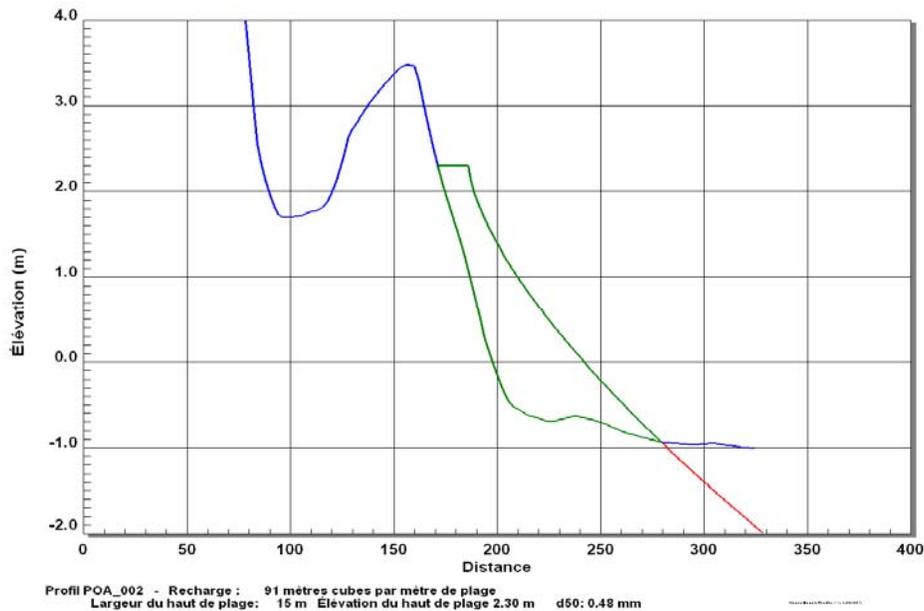


Figure 10: Exemple de profil de plage en équilibre

Cette formule est basée sur le fait que la déstabilisation est provoquée par la turbulence associée au déferlement des vagues et que le profil d'équilibre est atteint lorsque les effets destructifs sont contrebalancés par les effets constructifs. Plusieurs formules sont proposées pour calculer la valeur du paramètre A . Nous les présentons aux sous-sections qui suivent.

2.5.1 Détermination du paramètre A selon Dean

Dean (1991) propose la relation suivante



$$A = \left[\frac{24}{5} \frac{D_*}{\rho g \sqrt{g} \kappa^2} \right]^{2/3}$$

Dean a également produit une figure reliant le paramètre A en fonction de la dimension médiane des grains et que nous reproduisons ci-dessous :

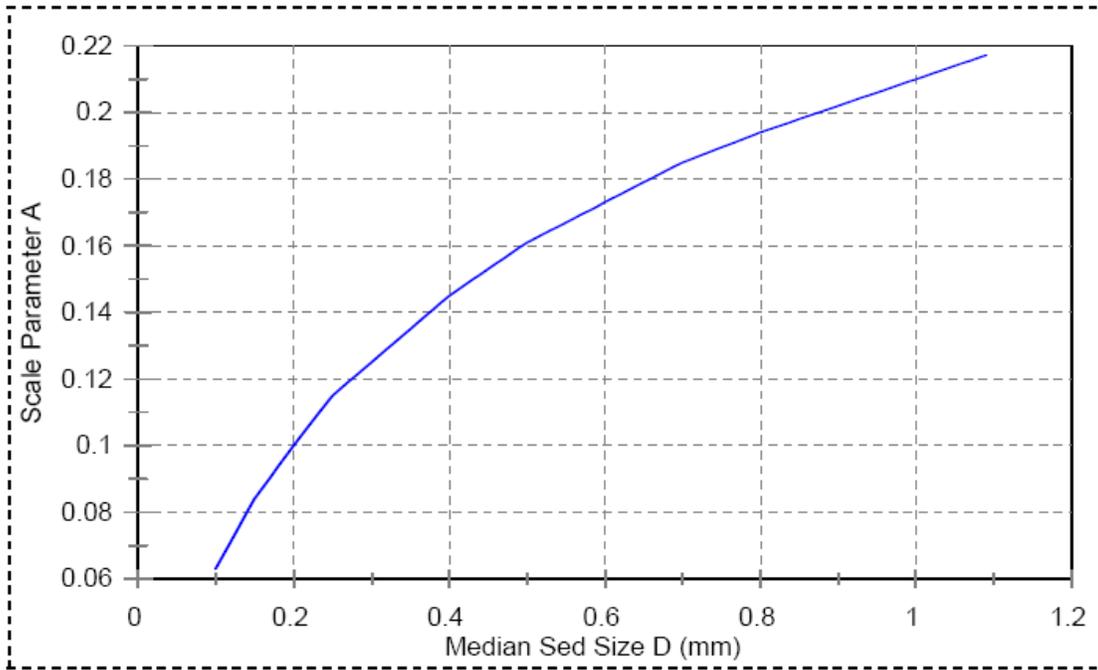


Figure III-3-18. Variation of sediment scale parameter $A(D)$ with sediment size D for beach sand sizes (based on Dean 1978b, values recomputed by Dean, June 2001)

Figure 11: Variation du paramètre d'échelle pour les sédiments

2.5.2 Détermination du paramètre A selon Kriebel, Kraus et Larson

Kriebel, Kraus et Larson (1991) ont proposé la relation suivante qui lie le paramètre A à la vitesse de chute des grains. Cette relation couvre les dimensions entre 0,1 mm et 0,4 mm :

$$A = 2.25 \left(\frac{w_f^2}{g} \right)^{1/3}$$



2.5.3 Détermination du paramètre A selon Hanson et Kraus (1989)

Hanson et Kraus (1989) ont établi des segments s'ajustant à la courbe de Moore pour établir la valeur du paramètre A en fonction du d_{50} du sable (en mm). Les équations sont les suivantes (valables en système SI):

$$A = 0.41 (d_{50})^{0.94} \quad d_{50} < 0.4$$

$$A = 0.23 (d_{50})^{0.32} \quad 0.4 \leq d_{50} < 10$$

$$A = 0.23 (d_{50})^{0.28} \quad 10 \leq d_{50} < 40$$

$$A = 0.46 (d_{50})^{0.11} \quad d_{50} \geq 40$$

2.5.4 Particularisation pour Pointe-aux-Outardes

Détermination du d_{50} pour Pointe-aux-Outardes

La Figure 12 présente la distribution granulométrique en milieu de plage à Pointe-aux-Outardes alors que la Figure 13 présente la distribution en haut de plage.

Le d_{50} de la granulométrie en milieu de plage est de l'ordre de 0,6 mm alors que le d_{50} du haut de plage est de 0,30 mm. La limite supérieure (99% passant) de la granulométrie du haut de plage est de 0,63 mm. Il y a ségrégation entre les deux sables et une explication serait que le sable de haut de plage récolté est le produit de l'action du vent qui a transporté les fins vers le pied de talus.

Pour les calculs relatifs à la plage de Pointe-aux-Outardes, on retient un d_{50} de 0,6 mm comme représentatif pour la plage. Un plus grand nombre d'échantillons est requis pour bien caractériser la granulométrie de la plage avant de procéder à tout dimensionnement pour s'assurer que cette valeur est bonne. Pour une recharge efficace, on doit chercher à obtenir des granulométries se rapprochant le plus de celle de la plage (voir section 4.2)

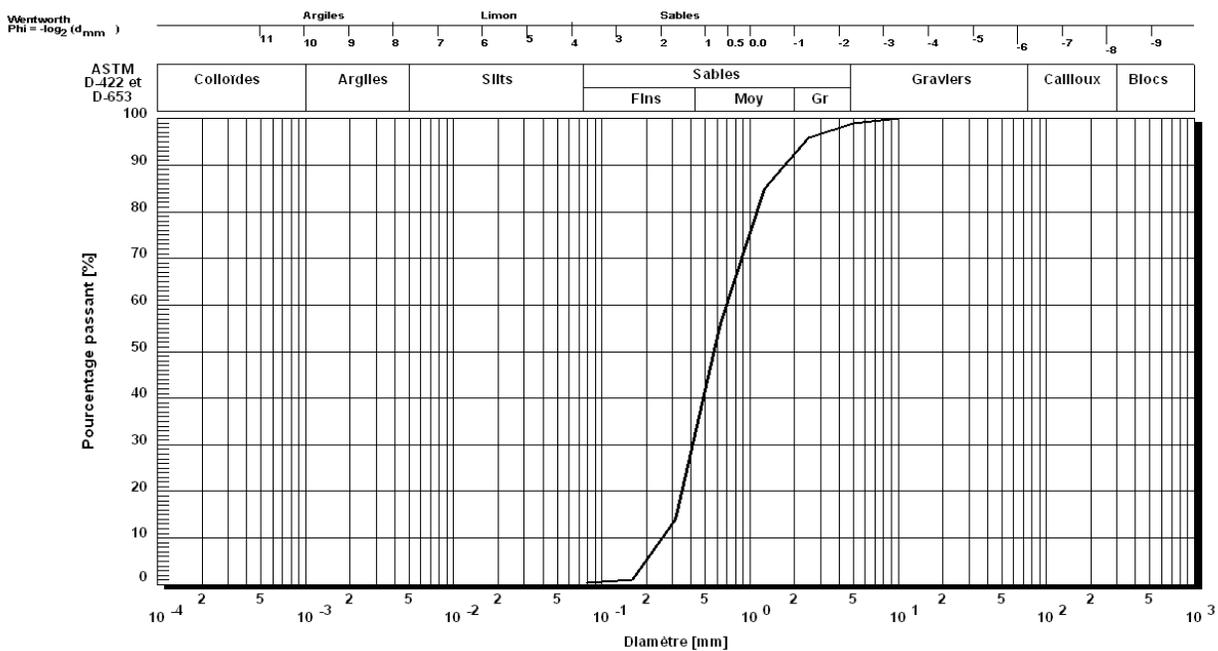


Figure 12: Granulométrie en milieu de plage pour Pointe-aux-Outardes

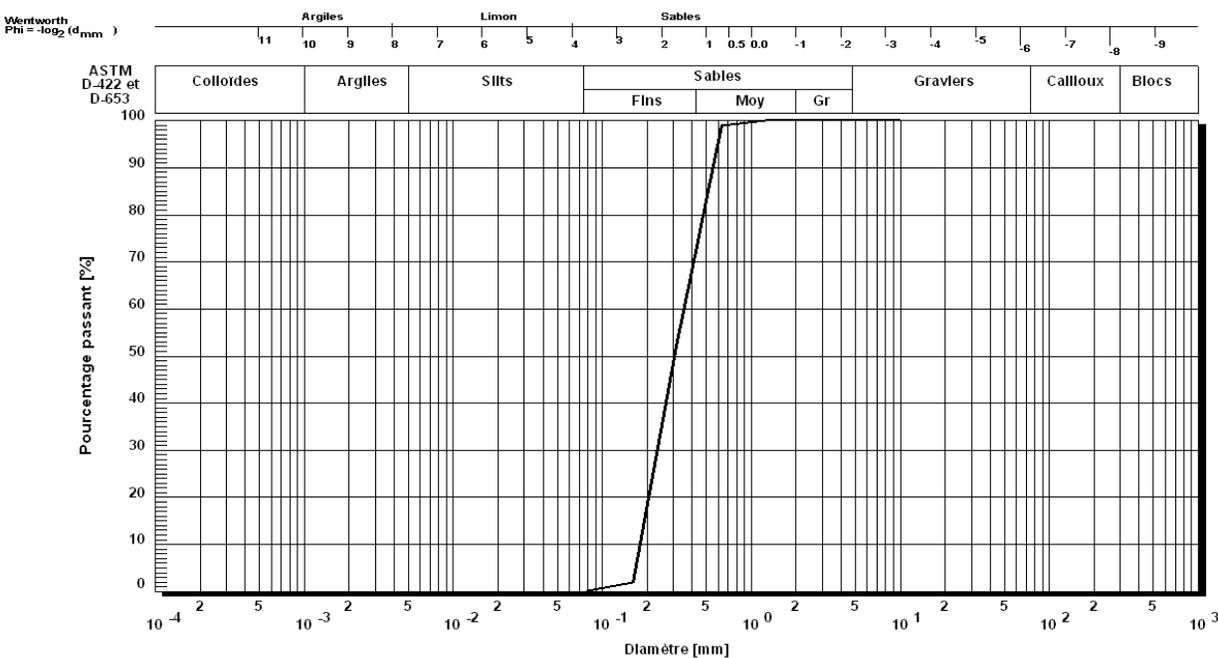


Figure 13: Granulométrie en haut de plage pour Pointe-aux-Outardes



Détermination de la valeur de A pour Pointe-aux-Outardes

La valeur du d_{50} est de 0,6 mm. et selon la courbe de la Figure 11 la valeur du coefficient A est de 0,175. Si on utilise la formule

$$A = 0.23 (d_{50})^{0.32} \quad 0.4 \leq d_{50} < 10$$

on obtient une valeur de 0,195. Pour les calculs, la valeur tirée de la courbe de la Figure 11 est retenue.

2.6 Vitesse de chute des particules

À l'intérieur de la zone de déferlement, le déplacement des particules de sable est fonction de la vitesse de chute des particules et de la hauteur de suspension du grain. Si le temps de chute est inférieur à la demi-période de la vague, alors il y a mouvement net vers la rive. Si par contre, la durée est supérieure à la demi-période, alors le mouvement net est vers le large. Les événements de tempêtes étant hautement énergétiques, les particules sont plus facilement remises en suspensions sur une grande hauteur de la colonne d'eau et la capacité de transport vers le large est amplifiée.

2.6.1 Calcul de la chute pour Pointe-aux-Outardes

On peut évaluer la vitesse de chute, en utilisant la formule de la section 2.5.2.

$$A = 2.25 \left(\frac{w_f^2}{g} \right)^{1/3}$$

La fonction est valide jusqu'à un diamètre de 0,4 mm. On extrapole donc pour un diamètre de 0,6 mm.

$$w_f = \sqrt{g \left(\frac{A}{2.25} \right)^3}$$

Si on retient la valeur de 0,175 pour A, la vitesse de chute serait de 0,068 m/s.



2.7 Formation de barres au large

On ne peut prédire avec justesse la formation de barres au large. Dean, en s'appuyant sur le raisonnement que la hauteur de suspension devrait être proportionnelle à la hauteur de vague, a proposé la formule suivante, suite à des essais sur modèle réduit, et qui donne une condition nécessaire pour la formation de barres :

$$\frac{H_0}{w_f T} \geq 0.85$$

La valeur H_0 étant la hauteur de vague en eau profonde et T la période. Suite à l'inspection de résultats provenant de prototypes à grande échelle on a obtenu une valeur de 2.8 plutôt que 0.85. Kraux, Larson et Kriebel (1991) ont proposé les deux formules adimensionnelles suivantes :

$$\frac{H_0}{L_0} \geq 115 \left(\frac{\pi w_f}{gT} \right)^{3/2}$$

et

$$\frac{H_0}{L_0} \leq 0.0007 \left(\frac{H_0}{w_f T} \right)^3$$

Pour les mesures réalisées sur le terrain, pour lesquelles la hauteur de vague significative est utilisée, le coefficient est changé et l'équation devient :

$$\frac{H_{0,s}}{L_0} \leq 0.00027 \left(\frac{H_{0,s}}{w_f T} \right)^3$$

Dalrymple (1992), a démontré que les deux équations peuvent être amalgamées en un seul critère P qui doit être supérieur à une valeur de 10 000 pour qu'il y ait formation de barres.

$$P = \frac{gH_0^2}{w_f^3 T} \geq 10\,000$$

2.7.1 Cas de Pointe-aux-Outardes

Les calculs ont été effectués pour deux cas de cambrure de la vague (Figure 14). On constate que les conditions sont propices pour la formation de barres dès que la hauteur de vagues est supérieure à 1,5 m.

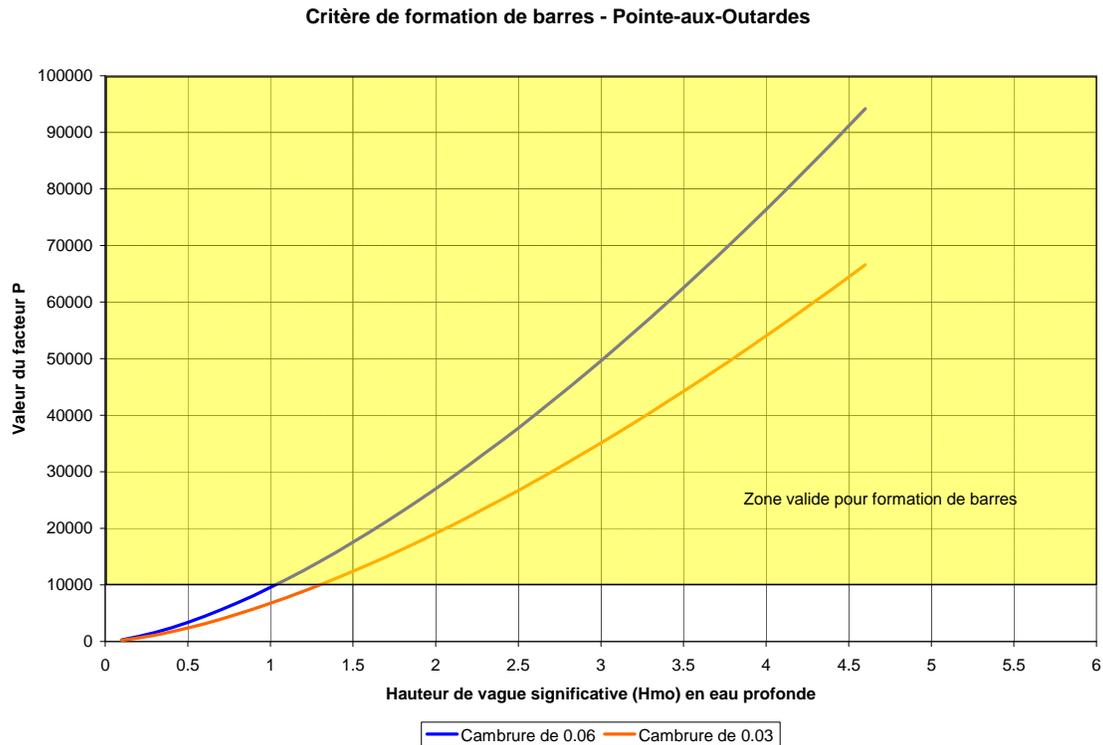


Figure 14: Critère de formation de barres pour Pointe-aux-Outardes

2.8 Évaluation du taux de retrait de la berme provoqué par un rehaussement du niveau d'eau

Le taux de retrait de la berme, dû à un rehaussement du niveau d'eau, peut être calculé avec la formule suivante (CEM-III-3) :

$$R_{\infty} = S \frac{W_b - \frac{h_b}{m_0}}{B + h_b - \frac{S}{2}}$$

La signification des variables est donnée à la **Figure 15**.

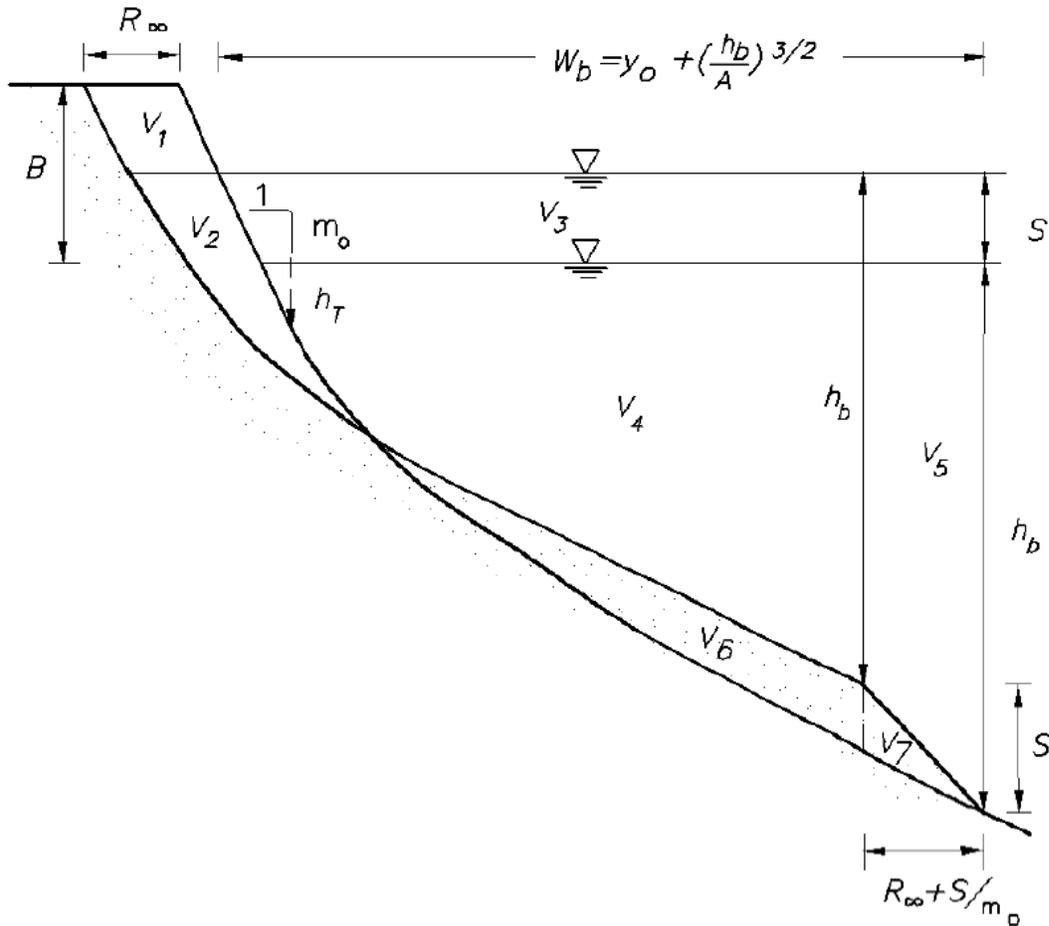


Figure 15: Définition des variables pour le calcul du recul des berges.

Avec m_0 la pente de la plage au niveau d'eau moyen. Cette pente est liée au profil d'équilibre concave à une profondeur à laquelle la pente du profil d'équilibre est égale à m_0 . Comme résultat, la largeur de la zone active (« surf zone ») est égale à :

$$W_b = y_0 + \left(\frac{h_b}{A}\right)^{3/2}$$

avec y_0 un point décalé du profil de plage entre la face de la plage et l'origine imaginaire du profil d'équilibre et calculé avec la formule suivante :

$$y_0 = \frac{4A^3}{27m_0^3}$$

Pour la plupart des conditions, cette translation est négligeable. Le calcul du volume de sable érodé, entre les profils initial et final et dû à une surélévation du niveau d'eau, est donné par :



$$V_{\infty} = R_{\infty}B + \frac{S^2}{2m_0} - \frac{2}{5} \frac{S^{\frac{5}{2}}}{A^{\frac{3}{2}}}$$

2.8.1 Application au site de Pointe-aux-Outardes

Nous appliquons ce concept à deux phénomènes distincts. Le premier est le relèvement du niveau moyen de la mer attribué aux changements climatiques et à la subsidence terrestre. Le second est l'effet d'une tempête avec une surcote significative. L'application des formules à ces deux cas permet de saisir l'influence de certains paramètres.

Relèvement du niveau d'eau moyen

La Figure 16 présente les taux annuels de relèvement du niveau d'eau moyen le long de la côte américaine. Pour la Côte Nord, le phénomène de relèvement isostatique peut jouer à l'encontre de ce relèvement du niveau d'eau, en en compensant les effets. Sous ces considérations, on retient un taux annuel de 2 mm pour les calculs.

La pente de la plage est de 0.06 (section 2.3 et Figure 4), A vaut 0.175 (section 2.6.1) et la profondeur au déferlement est prise égale à 3,5 m. Prenons une hauteur de tablus (berme) B de 6 m.

$$y_0 = \frac{4A^3}{27m_0^3} = \frac{4 * 0.175^3}{27 * 0.06^3} = 3,67 \text{ m}$$

$$W_b = y_0 + \left(\frac{h_b}{A}\right)^{3/2} = 3,67 + \left(\frac{3.5}{0.175}\right)^{3/2} = 93 \text{ m}$$

Cette valeur est légèrement inférieure à la valeur de 130 m établie subjectivement à la section 5.1.4.1 du rapport.

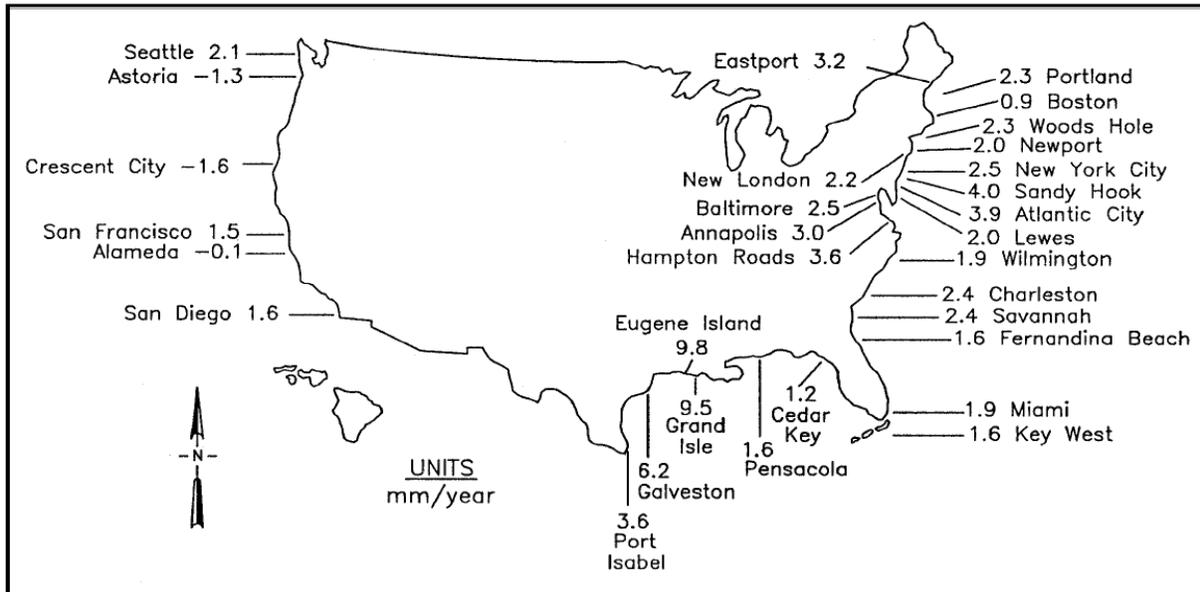


Figure IV-1-18. Summary of estimates of local rsL rise along the continental United States in millimeters per year. Values are based on tide gauge records during the period 1940-1980 (from National Research Council (1987))

Figure 16 : Taux annuel de relèvement du niveau d'eau moyen le long de la côte américaine

Le taux de recul est donné par :

$$R_{\infty} = S \frac{W_b - \frac{h_b}{m_0}}{B + h_b - \frac{S}{2}} = 0.002 * \frac{93 - \frac{3.5}{0.06}}{6 + 3.5 - \frac{0.002}{2}} = 0.002 * \frac{34.67}{9.5} = 0.0073 \text{ m}$$

Le volume annuel nécessaire pour contrebalancer ce recul est :

$$V_{\infty} = R_{\infty} B + \frac{S^2}{2m_0} - \frac{2}{5} \frac{S^{\frac{5}{2}}}{A^{\frac{3}{2}}} = 0.0073 * 12 + \frac{0.002^2}{2 * 0.06} - \frac{2}{5} \frac{0.002^{5/2}}{0.175^{3/2}} = 0,09 \text{ m}^3/\text{an par mètre linéaire.}$$

Le rehaussement n'induit pas de taux de recharge annuels significatifs.



Érosion potentielle de la plage sèche suite à une tempête

Si on considère une plage sèche à l'élévation 3 m et une tempête lorsque le niveau d'eau est à l'élévation 2,3 m géodésique. La profondeur de déferlement est donnée par 2,3 m + 1,2 m = 3,5 m. Le paramètre A vaut 0,175 m. La hauteur de berme B est 3,0 m. La surélévation du niveau S vaut désormais 2,3 m. Appliquant les formules de la section 2.8 on trouve :

$$y_0 = \frac{4A^3}{27m_0^3} = \frac{4 * 0.175^3}{27 * 0.06^3} = 3,67 \text{ m}$$

$$W_b = y_0 + \left(\frac{h_b}{A}\right)^{3/2} = 3,67 + \left(\frac{3.5}{0.175}\right)^{3/2} = 93 \text{ m}$$

et

$$R_\infty = S \frac{W_b - \frac{h_b}{m_0}}{B + h_b - \frac{S}{2}} = 2.3 * \frac{93 - \frac{3.5}{0.06}}{3 + 3.5 - \frac{2.3}{2}} = 2.3 * \frac{34.67}{5.35} = 14,9 \text{ m}$$

Le volume potentiel érodé est donné par :

$$V_\infty = R_\infty B + \frac{S^2}{2m_0} - \frac{2}{5} \frac{S^{5/2}}{A^{3/2}} = 14.9 * 3 + \frac{2.3^2}{2 * 0.06} - \frac{2}{5} \frac{2.3^{5/2}}{0.175^{3/2}} = 44.7 + 44 - 43.8 = 45 \text{ m}^3/\text{m de côte.}$$

Dans le CEM, on mentionne que ces volumes sont généralement surestimés par un facteur pouvant atteindre 5 car on assume qu'aucune modification au profil ne survient durant la tempête. De plus, ces formules donnent le résultat final et il se peut que le temps requis pour atteindre cet état nécessite plusieurs tempêtes. Cette méthode de calcul est donc qualifiée de conservatrice pour le calcul des volumes par le CEM.



3 Transport littoral parallèle à la côte (longitudinal)

3.1 Vitesse du courant longitudinal induite par le régime des vagues

Longuet-Higgins, appliquant la théorie linéaire des vagues et sous les hypothèses suivantes, a proposé une formule analytique pour calculer la vitesse du courant parallèle à la plage dans la zone de déferlement :

- Plage de pente uniforme;
- Faible angle que forme la vague par rapport à la rive au déferlement;
- Absence de mélange transversal ;
- Zone de déferlement saturée ($H = \gamma_b d$)

$$V = \frac{5\pi}{16} \frac{\tan \beta^*}{C_f} \gamma_b \sqrt{gd} \sin \alpha \cos \alpha$$

avec :

V : Vitesse du courant parallèle à la plage (m/s).

$\tan \beta^*$: Pente modifiée de la berge tenant compte de la remontée due aux vagues.

C_f : Coefficient de frottement du fond.

α : Angle que forme la vague relativement aux isobathes.

γ_b : Indice de hauteur de déferlement dû à la profondeur (« breaking depth index »).

Le coefficient de frottement prend une valeur entre 0,005 et 0,01. Le modèle bi-dimensionnel REF/DIF1 utilise la valeur de 0.01 par défaut. Les autres paramètres sont décrits aux sections suivantes. Le calcul pour un cas type de Pointe-aux-Outardes est ensuite présenté.



3.2 Indice de profondeur de déferlement (« *Breaking depth index* »)

L'indice de profondeur de déferlement est obtenu par :

$$\gamma_b = \frac{H_b}{d_b}$$

avec H_b la hauteur de vague au déferlement et d_b la profondeur d'eau au déferlement.

Weggel (1972) a proposé, à partir d'essais avec vagues monochromatiques, la formule suivante pour le calcul de l'indice de hauteur de déferlement :

$$\gamma_b = b - a \frac{H_b}{gT^2}$$

$$a = 43.8 \left(1 - e^{-19 \tan \beta}\right)$$

$$b = \frac{1.56}{\left(1 + e^{-19.5 \tan \beta}\right)}$$

La valeur de la pente de la plage doit être inférieure à 0,1 (V:H) et la cambrure de la vague inférieure à 0,06. La détermination du paramètre nécessite des calculs itératifs. Pour les vagues de vent, la valeur maximale de cambrure était effectivement de l'ordre de 0,06 (mesures réalisées sur les réservoirs de la Baie James). D'après la théorie linéaire, la vague déferle lorsque l'indice de déferlement (hauteur de vague divisé par la profondeur d'eau atteint la valeur de 0,78 (valeur utilisée par défaut dans le programme de calculs REF/DIF1) lorsque la pente de la plage est faible. Elle peut atteindre la valeur maximale de 1,56 pour une paroi verticale alors que la pente atteint l'infini (conditions de réflexion totale de la vague incidente) (CEM II-4). Le CIRIA présente les résultats de plusieurs auteurs qui indiquent que cette valeur n'est pas constante et varie entre 0,6 et 1,5 selon le nombre d'Iribaren (voir section 2.3.1).

La Figure 17, tirée de CIRIA présente la variation de l'indice de déferlement en fonction du nombre d'Iribaren (notez que sur la figure la valeur de β est remplacée par α ; Nous conservons la variable β paraissant dans le CEM.) :

$$\xi = \frac{\tan(\beta)}{\sqrt{\frac{H}{L}}}$$

qui est le rapport entre la pente du rivage et la cambrure de la vague en eau profonde. Pour des conditions de tempête, la cambrure des vagues dépasse rarement une valeur maximale de 0,06 en eau profonde. À titre d'exemple, une pente de rive de 0,1 (10H/1V) donne un nombre d'Iribaren de 1,66. La valeur de l'indice de déferlement est alors de 1,25.

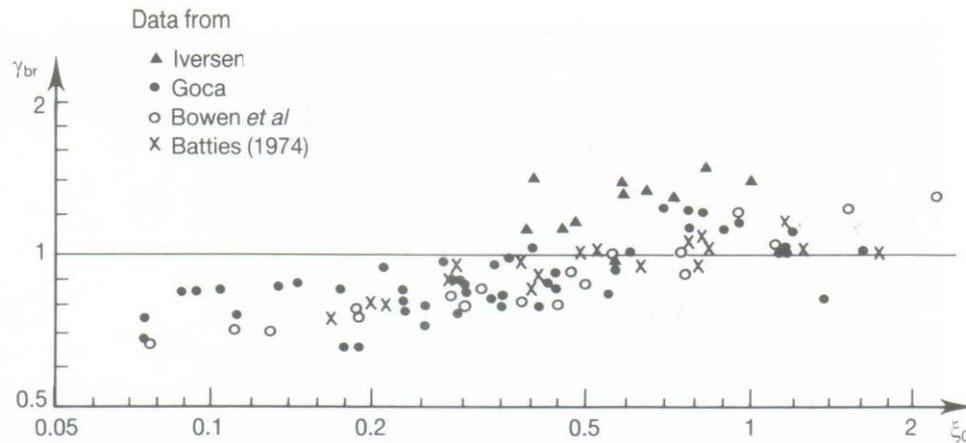


Figure 127 γ_{br} as a function of ξ

Figure tiré de CIRIA, 1991

Figure 17: Indice de déferlement en fonction du nombre d'Irribaren

3.2.1 Calcul pour le cas de Pointe-aux-Outardes

Pour le cas de la Figure 4, la pente de la plage est 16 H pour 1 V ou 0.06. En conditions de tempêtes, la valeur de la cambrure s'approche de 0.06 et alors la valeur du paramètre de similarité vaut :

$$\xi_0 = \tan \beta \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{0.06}{\sqrt{0.06}} = 0,245$$

Consultant la Figure 17, la valeur usuelle de 0,78 peut être retenue.



3.3 Indice de hauteur de déferlement (« *Breaking height index* »)

L'indice de hauteur de déferlement relie la hauteur de vague en eau profonde à la hauteur de vague au déferlement :

$$\Omega_b = \frac{H_b}{H_0}$$

avec H_b la hauteur de vague au déferlement et H_0 la hauteur de vague en eau profonde.

Komar et Gaughan (1973) ont trouvé une relation semi-empirique à partir de la théorie linéaire des vagues :

$$\Omega_b = 0.56 \left(\frac{H'_0}{L_0} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Cet indice n'est pas utilisé dans l'analyse pour Pointe-aux-Outardes.

3.4 Pente modifiée de la berge

Le calcul de l'intensité du courant parallèle à la plage (section 3.1) nécessite de déterminer la pente modifiée de la berge :

$$\tan \beta^* = \frac{\tan \beta}{\left[1 + \frac{3 \gamma_b^2}{8} \right]}$$

Cette équation prend en considération la remontée due aux vagues.



3.4.1 Calcul pour Pointe-aux-Outardes

La valeur de l'indice de profondeur de déferlement (γ_b) a été établi à 0,78 (voir section 3.2.1). La pente de la plage pour le profil de la Figure 4 est de l'ordre de 0,06 ($\tan \beta$). On obtient donc :

$$\tan \beta^* = \frac{\tan \beta}{\left[1 + \frac{3 \gamma_b^2}{8}\right]} = \frac{0.06}{\left[1 + \frac{3 (0.78)^2}{8}\right]} = \frac{0.06}{1.228} = 0.0488$$

3.5 Vitesse du courant longitudinal pour Pointe-aux-Outardes

Les quatre abaques ci-dessous donnent les vitesses de courant théoriques pour divers angles d'attaque, en considérant une cambrure de la vague de 0.06 et différentes pentes de rive (0.01, 0.02, 0.04 et 0.06).

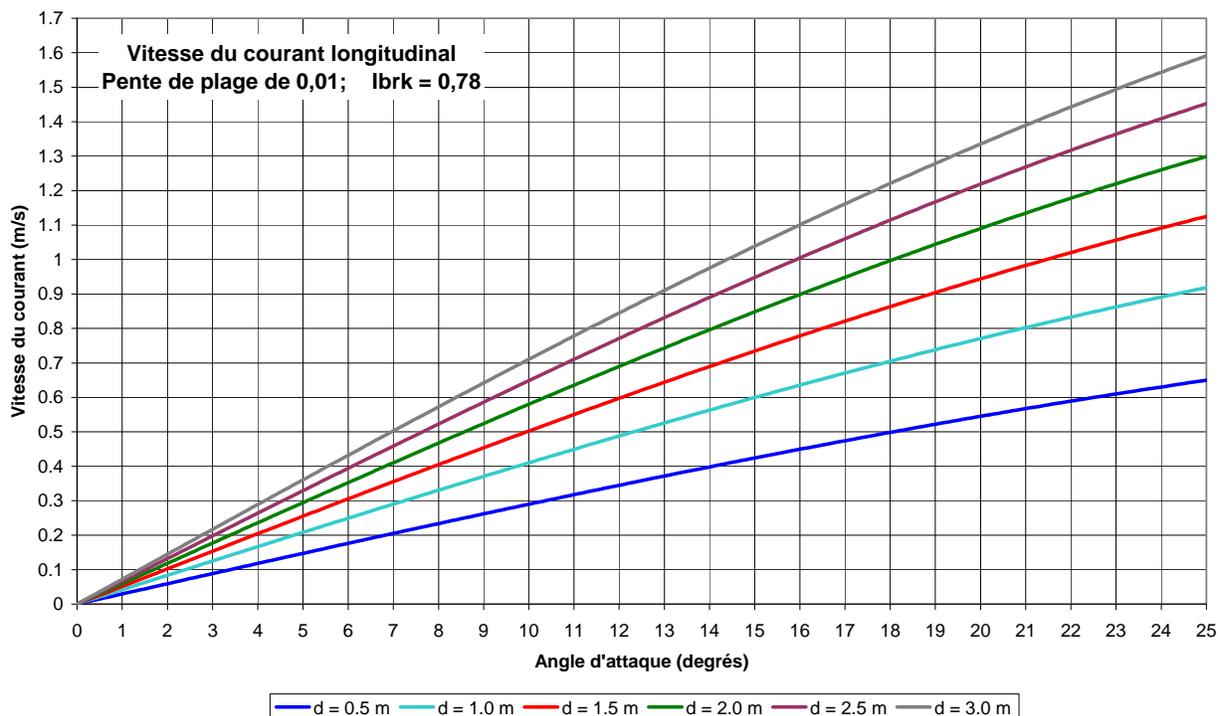


Figure 18: Vitesse du courant longitudinal pour une pente de plage de 100H:1V

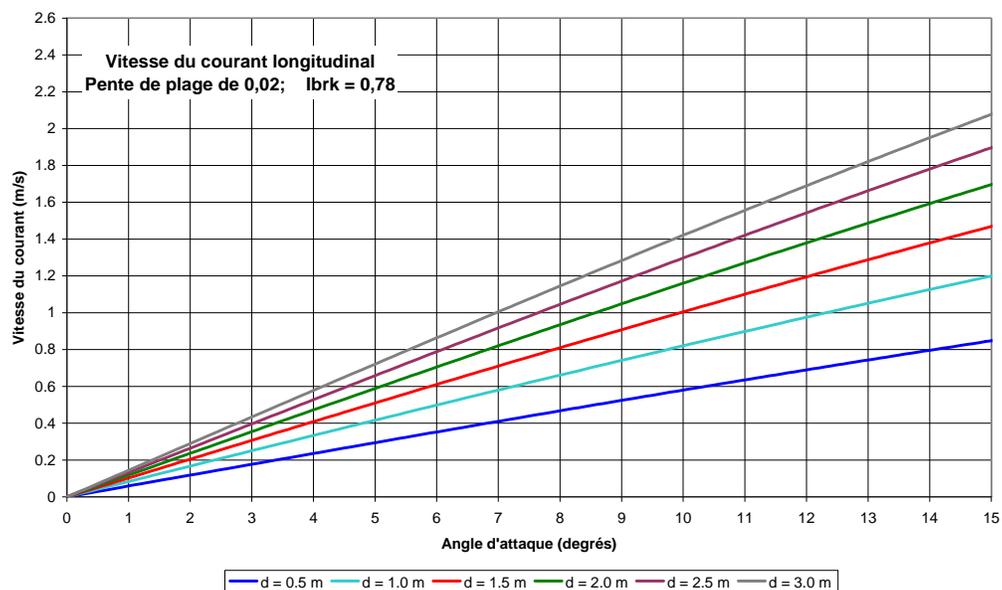


Figure 19: Vitesse du courant longitudinal pour une pente de plage de 50H:1V

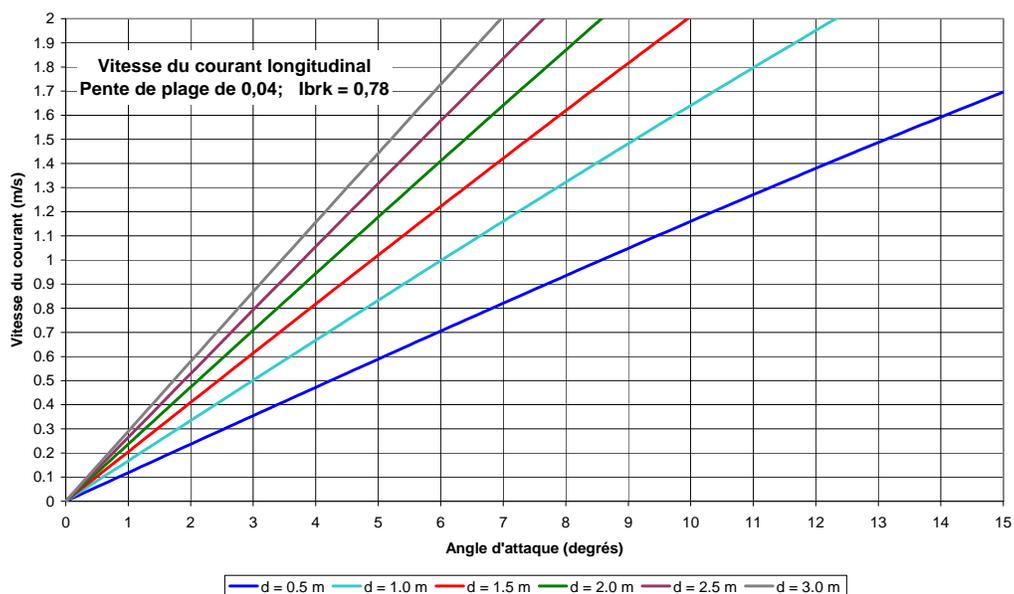


Figure 20: Vitesse du courant longitudinal pour une pente de plage de 25H:1V

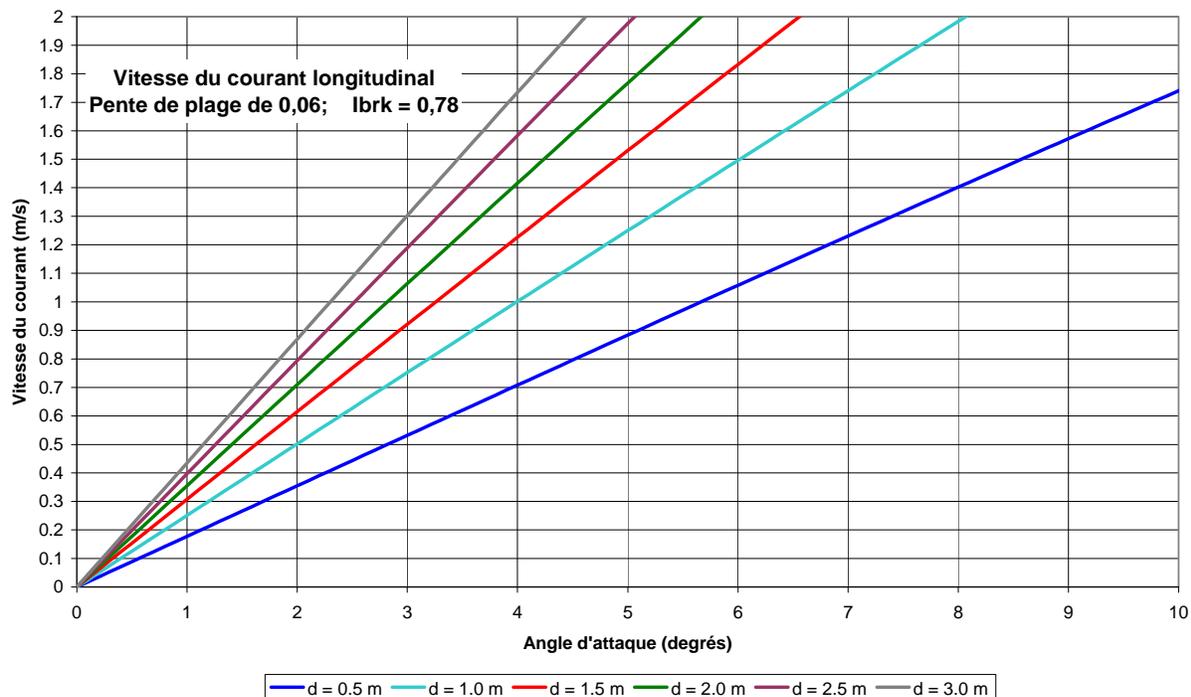


Figure 21: Vitesse du courant longitudinal pour une pente de plage de 16H:1V

On constate que l'intensité du courant augmente rapidement avec l'angle d'attaque. En pratique, cet angle est faible et on observe des courants de l'ordre de 0,3 m/s qui peuvent atteindre 1 m/s lors des tempêtes (CEM). Pour Pointe-aux-Outardes, l'étendue de l'estran fait en sorte que la vague réfractée tend à s'orienter perpendiculairement à la rive. Les résultats de la modélisation 2D avec le logiciel REF-DIF1 permettront de fixer l'angle d'attaque dans une fourchette de valeurs. Les résultats n'étaient pas disponibles au moment de mettre le rapport sous presses. Les valeurs de courant déduites en fonction de l'angle d'attaque peuvent être obtenues en consultant les abaques.

3.6 Capacité de transport longitudinal

Le taux de transport potentiel du sable parallèlement à la côte dépend du flux de la composante longitudinale de l'énergie des vagues. Les calculs théoriques présentés donnent l'ordre de grandeur du potentiel mais la prudence est requise car il y a une variabilité significative entre les valeurs prédites et les mesures réalisées.



3.6.1 Potentiel de transport instantané

Le volume potentiel de transport est donné par la formule :

$$Q_t = K \left(\frac{\rho \sqrt{g}}{16 \kappa^{1/2} (\rho_s - \rho)(1-n)} \right) H_b^{5/2} \sin(2\alpha_b)$$

avec :

Q_t le débit solide en m^3/s ;

$\kappa = \gamma_b$ l'indice de profondeur de déferlement (section 3.2);

ρ la masse volumique de l'eau (1000 à 1025 kg/m^3) ;

ρ_s la masse volumique du grain de sable (quartz $\approx 2650 kg/m^3$) ;

n la porosité du sable (de l'ordre de 0,4) ;

H_b la hauteur de vague au déferlement

α_b l'angle que forme la vague avec la tangente à la rive.

K un coefficient d'ajustement.

Plusieurs formules existent pour établir la valeur de K . La version 1984 du Shore Protection Manual (l'ancêtre du *Coastal Engineering Manual*) donnait une valeur de 0,39 lorsqu'on prenait la hauteur de vague significative au déferlement. La valeur présentée par le CEM est de 0,92 lorsqu'on utilise la hauteur de vague RMS (H_{rms}). Le rapport entre ces deux valeurs est de 1,4 ($H_{mo} = 1.4 H_{rms}$). Ce facteur élevé à la puissance 2.5 donne 2,3. Multipliant 0,39 par 2,3 donne une valeur de 0,9 qui s'approche de la valeur de 0,92 pour la vague RMS. Compte tenu du fait que l'évaluation est approximative, nous retenons la valeur de 0,39 et la hauteur de vague significative pour réaliser les calculs. Les résultats sont présentés sous forme d'abaques (Figure 22)

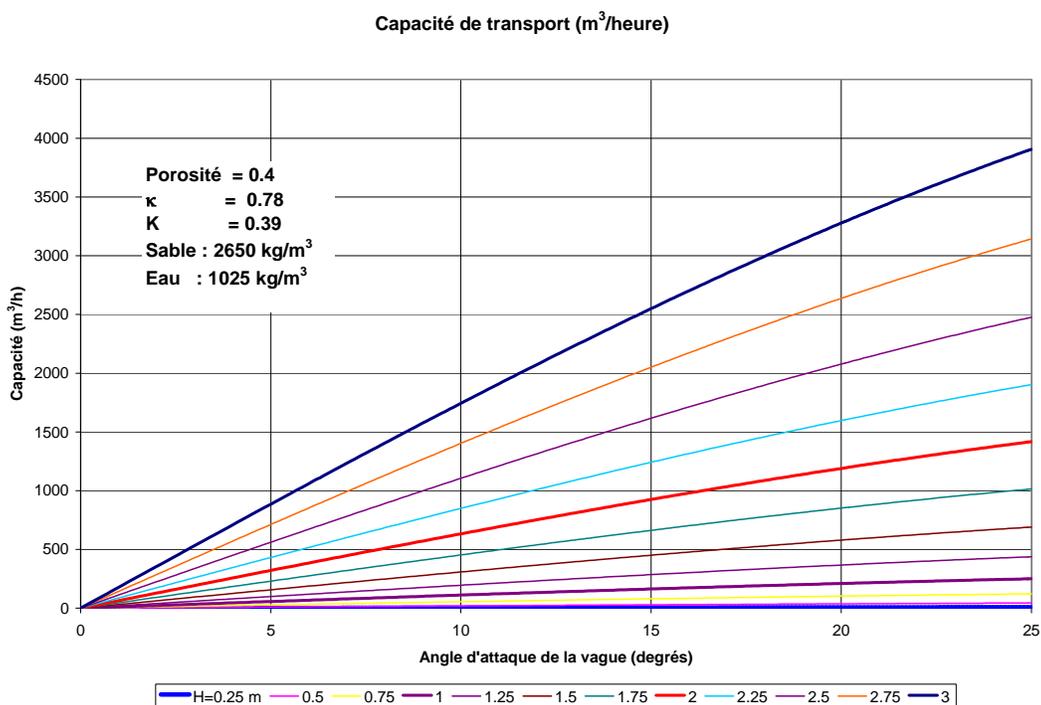
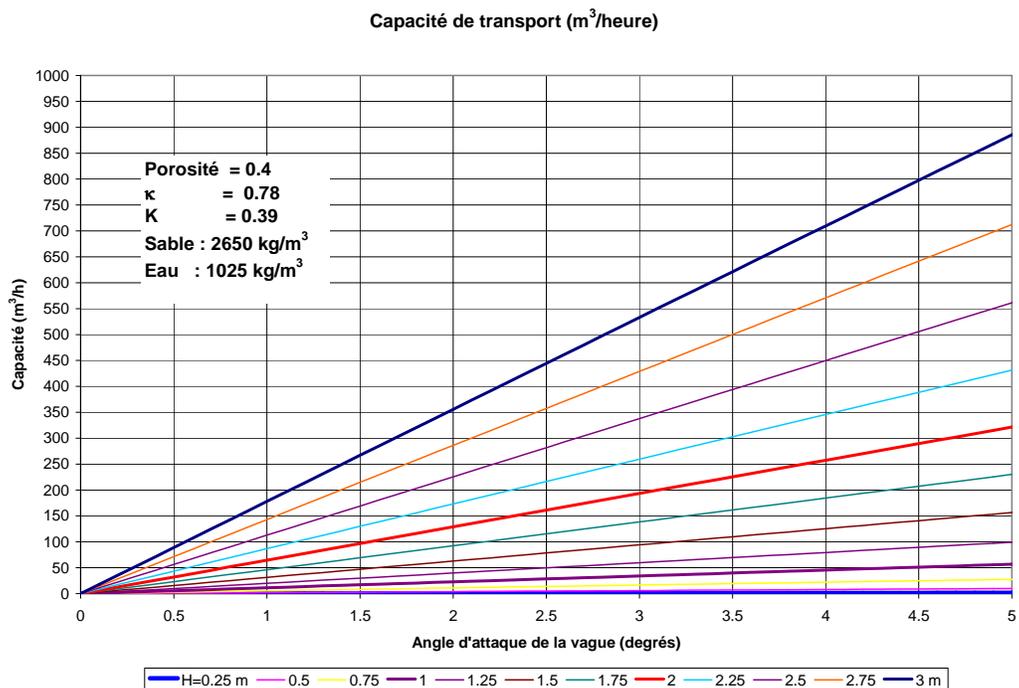


Figure 22 : Capacité de transport littoral parallèle à la côte



3.6.2 Le transport à long terme

Les formules utilisées à la section précédente donnent la capacité de transport instantanée. Pour connaître le bilan annuel il faut intégrer dans le temps les conditions variables qui se sont produites. Il faut donc obtenir les conditions en eau profonde, propager les vagues jusqu'à la zone de déferlement et calculer le bilan pour chacune des cellules du domaine, en considérant l'orientation et la hauteur de vague au déferlement. Cet effort déborde toutefois du mandat attribué pour la réalisation de l'ACA qui consiste à obtenir l'ordre de grandeur des coûts associé à des solutions jugées réalisables. Ce type d'analyse est réalisable, mais nécessite d'y mettre le temps nécessaire pour développer les modules de calculs requis.



4 Recharge de la plage

Les phénomènes de transports des sédiments, tant longitudinaux que transversaux ont été décrits aux sections précédentes. Pour contrer les problèmes d'érosion de la Péninsule de Manicouagan, on étudie d'abord une approche douce qui consiste en une recharge de la plage pour y recréer un profil d'équilibre. Dans ce chapitre, on aborde les notions de largeur de plage sèche, des profils souhaités et des volumes de recharge requis.

4.1 Largeur minimale de plage sèche

La détermination de la largeur minimale de plage sèche peut être établie par observation des largeurs de plages à marée haute dans les zones considérées stables. C'est donc la distance entre la limite de la marée haute et le pied de talus. Cette distance peut être représentée par la largeur de la micro-terrasse observée à Pointe-aux-Outardes. La Figure 23 illustre ce concept qui est souvent oublié dans le processus de dimensionnement.

Des conditions de tempêtes normales (récurrence de 1 ou 2 par année) façonnent la rive alors que des tempêtes moins fréquentes peuvent atteindre la ligne de base (ici le pied de talus). Peu importe le type de protection envisagé, les travaux proposés doivent produire une largeur de plage sèche respectant un minimum requis.

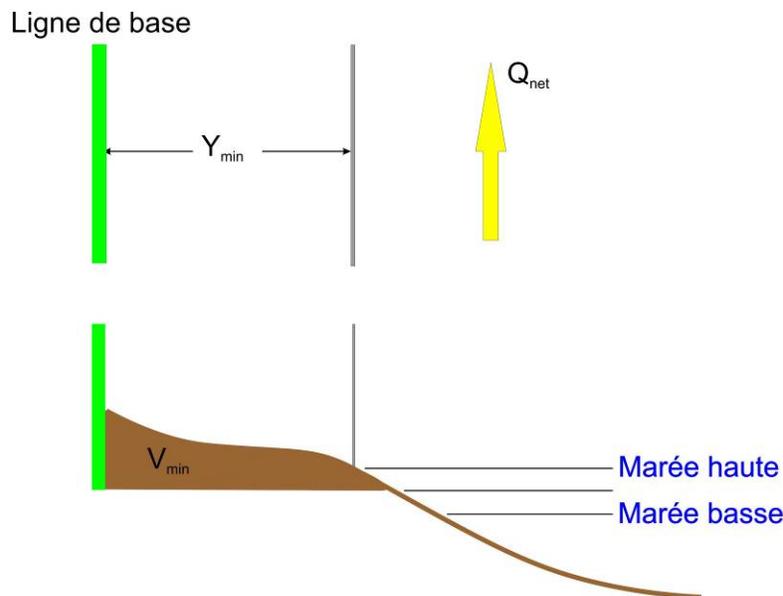


Figure 23: Largeur de plage minimum requise.

Ce concept remonte aux années 60, alors que Sylvester (voir CEM V-3 p.35) écrivait (traduction libre) :



« pour se prémunir contre les cycles de tempête et les fréquents renversements de courants littoraux, une largeur de plage suffisante doit être allouée comme réserve sur laquelle la mer peut opérer. Une fois la côte stabilisée, en contrôlant le mouvement net des sédiments, l'érosion à long terme devrait être contenue et la largeur de la plage active minimisée ».

L'observation des micro-terrasses visibles à Pointe-aux-Outardes donne une largeur variant entre 8 et 15 m. On retient une largeur de plage sèche de 15 m pour procéder aux calculs de recharge de plage.

4.2 Calcul du facteur d'amplification du volume requis

Le volume requis dépend de la granulométrie du sable formant la plage (indice n pour « natural ») et de la granulométrie du sable de recharge (indice b pour « borrow ») (CEM Volume V-4).

Le facteur d'amplification du volume dépend des deux facteurs suivants :

$$\frac{\sigma_{\phi b}}{\sigma_{\phi n}} = \frac{\left[\frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6} \right]_b}{\left[\frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6} \right]_n}$$

et

$$\frac{M_{\phi b} - M_{\phi n}}{\sigma_{\phi n}} = \frac{\left[\frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \right]_b - \left[\frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{6} \right]_n}{\left[\frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6} \right]_n}$$

Avec ϕ le log en base 2 du diamètre du grain passant.

4.2.1 Calcul du facteur d'amplification pour Pointe-aux-Outardes.

Les calculs ont été réalisés avec la granulométrie du milieu de plage (Figure 12) et la granulométrie obtenue d'une carrière située à proximité de Pointe-aux-Outardes (Figure 24). Les calculs réalisés avec ces deux granulométries définissent la position sur l'abaque de la Figure 25. Cette position indique qu'une quantité égale à 130 % du volume calculé avec un d_{50} qui serait le même que celui mesuré sur le milieu de plage, est requise pour réaliser la recharge. Le même exercice, réalisé avec la granulométrie du haut de plage, indique que la recharge serait instable (Figure 26). Ce sable ne peut pas être utilisé pour réaliser la recharge de la plage.

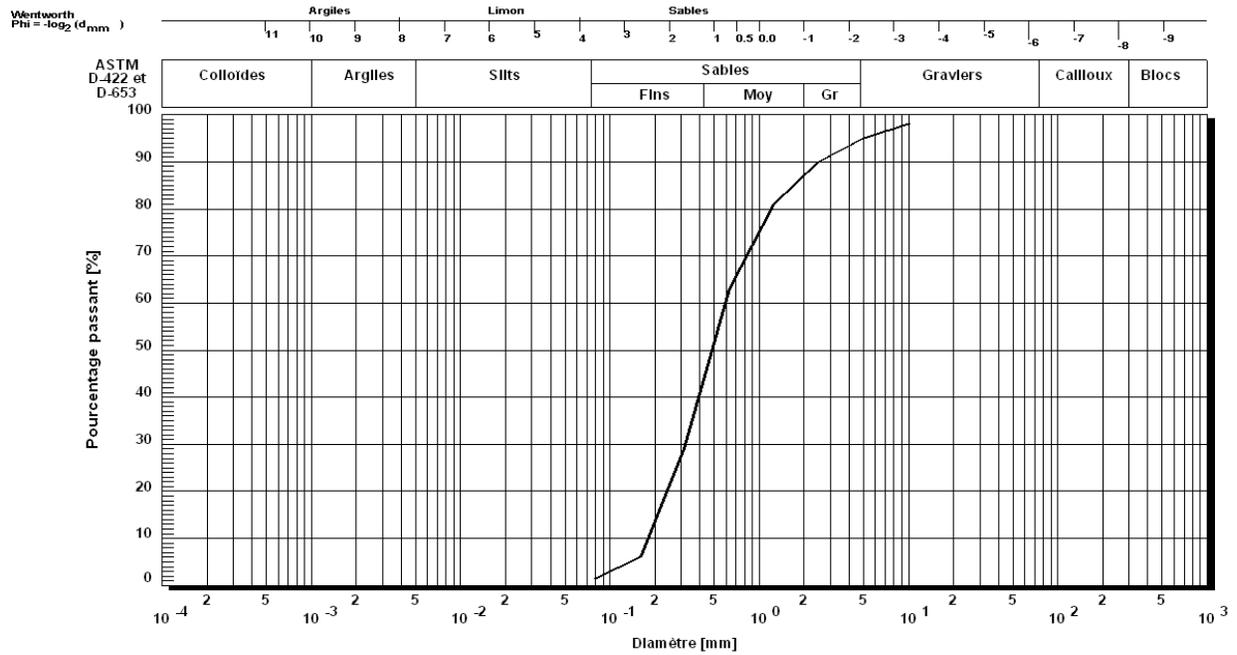


Figure 24: Granulométrie du sable de sablière à Pointe-aux-Outardes (Saint-Laurent)

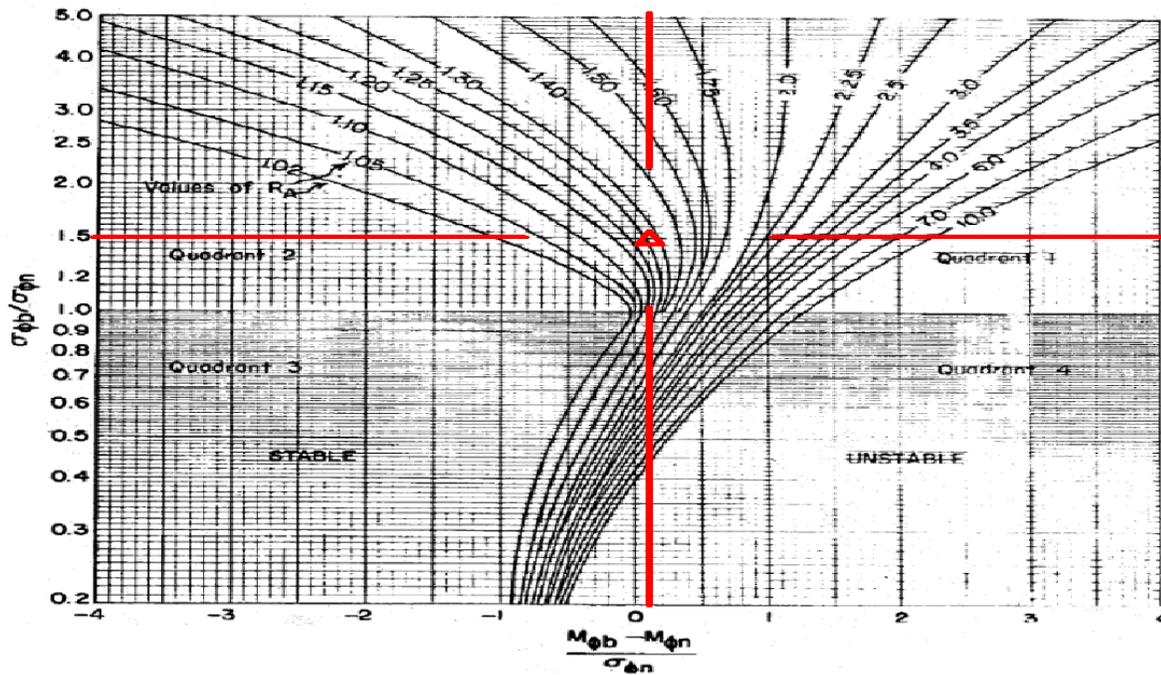


Figure 25: Abaque de détermination du facteur de remplissage - Sablière

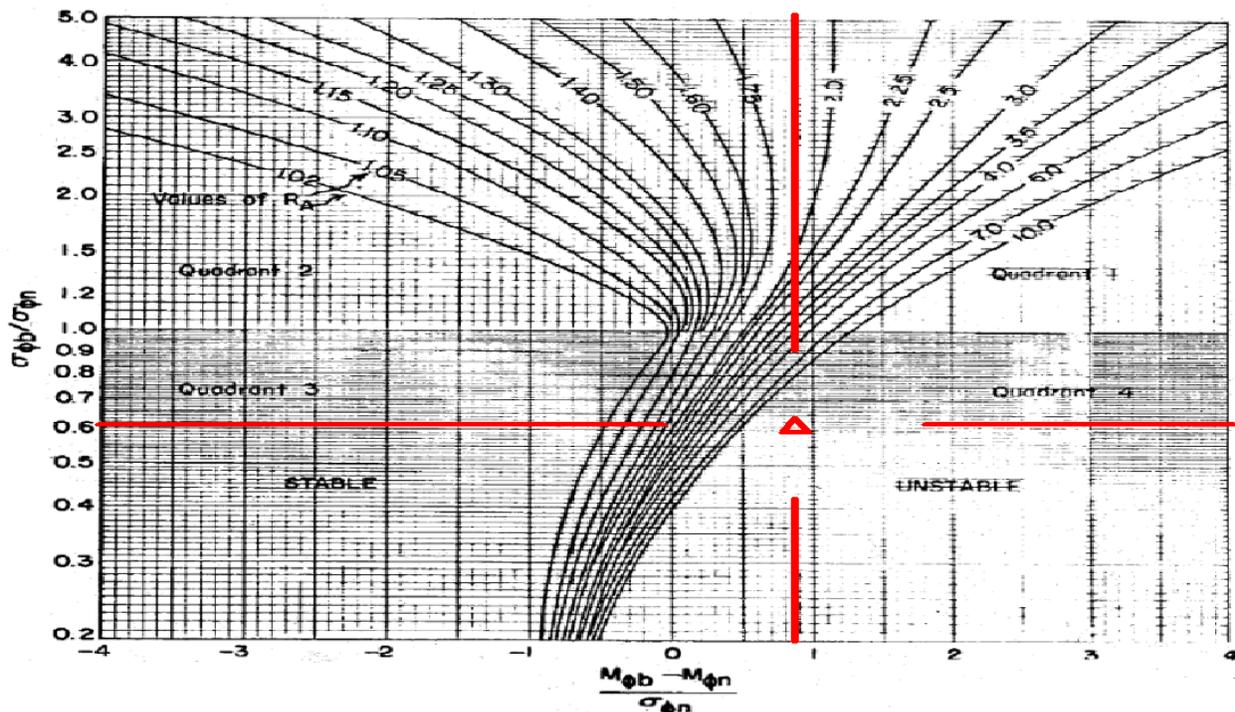


Figure 26: Abaque de détermination du facteur de remplissage – Haut de plage

4.3 Calculs de la longévité du projet

La longévité de l'enrichissement dépend du volume épandu en regard du déficit observé en début de projet et du taux de transport parallèle à la rive qu'on qualifie d'étalement latéral (« *lateral spreading losses* »).

On doit noter que l'enrichissement crée des zones de transition à la frontière entre la zone enrichie et les zones limitrophes. À ces frontières, le patron d'attaque des vagues est altéré et peut produire une érosion locale plus sévère. C'est ce qu'on appelle l'effet de bout. Les caractéristiques du sable, notamment sa grosseur moyenne, jouent un rôle quant à la longévité des travaux de correction. Dès la construction, on doit s'attendre à perdre une certaine quantité du matériau en raison de l'étalement latéral. Une recharge périodique visant à entretenir la zone tampon de protection est requise. L'importance des pertes variera d'une année à l'autre en fonction des sollicitations vécues.

On doit donc prévoir un mécanisme de suivi afin d'identifier tout écart significatif avec les taux de déperdition calculés et de chercher les raisons qui expliquent ces différences.



4.3.1 La diffusivité latérale

Sous la condition d'un faible angle d'attaque par la vague, on peut calculer un coefficient de diffusivité latérale qui sert par la suite aux calculs de dispersion des matériaux formant une recharge. Le paramètre de diffusivité latérale est calculé comme suit (Figure 27) :

$$\varepsilon = \frac{KH_b^2 C_{gb}}{8} \left(\frac{\rho}{\rho_s - \rho} \right) \left(\frac{1}{1-n} \right) \left(\frac{1}{d_b + d_c} \right) \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

ou

$$\varepsilon = \frac{KH_b^2 \sqrt{g \frac{H_b}{0.78}}}{8} \left(\frac{\rho}{\rho_s - \rho} \right) \left(\frac{1}{1-n} \right) \left(\frac{1}{d_b + d_c} \right) \quad (\text{en eau peu profonde})$$

avec

K : facteur de propagation de la vague

d_b : la hauteur de la berme au-dessus du niveau moyen de l'eau

d_c : la profondeur de fermeture (voir **Figure 27**)

C_{gb} : la célérité du groupe de vagues au déferlement

ρ_s, ρ : les masses volumiques du grain de sable et de l'eau.

La célérité du groupe, en eau peu profonde, est donnée par $\sqrt{gh_b} = \sqrt{g \frac{H_b}{0.78}}$

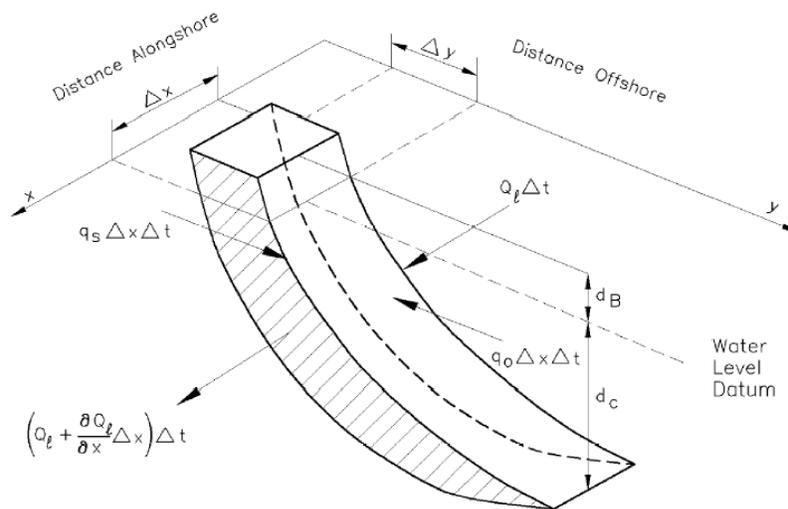


Figure 27 : Définition des paramètres de profondeur



4.3.2 Calculs d'une variation de volume pour une recharge rectangulaire sur un tronçon rectiligne de plage

On peut estimer la variation de la surface plane en fonction du temps d'une recharge rectangulaire, dont les caractéristiques sont données à la **Figure 28**, avec l'équation suivante :

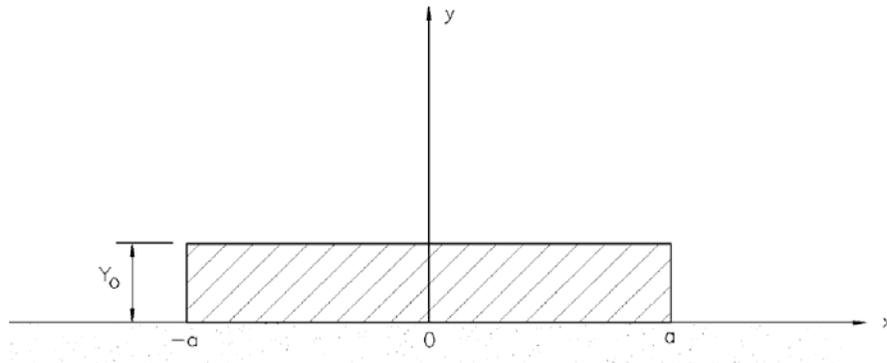


Figure 28: Recharge de plage rectangulaire de longueur $2a$ et de largeur Y_0 .

$$y = \frac{Y}{2} \left\{ \operatorname{erf} \left[\left(\frac{a}{2\sqrt{\varepsilon t}} \right) \left(1 - \frac{x}{a} \right) \right] + \operatorname{erf} \left[\left(\frac{a}{2\sqrt{\varepsilon t}} \right) \left(1 + \frac{x}{a} \right) \right] \right\}$$

Pour chaque valeur de x comprise entre 0 et a , on obtient la valeur de y à un instant donné t en connaissant la valeur du paramètre $\frac{2\sqrt{\varepsilon t}}{a}$ (Figure 29)

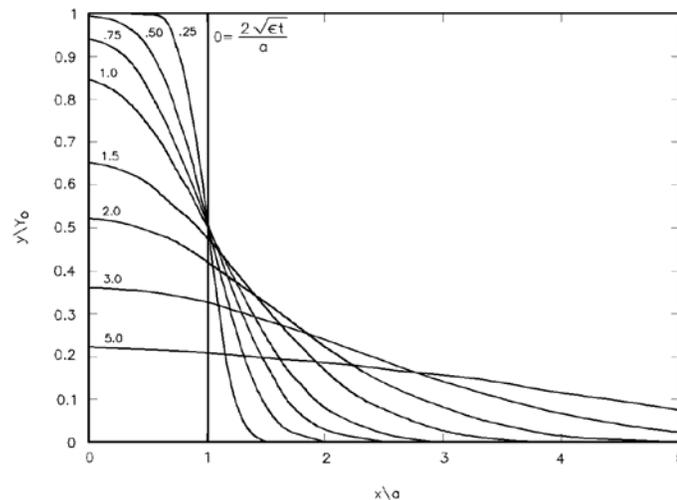


Figure 29 : Courbes adimensionnelles servant à solutionner une recharge initiale rectangulaire

Cette équation peut être intégrée entre les limites du domaine pour évaluer la proportion ($p(t)$) de la recharge qui demeure à l'intérieur de ces limites à un instant t donné.



$$p(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{\sqrt{\varepsilon t}}{a} \right) \left\{ e^{-\left(\frac{a}{\sqrt{\varepsilon t}} \right)^2} - 1 \right\} + \operatorname{erf} \left(\frac{a}{\sqrt{\varepsilon t}} \right)$$

Cette fonction est tracée sur la **Figure 30**.

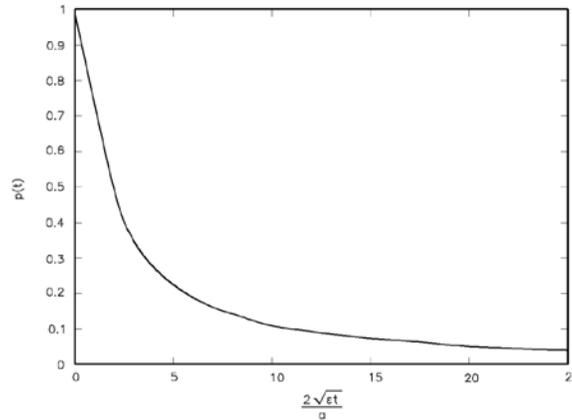


Figure 30 :Taux d'attrition adimensionnel d'une recharge rectangulaire de longueur $2a$.

4.3.3 Effet de la longueur du domaine enrichi sur la longévité

Une inspection attentive de l'équation de diffusivité latérale (4.3.1) permet d'identifier le paramètre suivant comme important (CEM partie V, équation V-4-11 → notez qu'il y a une erreur dans le CEM, la variable t doit se retrouver sous le signe radical) :

$$\frac{a}{2\sqrt{\varepsilon t}}$$

avec a la demi-longueur de la recharge telle que définie à la **Figure 28**, ε le paramètre de diffusivité de la plage [m^2/s], et t le temps en secondes.

Ainsi, la réponse pour l'équation de diffusivité dépend de ce paramètre. Pour obtenir une même réponse, il faut que ce paramètre ait la même valeur. Maintenant, si on double la valeur de a on doit quadrupler la valeur de t pour obtenir cette même valeur. En d'autres termes, le fait de doubler la longueur d'une recharge fait en sorte que, théoriquement, on en quadruple la longévité.

Si on considère que plus de 50% du volume de recharge demeure à l'intérieur de la zone de placement, alors la deuxième équation de la section 4.3.2 peut être approximée par ($\pm 15\%$ d'écart selon le CEM) :

$$p(t) = 1 - \frac{\sqrt{\varepsilon t}}{a\sqrt{\pi}}$$



Cet aspect est critique pour la construction de faibles longueurs de recharge ou si la recharge est scindée en phases. Pour ce dernier cas, on doit considérer les pertes par segment précédant la fin du projet dans le calcul total des quantités requises pour le compléter.

4.3.4 Effets du régime des vagues sur la diffusivité latérale

De l'équation de diffusivité latérale (section 4.3.1), on observe que le coefficient de diffusivité latérale varie inversement avec l'intensité de la vague déferlante à la puissance 5/2. Le CEM recommande l'utilisation d'une hauteur de vague effective (H_{eff}) pour calculer le paramètre de diffusivité latérale avec l'équation suivante est proposée par Dean et Yoo (1992) :

$$H_{eff} = \left(\frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (K_s H_s^n)^{2.4} \frac{(C_{go}^n)^{1.2}}{C_*^n}}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{(C_{go}^n)^{1.2}}{C_*^n}} \right)^{\frac{1}{2.4}}$$

avec K_s la constante de proportionnalité entre la hauteur de vague significative en eau profonde et qui vaut 0.735 (Dean and Yoo, 1992), H_s^n est la hauteur de vague significative en eau profonde du n^{ième} enregistrement de la série temporelle de N enregistrements, C_{go}^n est la vitesse de groupe en eau profonde et C_*^n est la célérité à la profondeur de déferlement pour ce n^{ième} enregistrement. La période effective T_{eff} est définie par l'expression apparaissant au dénominateur. Les calculs sont effectués sur une série temporelle d'enregistrements traités ou de valeurs générées qui couvrent plusieurs années.

4.3.5 Calcul de la demi-vie d'une recharge de plage rectangulaire

La demi-vie est obtenue en particulierisant l'équation de la section 4.3.3 pour une probabilité de 50%.

$$p(t) = 1 - \frac{\sqrt{\varepsilon t}}{a\sqrt{\pi}} \rightarrow t_{50\%} = \frac{a^2 \pi}{4\varepsilon}$$

4.3.6 Application des concepts au cas de Pointe-aux-Outardes

Considérons une recharge sur une distance de 1000 m pour protéger la berge. La largeur de la plage sèche est de 15 m, à l'élévation 2,3 m. La masse volumique de l'eau est de 1023 kg/m³ (salinité estimée à 29 ppm) et la masse volumique d'un grain de sable est estimée à 2650 kg/m³. On considère que le niveau d'eau est à la cote 2.0 m et que la profondeur pour le transport effectif des sédiments est à la cote -1.1 m. La valeur de $d_c + d_b$ (voir **Figure 27**) vaut 3,4 m



$$d_c = 2.0 + 1.1 = 3.1$$

$$d_b = 0.3 \quad (\text{cote plage sèche (2.3) - cote plan d'eau (2.0)})$$

Finalement la valeur du facteur de propagation de la vague est fixée à 0,8.



Calcul de la hauteur de vagues effective

L'application de la formule de la section 4.3.4 à l'ensemble des vagues générées en eau profonde donne une valeur de $H_{eff} = 0,53$ m.

Calcul de la demi-vie de la zone rechargée

Utilisant la hauteur de vague effective, le coefficient de diffusivité (section 4.3.1) est obtenu par :

$$\varepsilon = \frac{0.8 (0.53)^2 \sqrt{9.81 \frac{0.53}{0.78}}}{8} \left(\frac{1023}{2650 - 1023} \right) \left(\frac{1}{1 - 0.4} \right) \left(\frac{1}{3.4} \right) = 0.022 \text{ m}^2/\text{s}$$

La plage étant de 1000 m de longueur, la valeur de a est de 500 m. De la formule de la section 4.3.5, on tire :

$$t_{50\%} = \frac{a^2 \pi}{4\varepsilon} \rightarrow \frac{500^2 \pi}{4 \cdot 0.022} = 8,925 \cdot 10^6 \text{ s} = 103 \text{ jours}$$

La faible durée de la demi-vie de la plage nous incite à recommander l'implantation d'épis pour contenir le sable de recharge.

Effet d'une tempête sur l'extrémité de la zone de recharge

La hauteur de vague de dimensionnement est posée égale à 2,5 m au déferlement et on pose également que le coefficient empirique de proportionnalité (K) vaut 0,8. La valeur du coefficient de déferlement est posée égale à 1. On veut évaluer l'amincissement de la largeur de plage sèche lorsqu'elle est soumise à une tempête importante d'une durée de 3 heures (marée haute). On retient la distance $x/L = 1$, pour établir l'amincissement au bout de la zone enrichie. La valeur de ε est donc donnée par :

$$\varepsilon = \frac{0.8 (2.5)^2 \sqrt{9.81 \cdot 2.5}}{8} \left(\frac{1023}{2650 - 1023} \right) \left(\frac{1}{1 - 0.4} \right) \left(\frac{1}{0.3 + 3.1} \right) = 0.835$$

et
$$\frac{a}{2\sqrt{\varepsilon t}} = \frac{500}{2\sqrt{0.835 \cdot 10800}} = 2.463 \quad (3 \text{ heures})$$

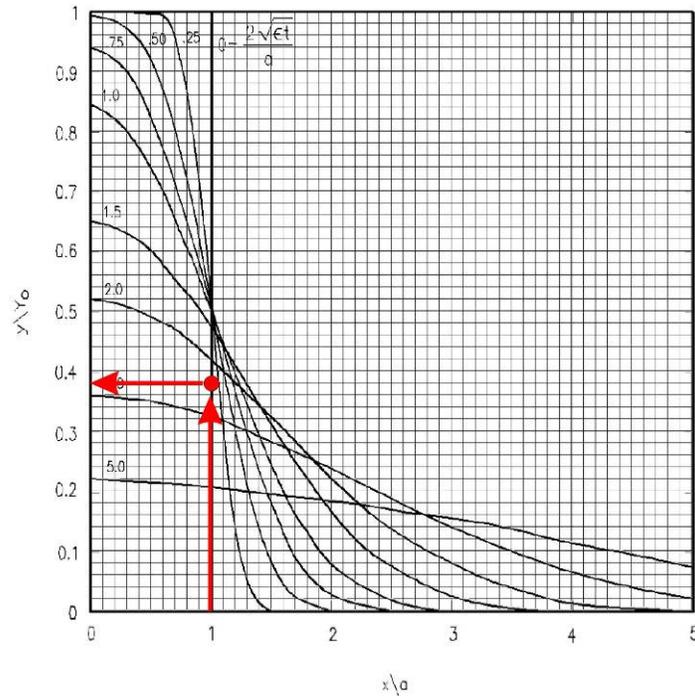


Figure 31: Abaque pour le calcul de la largeur de plage

La valeur de y/Y_0 est tirée de l'abaque de la Figure 31 et vaut 0.39. La largeur à l'extrémité de la bande de recharge ne vaudrait plus que $0.39 * 15$ m soit 5,8 m



5 Protection des berges par berme en enrochement

La protection des berges avec un revêtement en enrochement (*riprap*) requiert le calcul de la remontée des vagues et le calcul du taux de franchissement par les vagues. Après une revue de l'état des connaissances sur ce type de protection, la méthode de calculs retenue par la Société d'Énergie de la Baie James (SEBJ) pour réaliser la réfection des faces situées à l'amont des principaux barrages de la phase 1 du complexe hydroélectrique La Grande (Nord du Québec) est brièvement présentée.



Figure 32: Protection en

enrochement

5.1 État des connaissances concernant la protection par berme

Dans le volume V du CEM, on passe en revue différentes assertions portant sur l'utilisation de bermes pour protéger le littoral. En voici une traduction.

1. La mise en place d'une berme dans une zone côtière soumise à un stress érosionnel cause une augmentation du stress sur les berges adjacentes. Ceci s'explique par le fait qu'en empêchant la contribution des berges protégées au bilan sédimentaire, les berges adjacentes sont désormais plus fortement sollicitées.
2. La mise en place d'une berme provoque une diminution de la plage localisée en face de celle-ci. Ceci est vrai car désormais la partie protégée ne s'érode plus mais cette zone, qui était en érosion avant les travaux, continue de l'être. La limite amont de la plage étant désormais fixée, l'érosion se poursuit essentiellement au niveau de la plage. En absence de cette berme de protection, le haut de plage aurait progressé vers l'intérieur des terres;
3. Un corollaire à ceci est qu'en absence de berme, le retrait d'une plage aide à maintenir une plage dont la largeur demeure la même;



4. Qu'il n'existe pas de mesure ni d'argument basé sur des notions physiques qui indiquent qu'il y a **accélération** de l'érosion en face des bermes;
5. Que l'implantation d'une berme isolée a pour effet d'accélérer l'érosion littorale du côté aval du transport littoral. En effet, nonobstant les effets de bout, la zone protégée devient éventuellement protubérante et elle agit comme un épi et peut interrompre une partie du transport littoral, causant l'érosion en aval.

Aucune donnée ni mesure n'indique qu'une berme

1. puisse causer un raidissement dramatique de la pente de la plage;
2. puisse détruire les barres et creux situés en face de celle-ci.

5.2 Calcul de l'enrochement

Dans l'éventualité où l'on doit protéger la berge avec un enrochement, on recommande de suivre l'approche préconisée par la Société d'Énergie de la Baie James pour réaliser la protection amont des ouvrages de retenues. Les blocs d'enrochement formant la protection des talus résistent par leur masse à l'attaque des vagues. La masse minimale de l'enrochement est donnée par une formule comparable à la formule originale de Hudson (1959) établie pour un riprap relativement uniforme soit:

$$M_{\min} = \frac{\rho_r H_s^3}{K(S_r - 1)^3 (\cot \alpha)}$$

| | | |
|------|---|-----------------------|
| avec | M_{\min} la masse minimale de l'enrochement | [kg] |
| | ρ_r la masse volumique du roc | [kg/m ³] |
| | ρ_w la masse volumique de l'eau | [kg/m ³] |
| | S_r la densité relative du roc | $[\rho_r / \rho_w]$ |
| | $\cot \alpha$ la pente du talus | [horizontal/vertical] |
| | H_s la hauteur de vague significative (= H_{mo}) | [m] |
| | K le coefficient expérimental de stabilité | |

Le coefficient de stabilité, déterminé expérimentalement, dépend généralement de plusieurs facteurs dont, entre autres, la nature des matériaux, l'imbrication des blocs et le degré accepté de dommage. Pour un riprap constitué d'enrochements disposés en vrac, ce coefficient varie linéairement en fonction du degré des dommages dans la zone d'intérêt pour la conception, soit entre l'absence et un degré acceptable de dommage.



Pour un *riprap* constitué **d'au moins** deux couches d'enrochement disposé en vrac sur une pente **égale ou plus douce que 1,8**, les valeurs expérimentales du coefficient de stabilité sont:

- $K = 1,75$ pour l'absence de dommage [$S \leq 2,50$]
- $K = 3,50$ pour un degré de dommage acceptable [$S = 5,0$]

avec S définit comme étant l'indice de dommages calculé avec la dimension nominale de la masse minimale. Un risque de dépassement d'au plus 5%, pendant la durée de vie économique de l'ouvrage, est associé à la condition de sollicitation fixée. Une valeur de 3,5 est retenue pour calculer la dimension minimale.

5.3 Étalement

Les observations sur le terrain du comportement des ouvrages par la SEBJ et les résultats d'essais réalisée par le Laboratoire d'hydraulique maritime du Conseil National de Recherches du Canada (CNRC) sur modèle réduit ont montré qu'un riprap uniforme, donc possédant une gradation relativement peu étalée, se comportait beaucoup mieux qu'un riprap étalé, particulièrement dans la zone d'intérêt pour la conception soit entre l'absence et un degré acceptable de dommage. L'étalement est défini en terme des masses minimale et maximale et il est recommandé, pour fins de spécification que:

$$M_{\max} = 3,0 M_{\min}$$

Sur le terrain, il est difficile de maintenir un rapport de 3,0. L'expérience a montré qu'un rapport d'environ 5 peut être atteint relativement facilement et qu'il est acceptable.

5.4 Facteur de forme

La dimension (D) d'un bloc est déduite de sa masse calculée précédemment à partir de la formule suivante:

$$D = \left(\frac{M}{C_f \rho_r} \right)^{1/3} \text{ en [m]}$$

avec M la masse du bloc en kilogrammes, D sa dimension en mètres, ρ_r sa masse volumique en kg/m^3 et C_f le coefficient de forme.

A partir des masses minimale et maximale, on peut obtenir les dimensions minimale et maximale d'un bloc. Le coefficient de forme d'un bloc dépend du type de roc et de la méthode de sautage utilisée pour le produire. Théoriquement pour un bloc parfait en forme de parallélépipède, le coefficient est égal à 1,0; par contre la valeur minimale correspond à un tétraèdre soit 0,25.



L'expérience a montré que ce coefficient peut varier individuellement entre 0,4 et 0,8 mais reste en moyenne compris entre 0,5 et 0,7.

A moins de données spécifiques obtenues de la carrière, il est recommandé d'utiliser 0,6 comme coefficient de forme.

5.5 Épaisseur minimale du *riprap*

L'épaisseur du *riprap* joue un rôle essentiel dans son comportement. Une épaisseur minimale associée à un *riprap* comportant suffisamment de vide permettra une dissipation efficace de l'énergie des vagues. Il est convenu qu'un *riprap* doit être constitué d'au moins deux couches d'enrochement. L'épaisseur minimale du *riprap* est donnée par:

$$d_c = 2,5D_{\min} \text{ en [m]}$$

d_c étant l'épaisseur en mètres mesurée perpendiculairement à la pente.

Lors d'une conférence à Eureka, California, l'auteur de cette annexe (Dupuis) a pu constater que le seul concept qui a su résister aux fortes vagues du Pacifique était celui consistant en plusieurs couches de Dolosses de 42 tonnes. Pour ce cas particulier, deux couches s'avéraient insuffisantes car l'ouvrage était soumis à de longs *swells*. L'auteur émet l'hypothèse que le volume de vide de la couche de protection doit être suffisant pour permettre au volume d'eau de la vague de s'y engouffrer. L'imbrication aléatoire des éléments et les vides permettent alors de dissiper adéquatement la quantité de mouvement et l'énergie de la vague.



5.6 Filtres

Le *riprap* repose sur une zone de matériaux appelée « coussin ». Le coussin sert de transition entre les enrochements de protection et le matériau protégé (recharge du remblai). Les caractéristiques de cette zone sont déterminées en appliquant les critères de filtre pour s'assurer que le coussin protège efficacement le matériau sous-jacent et qu'il en est de même en ce qui concerne le *riprap* pour le coussin. Ainsi, définissant D_i , avec i le pourcentage, mesuré relativement à la masse, des matériaux inférieurs à cette dimension D , les caractéristiques D_{15} et D_{85} du coussin doivent vérifier:

$$5 D_{15} (\text{recharge}) < D_{15} < 5 D_{85} (\text{recharge})$$

$$D_{85} > 0,2 D_{\max} (\text{riprap})$$

L'étalement des matériaux du coussin doit être compris entre les étalements des matériaux des deux couches adjacentes. Si la recharge à protéger est en matériau fin, en particulier pour les remblais homogènes, une zone de transition en matériau granulaire est nécessaire entre le coussin et la recharge. La Figure 33 présente un cas de calcul pour la face amont d'un barrage. La Figure 34 présente les fuseaux acceptables. Les coupes types devraient être établies par un ingénieur géotechnicien qui prendra en considération les capacités portantes et les types de matériaux disponibles.

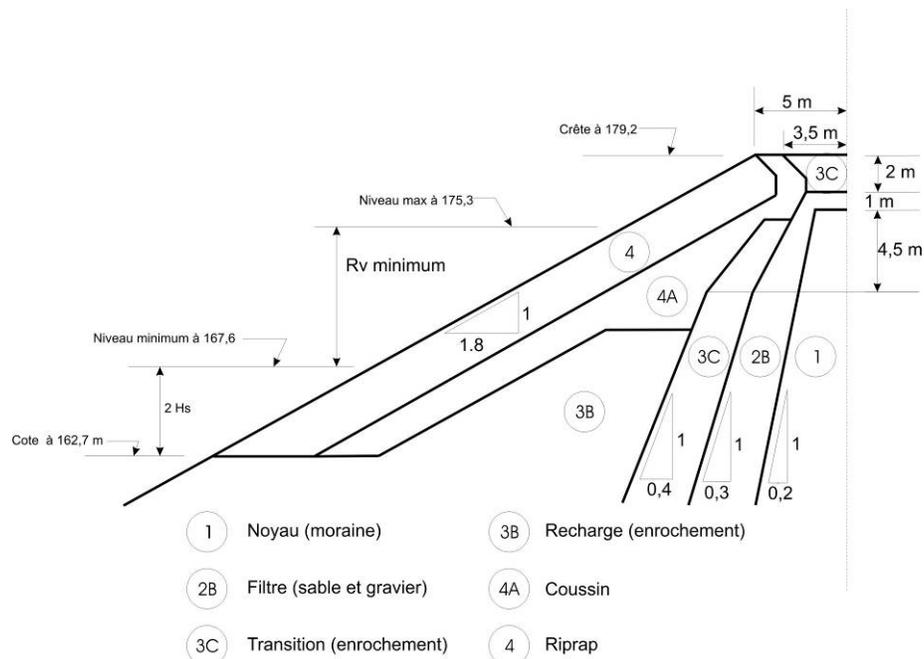


Figure 33 : Exemple de coupe d'un ouvrage de retenue illustrant l'utilisation de couches filtre (tiré de SEBJ, 1996).



Pour une protection de talus, la largeur en crête devrait être de $3 d_{50}$.

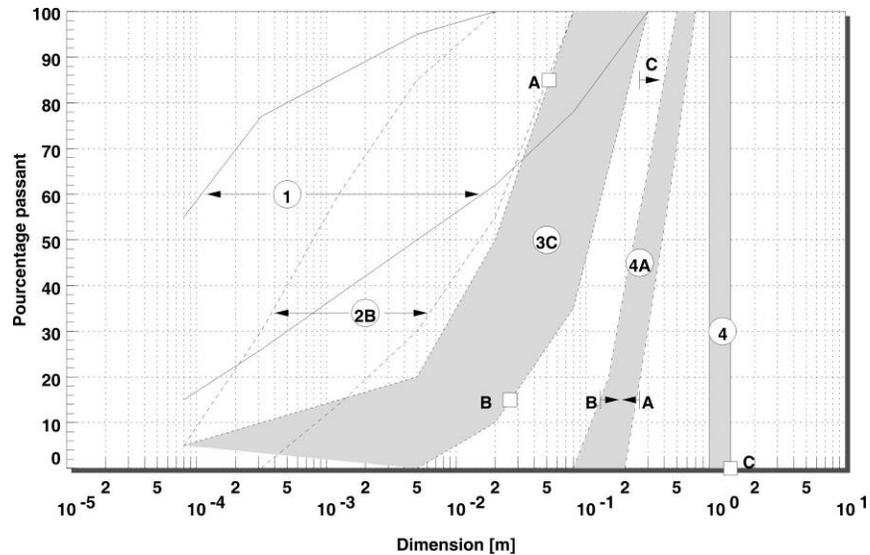


Figure 34 : Fuseaux des courbes granulométriques acceptées pour les couches filtres.

5.7 Revanche

La Figure 35 illustre les étapes menant à la destruction d’une berme en enrochement. On constate l’importance de protéger le pied de l’enrochement et de calculer une revanche adéquate limitant le franchissement des vagues. La revanche est établie en ajoutant la remontée due aux vagues sur l’ouvrage à la valeur du niveau d’eau (qui comprend la surcote).

Des essais réalisés par van der Meer sur des ouvrages avec *riprap* doté d’un noyau imperméable (facteur de perméabilité de 0,1) permettent de calculer la hauteur de remontée associée à la hauteur de vague significative :

$$R_u = a \xi_0 H_s \quad \xi_0 \leq 1.5 \quad \text{pente} > 2.7$$

$$R_u = b \xi_0^c H_s \quad \xi_0 > 1.5 \quad \text{pente} \leq 2.7$$

Les valeurs des paramètres a et b et c sont donnés au **Tableau 1**. Les Néerlandais retiennent un pourcentage de dépassement de 2% pour le dimensionnement de leurs digues.

Tableau 1 Paramètres pour le calcul de la remontée de la vague

| %dépassement | 0.1 % | 1% | 2% | 5% | 10% | 33% | 50% |
|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| <i>a</i> | 1.12 | 1.01 | 0.96 | 0.86 | 0.77 | 0.72 | 0.47 |
| <i>b</i> | 1.34 | 1.24 | 1.17 | 1.05 | 0.94 | 0.88 | 0.60 |



| | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| c | 0.55 | 0.48 | 0.46 | 0.44 | 0.42 | 0.41 | 0.34 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|

Le paramètre ξ_0 est le paramètre de similarité du déferlement ou nombre d'Iribaren :

$$\xi_0 = \tan \beta \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

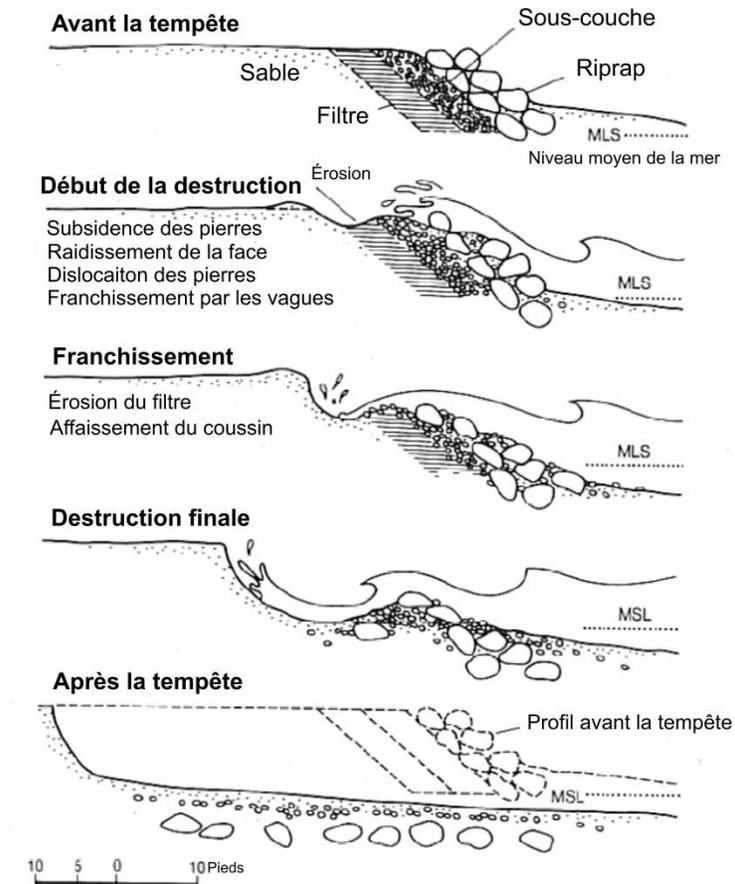


Figure 35 : Étapes menant à la destruction d'une berme en enrochement.

5.8 Application au cas de Pointe-aux-Outardes

Pour Pointe-aux-Outardes, on considère le cas suivant :

- le niveau d'eau atteint la cote 3,0 m;
- le pied de talus est à l'élévation 2 m;
- la valeur de l'indice de profondeur de déferlement qui vaut 0,8;



- une pente de la carapace de 2,5H :1V pour limiter la dimension des blocs (plus la pente est douce et moins gros sont les enrochements)

5.8.1 Riprap sans affouillement

On considère que la plage sèche accomplit son travail de protection. La hauteur de vague atteignant la protection en riprap est de 0,8 m compte tenu de l'indice de déferlement. La masse minimum est obtenue par :

$$M_{\min} = \frac{\rho_r H_s^3}{K (S_r - 1)^3 (\cot \alpha)} = \frac{2650(0,8)^3}{3,5 \left(\frac{2650}{1023} - 1 \right)^3 2,5} = \frac{1357}{35,2} = 39$$

La masse maximum est de 115 kg. Les diamètres min et max valent respectivement 0,29 et 0,42 m

5.8.2 Riprap avec 1 m d'affouillement

Pour ce cas, la hauteur de vague augmente à une valeur de 1,6 m.

Ceci limite à 1,6 m la hauteur de vague significative à l'ouvrage. La masse minimum est obtenue

$$M_{\min} = \frac{\rho_r H_s^3}{K (S_r - 1)^3 (\cot \alpha)} = \frac{2650(1,6)^3}{3,5 \left(\frac{2650}{1023} - 1 \right)^3 2,5} = \frac{10854}{35,2} = 308 \text{ kg}$$

La masse maximum est de 925 kg. Les diamètres minimum et maximum valent respectivement 0,58 et 0,83 m

5.8.3 Abaque pour évaluer la masse minimum requise.

Pour des masses volumiques du roc de 2650 kg et de l'eau de 1023 kg, la masse minimum des enrochements est obtenue avec la courbe ci-dessous (Figure 36)

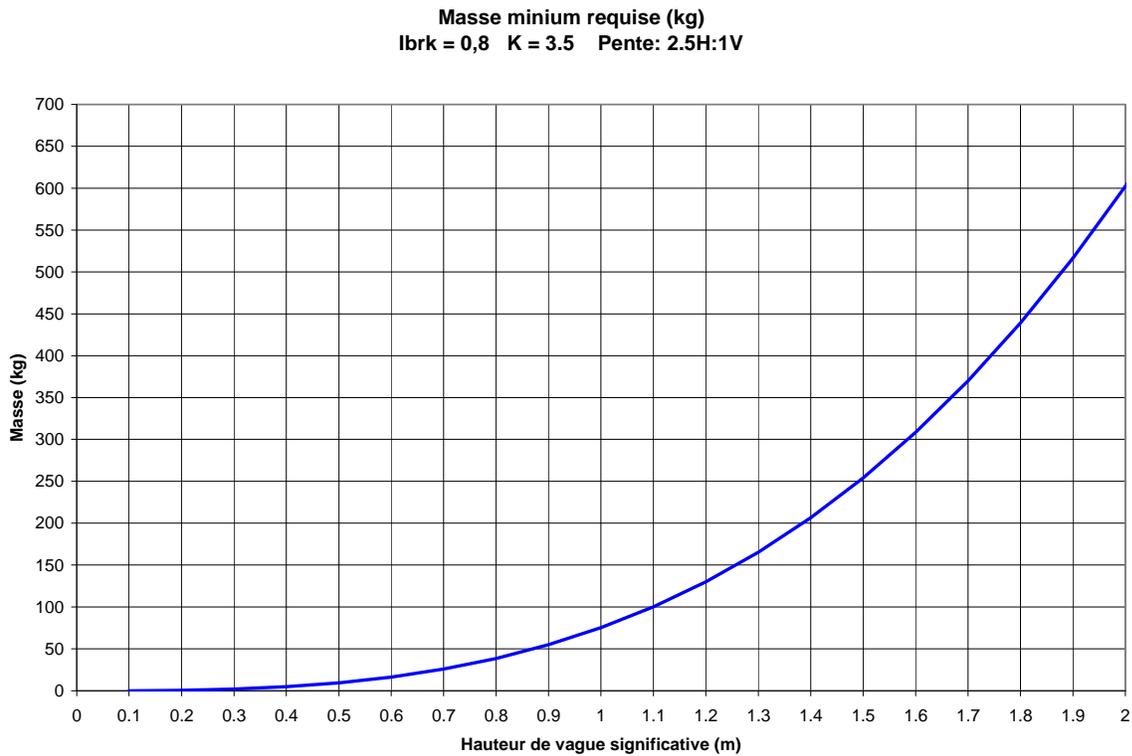


Figure 36 : Masse minimum requise sous des conditions particulières.

5.8.4 Calcul de la revanche

La pente est de 2,5H pour 1V. On accepte un taux de franchissement de 2%. Les valeurs de a, b et c valent respectivement 0.96 1.17 et 0.46. Pour 1,6 m de hauteur de vague et une cambrure de 0.06, on tire :

$$R_u = b \xi_0^c H_s = 1.17 \left(\frac{1/2.5}{\sqrt{0.06}} \right)^{0.46} 1.6 = 1.17 \cdot 1.25 \cdot 1.6 = 2.35 \text{ m}$$

La cote est donc niveau d'eau : 3.0 m + R_u : 2.35 m = 5.35 m



6 Protection par champ d'épis

Le CIRIA traite de la protection par champ d'épis. Nous reproduisons dans la suite l'information pertinente pour l'implantation de ce type d'ouvrage.

Le concept d'implantation d'épis repose sur l'objectif de permettre à la plage de pouvoir se réorienter face aux vagues dominantes, réduisant de ce fait le transport des sédiments le long de la côte (CIRIA, 1991). La dimension des épis dépend de biens des facteurs et il n'y a pas de recette universelle pour établir la longueur et l'espacement entre les épis.



Figure 37 : Champs d'épis (Tiré de CIRIA C683)

Ces paramètres dépendent en effet de tous les facteurs étudiés dans les sections précédentes, soit le *type de matériau formant la plage, la pente de cette dernière, le régime des vagues, la disponibilité en matériau, les régimes de transport sédimentaire.*

L'utilisation d'épis n'est pas recommandée pour les plages de sables fins (diamètre médian des grains ou $d_{50} < 0,15$ mm) car la pente de la plage est alors douce (de l'ordre de 100H :1V) ce qui maximise les volumes requis, et les mécanismes dominants de transport sont perpendiculaires à la plage, ce qui réduit les chances de conserver le matériau au sein des cellules entre les épis.

Pour les sables plus grossiers, les champs d'épis peuvent être utilisés avec profit pour limiter le transport longitudinal. L'implantation des épis induira cependant un courant appréciable à l'intérieur de chacune des baies (entre les épis) et le CIRIA recommande l'ajout d'un T ou d'un Y en fin d'épi pour limiter les courants de retour (« *rip current* ») induits par les vagues.

On peut dimensionner les épis pour contrôler le haut de plage, auquel cas la longueur nécessaire est celle qui englobe la zone de déferlement pour le régime de vagues estivales alors que la plage est en mode de reconstruction.

En Angleterre, des épis d'une longueur de 40 à 50 m ont été efficaces pour protéger un haut de plage consistant en un mélange de sable grossier et de galets (« *shingles* »). On croit que la présence des galets est suffisante pour favoriser la croissance d'un haut de plage stable.



6.1 État des connaissances concernant les épis (tiré du CEM)

Dans le volume V, section 3 du CEM, on présente l'état des connaissances concernant l'utilisation d'épis. Ces connaissances sont résumées ci-après :

- L'angle d'attaque et la hauteur des vagues sont des paramètres importants pour le transport longitudinal
- La détermination de la longueur de l'épi est importante relativement à la zone de transport littoral
- Les épis doivent être perméables pour permettre le transit de l'eau et du sable et réduire l'intensité des courants de retour vers le large (« *rip currents* »)
- La progression des dépôts sableux sur la face amont de l'épi atteint rarement son extrémité du fait de sa perméabilité qui facilite le transport longitudinal. Il faut une composante transversale importante pour que les sédiments atteignent l'extrémité ou la remplisse
- Lorsqu'on utilise un champ d'épis, il est recommandé de terminer la série en biseau (en diminuant leur longueur) pour éviter les effets de bout indus (Figure 38)
- Une érosion est anticipée en aval de la série d'épi
- Pour les plages soumises à l'action des vagues provenant d'une direction prédominante, on recommande d'orienter les épis perpendiculairement aux crêtes des vagues déferlantes
- Le succès d'une implantation devrait être jugé à sa capacité à conserver une largeur minimum de plage sèche sous des conditions spécifiques d'attaque par les vagues et à permettre le passage d'un flot sédimentaire suffisant qui permet de minimiser le déficit sédimentaire à l'aval
- Les épis ne sont pas efficaces lorsque les vagues attaquent la plage perpendiculairement et lorsque l'angle d'attaque est normal, il peut créer des courants de retours significatifs.

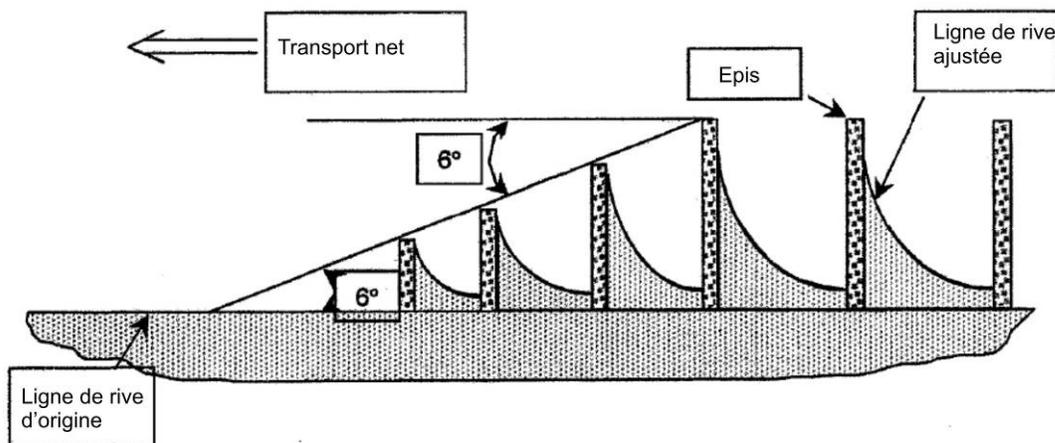




Figure 38 : Angle de 6° suggéré par le CEM pour la transition en fin de série d'épis
(Échelle transversale amplifiée)

6.2 Règles de base pour l'utilisation d'épis

Le CEM présente dix règles modernes relatives au dimensionnement d'épis :

1. Si le transport transversal (« *offshore* ») est prédominant, on doit plutôt considérer l'implantation de brise-lames d'avant-côte (à proximité de la côte)
2. Le principe de conservation de la masse implique que la présence d'épis ne crée ni ne détruit de sédiments
3. Pour éviter l'érosion des cellules adjacentes, toujours incorporer une recharge de plage
4. Établir la largeur minimum de plage sèche pour la protection du haut de plage durant les épisodes de fortes tempêtes
5. Débuter le dimensionnement avec un rapport X_g/Y_g variant entre 2 et 3 avec X_g , l'espacement entre les épis et Y_g , la longueur effective de l'épi, prise à partir de la limite au large jusqu'à la limite établie pour la recharge de plage
6. Utiliser un modèle numérique de simulation permettant d'évaluer les changements subis par la plage suite à l'implantation d'épis
7. Utiliser un modèle de transport transversal pour déterminer la largeur minimum de plage sèche qui est requise
8. Établir la perméabilité et la recherche d'un équilibre entre le transport brut et le transport net. L'utilisation d'un modèle de simulation est requis pour optimiser la forme des épis de façon à rencontrer le critère de largeur minimum de plage
9. Considérer de terminer avec des épis en biseau pour atténuer l'impact en aval de la zone d'implantation
10. Établir un programme de suivi morphologique pour évaluer le degré de succès de l'implantation.

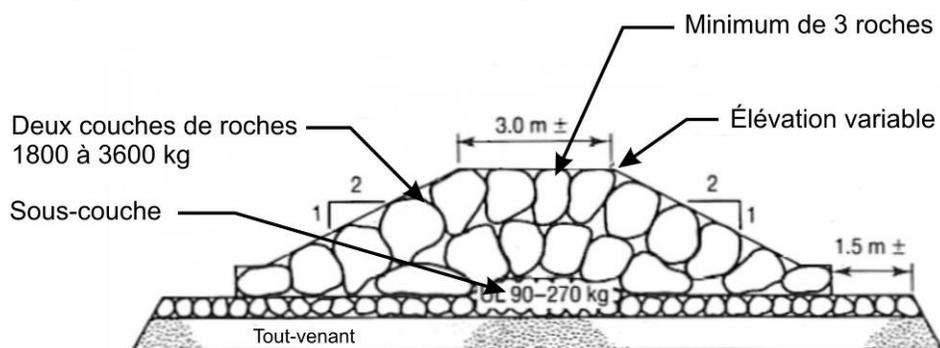
6.3 Profils typiques d'épis conventionnels en enrochement

Nous présentons quelques profils, tirés du CIRIA, réalisés dans des régions sujettes à des attaques importantes par les vagues et qui permettent de fixer les idées quant aux alternatives de construction à envisager.



6.3.1 Épi dimensionné pour résister à un ouragan (USA)

Le degré de complexité d'une section transversale dépend de l'accessibilité au site et des facilités de maintenance pour l'épi. Ainsi, un épi formé strictement d'enrochement déversé subira forcément un tassement, et conséquemment, on devra procéder à une recharge périodique. Cette façon de faire peut toutefois s'avérer économique s'il est facile et peu coûteux de procéder à la recharge. La **Figure 39** présente un concept un peu plus élaboré de section transversale, pouvant résister aux vagues générées par un ouragan (l'intensité de l'ouragan n'est toutefois pas spécifiée et la masse importante des roches formant la carapace).



Section transversale d'un épi - Atlantic Coast, North Carolina, USA

Figure 39 : Section transversale d'un épi pouvant résister à un ouragan.

6.3.2 Épi de type « queue de poisson » (*fishtail*, UK)

Au Royaume-Uni (UK), on a développé un nouveau concept (**Figure 40** et **Figure 41**) qui est une combinaison d'épi conventionnel avec un brise-lame d'avant-côte (ce dernier type d'ouvrage est abordé au chapitre 7).

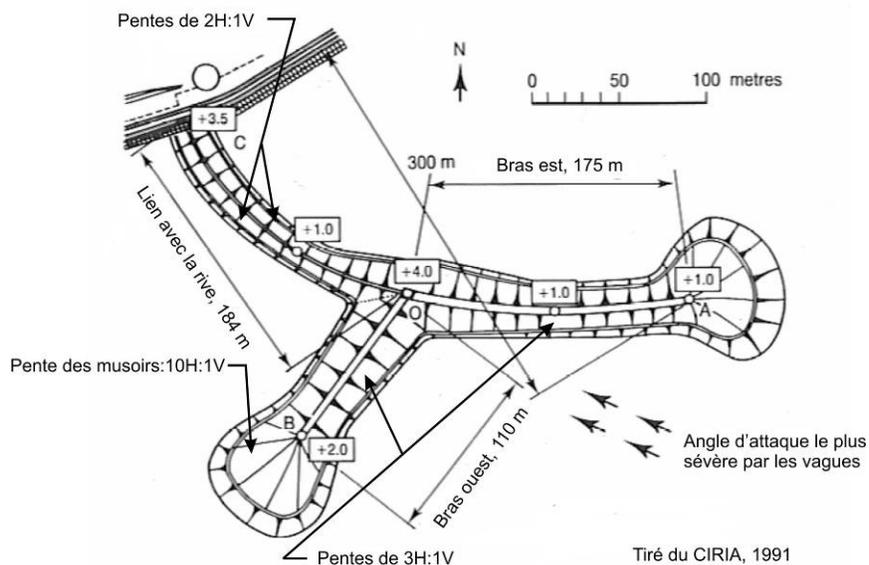


Figure 40 : Vue en plan d'un épi de type « queue de poisson » fishtail – Concept récent

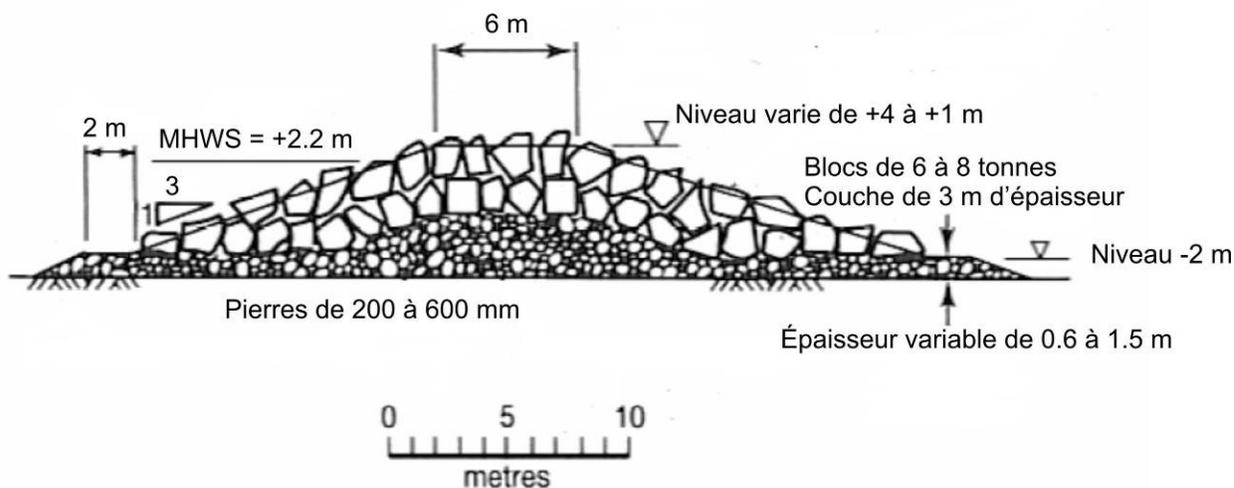


Figure 41 : Coupe-type d'un bras externe

Une brève description de la fonction de chaque bras est donnée ci-dessous.

Lien O-C

Il s'agit du lien avec la terre qui coupe le courant littoral induit par la marée, tout comme le fait un épi. La crête de l'ouvrage suit le profil de la plage (élévation variable) et la pente des parois est de 2H :1V.

Lien externe O-B



Ce lien est situé du côté aval de la dérive littorale. Sa fonction principale est de protéger la baie située du côté aval de l'attaque directe par les vagues. La crête est située au-dessus du niveau de marée haute mais les extrémités sont de faible pente pour assurer une transition vers la plage (pente de 10H :1V). La pente des faces externes des bras soumis à la vague sont à 4H :1V. Dans les zones plus protégées, on accepte une pente de 3H :1V.

Lien externe O-C

Ce lien est situé du côté amont de la dérive littorale. Son but est d'intercepter les courants longitudinaux et de marée et de les dériver suffisamment au large de façon à minimiser l'érosion à l'intérieur de la cellule. Comme les courants de marée sont les plus forts à mi-marée, l'élévation de la crête peut être établie par rapport au niveau moyen. Le CIRIA donne une procédure complexe permettant d'évaluer l'élévation de la crête.

6.4 Impact du quai de Pointe-aux-Outardes

Le quai de Pointe-aux-Outardes permet de jeter une certaine lumière sur l'impact que pourrait avoir l'implantation d'épis le long du littoral. La Figure 42 présente les segments reliant la ligne de base située au pied de talus à la ligne d'isobathe 0 m.



Figure 42: Quai de Pointe-aux-Outardes. Définition des paramètres.

La Figure 43 donne un premier ajustement d'une courbe polynomiale cubique utilisant les 15 points de mesures de la Figure 42. On constate qu'on tend asymptotiquement vers une constante de l'ordre de 25 m à une distance de 300 m à l'est du quai. On procède à un deuxième ajustement en ne retenant que les valeurs situées à une distance inférieure à 250 m (Figure 44) Pour cette distance, on doit soustraire une valeur de 30 m pour obtenir un profil qui tend asymptotiquement vers 0. Cette valeur est celle que nous retenons comme largeur minimum de plage à obtenir (qui est, nous le rappelons ici, définie comme étant la distance entre le pied de talus et le point de la plage dont la cote est 0,0).

Ceci nous amène à proposer la notion d'une longueur effective d'épi, qui est la longueur calculée à partir de la ligne 30 m, donc la partie externe à la bande de largeur minimum (Figure 42). La formule apparaissant sur la Figure 45 peut servir à évaluer la distance requise entre deux épis. Ainsi, pour le cas de Pointe-aux-Outardes, on établit d'abord à 30 m la largeur de plage minimum qui est requise. Cette valeur est obtenue en augmentant graduellement la valeur du cordon de



plage naturel jusqu'à ce que la courbe de la Figure 45 devienne asymptotique à la valeur d'ordonnée nulle. On atteint l'ordonnée nulle à une distance de 2 fois la longueur effective. Rappelons que la longueur effective est obtenue en soustrayant la largeur minimum de la plage de la longueur de l'épi calculée à partir du talus.

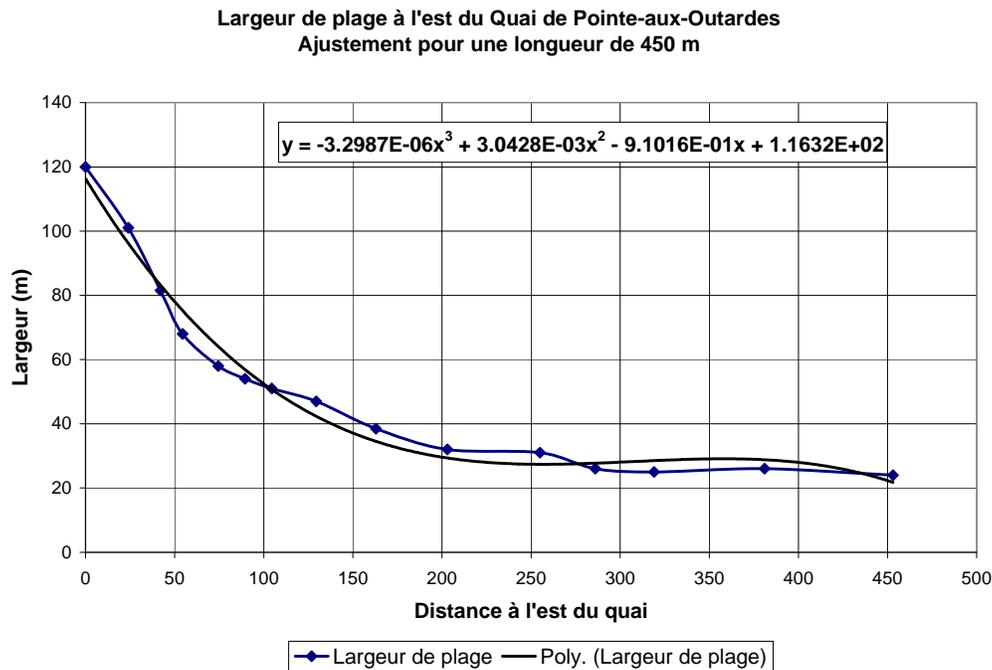


Figure 43: Premier ajustement d'une courbe cubique pour évaluer la largeur de la plage

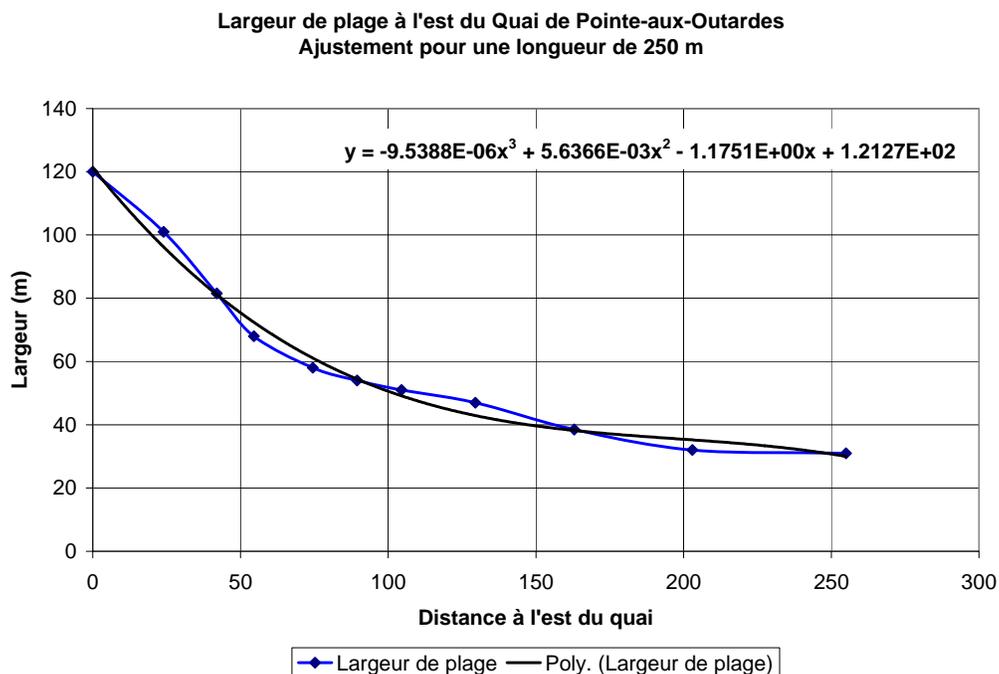


Figure 44: Second ajustement d'une courbe cubique pour évaluer la largeur de plage

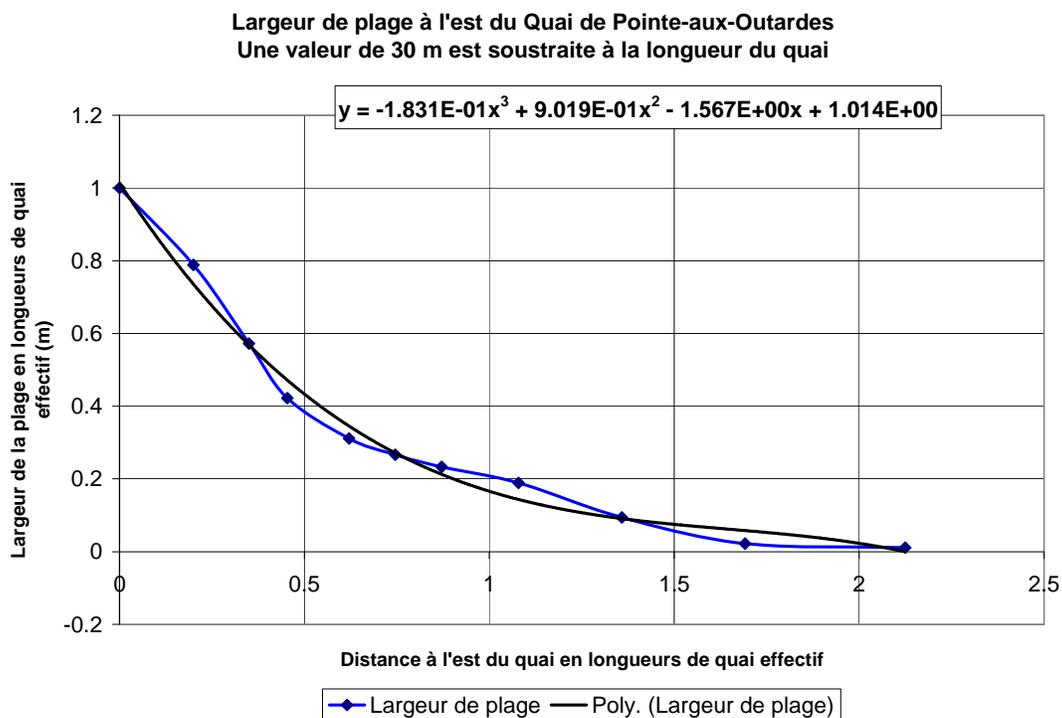


Figure 45: Formule adimensionnelle d'évaluation de la largeur de plage à proximité du quai



6.5 Cas de Pointe-aux-Outardes

Pour Pointe-aux-Outardes, la présence de la rivière aux Outardes à l'ouest, qui s'avère un puits pour les sédiments (pertes vers le chenal laurentien), incite à proposer la construction d'un long épi terminal à l'ouest qui pourrait servir à trapper les sédiments en transit vers l'ouest et éventuellement servir de dépôt pour une éventuelle recharge des cellules situées à l'est. La présence de l'ancien quai nous enseigne sur le transport longitudinal qui apparaît dominant d'est en ouest.

Pour Pointe-aux-Outardes, on doit viser une largeur de plage minimum de 30 m (distance entre le pied de talus et la cote 0.0 m géodésique). La largeur de plage protégée par l'épi est alors 2 fois sa longueur effective. Retenons deux fois la longueur et assumant que la partie aval sera également protégée, ceci revient à planter un épi à toutes les quatre longueurs effectives d'épi le long du littoral à protéger. Cette valeur se situe à la limite supérieure de la fourchette de 2 à 4 fois la longueur proposée par le CEM et le CIRIA mais on préconise cette valeur en se basant sur l'effet du quai existant et par souci de minimiser les coûts d'implantation. Rappelons que cette longueur d'épi est celle qui est calculée à partir de la limite au large de la plage de largeur minimum.

Pour les fins des calculs économiques pour l'ACA, on propose une longueur effective d'épi de 60 m, soit 4 fois la longueur de la plage sèche, pour une longueur totale de 90 m par rapport au pied de talus. Cette longueur totale s'inscrit à l'intérieur de la limite subjective établie à la section 5.1.5 du rapport et qui est à la cote -1 m et dont la longueur par rapport au pied de talus est de l'ordre de 130 m. Ceci laisse donc une bande de transport longitudinal d'une quarantaine de mètre pour assurer un certain transit longitudinal. La profondeur à l'extrémité de l'épi se situerait entre la cote 0.0 (située à environ 30 m de la rive) et la cote -1,1 m (peut varier selon la position). La distance proposée entre les épis est de 200 m, soit un peu plus que 3 fois la longueur effective pour prendre en compte le fait que la longueur d'influence est moindre à l'ouest du quai. La hauteur de l'épi doit être à l'élévation de la plage sèche au début et suivre la pente de la plage reconstituée. La largeur en crête devrait être d'au moins trois blocs et la dimension des blocs déterminée en considérant l'attaque par vague déferlante.

Un tapis parafouille devrait être construit à la base des épis car ceux-ci seront soumis à la vague déferlante à chaque cycle de la marée, au montant comme au baissant et qu'ils peuvent reposer sur les couches d'argile sensible. Le dimensionnement final devrait être établi par un géotechnicien qui tiendra compte de la capacité portante et du tassement potentiel.



7 Protection par brise-lames d'avant-côte (*offshore*)

Les principes sous-tendant l'utilisation des brise-lames d'avant-côte (*offshore*) (Figure 46) sont que les vagues qui proviennent d'une direction persistante diffractent autour de l'ouvrage avant de réfracter dans la baie. Les vagues déferlent à angle dans la baie et transportent les sédiments jusqu'à ce que l'équilibre se produise. À ce stade, les vagues se brisent simultanément sur le pourtour entier de la baie et il y a alors absence de courant longitudinal. La baie est alors considérée en équilibre statique. Cet équilibre demeure aussi longtemps que la provenance des vagues ne change pas.



Figure 46: Brise-lames d'avant-côte (*offshore*)

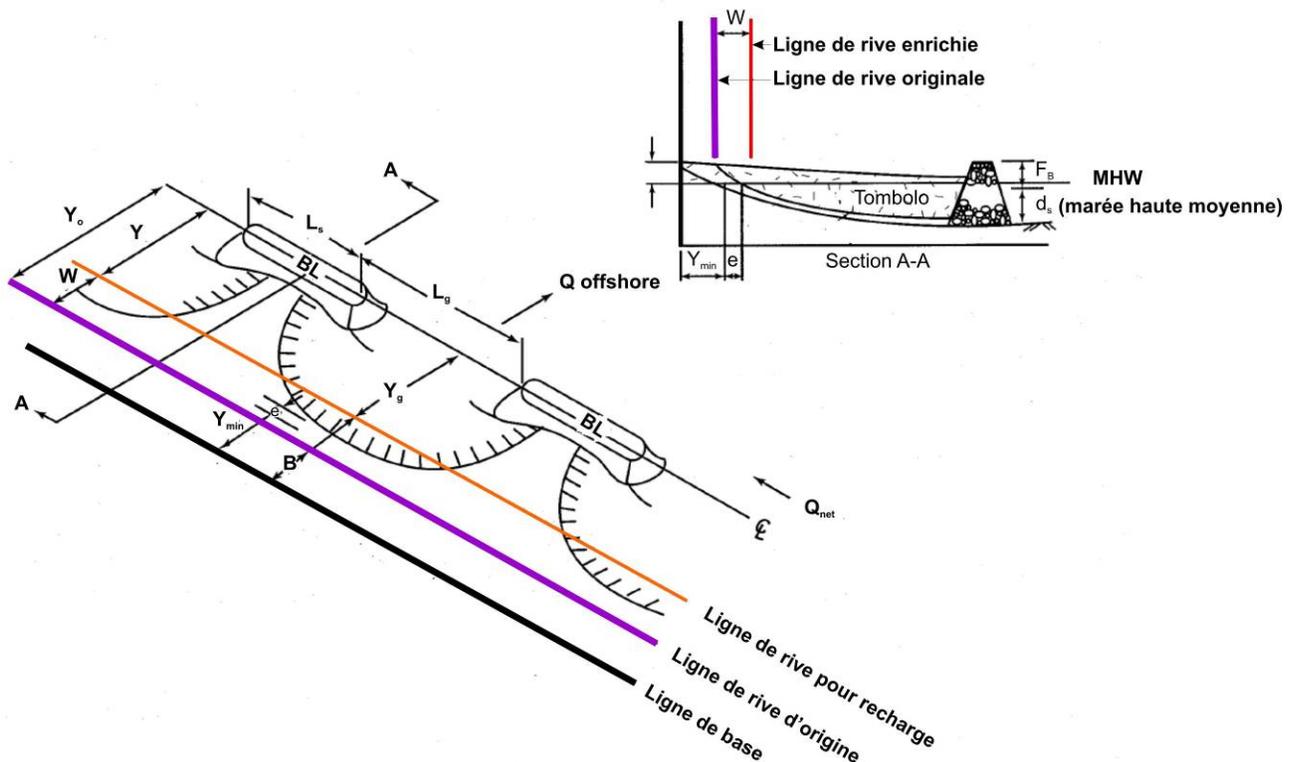


Figure 47 : Définition des paramètres pour un brise-lame d'avant-côte



Tout comme les barres, ils réduisent l'énergie des vagues atteignant la région protégée. Cette réduction de l'énergie ralentit la dérive littorale, ce qui produit une déposition de sédiments et la formation d'une protubérance sur la côte.

Les objectifs visés par la construction de ces ouvrages sont :

- Allonger la durée de vie d'une recharge de plage
- Procurer une protection au haut de plage contre l'attaque par les vagues
- Créer une large plage pour les activités touristiques
- Créer ou stabiliser des milieux humides.

L'implantation peut produire des zones à tombolo à marée basse ou une saillie (*salient* en anglais) à marée haute. Une «saillie» est produite par une portion ennoyée du bras reliant l'ouvrage à la terre ferme, comme illustré à la Figure 46.

Qualitativement, lorsque les brise-lames sont longs et/ou localisés près de la côte, les conditions favorisent la création de tombolos. Le CEM cite Daly et Pope qui recommandent :

$$\frac{L_s}{Y} = 1.5 \quad \text{à} \quad 2 \quad \text{pour un brise-lames simple}$$

$$\frac{L_s}{Y} = 1.5 \quad L \leq L_g \leq L_s \quad \text{pour une série de brise-lames segmentés}$$

avec L la longueur d'onde des vagues à la structure. Les définitions apparaissent à la **Figure 47**. Pour la formation de protubérances, le rapport doit être inférieur à 1 et certains auteurs proposent une valeur variant entre 0,4 et 1. Pour des valeurs inférieures à 0,15-0,3, il n'y a pas de sinuosité.

La Figure 48, tirée du CEM vol V – section 3, présente une tentative de classement du type de forme côtière observée en fonction de rapports adimensionnels pour une série de brise-lames d'avant-côte (les variables sont définies à la Figure 47).

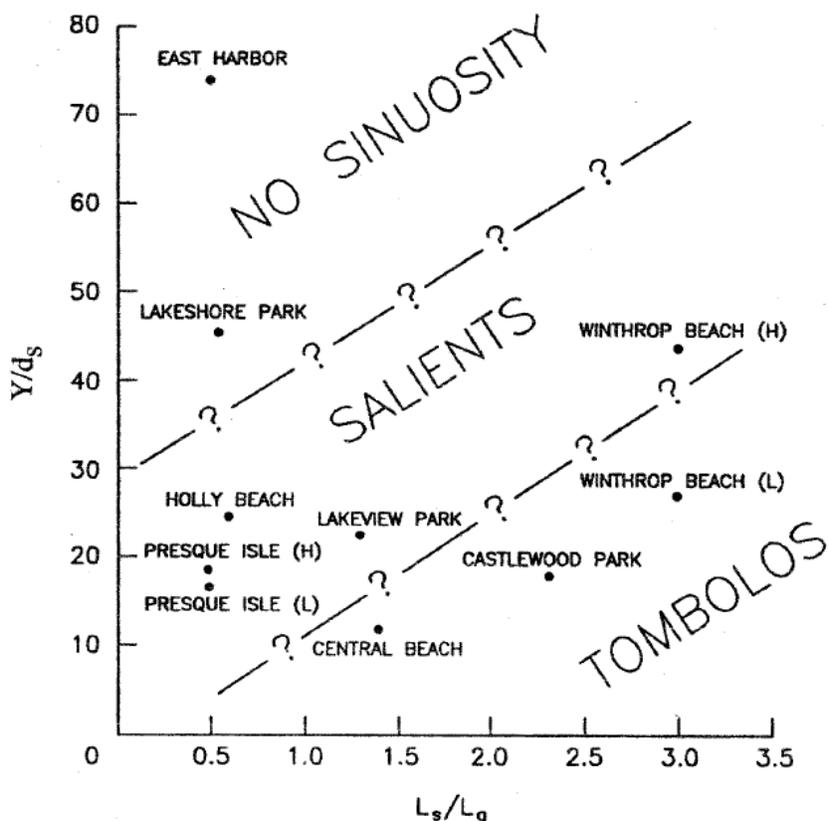


Figure 48 : Classement de différents projets de brise-lames d'avant-côte en fonction de rapports adimensionnels (tiré du USACE Vol V – partie 3).

Le dimensionnement de ce type d'ouvrage est complexe et doit prendre en considération la réfraction derrière l'ouvrage. L'utilisation de modèles d'érosion comme SBEACH (USACE) est généralement utilisée par les américains pour évaluer la largeur de berme qui subsisterait suite à l'attaque d'une tempête associée à la période de retour retenue pour le dimensionnement. Ces aspects n'ont pu être abordés dans le cadre de cette étude d'ACA, car ils auraient nécessité un effort important. Aucun exemple de calcul n'a donc été réalisé pour ce type d'ouvrage. Il est toutefois recommandé d'investiguer ce type de solution à l'étape d'avant-projet en se dotant de ces logiciels ou en les développant.

7.1 Protection en brise-lames d'avant-côte réalisée à Pointe-Lebel.

Il a été porté à notre connaissance que des brise-lames d'avant-côte ont été implantés à Pointe-Lebel, à l'est de Pointe-aux-Outardes. La Figure 49, tirée de Google Earth le 9 avril 2008, indique la présence de saillies mais également une faible largeur de plage au droit des ouvertures. La qualité de l'image est faible mais il nous semble que de l'enrochement linéaire est présent en berge au droit des ces ouvertures. Donc, à toute fin pratique, il y aurait de l'enrochement sur toute la longueur du littoral.

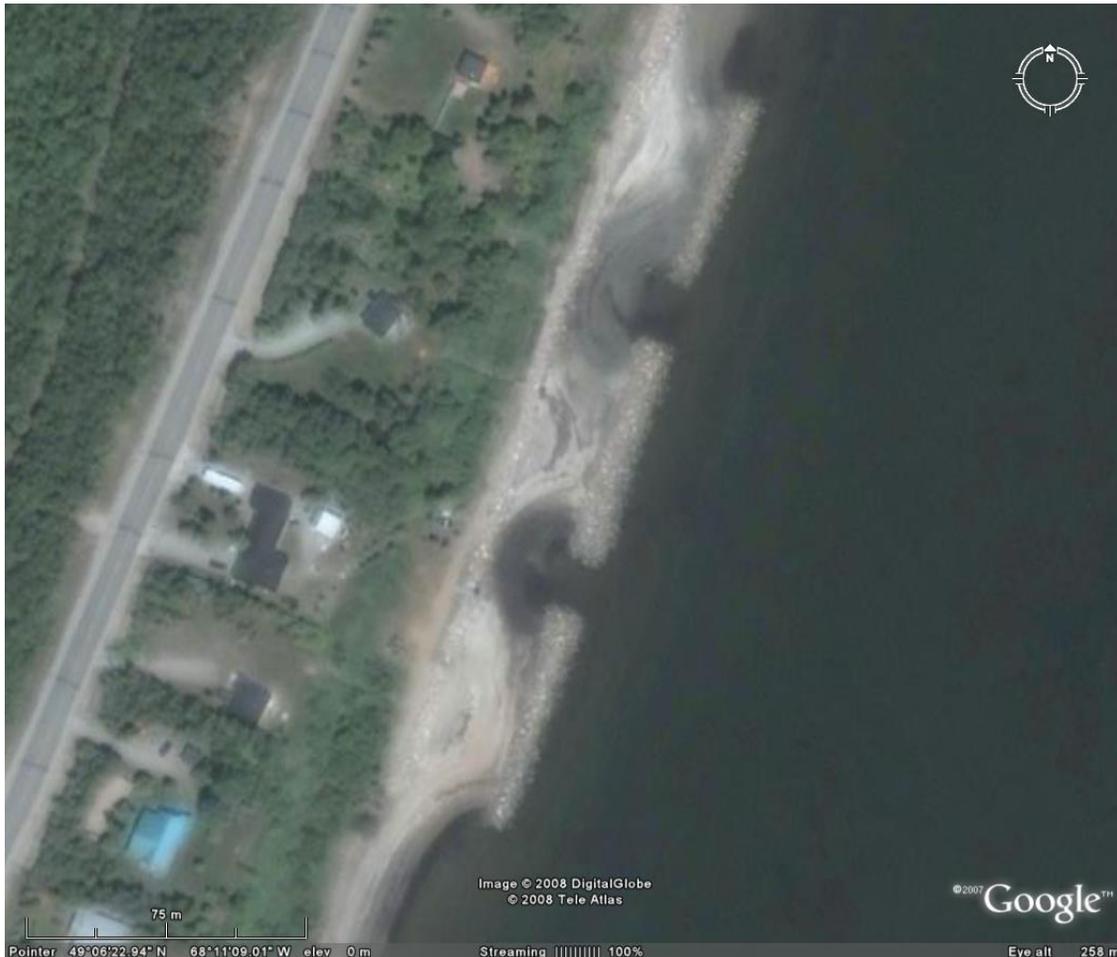


Figure 49 : Brise-lames d'avant-côte à Pointe-Lebel.

On constate également que la largeur de l'ouverture entre les brise-lames est faible ($L_s \gg L_g$). Cette implantation est à comparer avec celles de la **Figure 50** dotées de plus grandes ouvertures. À noter également sur la **Figure 50** que les brise-lames sont formés de deux segments anguleux, formant un \angle . Cet agencement permet de limiter les courants de retour et s'avère efficace pour des attaques par les vagues couvrant un large secteur.



VanDyke Project
Pre-Construction
1994



VanDyke Project
Two Years After
Construction
1999



a. Van Dyke Project

Luter Project
One year after construction, May 1999
Approximate photo scale 1 inch=200 ft



b. Luter Project

Figure 50 : Implantations de brise-lames d'avant-côte.

On peut tirer des enseignements de l'ouvrage implanté à Pointe-Lebel, dans des conditions jugées peu propices à ce type d'ouvrage car le marnage de la marée y est largement supérieur à 1 m. On peut également évaluer la performance de l'enrochement utilisé face aux sollicitations vécues depuis sa mise en place, notamment par rapport à l'impact dû aux glaces. Il est recommandé, en phase d'avant-projet, d'analyser en profondeur les caractéristiques et la performance de cet ouvrage.

7.2 Discussion

L'implantation de ce type d'ouvrage à Pointe-aux-Outardes n'est pas recommandée, car les conditions du milieu propice à ce type de protection ne s'y retrouvent pas selon la bibliographie. L'expérience de Pointe-Lebel mérite toutefois qu'on s'y attarde en phase d'avant-projet, pour mieux établir les pour et contre de ce type de mesure.



8 Schéma de protection pour Pointe-aux-Outardes

À la lumière des analyses effectuées aux sections précédentes, nous présentons un schéma jugé intéressant pour la stabilisation de berges à Pointe-aux-Outardes. Les dimensions présentées sont à leur minimum afin de fixer le coût minimum qui serait requis pour la réalisation du projet. On doit comprendre que retenir de plus grandes dimensions aura un impact à la hausse sur les coûts mais le degré de protection, face à des événements extrêmes, devrait également suivre à la hausse.

La variante consiste en une recharge de plage à laquelle, on ajoute des épis qui ont pour fonction de ralentir le transit longitudinal (période de demi-vie courte pour une recharge de 1 km de longueur) et de diminuer l'énergie des vagues en rive. Ces conditions devraient aider à contenir le sable à l'intérieur des cellules entre les épis. Le volume requis pour enrichir la plage est établi sur la base de la largeur de la micro-terrasse existante observée, qui est de l'ordre de 15 m. On retient une élévation de 2,3 m comme hauteur de la plage sèche aux fins des calculs de volumes. Plus cette élévation est élevée, plus grands sont les volumes requis car le profil d'équilibre visé s'en trouve surélevé et meilleure la protection envisagée.

L'approche du USACE est retenue (volume V du Coastal Engineering Manual) pour évaluer de façon sommaire quels seraient les volumes requis dans les zones où la micro-terrasse est disparue. Les calculs pour l'obtention d'une plage d'équilibre ont été réalisés sur 38 sections. La **Figure 51** présente la localisation des sections retenues pour imposer le profil de la plage d'équilibre et calculer les volumes requis.

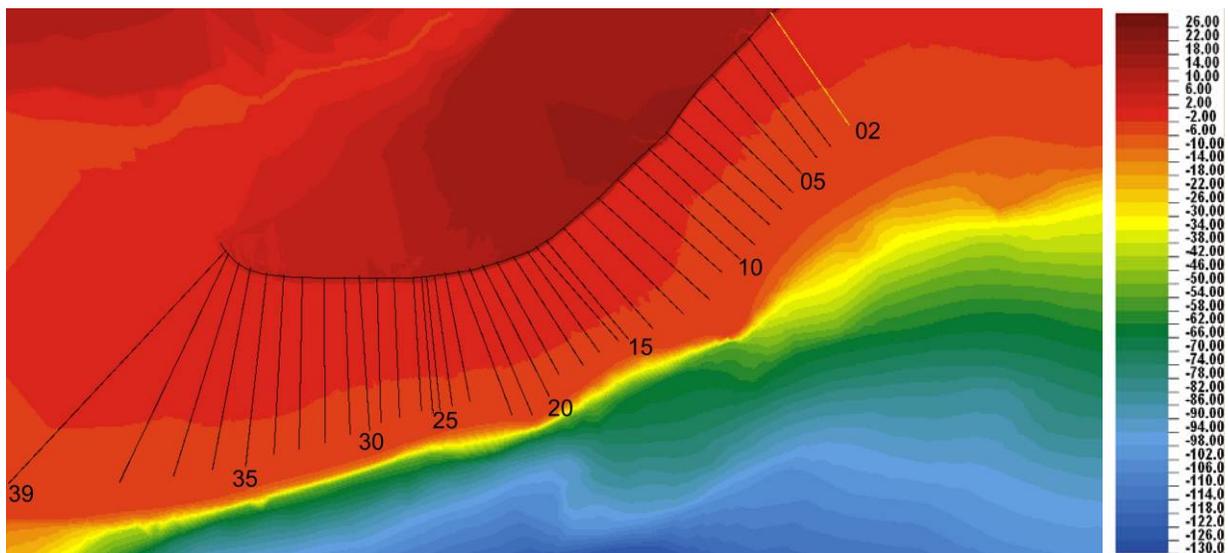


Figure 51: Localisation des sections transversales pour l'évaluation des volumes de recharge

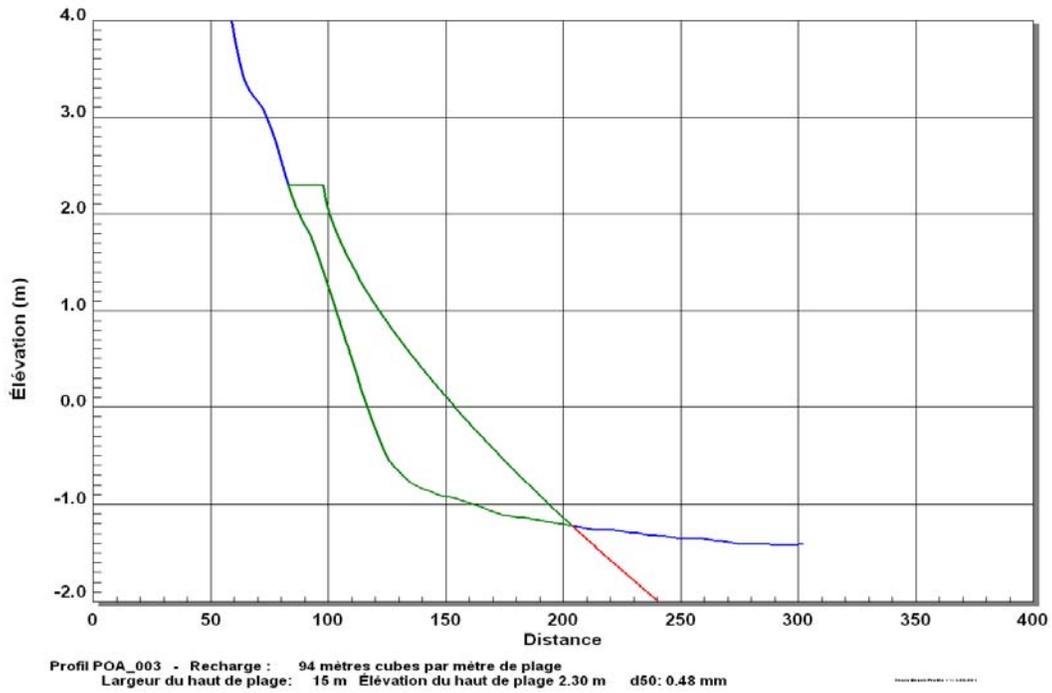


Figure 52 : Profil d'équilibre implanté à la section 3.

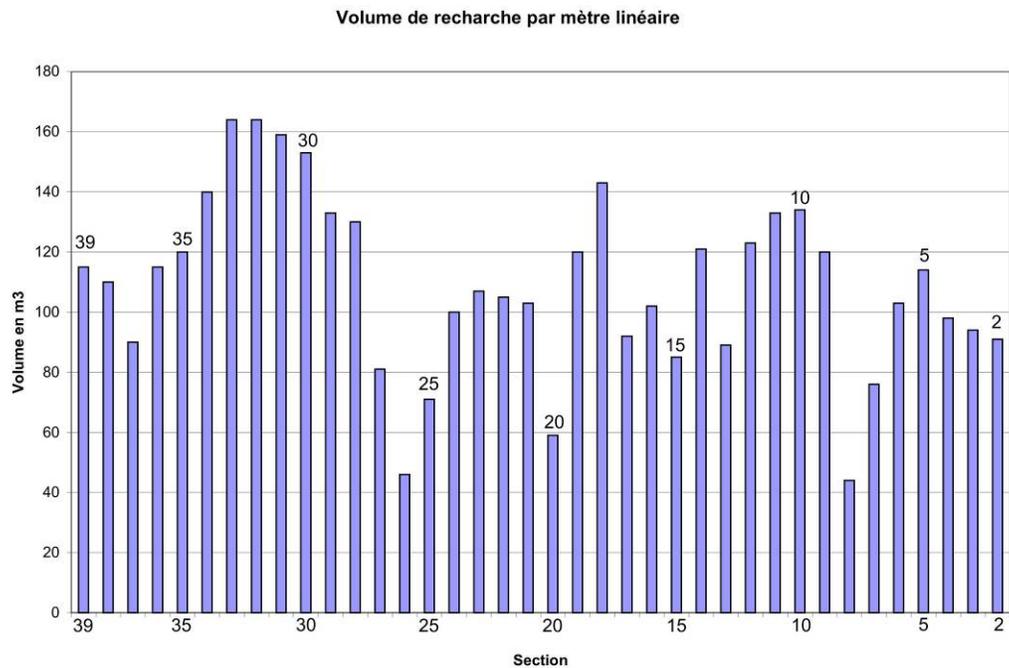


Figure 53 : Variation du volume requis par mètre linéaire de plage





La Figure 52 présente le résultat du calcul d'un profil d'équilibre pour la section 3. Le volume de recharge par mètre linéaire est obtenu en calculant l'aire délimitée par le trait vert. Le trait rouge présente la continuité du profil d'équilibre, sous le sol qui lui est représenté par le trait bleu. Les résultats pour les 38 sections sont groupés à l'annexe I. La **Figure 53** synthétise la variation du volume nécessaire pour chaque section. Le volume moyen requis est de l'ordre de 109 m^3 au mètre linéaire. On doit noter que les résultats, sur cette dernière figure, sont présentés avec la section 39 à la gauche et la section 2 à droite pour faciliter le repérage par consultation de la **Figure 51**.

Il faut également noter que les applications de formules analytiques au cas de Pointe-aux-Outardes ont été particularisées en considérant le profil de plage présenté à la Figure 4 de la présente annexe. Des résultats différents, provenant de calculs similaires, sont attendus selon le profil qui est retenu. Le but, ici, est toutefois de présenter les concepts et les ordres de grandeur qui sont obtenus lorsqu'on étudie le cas de Pointe-aux-Outardes. Des calculs plus exhaustifs seront requis en phase d'avant-projet pour valider et paufiner le concept.

8.1 Protection supplémentaire

L'ajout d'une quantité supplémentaire de 0,7 m d'épaisseur (jusqu'à la cote 3 m) sur la plage sèche serait souhaitable pour se donner une protection supplémentaire contre l'attaque d'une tempête importante. Ceci se traduirait par une quantité supplémentaire de $10,5 \text{ m}^3/\text{s}$ au mètre linéaire si la largeur de plage sèche demeurerait à 15 m.

Une berme de largeur réduite, dont les dimensions restent à établir et formée d'un matériau plus grossier (galet), peut également être construite en pied de talus, comme protection ultime contre la sappe par des vagues qui se produiraient en conditions exceptionnelles.

Chacune de ces mesures a son coût et comme dans tout projet, on doit trouver la zone de confort, c'est-à-dire, celle pour laquelle on est prêt à payer un prix additionnel pour obtenir un gain en sécurité jugé significatif.

8.2 Remarques

Le schéma présenté dans cette section n'a pas la prétention de protéger complètement la côte. Il est irréaliste de penser que ces travaux permettront de résister à toute attaque. Le but visé toutefois est d'augmenter appréciablement le degré de protection en prenant en considération la capacité de financer les travaux remédiateurs. Des calculs plus raffinés sont recommandés en phase d'avant-projet pour confirmer certains paramètres notamment la largeur de plage sèche et la non adéquation des brise-lames *offshore*. L'utilisation de modèles numériques plus sophistiqués est toutefois requise et leur achat ou leur élaboration est jugée nécessaire.



9 Conclusion

Dans cette annexe, nous nous sommes appuyés sur des ouvrages de référence pour d'abord décrire sommairement les phénomènes de transport littoral, et ensuite les principales méthodes de protection de la côte qui sont actuellement utilisées. Ces méthodes nécessitent de calculer plusieurs paramètres hydrauliques déterminants pour la conception. Le développement de certains outils informatiques permettant de réaliser ces calculs de façon rapide et efficace a nécessité un effort beaucoup plus grand qu'anticipé en début du projet. Si elle s'est avérée plus longue que prévue, cette étape était nécessaire, et nous possédons désormais une base d'outils permettant de procéder à des développements plus élaborés, notamment :

- le calcul du bilan du sédimentaire sur une longue période
- le calcul des conditions de vagues durant un cycle complet de marée en considérant l'effet des courants de marée
- l'effet induit par l'implantation d'ouvrages du génie côtier.

Une bonne partie de l'information théorique et l'état des connaissances présentés dans cette annexe proviennent d'une traduction de textes choisis dans certaines sections des ouvrages de référence cités. Ces traductions ont été ordonnées de façon à offrir une synthèse des méthodes de calculs et une démarche logique d'analyse pouvant être utilisées pour évaluer l'importance des travaux requis pour stabiliser une côte. En phase d'avant-projet, il est recommandé de référer à ces ouvrages de référence pour procéder à un dimensionnement plus élaboré. Les sections de cette annexe permettent de procéder rapidement à cette démarche.

Nous considérons également que la présente annexe permet désormais la tenue de discussions techniques visant à améliorer les connaissances pratiques dans ce domaine au Québec. Le souhait des auteurs est que ce document puisse être bonifié à la lumière des commentaires et expériences provenant de spécialistes du domaine côtier pour qu'il puisse devenir un ouvrage de support efficace aux firmes d'ingénierie appelées à concevoir des ouvrages de protection côtière au Québec.



Bibliographie de l'annexe

- Dupuis *et al* 1996. « *Wave Climate of Large Reservoirs and Revised Wave Hindcast Formula* », Pierre Dupuis, Jean-Pierre Tournier et Octave Caron 25th International Conference on Coastal Engineering. Orlando, Fl. September 1996.
- Tournier *et al* 1996. « *An Improved Design Method for the Riprap of Earthfill Dams of Large Reservoirs* ». J.P. Tournier, Pierre Dupuis et Raymond Arès. 5th International Conference on Coastal Engineering, Orlando, Fl.
- Mansard *et al* 1996. « *Model Study of Reservoir Riprap Stability* ». E. Mansard, M.H. Davis and O. Caron. 5th International Conference on Coastal Engineering, Orlando, Fl.
- Dupuis, Pierre 1993. « *On the use of van der Meer and Hudson formulae for the riprap design of large dams* ». Pierre Dupuis. Discussion soumise et acceptée au International Riprap Workshop 1993. Fort Collins, Colorado.
- CIRIA 1991. « *Manual on the use of Rock in coastal and shoreline Engineering* ». CIRIA special publication 83. CUR report 154. A.A. Balkem, Rotterdam, Brookfield, 1991. 607 p. ISBN-0-86017-326-7
- CERC 1984. « *Shore Protection Manual* » U.S. Army Corps of Engineers. Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Virginia. 3 volumes.
- SEBJ 1996. « *Guide pratique. Dimensionnement du riprap* » Société d'Énergie de la Baie James. Décembre 1996. 73 p.



Annexe I : Calcul des volumes théoriques requis pour la recharge de la plage de Pointe-aux-Outardes

Les résultats de cette annexe sont produits sur le CD-ROM qui accompagne ce rapport

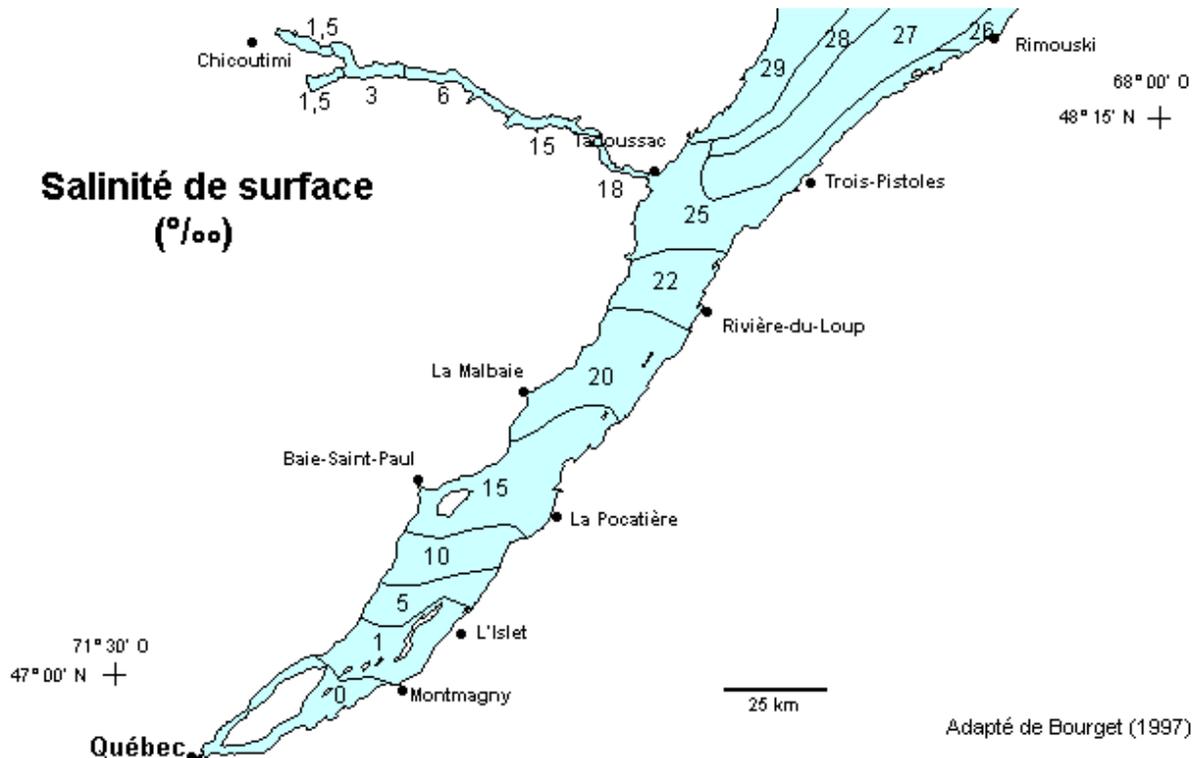


Annexe I

Volumes théoriques de recharge de la plage

Cette annexe présente les résultats de calculs effectués en vue de déterminer les volumes de sable requis pour établir un profil d'équilibre sédimentaire en tenant compte de différents facteurs qui l'influencent excluant l'implantation de nouveaux ouvrages de protection. Les paramètres de base pour ce calcul sont les suivants :

1. Largeur de plage sèche : 15 m
2. Hauteur de la plage sèche : 2,3 m
3. Salinité : 28 $\rightarrow \rho_w \approx 1023 \text{ kg/m}^3$ (voir la figure ci-après)
4. Diamètre médian typique ou d_{50} du sable de recharge = 0,483 mm

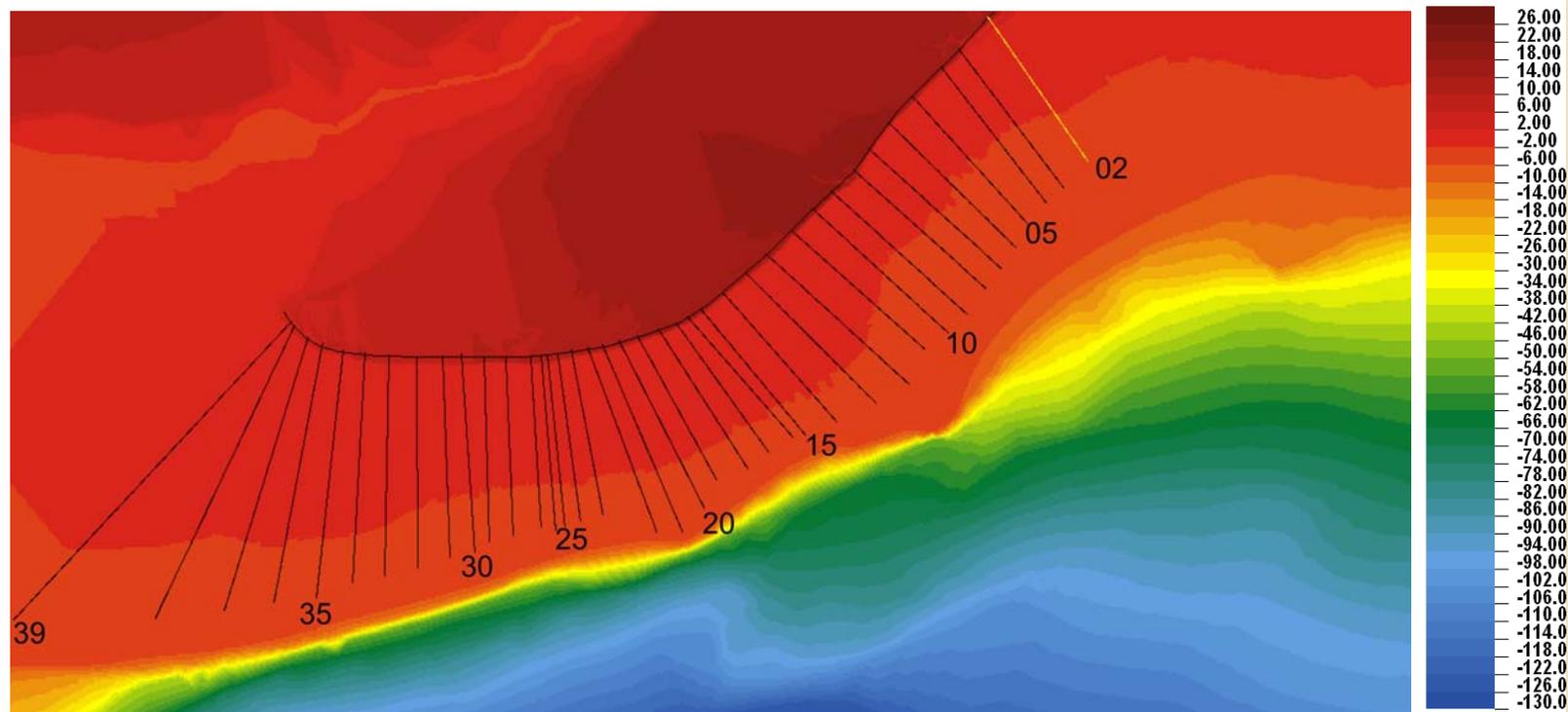


Source : Site web Environnement Canada http://www.qc.gc.ca/faune/biodiv/fr/poissons/ma_salinite.html

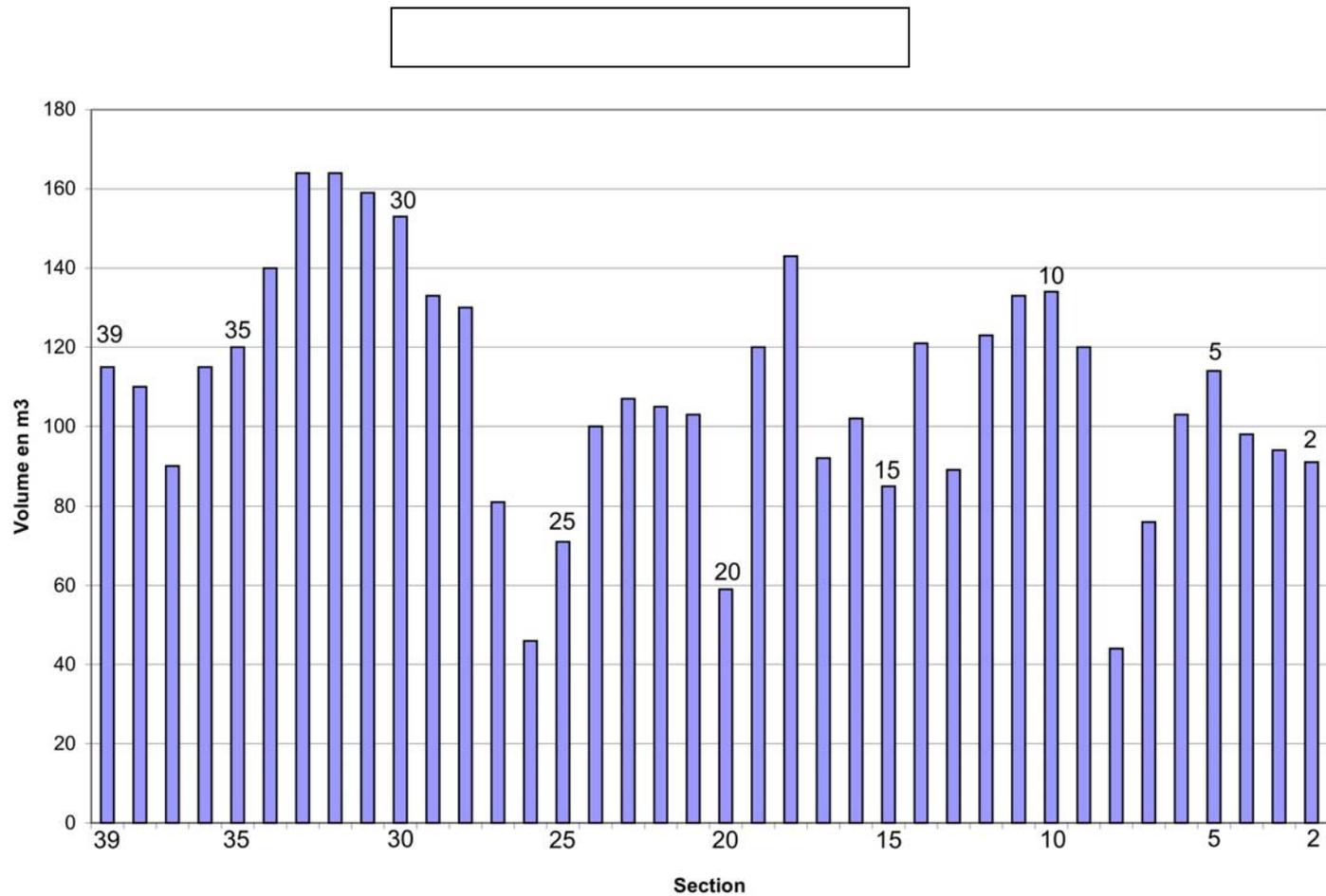
Les volumes sont estimés selon les conditions topographiques existantes localement (38 sections topographiques réalisées à partir des données LIDAR) et ne tiennent pas compte de l'implantation possible d'ouvrages de protection, tels des épis ou l'empierrement linéaire. La figure suivante montre la position en plan des profils de plage définis pour le calcul. Le profil POA-02 est illustré en jaune. On procède de l'est vers l'ouest. Il y a un total de 38 profils (Profils POA-02 à POA-39). La figure qui suit synthétise les résultats obtenus.



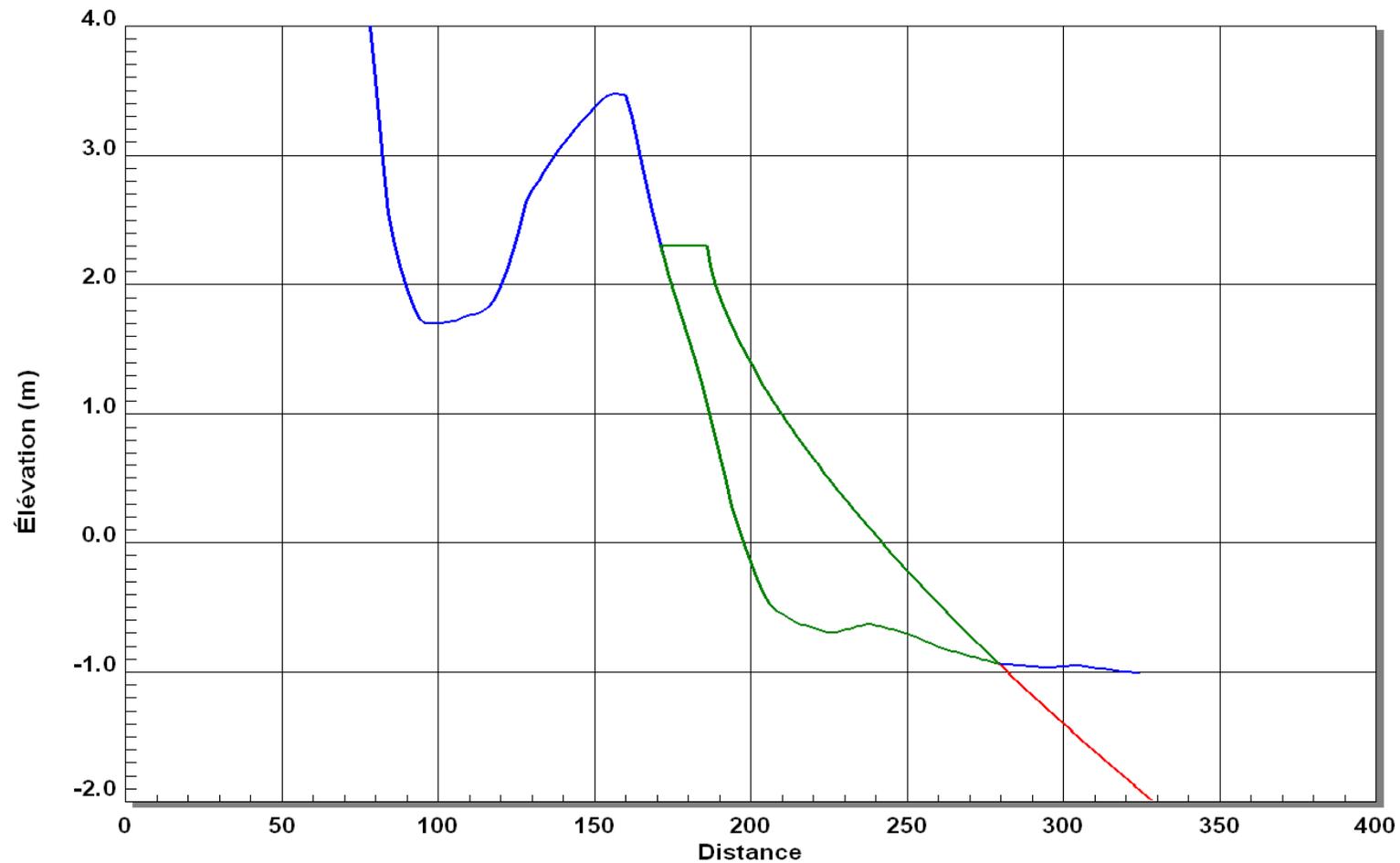
Toutes les autres figures de l'annexe montrent en graphique les profils existants et à l'équilibre une fois la recharge de sable mise en place. Le volume moyen obtenu pourrait varier considérablement dans l'hypothèse où un sable plus grossier ou plus fin serait employé. Une analyse d'optimisation semble requise pour minimiser les coûts de cette composante de projet. La moyenne suggérée ici ($109 \text{ m}^3/\text{m}$) correspond à un sable ayant $0,483 \text{ mm}$ de diamètre médian inclut le segment de côte localisé à l'ouest du quai municipal qui est fortement dégradé par la présence d'un empierrement linéaire. En se concentrant sur le segment situé à l'est du quai (section 26), la moyenne de recharge requise se situerait plutôt aux environs de $90 \text{ m}^3/\text{m}$, la valeur retenue pour l'étude. À l'ouest du quai, le volume requis se situerait plutôt autour de $120 \text{ m}^3/\text{m}$ ($80\text{-}160 \text{ m}^3/\text{m}$). Quoique le calcul soit réalisé pour une recharge simple, sans ouvrage de protection, la valeur fournie est également indicatrice d'une recharge initiale d'épis.



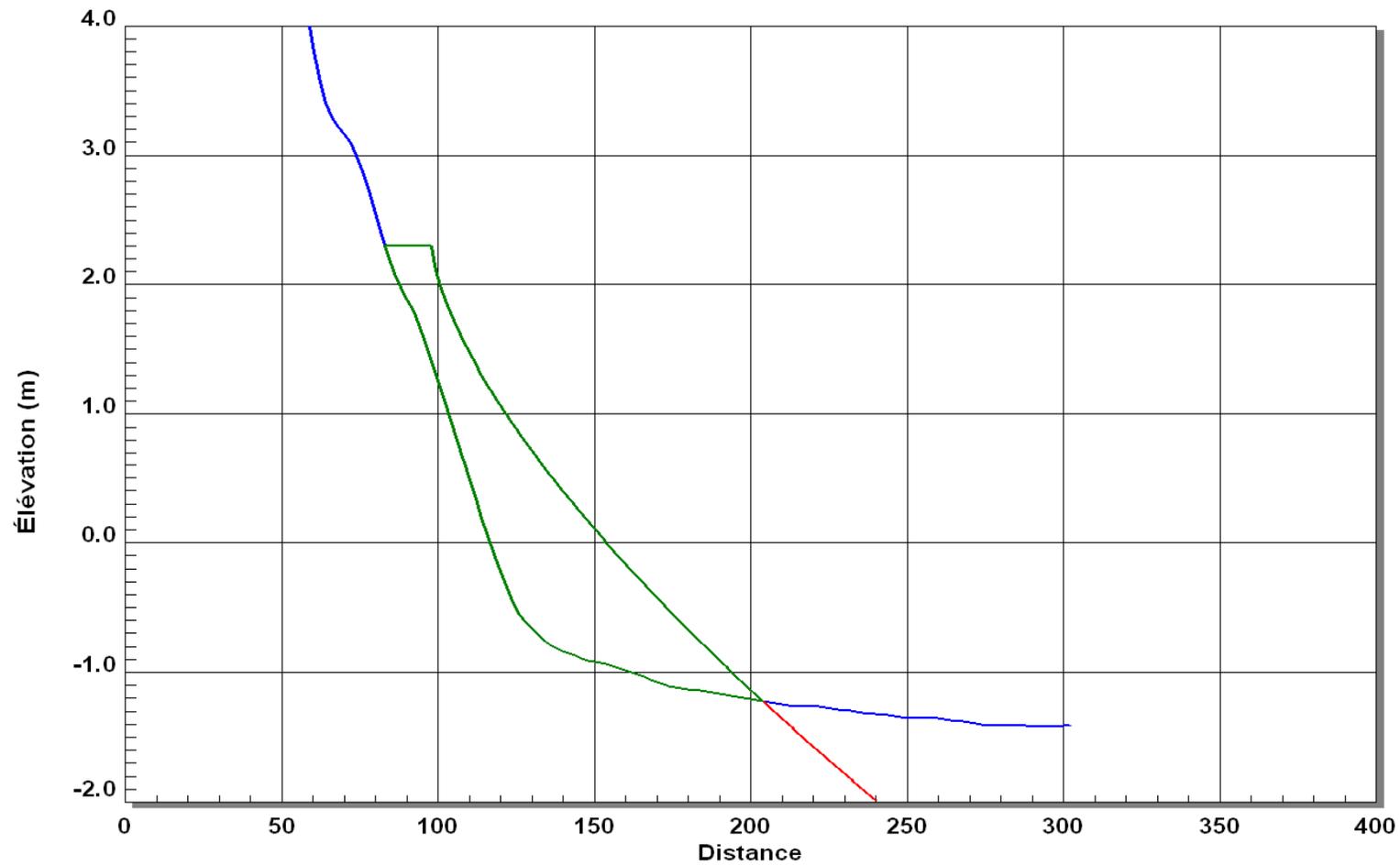
Position des sections pour les calculs de recharge simple en sable (Quai municipal vers la section 26)



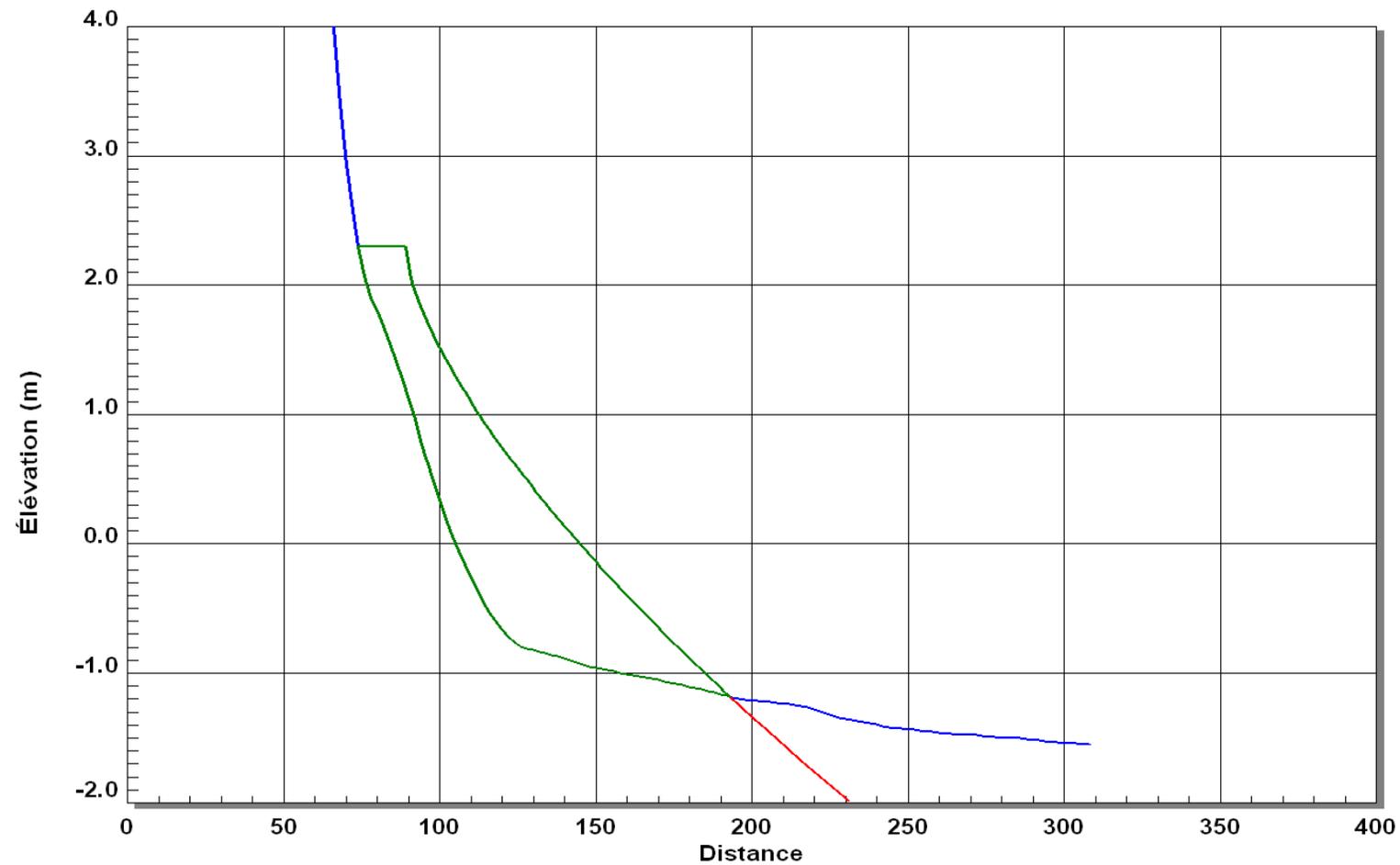
Volume de recharge par mètre linéaire



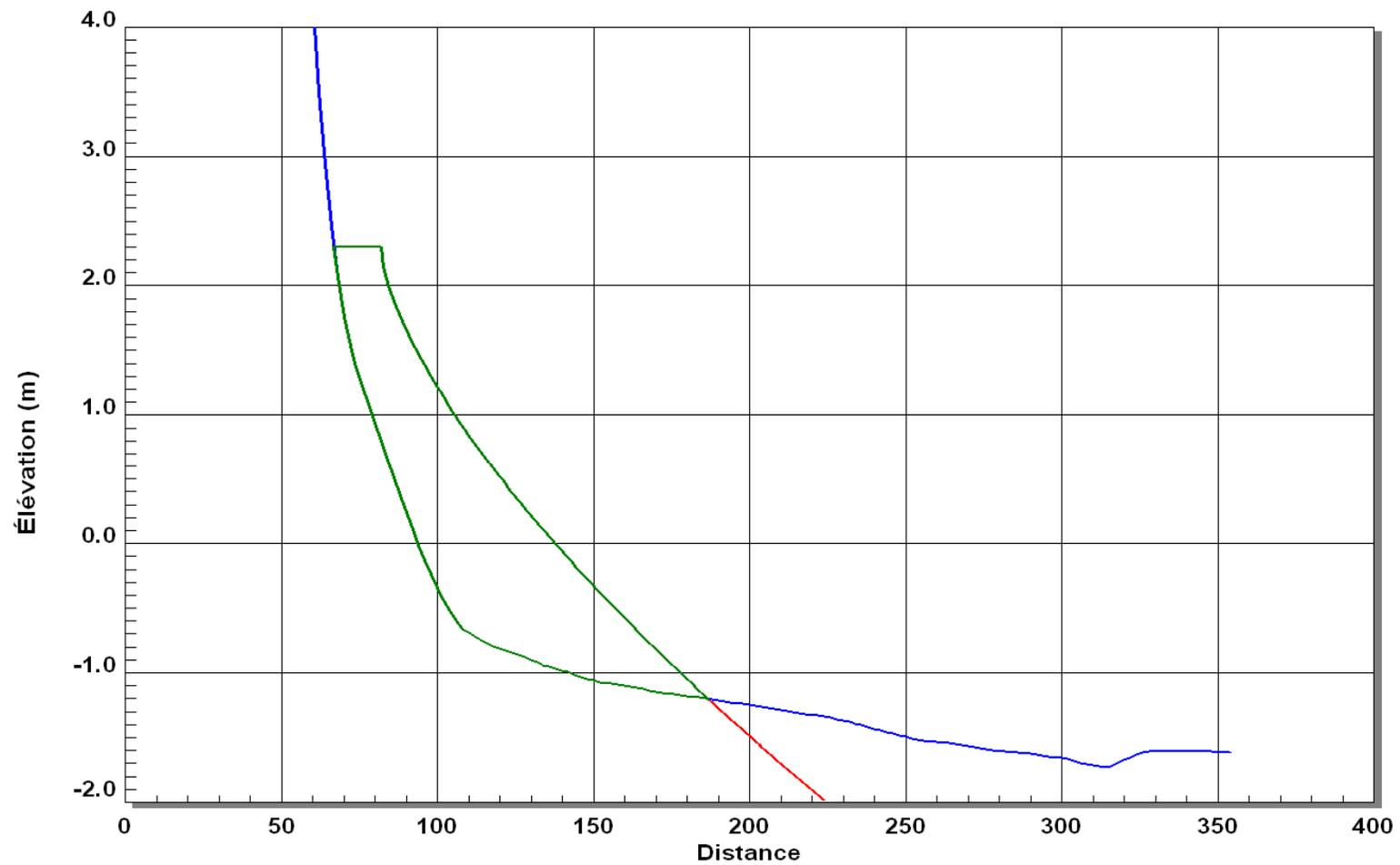
Profil POA_002 - Recharge : 91 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



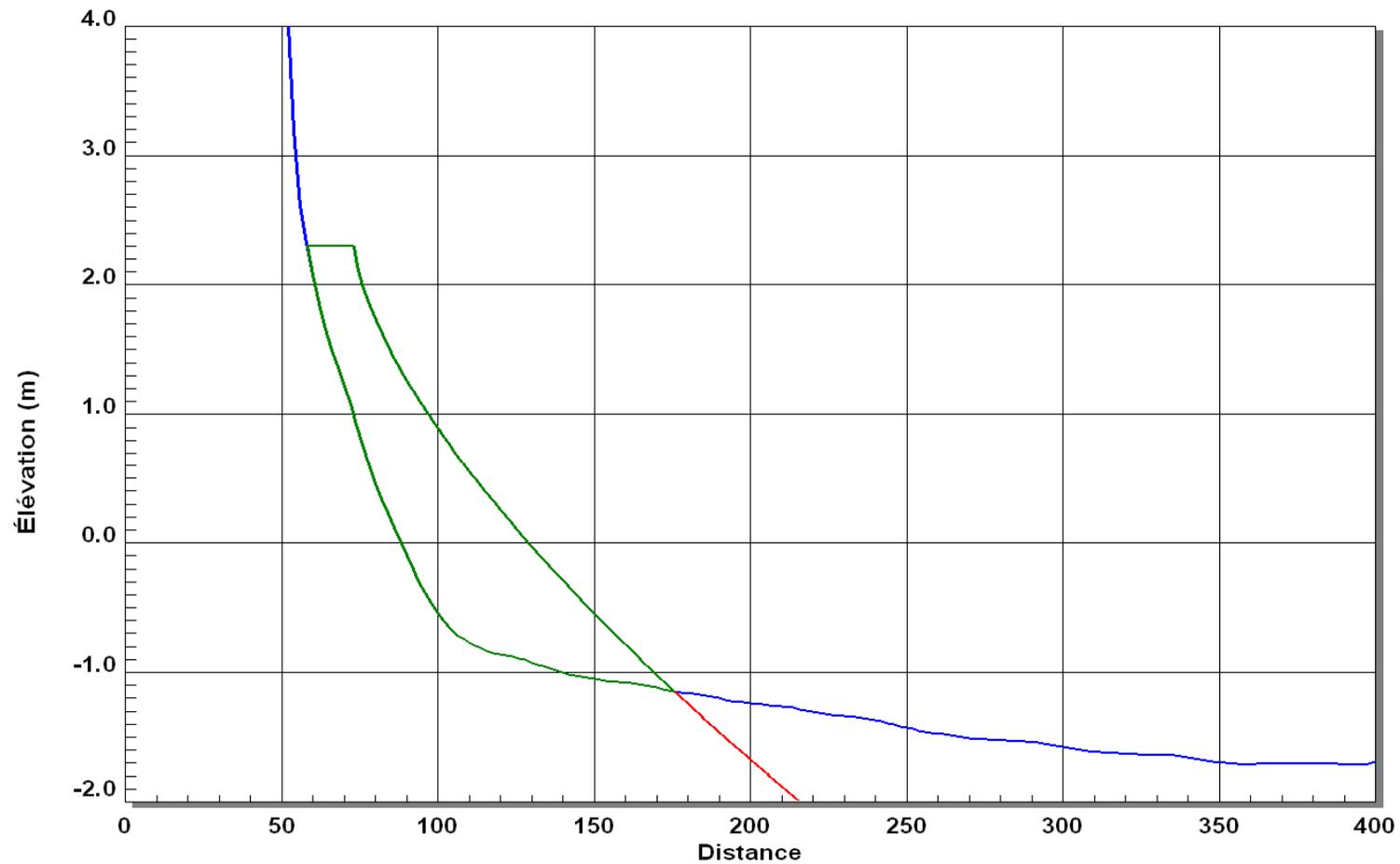
Profil POA_003 - Recharge : 94 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



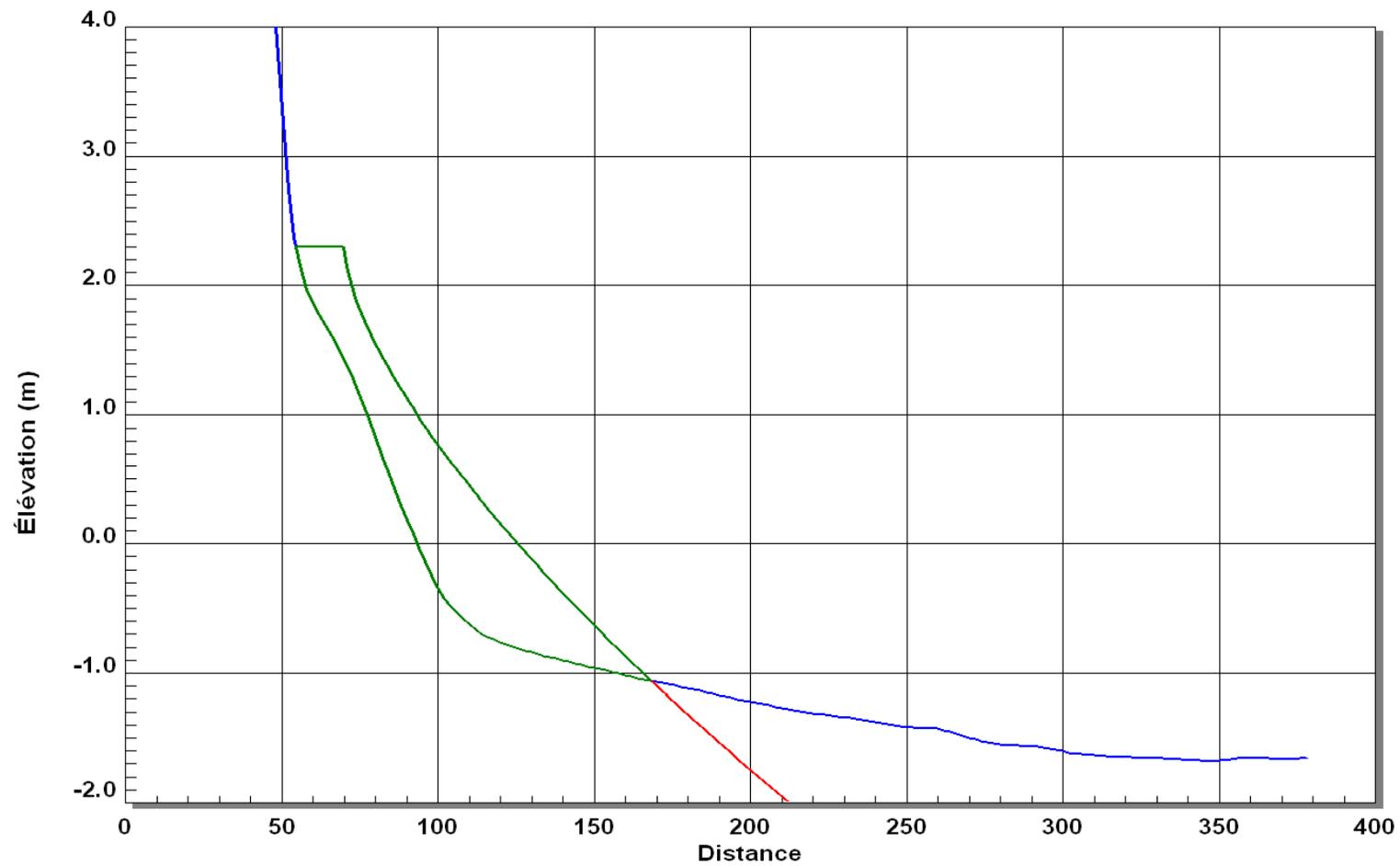
Profil POA_004 - Recharge : 98 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



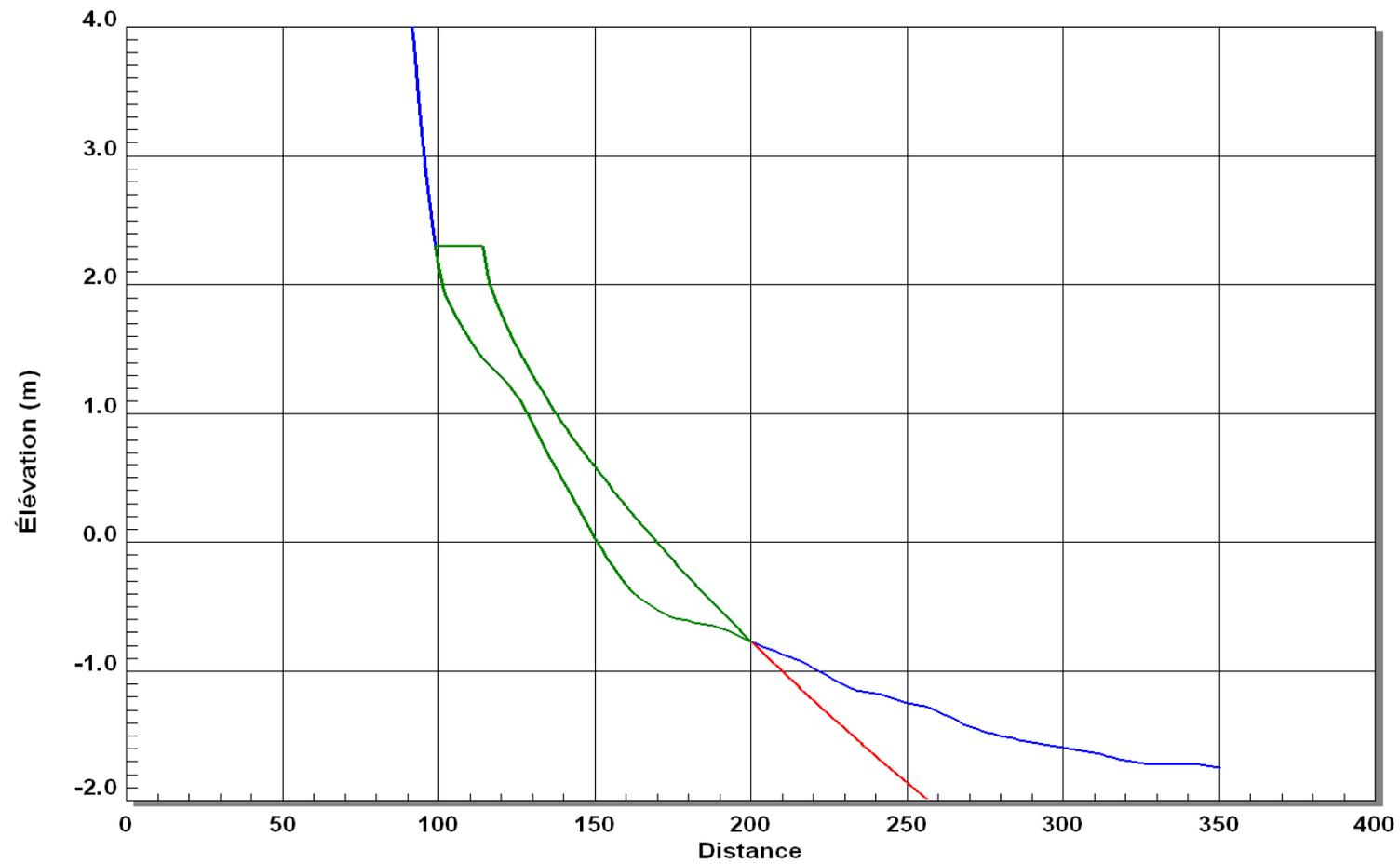
Profil POA_005 - Recharge : 114 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



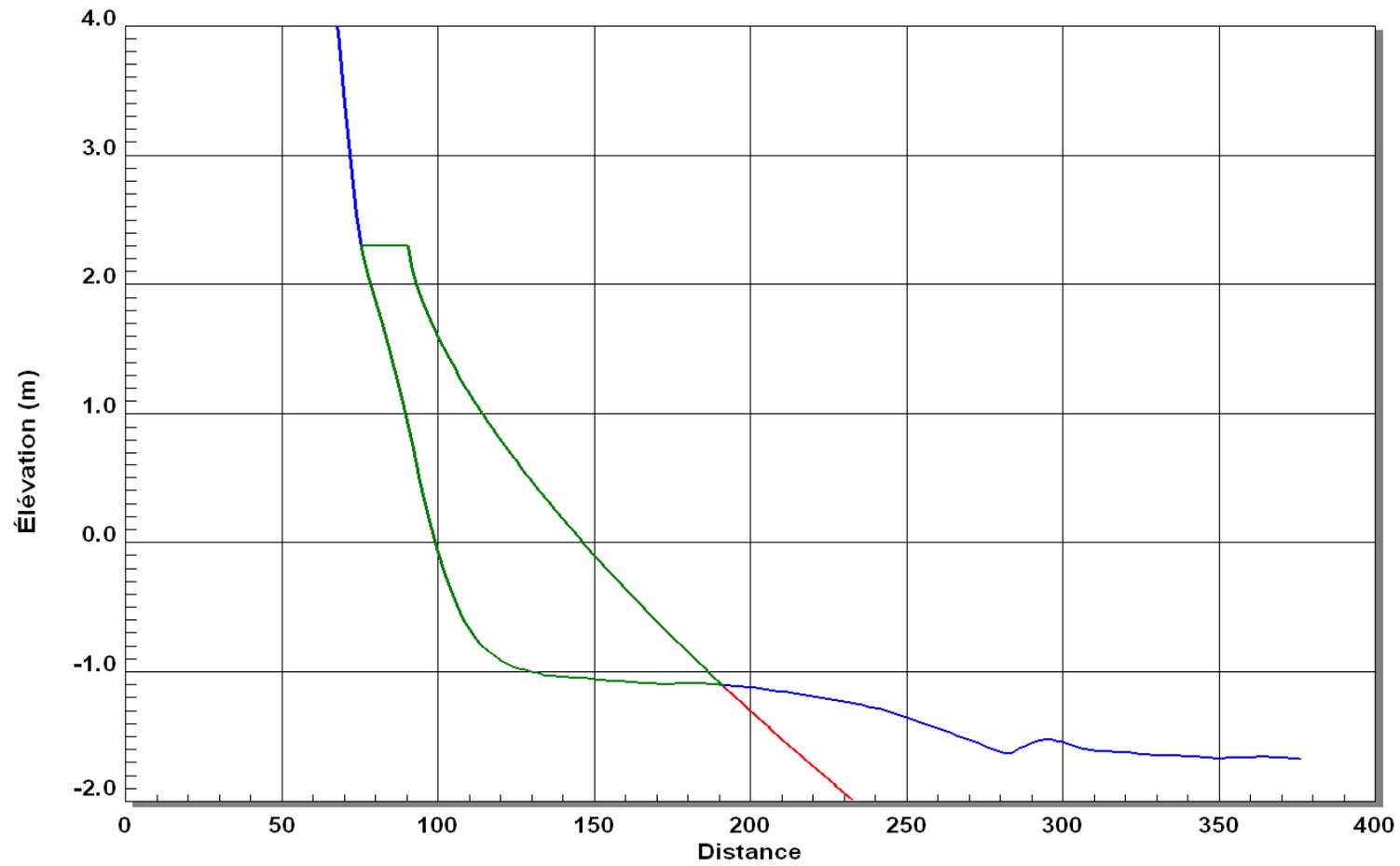
Profil POA_006 - Recharge : 103 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



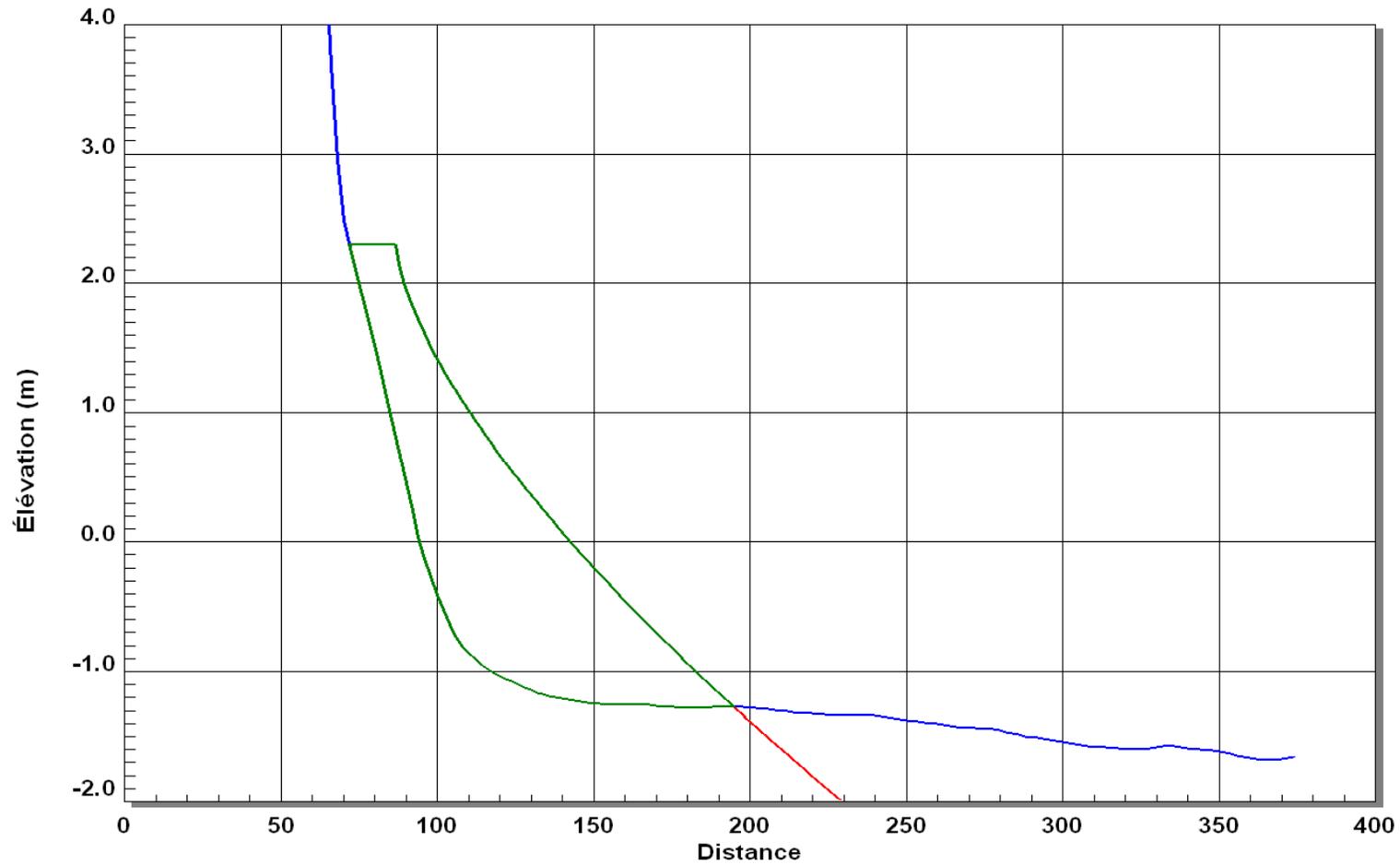
Profil POA_007 - Recharge : 76 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



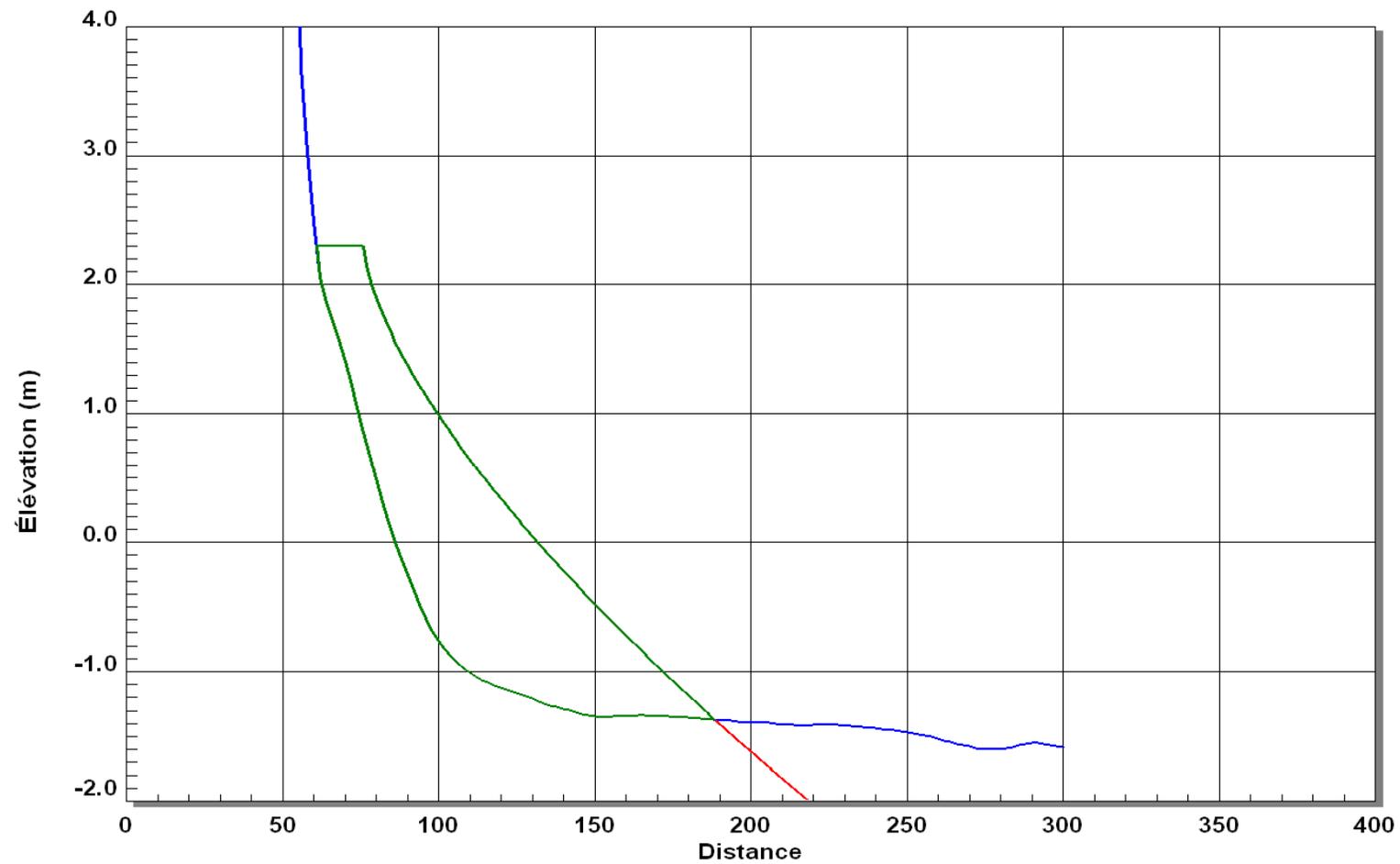
Profil POA_008 - Recharge : 44 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



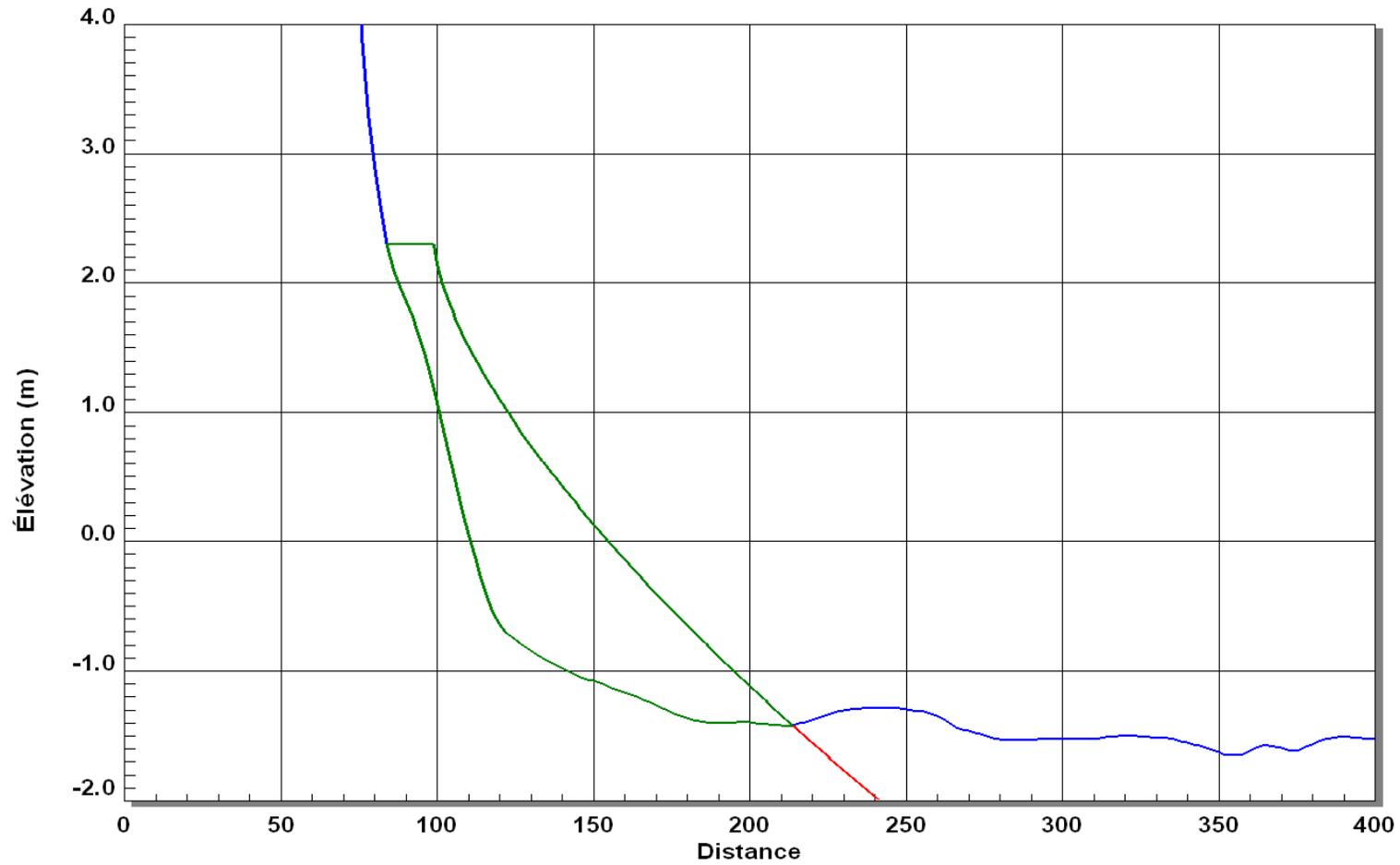
Profil POA_009 - Recharge : 120 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



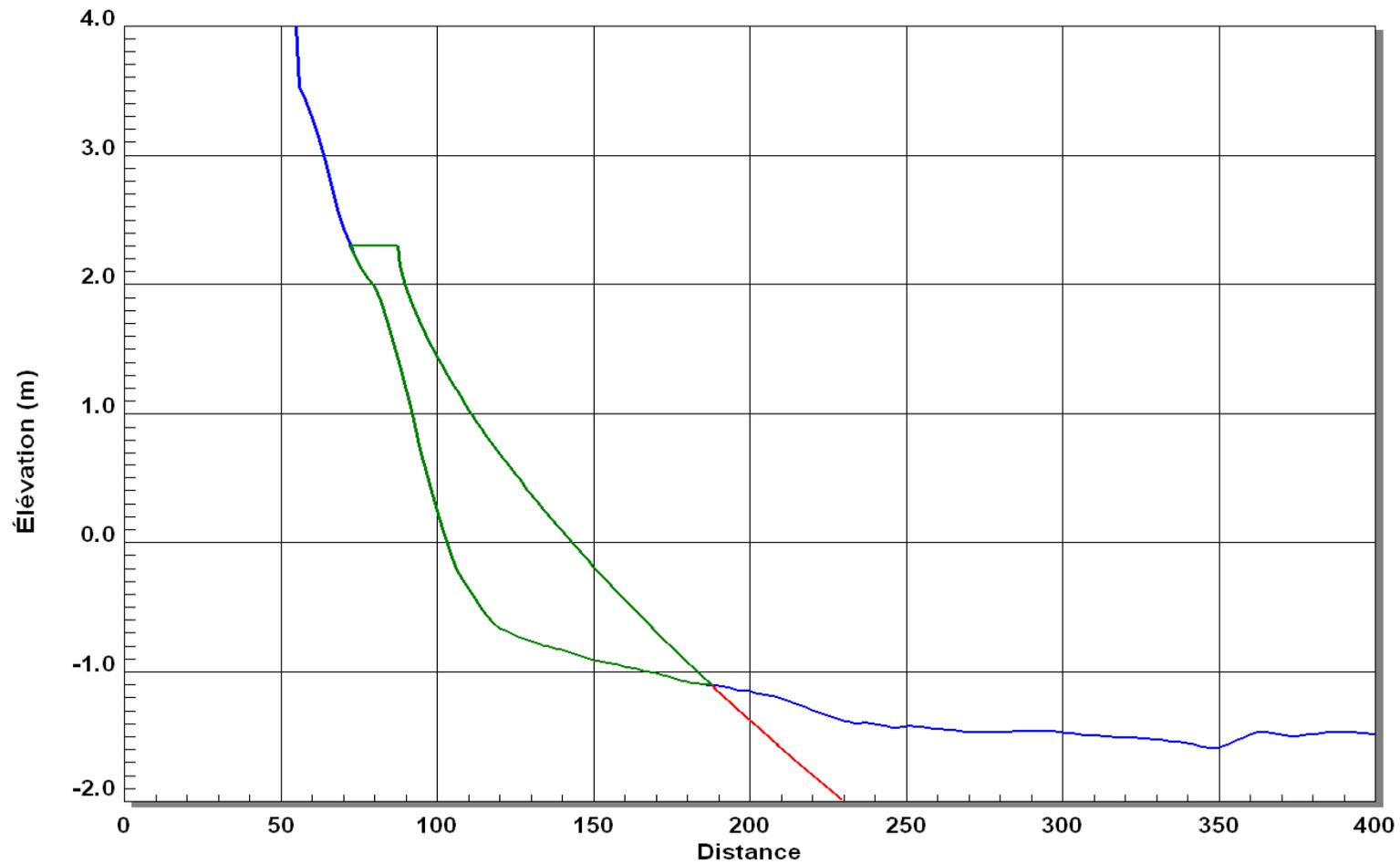
Profil POA_010 - Recharge : 134 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



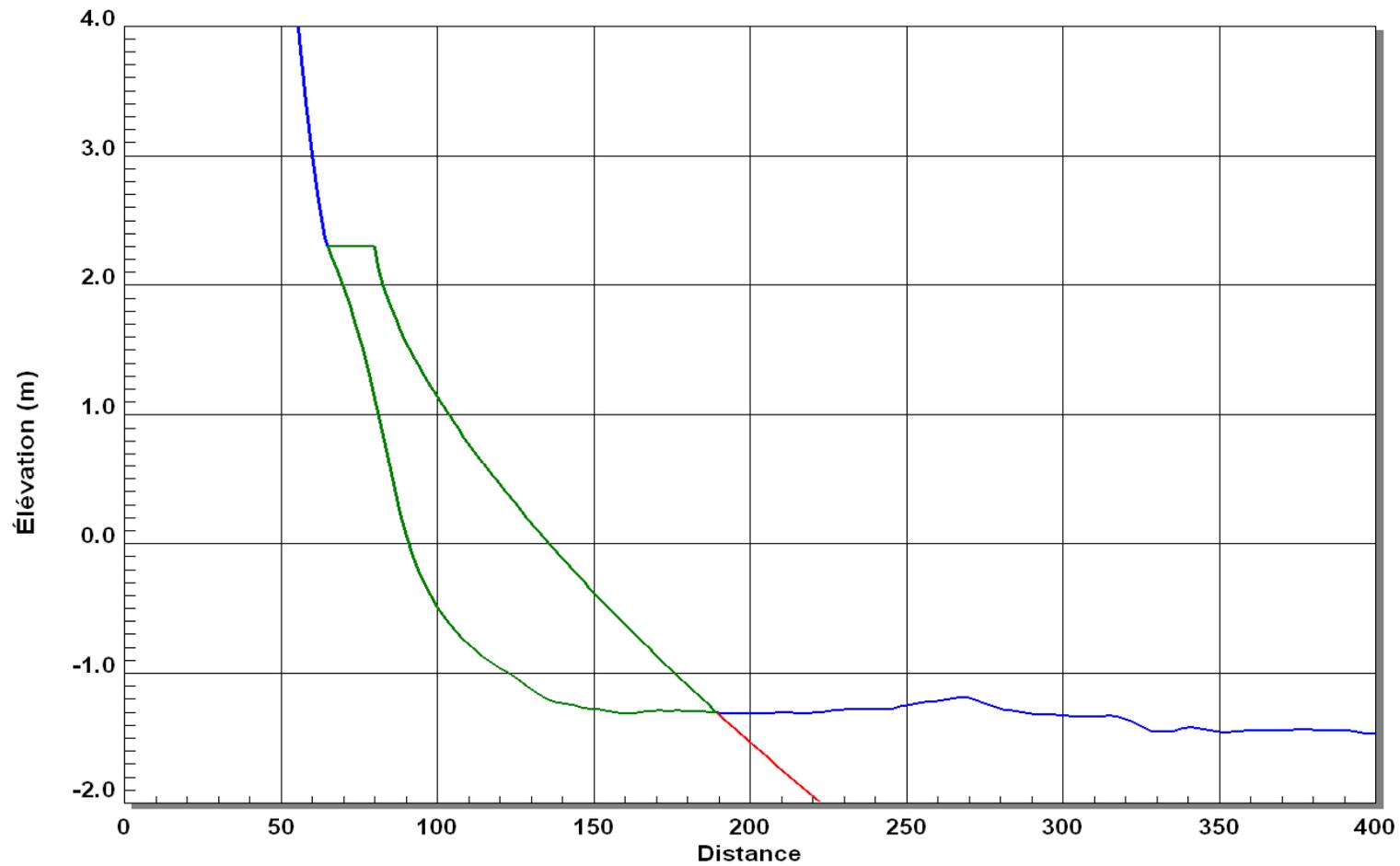
Profil POA_011 - Recharge : 133 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



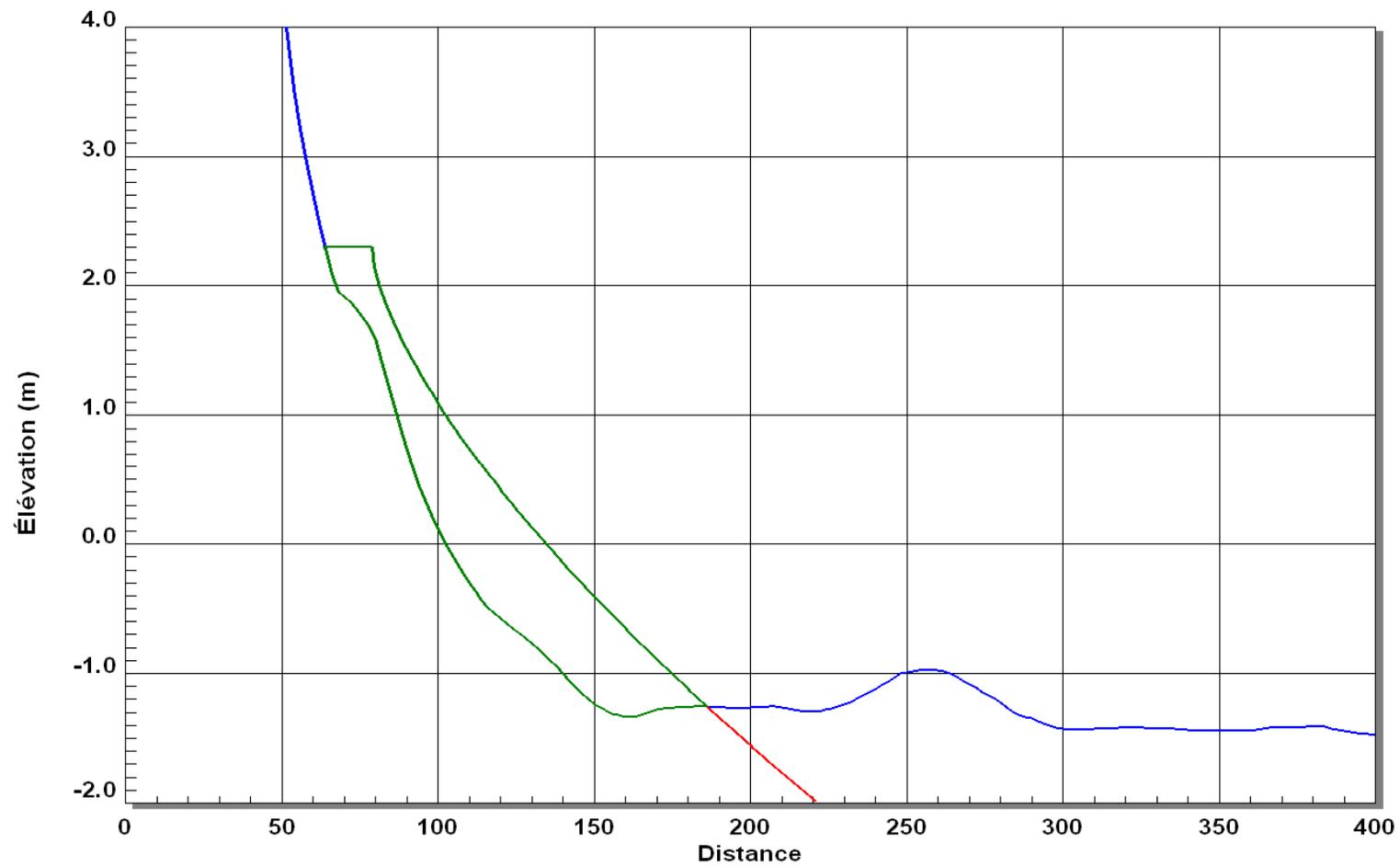
Profil POA_012 - Recharge : 123 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



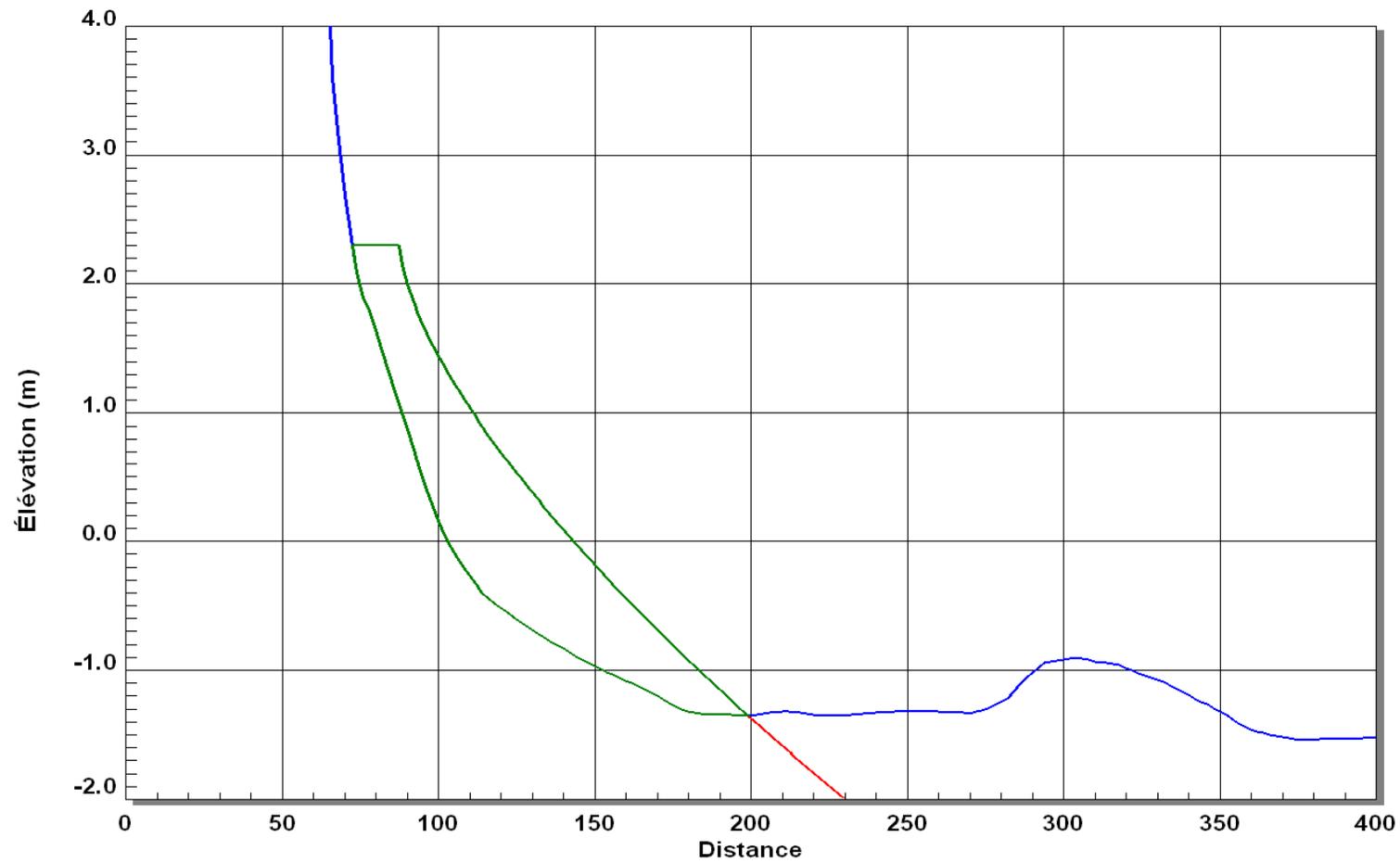
Profil POA_013 - Recharge : 89 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



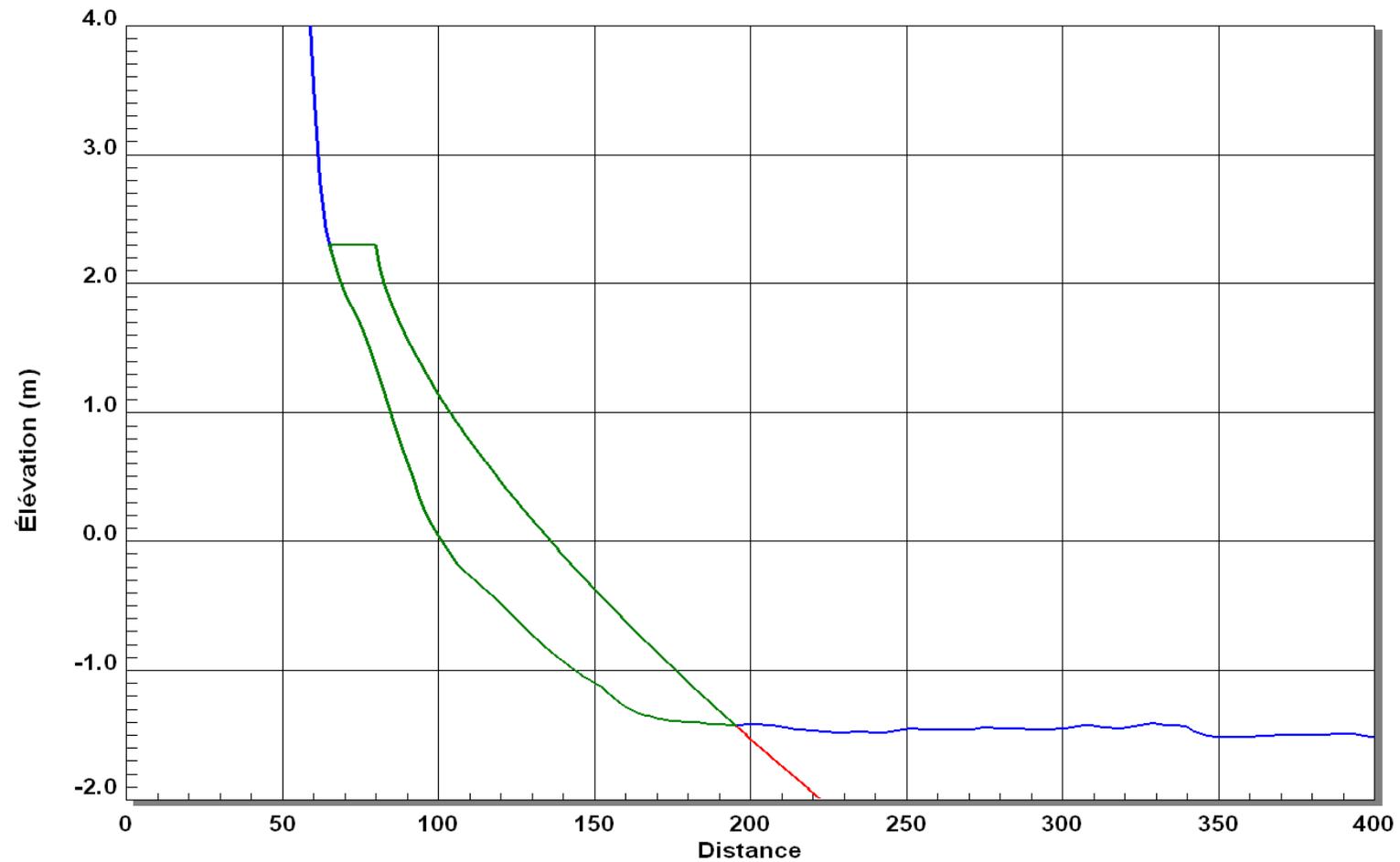
Profil POA_014 - Recharge : 121 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



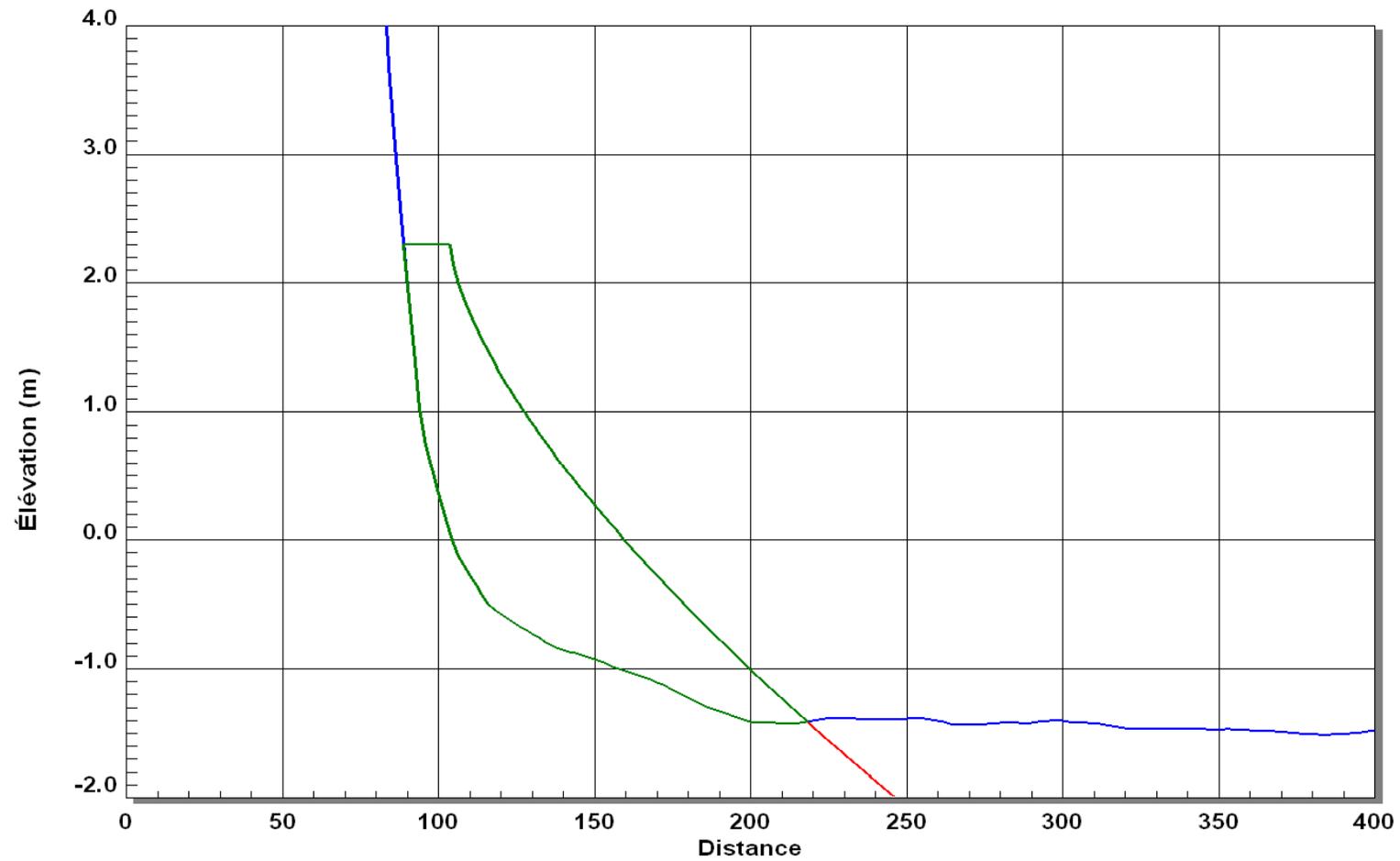
Profil POA_015 - Recharge : 85 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



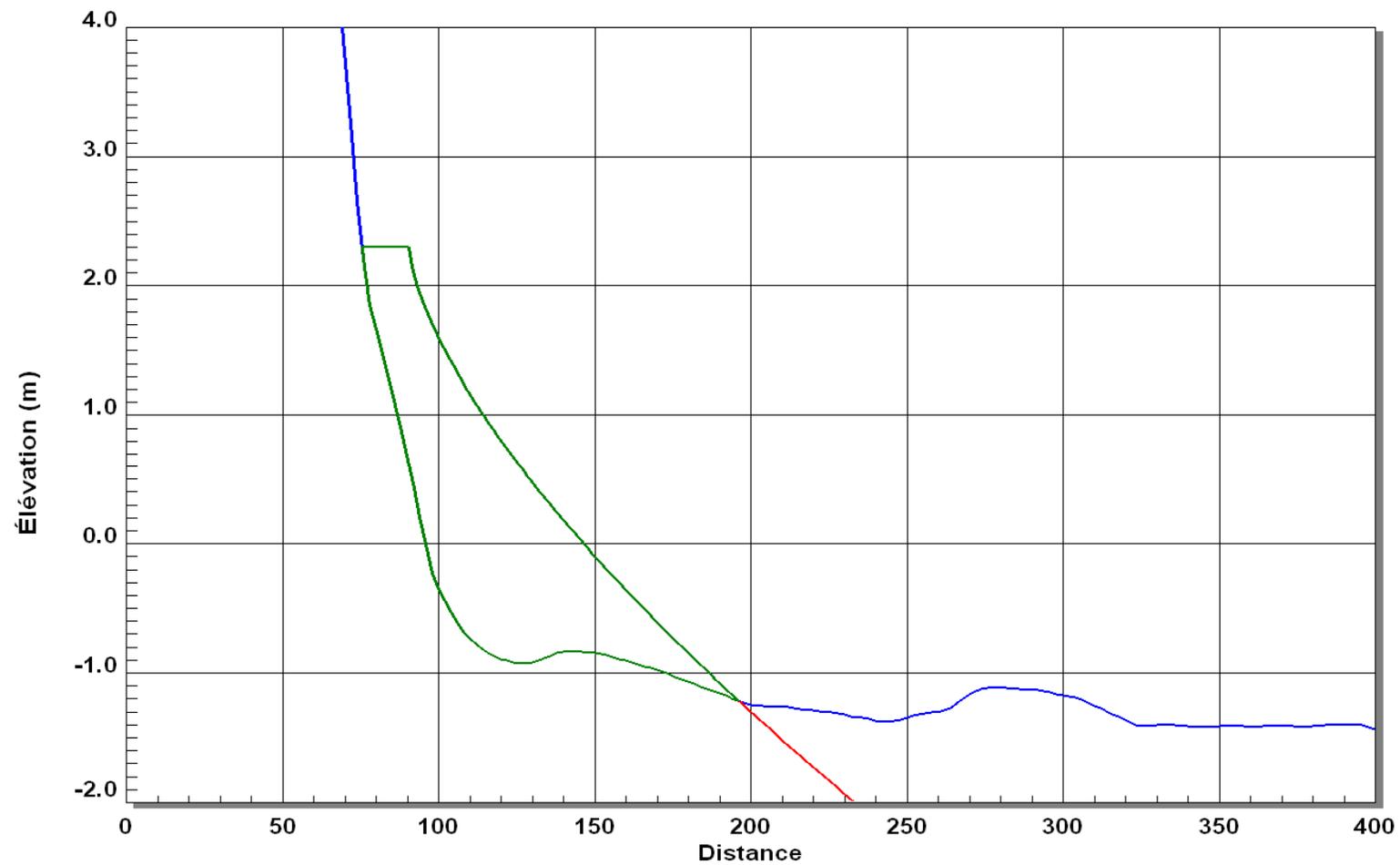
Profil POA_016 - Recharge : 102 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



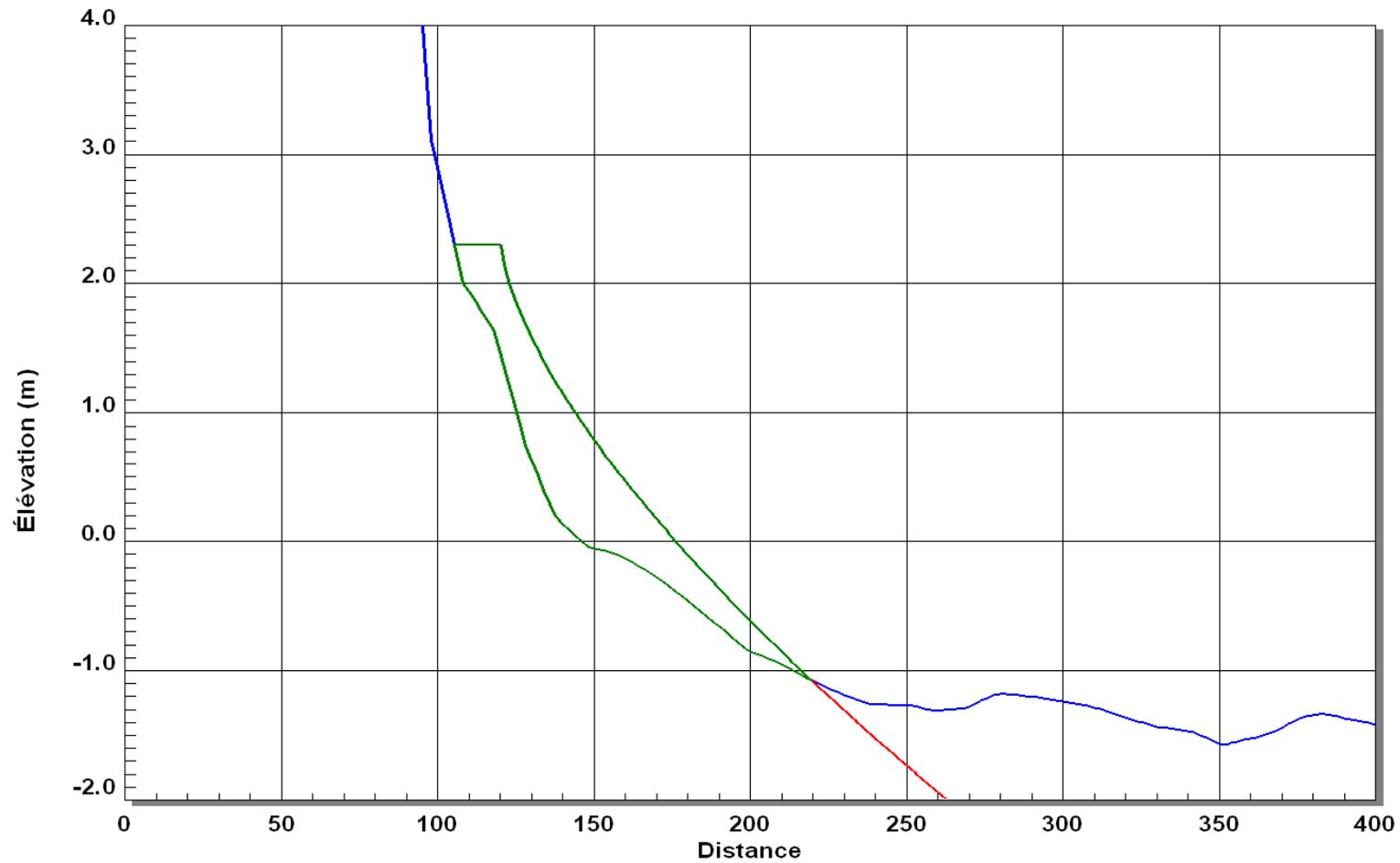
Profil POA_017 - Recharge : 92 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



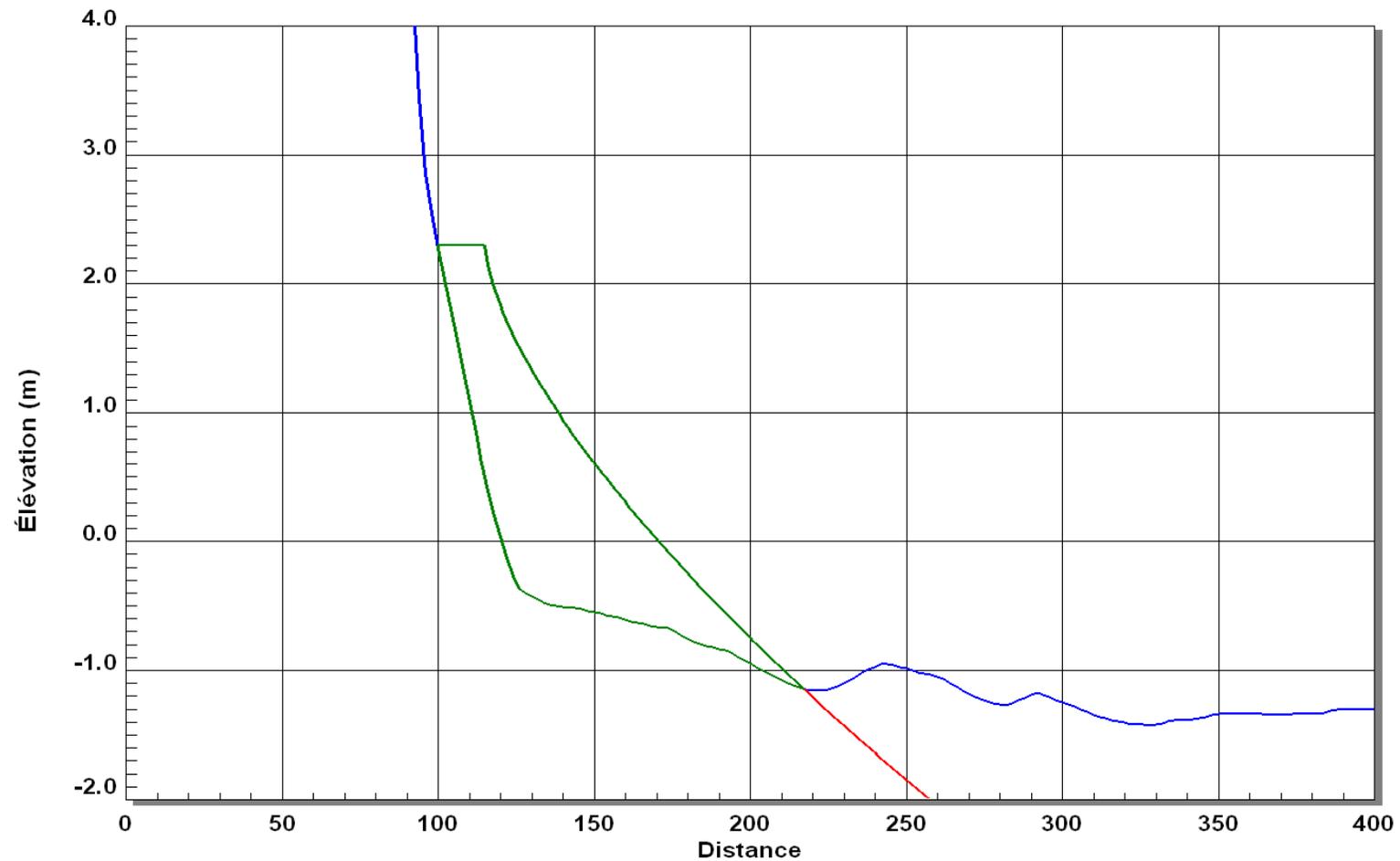
Profil POA_018 - Recharge : 143 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



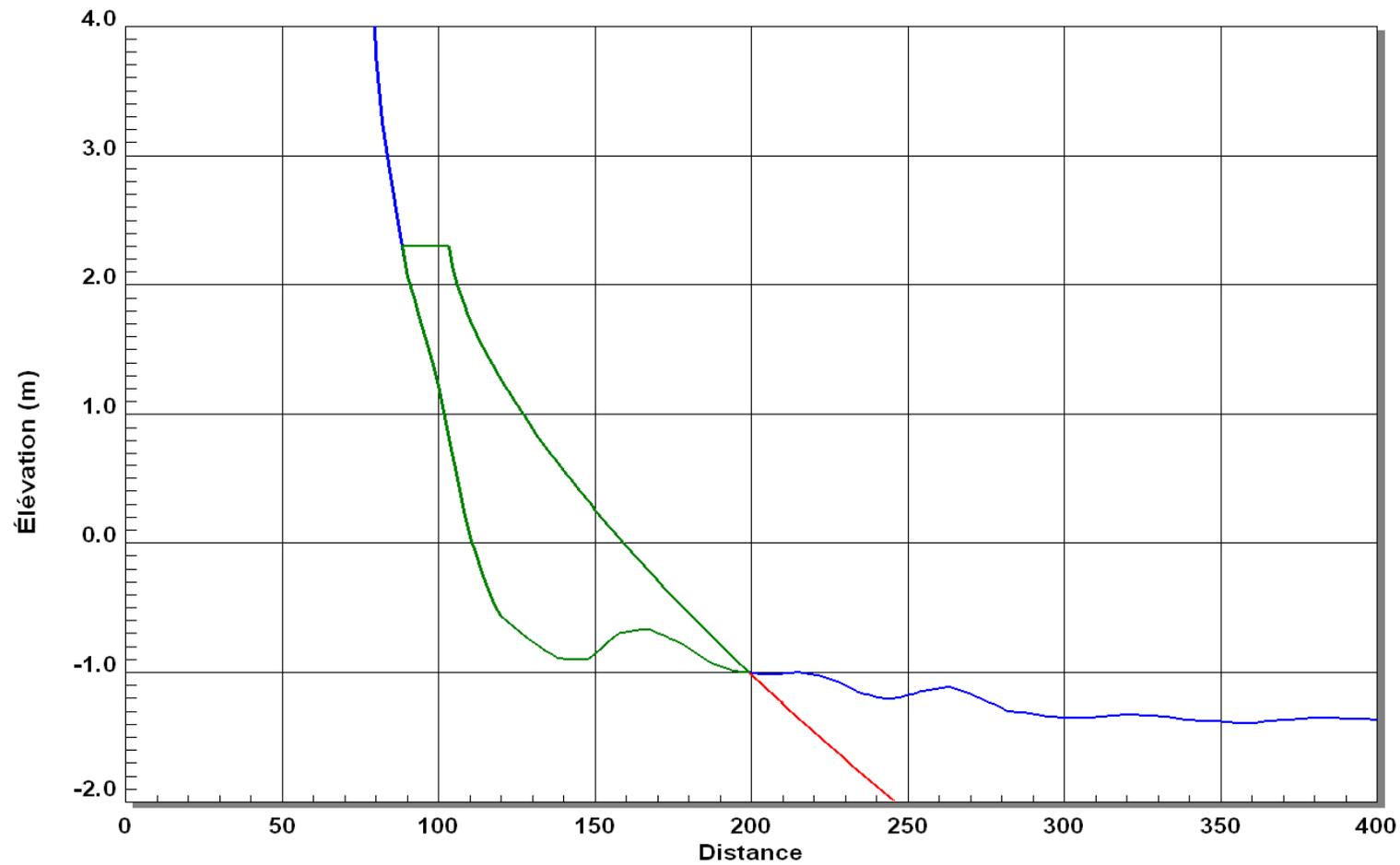
Profil POA_019 - Recharge : 120 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



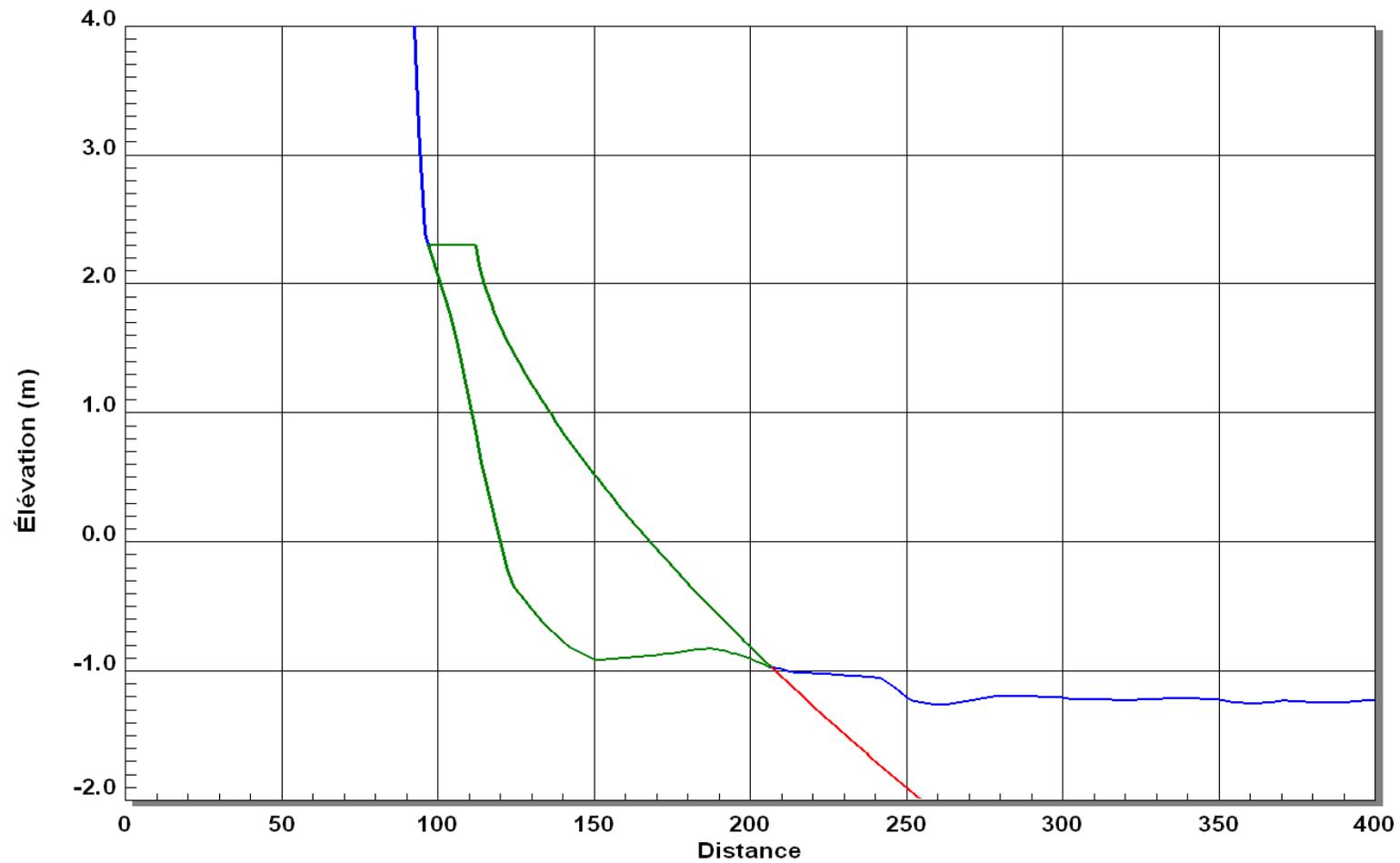
Profil POA_020 - Recharge : 59 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



Profil POA_021 - Recharge : 103 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm

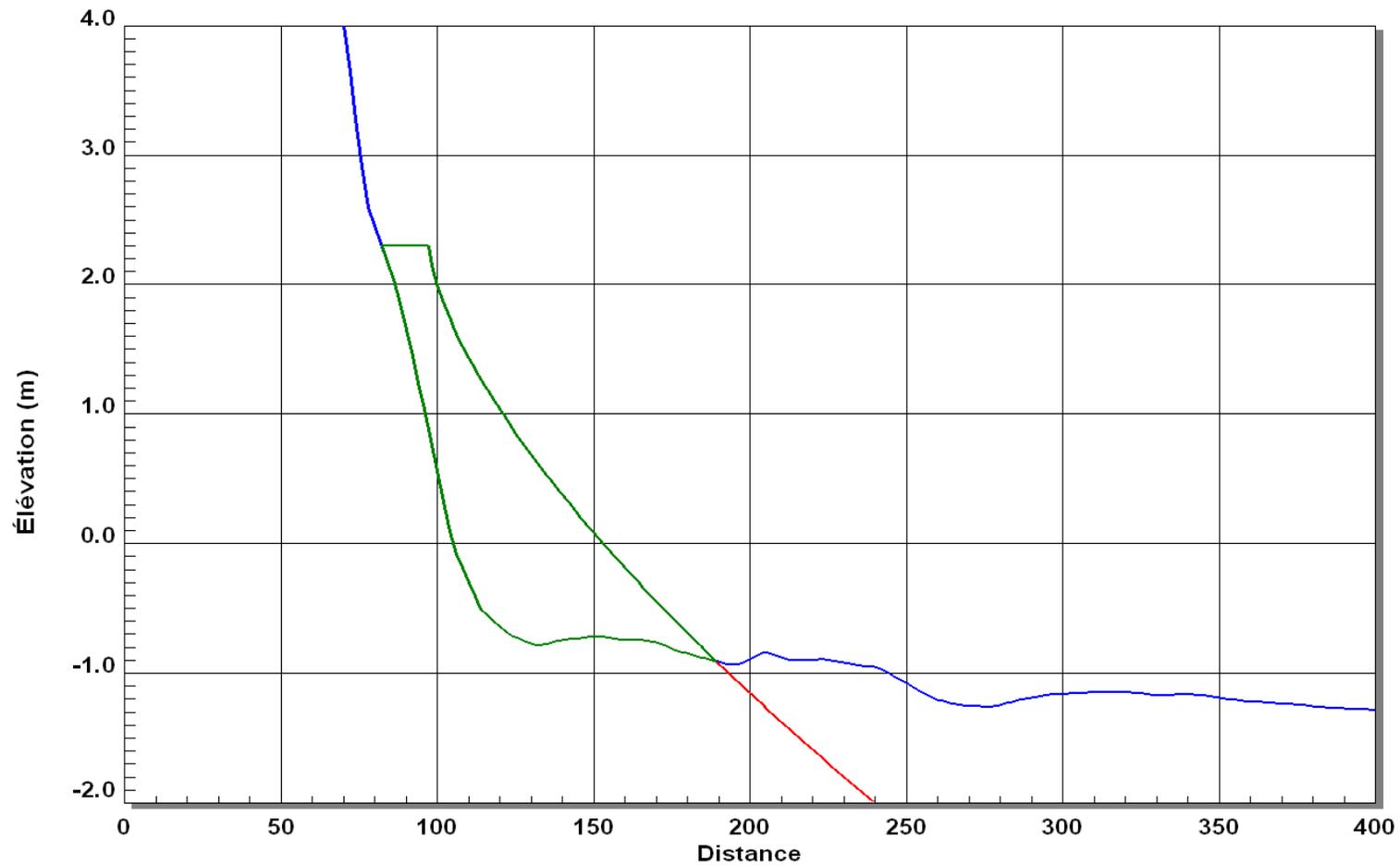


Profil POA_022 - Recharge : 105 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm

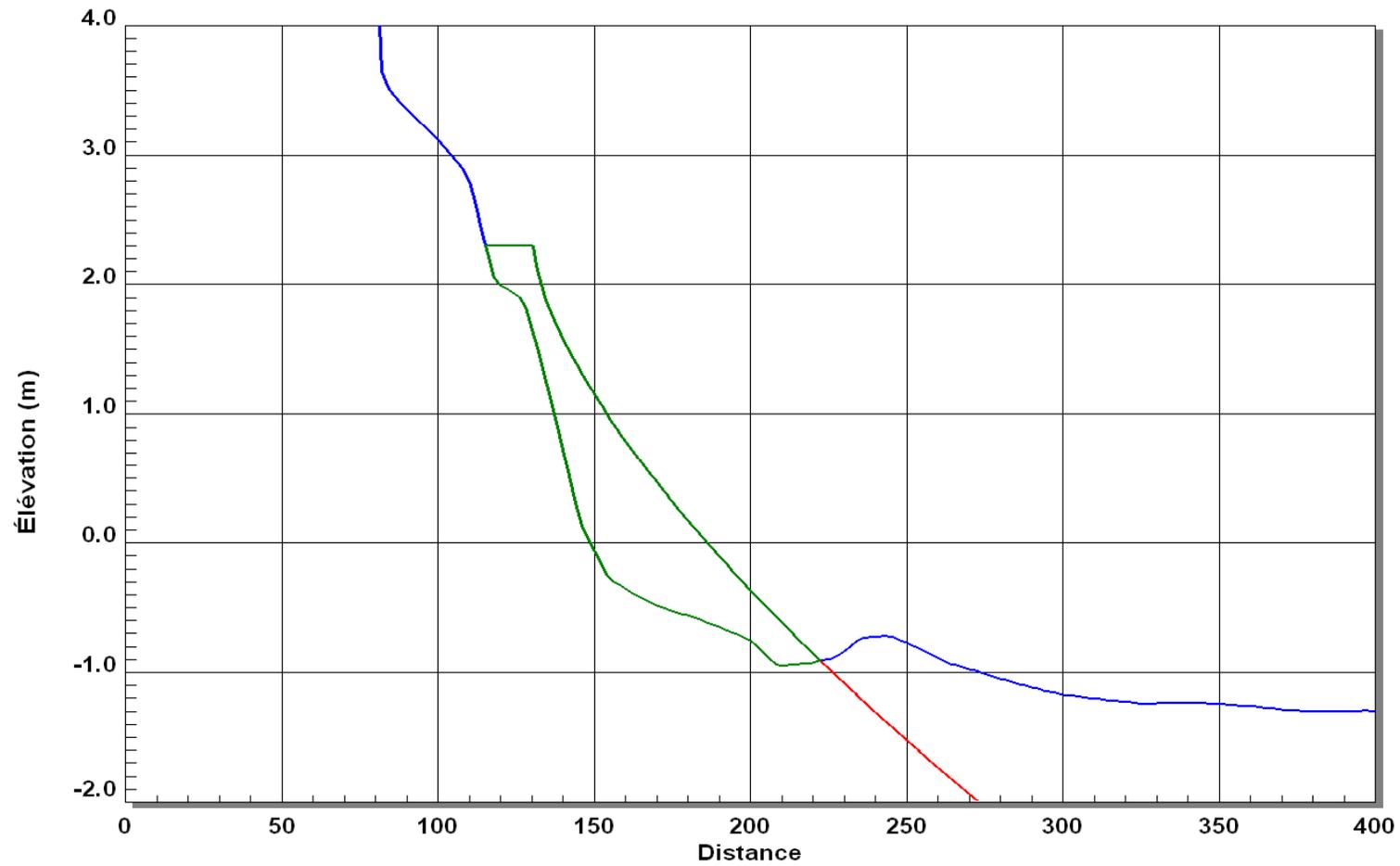


Profil POA_023 - Recharge : 107 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm

Charte Graphique - 11-00-001

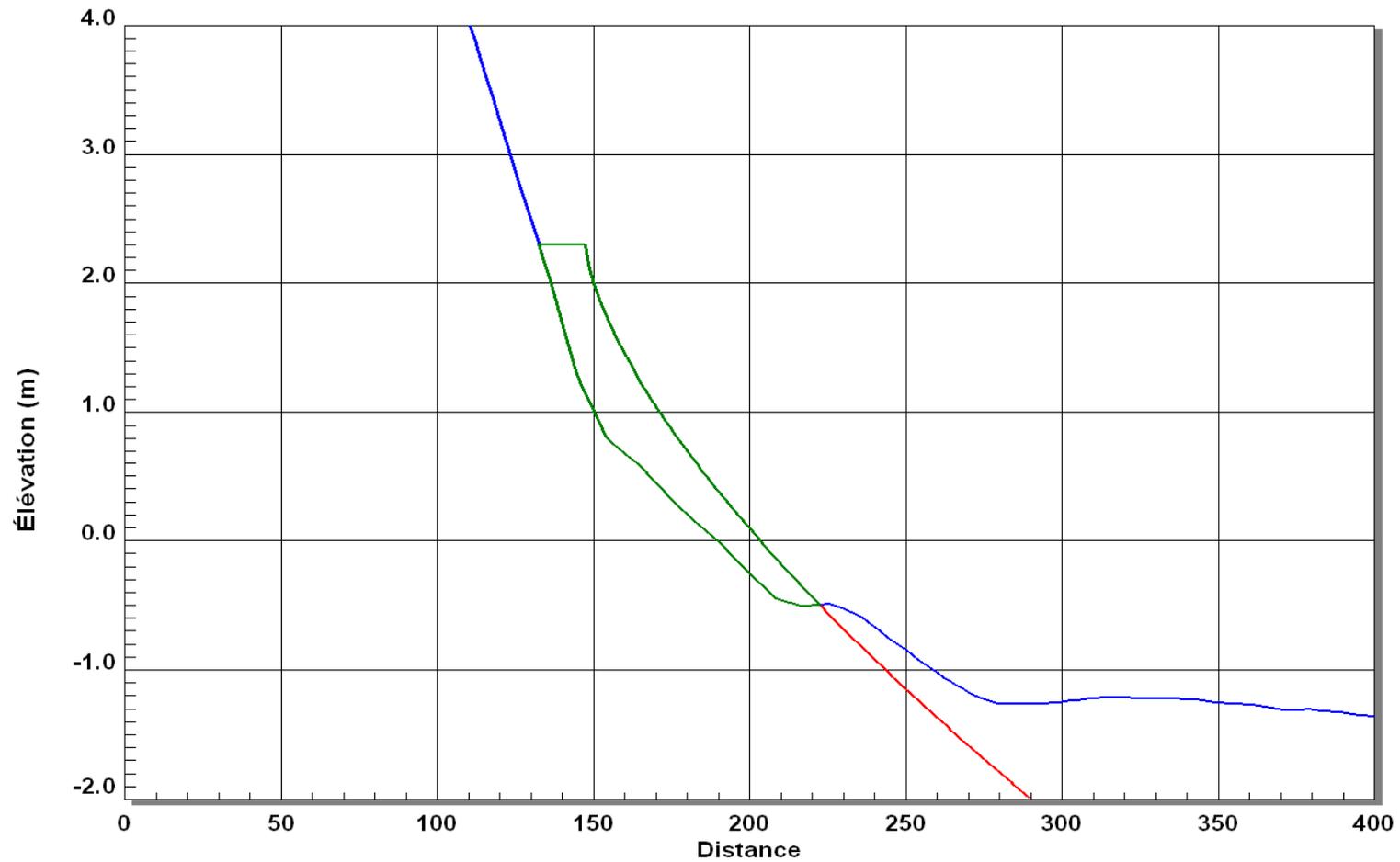


Profil POA_024 - Recharge : 100 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



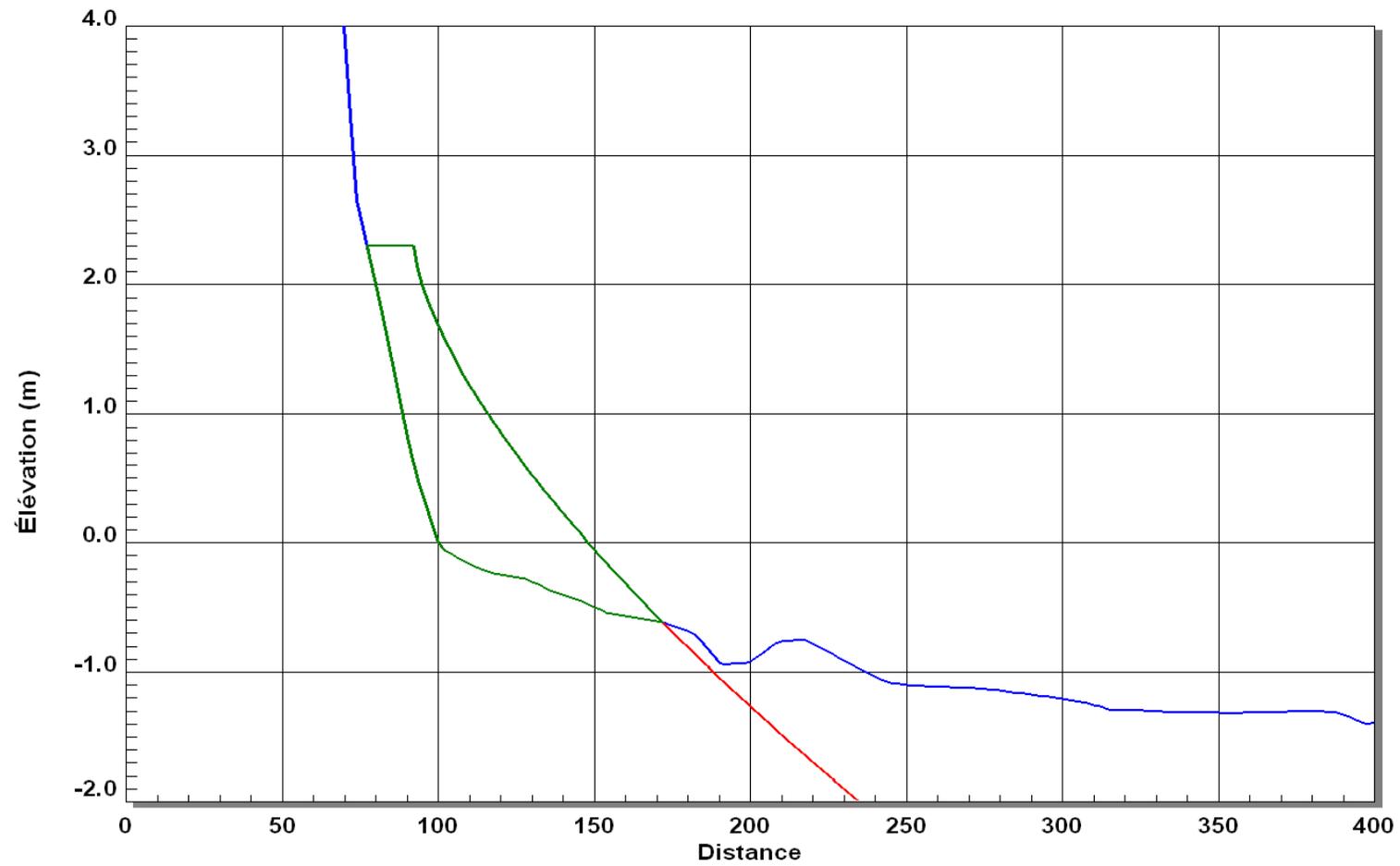
Profil POA_025 - Recharge : 71 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm

Shore Beach Profile - 10.00.00.01

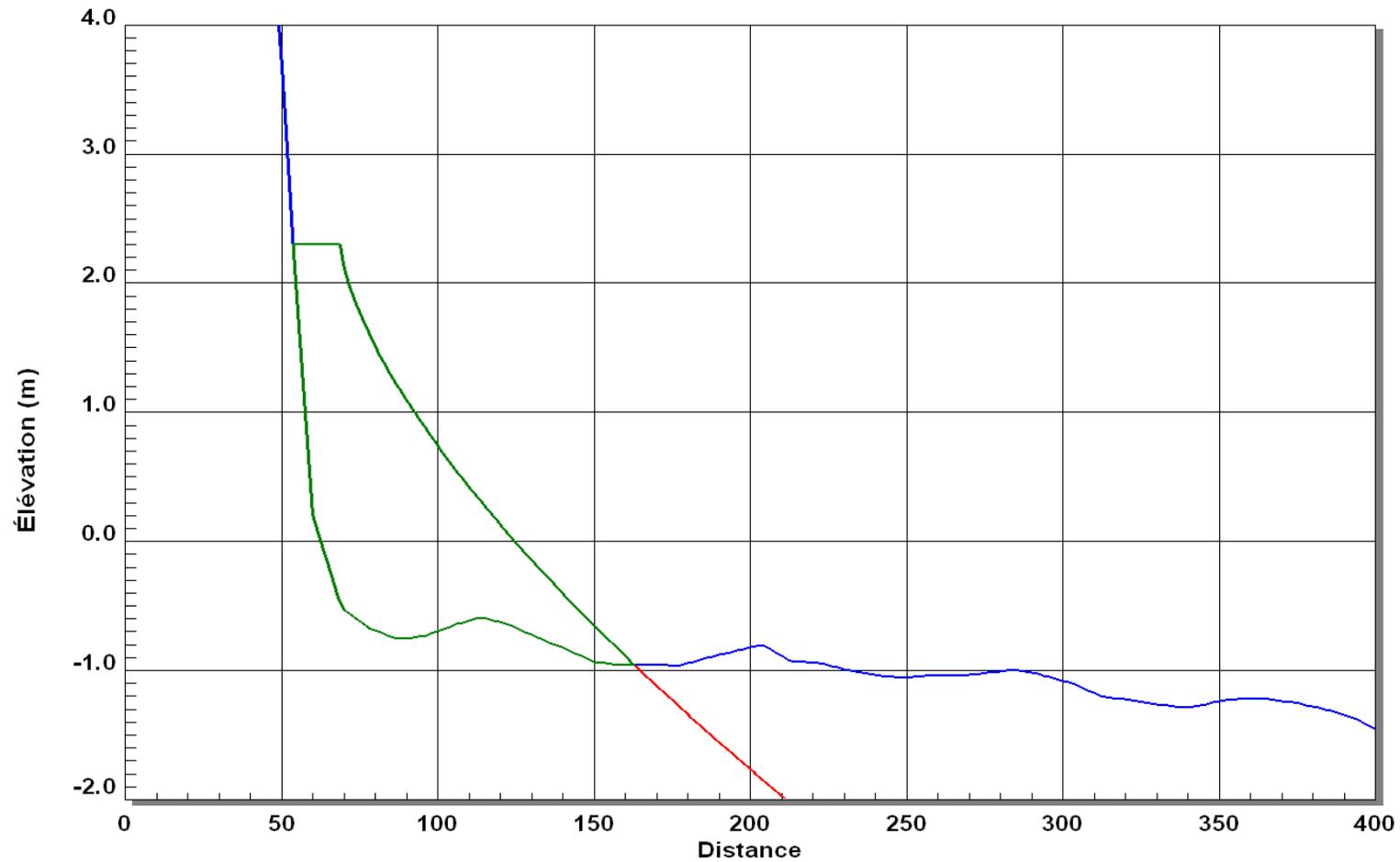


Profil POA_026 - Recharge : 46 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm

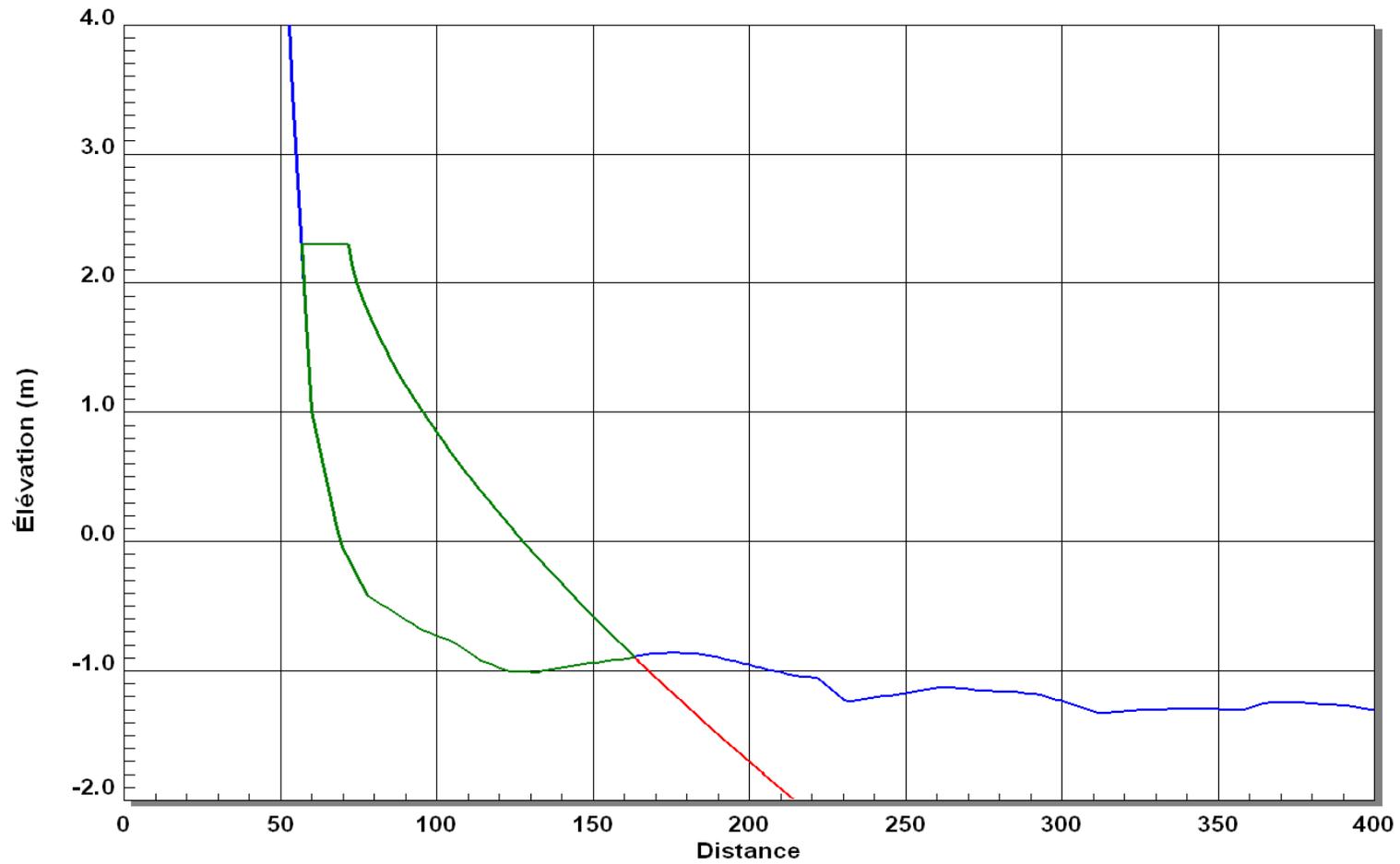
Source: Bureau Profitec - 10.10.2009



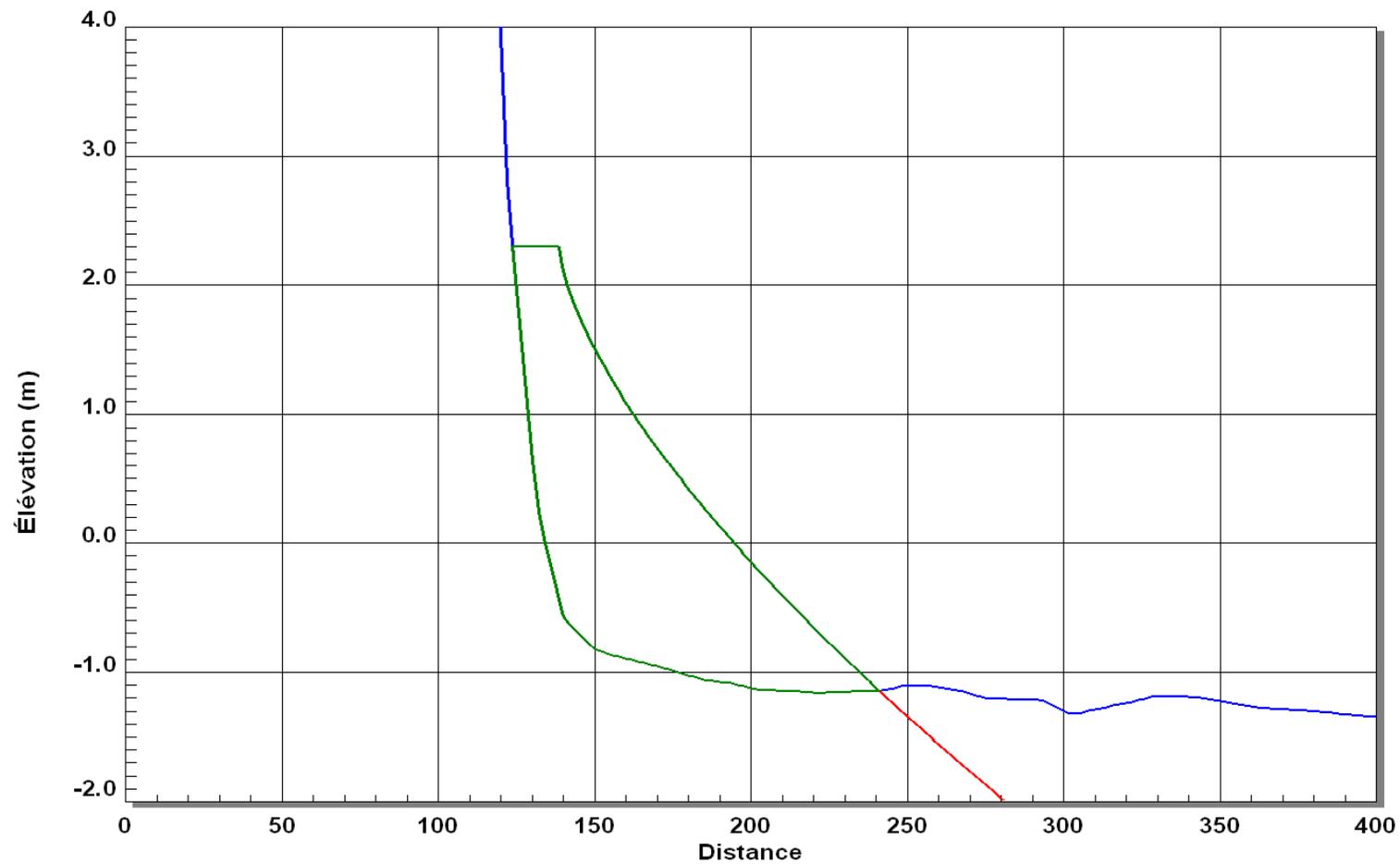
Profil POA_027 - Recharge : 81 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



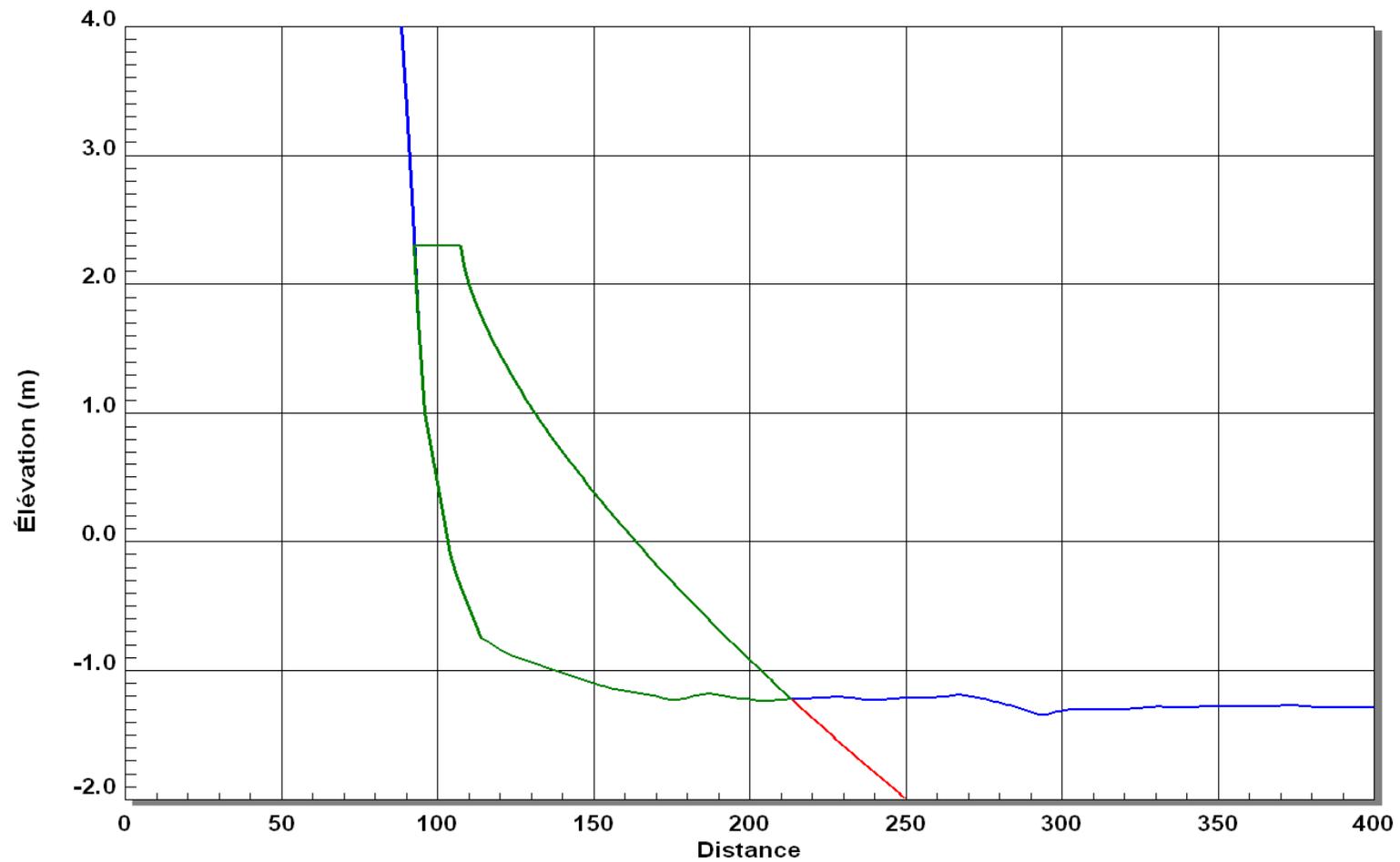
Profil POA_028 - Recharge : 130 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



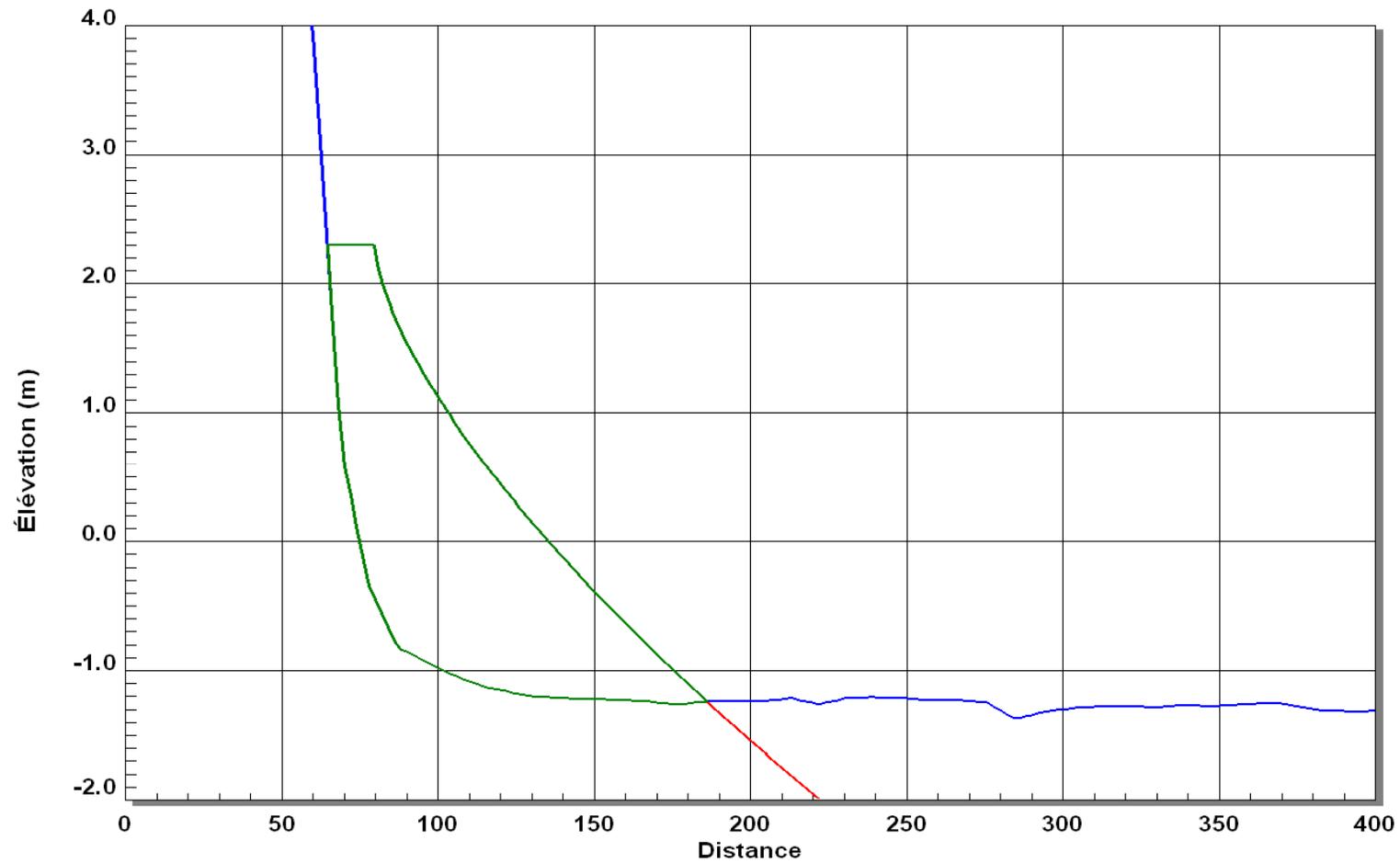
Profil POA_029 - Recharge : 133 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



Profil POA_030 - Recharge : 153 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm

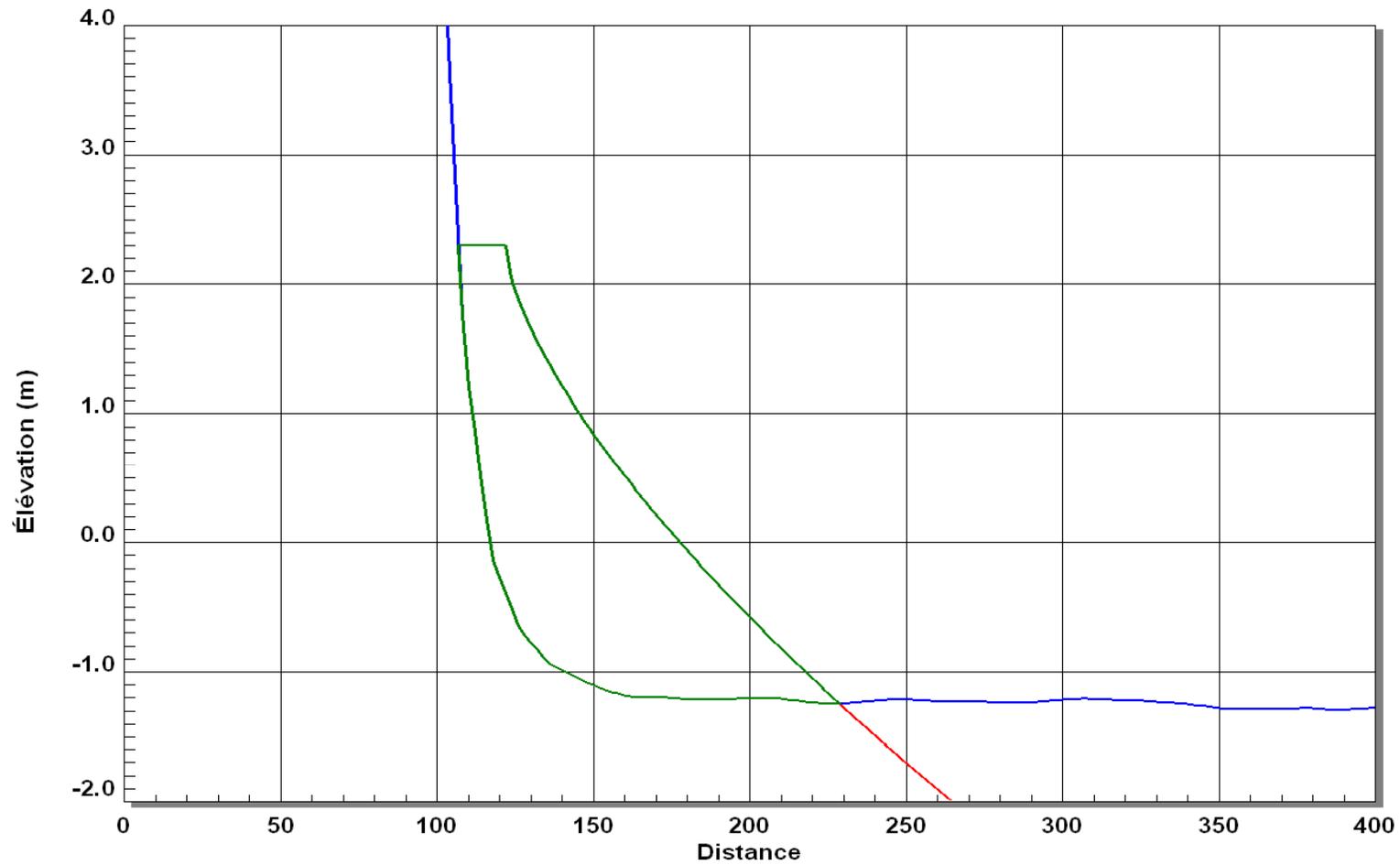


Profil POA_031 - Recharge : 159 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm

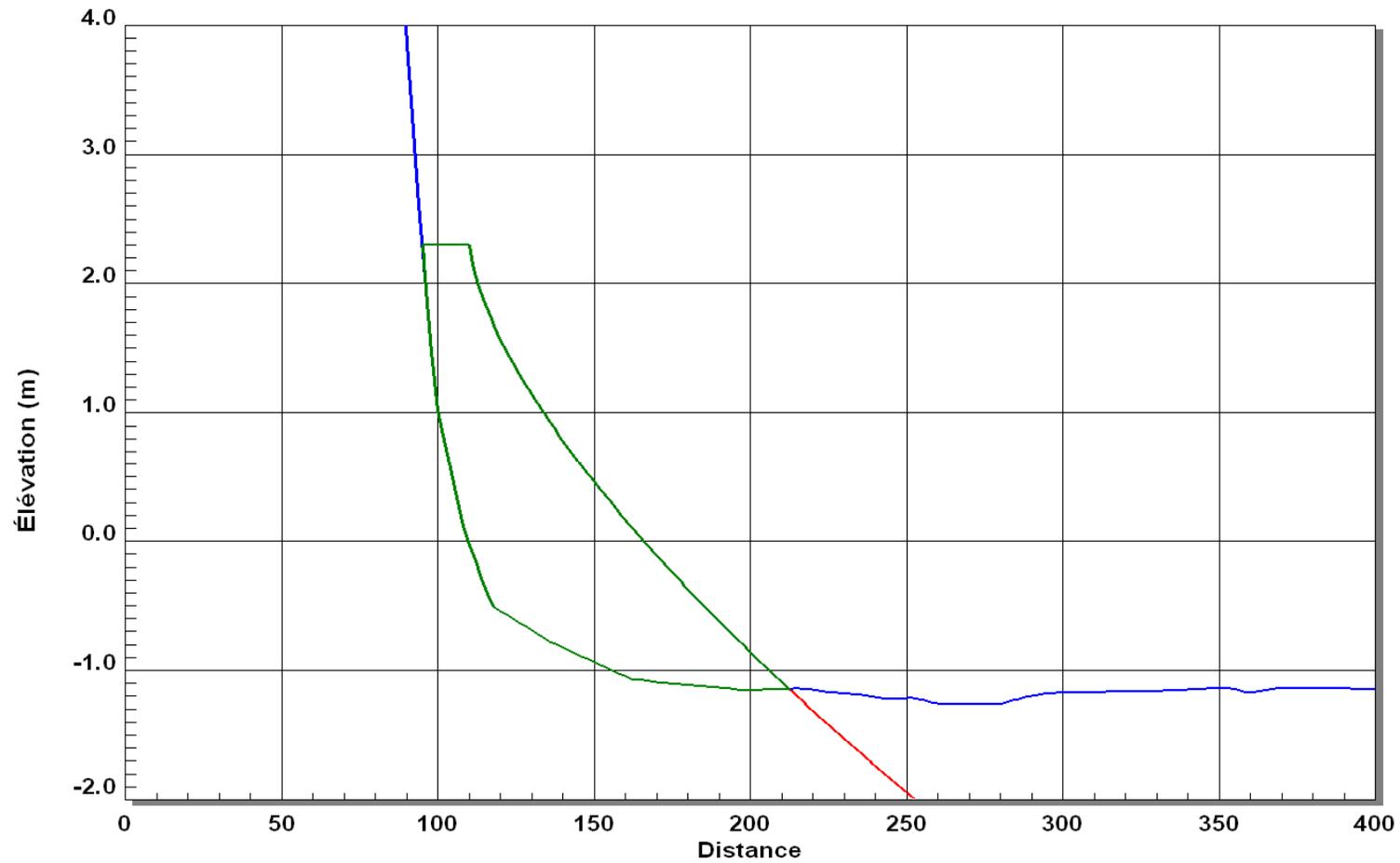


Profil POA_032 - Recharge : 164 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm

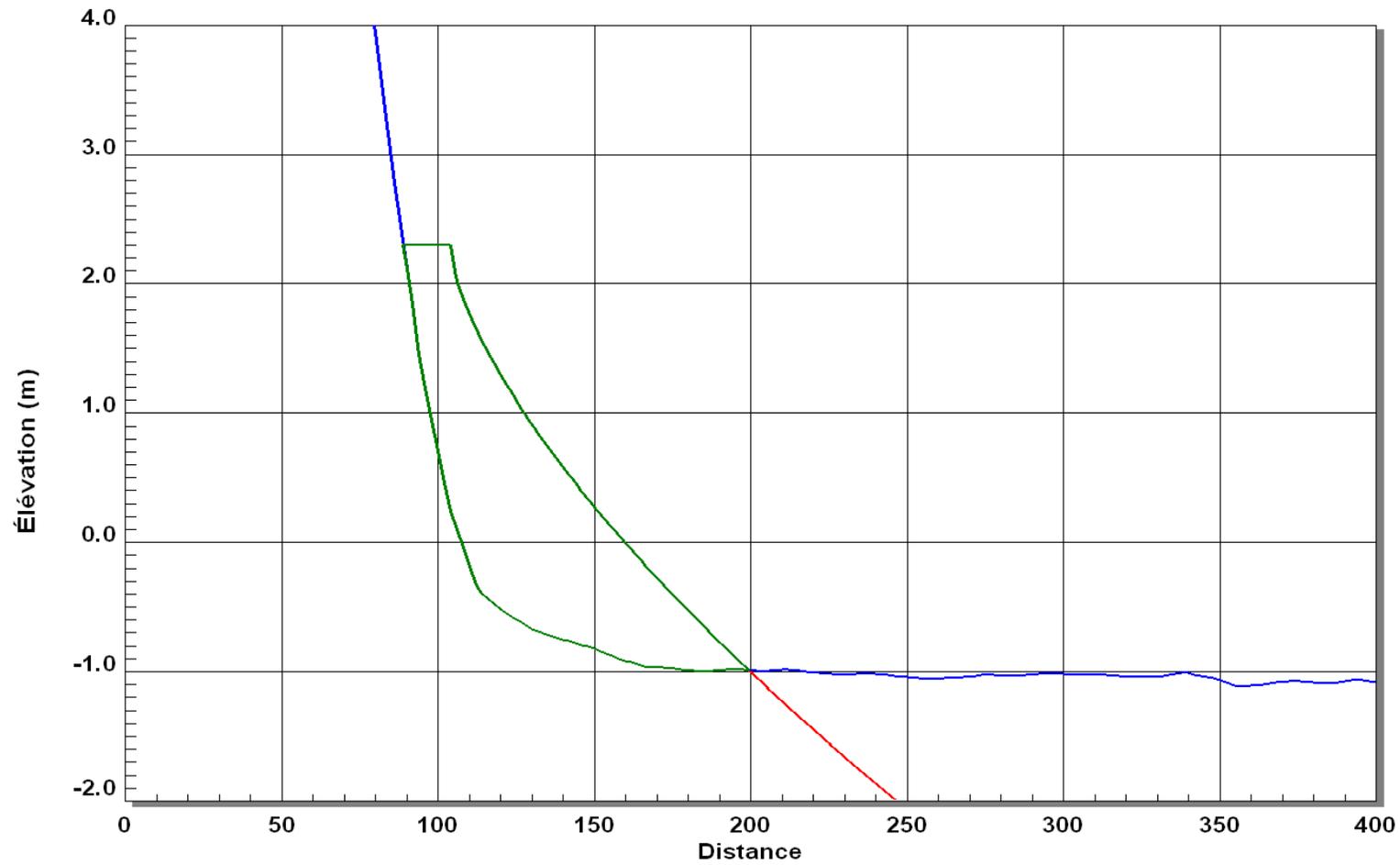
Shore Beach Profile - 11-1-00-001



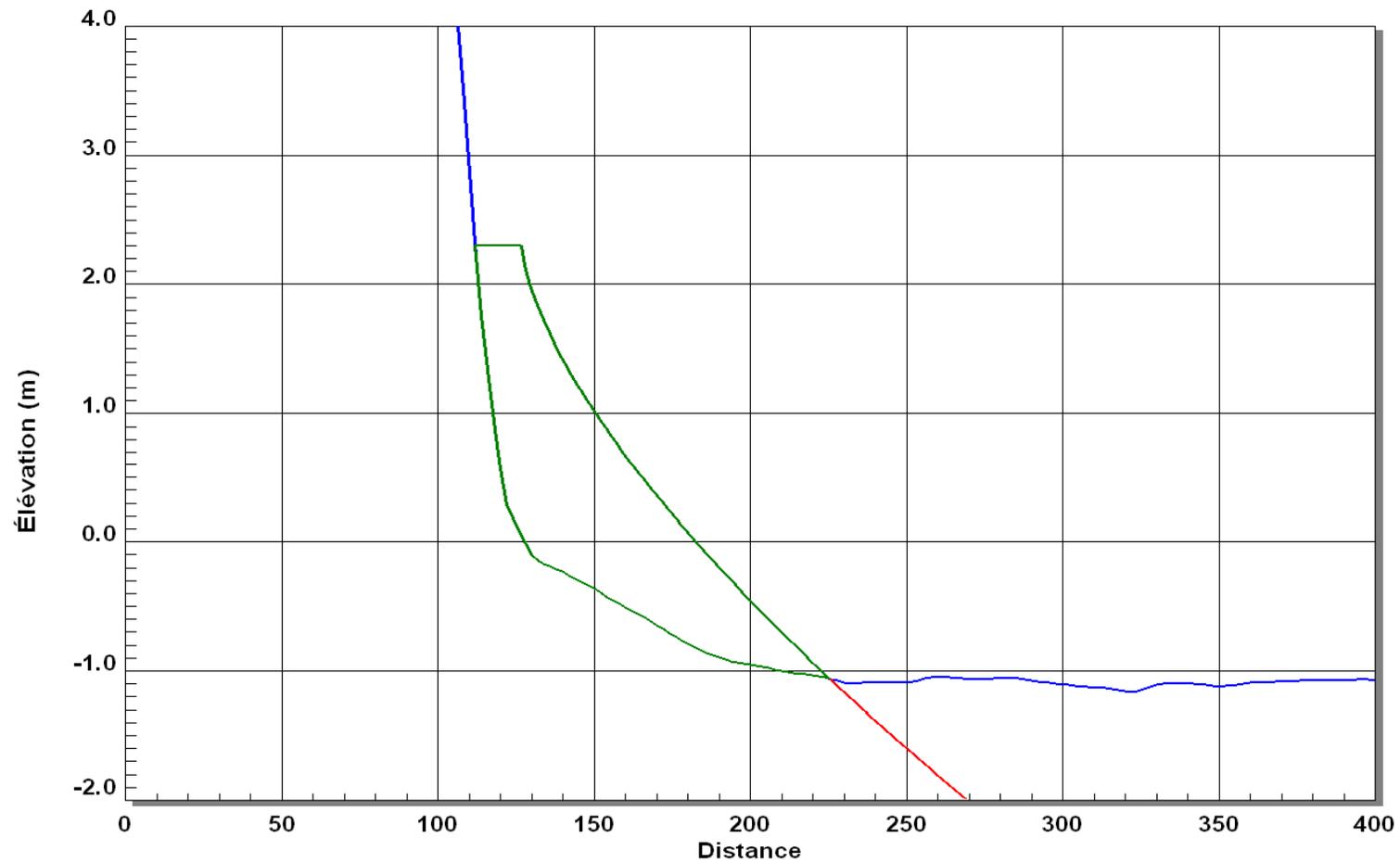
Profil POA_033 - Recharge : 164 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



Profil POA_034 - Recharge : 140 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm

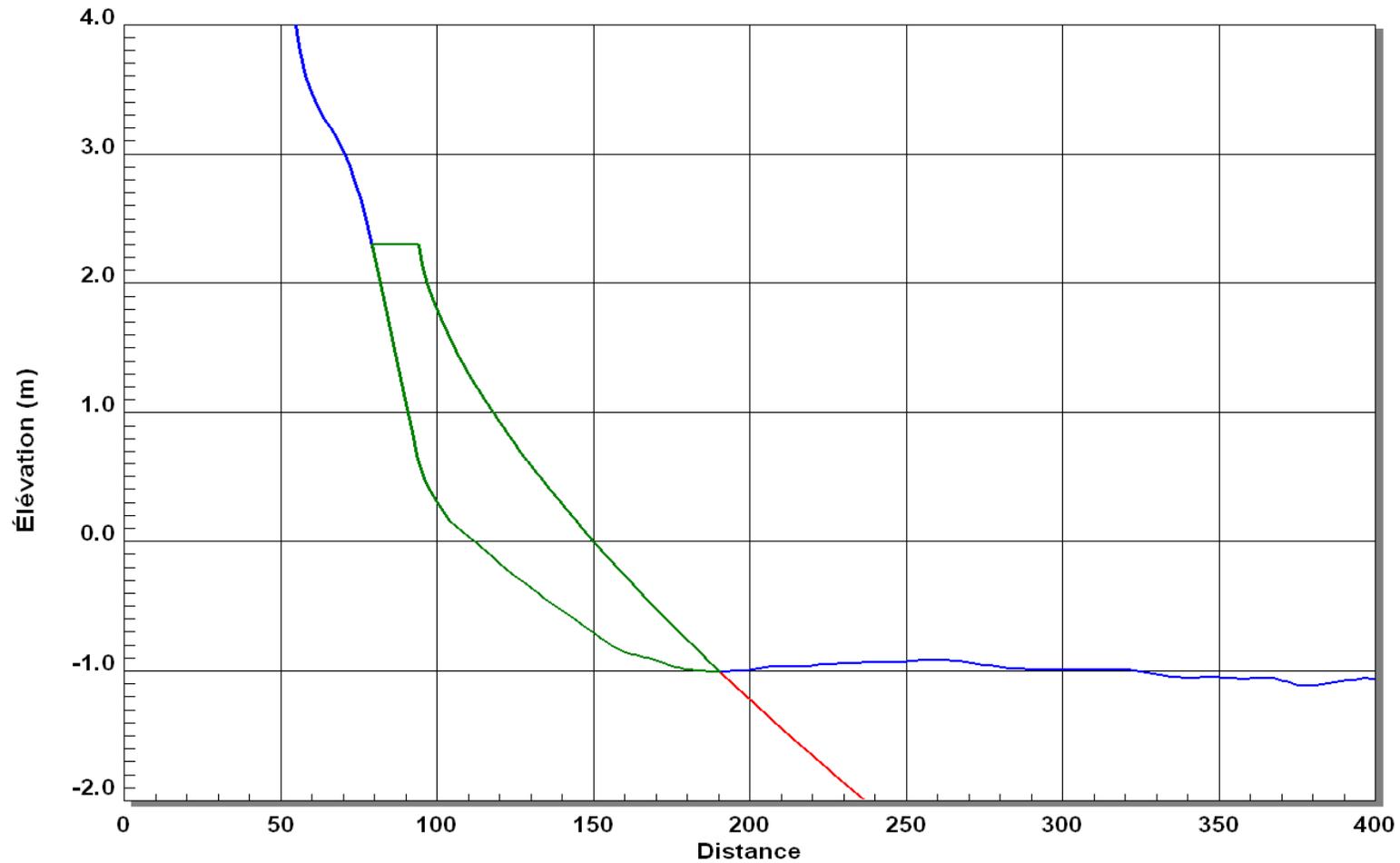


Profil POA_035 - Recharge : 120 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



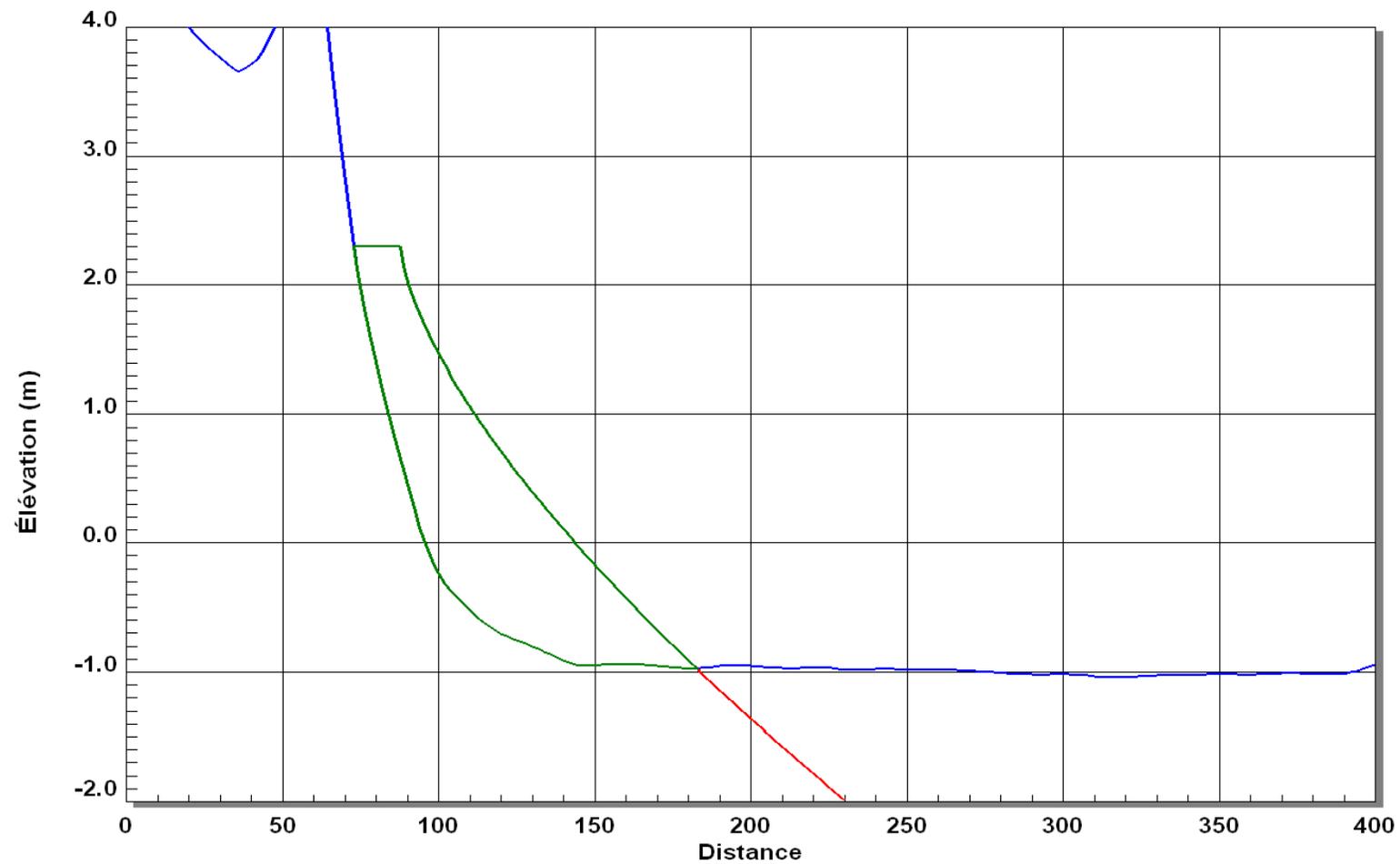
Profil POA_036 - Recharge : 115 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm

Source: Beach Profile - 10.100.001

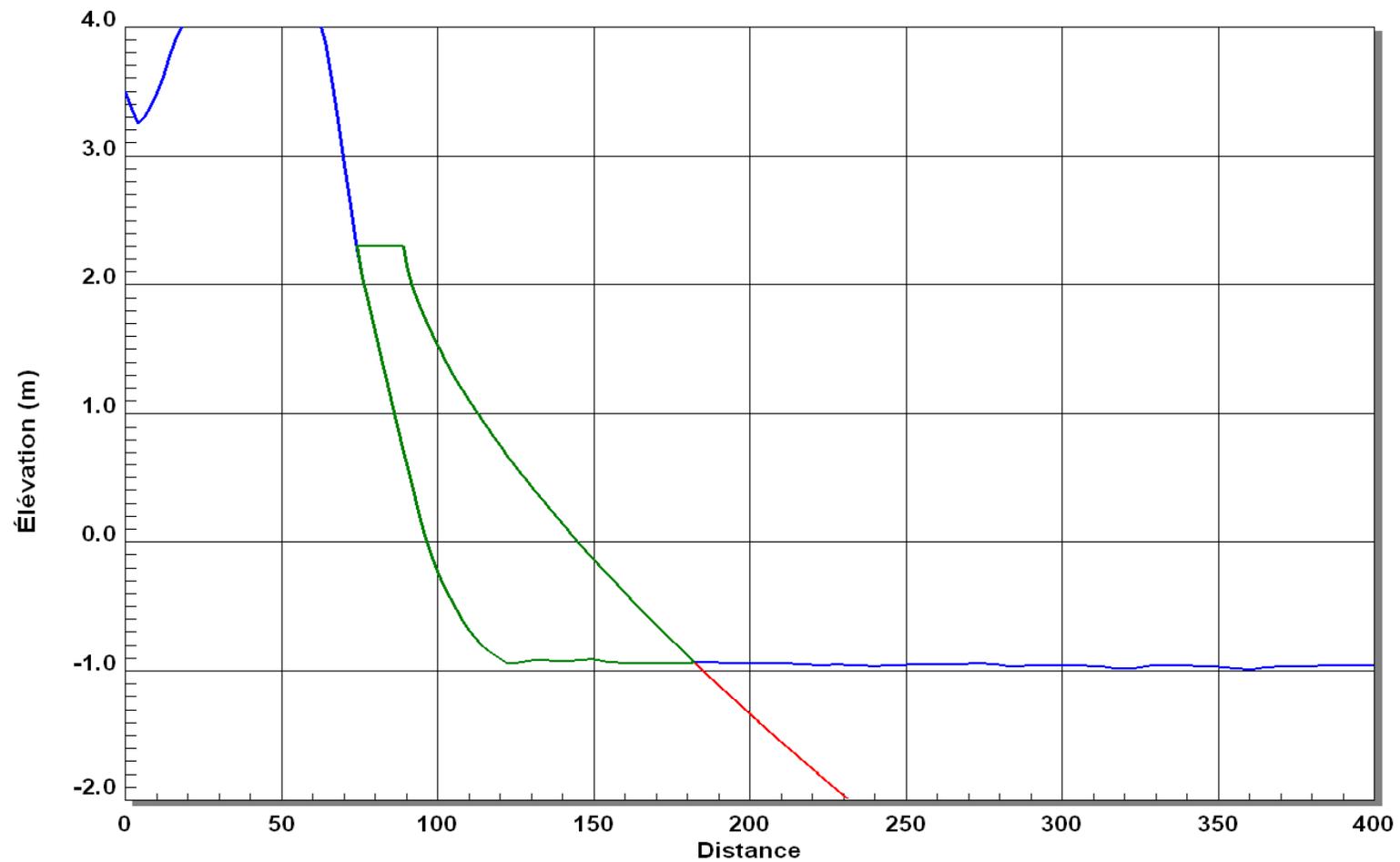


Profil POA_037 - Recharge : 90 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm

Charte Graphique - 10/05/05



Profil POA_038 - Recharge : 110 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm



Profil POA_039 - Recharge : 115 mètres cubes par mètre de plage
Largeur du haut de plage: 15 m Élévation du haut de plage 2.30 m d50: 0.48 mm