

**RESTAURATION DE LA PLAGE
DES JÉSUITES,
RIVIÈRE-OUELLE**



**RAPPORT DES TRAVAUX ET SUIVI
RÉALISÉ PAR
LE COMITÉ ZIP DU SUD-DE-L'ESTUAIRE**

Étienne Bachand

Géomorphologue M.Sc

Juillet 2013

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	2
LISTE DES TABLEAUX	2
LISTE DES FIGURES	3
1. MISE EN CONTEXE.....	4
2. DESCRIPTION DU SITE	5
3. TRAVAUX RÉALISÉS.....	6
3.1 CARACTÉRISATION DU SITE.....	6
3.2 PERMIS ET AUTORISATIONS.....	7
3.3 RECHARGEMENT SÉDIMENTAIRE	8
3.4 POSE D'UN FILET STABILISATEUR.....	10
3.5 PLANTATION DE VÉGÉTAUX INDIGÈNES.....	11
4. SUIVI.....	14
4.1 GRANDE-MARÉE DU 26 MAI 2013.....	14
4.2 PLANTATION.....	16
4.3 RECHARGE SÉDIMENTAIRE.....	20
5. RECOMMANDATIONS.....	24
6. BIBLIOGRAPHIE	26

Liste des tableaux

Tableau 1. Indice de bilan sédimentaire de plage (IBSP) (m3) qui fut ajouté le 9 mai 2012 pour les 5 profils.....23

Liste des figures

Figure 1. Localisation du secteur de la plage des Jésuites dans la municipalité de Rivière-Ouelle.	5
Figure 2. Site avant les travaux démontrant des perturbations naturelles (débris de la tempête du 6 décembre 2010) sur la plage et le chemin des Jésuites	6
Figure 3. Site avant les travaux démontrant des perturbations anthropiques (circulation véhicule motorisé)	6
Figure 4. Localisation du trait de côte, de la ligne de rivage, de la ligne des hautes eaux (LHE) et des profils topographiques.	7
Figure 5. Profil actuel de la plage des Jésuites ainsi que les projections des profils après la recharge en sable et le reprofilage naturel.	8
Figure 6. Balisage de la zone des travaux entre la ligne de rivage et la microfalaise.	9
Figure 7. Transport des sédiments au site.	9
Figure 8. Mise en place des sédiments.	9
Figure 9. Compactage des sédiments et vérification du profil.	9
Figure 10. Installation du filet stabilisateur dans une tranchée	11
Figure 11. Installation de piquets de bois pour maintenir le filet	11
Figure 12. Plants d'élyme des sables d'Amérique en caissettes de 98 multicellules	11
Figure 13. Transport des plants d'élyme des sables avec un véhicule de location de style cargo	12
Figure 14. Bénévoles au travail à l'aide d'un poinçon afin de façonner les trous et pour la plantation de l'élyme.	12
Figure 15. Bénévoles exécutant la plantation au travers du filet stabilisateur.	12
Figure 16. Plantation du rosier inerme dans une tranchée de 20 cm à la base de la recharge sédimentaire	12
Figure 17. Carte des travaux de recharge en sable et revégétalisation en mai 2012.	13
Figure 18. Nomenclature des sections de plage en fonction des niveaux de grandes marées et de la ligne des hautes eaux (LHE).	14
Figure 19. Impact de la tempête sur la recharge en sable	15
Figure 20. Nombreux débris de bois sur la plantation	15
Figure 21. Débris de bois déplacés à l'aide de machinerie en bordure de la plage afin de libérer le chemin des Jésuites	15
Figure 22. Nettoyage manuel de la plantation	16
Figure 23. Nettoyage terminé	16
Figure 24 Parcelle p3 suite à la plantation 31 mai 2012.	17
Figure 25. Parcelle p3, après 1 an, 3 mai 2013.	17
Figure 26 Parcelle p3 suite à la tempête 26 mai 2013.	17
Figure 27. Parcelle p3, après nettoyage, 28 mai 2013.	17
Figure 28. Parcelle p3, 10 juillet 2013.	18
Figure 29. Nombre de tiges d'élyme des sables d'Amérique dénombrées dans 5 parcelles et relevées à 5 reprises	18
Figure 30. Carte de suivi de travaux de restauration à la fin du projet en juin 2013, cercle rouge, endroit recharge d'entretien	19
Figure 31. Évolution de la plage des Jésuites illustrés grâce à 5 profils de plage relevés avant, après les travaux de restauration et durant le suivi	21
Figure 32. Largeur de plage (haute plage et haut estran) relevée sur les 5 profils et relevé à 4 reprises.	22
Figure 33. Indice du bilan sédimentaire de plage (IBSP) (m ³) pour les 5 profils et relevé à 4 reprises.	23
Figure 34. Carte de proposition de la fermeture d'une portion du chemin des Jésuites.	25

Remerciements

Nous tenons à remercier la municipalité de Rivière-Ouelle et ses employés pour leur collaboration pendant la mise en œuvre des travaux, ainsi que tous les bénévoles pour leur aide chaleureuse et courageuse pendant la plantation malgré les intempéries.

1. MISE EN CONTEXE

Dans le cadre du projet, *Aménagement et restauration du littoral au Bas-Saint-Laurent : Les bonnes pratiques en milieu côtier*, le Comité de la Zone d'Intervention Prioritaire (ZIP) du Sud-de-l'Estuaire avait pour objectif de favoriser le transfert de connaissances et le renforcement des capacités d'adaptation des communautés à l'évolution de la zone côtière. Le projet dans son ensemble visait une plus grande considération des caractéristiques naturelles dans le développement et l'aménagement du territoire.

La municipalité de Rivière-Ouelle, comme la plupart des communautés côtières de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent aura beaucoup de travail dans l'avenir pour s'adapter aux conditions climatiques changeantes, notamment à l'augmentation de la fréquence des tempêtes, à la diminution du couvert de glace et à l'augmentation du niveau marin. Les changements climatiques ont des impacts directs sur la côte, les riverains et les infrastructures côtières (Savard et coll. 2008).

La tempête du 6 décembre 2010 a démontré la vulnérabilité des côtes du Bas-Saint-Laurent. Contre vents et marées, les terrains qui avaient conservé leurs plages dans leur état naturel ont subi moins de dégâts que les terrains enrochés avoisinants. Malgré cela, à la suite de la tempête de décembre 2010 et encore aujourd'hui de nombreux citoyens optent pour les techniques de protection rigide (muret en béton ou en bois, enrochement). Or les études le démontrent les protections rigides ont des conséquences négatives sur les habitats côtiers, notamment au niveau des plages (Bernatchez et Fraser, 2012; Bernatchez et coll. 2008; 2011). L'ensemble des structures de protection rigide entraîne l'abaissement et voir même la disparition des plages. Si l'érosion représente une menace à court terme pour les constructions humaines, l'installation d'ouvrages de protection rigide et leur implantation à grande échelle représentent une perspective certaine de détérioration du littoral et d'un appauvrissement des paysages côtiers.

Avec le projet *Aménagement et restauration du littoral au Bas-Saint-Laurent : Les bonnes pratiques en milieu côtier*, le Comité de la ZIP du Sud-de-l'Estuaire a voulu mettre de l'avant les techniques douces et promouvoir les avantages de ces techniques. Les techniques douces offrent plusieurs avantages écologiques et économiques et sont, de plus, les seules techniques de protection qui respectent les principes du développement durable.

Les travaux réalisés à Rivière-Ouelle à la plage des Jésuites (figure 1) représentent un exemple de bonne pratique d'aménagement et de restauration d'une plage (Juneau et coll. 2012). Les travaux ont permis de restaurer les habitats côtiers sensibles de ce secteur tout en contribuant à atténuer les impacts des vagues lors des tempêtes. Les travaux réalisés sont une recharge sédimentaire accompagnée d'une végétalisation (élyme des sables d'Amérique et rosier inerme) et l'installation d'un filet stabilisateur Coir MAT fait de fibre de noix de coco. Une caractérisation biophysique a été réalisée préalablement aux travaux. Conformément à la loi sur la qualité de l'environnement, une demande de certificat d'autorisation a été adressée au Ministère du Développement durable, de l'Environnement de la Faune et des Parcs.

Enfin, un suivi mensuel des travaux a été réalisé jusqu'en juin 2013, notamment au sujet de la vitalité des plants, mais aussi au niveau du déplacement des sédiments face aux perturbations naturelles et anthropiques. Cette récolte d'information permettra entre autres de déterminer la fréquence des recharges subséquentes.

2. DESCRIPTION DU SITE



Figure 1. Localisation du secteur de la plage des Jésuites dans la municipalité de Rivière-Ouelle.

Le site de la plage des Jésuites (Figure 1) est situé sur un terrain privé appartenant à la corporation du Camp Canawish au numéro de lot 4 320 217 et selon le plan d'affectation du territoire, ce secteur a une vocation de villégiature. Le site est fréquenté par les résidents adjacents ainsi que par les visiteurs estivants qui occupent la résidence des Jésuites et les chalets environnants. Le site a été identifié comme un secteur vulnérable à l'érosion et à la submersion à l'intérieur du cadre normatif du Ministère de la Sécurité Publique. Lors de la tempête du 6 décembre 2010, ce secteur a subi des dégâts importants au niveau de la côte et du chemin des Jésuites qui furent ensevelis de débris (Figure 2). De plus, des traces de véhicules motorisés sont observées sur la plage (Figure 3.)

La plage des Jésuites est située au niveau de la plaine côtière entre deux affleurements rocheux. Dans le secteur, on retrouve ce type d'anses encaissées entre des affleurements rocheux à plusieurs endroits. Le site à l'étude est bordé à l'est par un terrain résidentiel possédant une côte rocheuse artificialisée tandis qu'à l'ouest on retrouve aussi une côte rocheuse naturelle et végétalisée. À quelques centaines de mètres à l'ouest du site, on retrouve le quai de Rivière-Ouelle qui offre plusieurs activités dont la marche, l'observation d'oiseaux aquatiques et sert de halte pour la route bleue.

La présence de marais côtiers à proximité du site crée des conditions idéales pour plusieurs espèces d'oiseaux aquatiques qui s'alimentent, s'abreuvent et se reposent sur le site en période de migration. De part et d'autre du site, on observe deux aires de concentration d'oiseaux aquatiques (ACOA). De plus, ce secteur accueille des espèces à statut particulier. Enfin, les plages de Rivière-Ouelle sont fréquentées chaque automne par l'anguille d'Amérique comme en témoignent les installations de pêche à proximité du site.



Figure 2. Site avant les travaux démontrant des perturbations naturelles (débris de la tempête du 6 décembre 2010) sur la plage et le chemin des Jésuites.



Figure 3. Site avant les travaux démontrant des perturbations anthropiques (circulation véhicule motorisé).

3. TRAVAUX RÉALISÉS

3.1 Caractérisation du site

Un rapport de caractérisation biophysique du système côtier du secteur de la plage des Jésuites a été réalisé dans le but d'évaluer la technique de restauration la mieux adaptée à ce type de côte et ayant le moins d'impact sur les habitats côtiers (Bachand, 2012). De plus, ce rapport fournit des recommandations afin d'y réduire la vulnérabilité aux risques côtiers. Le rapport de caractérisation a été réalisé par le comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire et remis à la municipalité de Rivière-Ouelle en janvier 2012.

Le travail de caractérisation du site comprend une étape d'acquisition de données sur le terrain (levés topographiques, échantillonnages de sédiments, analyses stratigraphiques des dépôts, plusieurs observations géomorphologiques) qui s'est déroulé lors de deux visites les 28 et 29 septembre 2011 et les 27 et 28 octobre 2011 sur le site de la plage des Jésuites à Rivière-Ouelle. La réalisation de levés topographiques a permis de faire le suivi de l'évolution du profil de la plage avant et après les travaux et suite à des perturbations naturelles (tempêtes) ou anthropiques (piétinement). Cinq profils perpendiculaires à la côte ont été positionnés à une distance de 20 mètres entre eux et relevés au GPS, leur point de départ a été déterminé à l'aide de deux piquets afin de conserver l'alignement des profils (Figure 4). Lors des visites terrains, les partenaires de la MRC et de la municipalité ont participé aux travaux. Au terme du processus, une analyse et un traitement des données furent effectués. Enfin, la rédaction du rapport synthèse et l'émission des recommandations de travaux futurs furent réalisées.

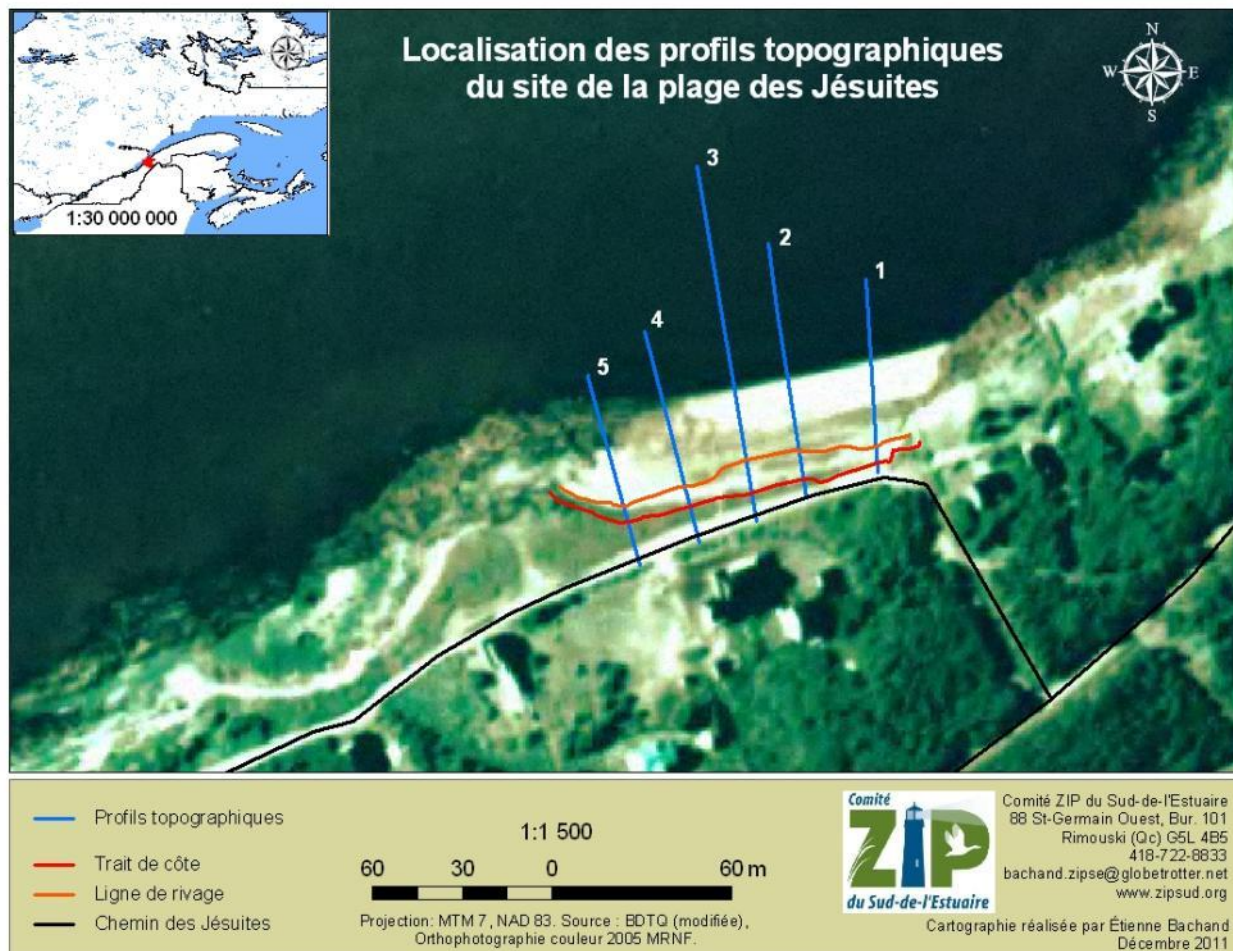


Figure 4. Localisation du trait de côte, de la ligne de rivage, de la ligne des hautes eaux (LHE) et des profils topographiques.

3.2 Permis et autorisations

Fédéral

Aucun certificat ne fut nécessaire de la part du Ministère des Pêches et des Océans, mais une évaluation environnementale a été réalisée en vertu de la loi canadienne sur l'évaluation environnementale (LCEE). Ce rapport d'évaluation mentionne que le projet est peu susceptible d'entraîner des effets environnementaux négatifs significatifs pourvu que les mesures d'atténuation soient respectées.

Provincial

Dans l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE), il est stipulé qu'il faut obtenir un certificat d'autorisation préalablement à la réalisation de certains travaux ou activités exécutés dans la rive. Ainsi, cette disposition s'avérait nécessaire avant d'entamer les travaux de restauration préconisés par le comité ZIP sur la plage des Jésuites, soit la réalisation d'une recharge sédimentaire suivie d'une revégétalisation de la haute plage. La demande de certificat d'autorisation fut écrite par le comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire à titre de consultant pour la municipalité de Rivière-Ouelle. La demande fut déposée au

bureau du MDDEFP le 23 février 2012 et fut acceptée le 4 avril 2012 et est valide 10 ans soit jusqu'au 4 avril 2022.

Le certificat d'autorisation émis par le Ministère du Développement durable de l'Environnement de la Faune et des Parcs(MDDEFP) autorise la municipalité de Rivière-Ouelle à réaliser les travaux de recharge sédimentaire et de végétalisation en respectant les plans et profils fournis dans ladite demande.

Bénéficiant d'un guichet unique, le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) à la même demande, a donné son approbation au projet, puisqu'il n'est pas susceptible de modifier l'habitat du poisson du fleuve Saint-Laurent.

Municipal

La MRC de Kamouraska qui a délivré un certificat de conformité à la réglementation de la MRC. Le projet ne contrevient pas à la réglementation en vigueur. Aucun permis n'a été nécessaire auprès de la MRC.

3.3 Rechargement sédimentaire

Tel que mentionné dans le rapport de caractérisation « RESTAURATION DE LA PLAGE DES JÉSUITES, RIVIÈRE-OUELLE » réalisé par le Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire et remis à la municipalité de Rivière-Ouelle en janvier 2012, le rechargement sédimentaire d'une plage consiste à déposer des sédiments similaires à ceux déjà en place sur la haute plage afin de créer une source sédimentaire artificielle qui sert à nourrir la plage (Dean 2002, 2004, Pupier-Daucher, 2008). Le principal objectif est de rehausser et de reprofiler la pente de la plage pour ainsi recréer artificiellement une zone de perte d'énergie des vagues (Figure 5). **Puisque cette source sédimentaire est artificielle, elle n'est pas permanente et la source finit par se tarir en fonction des processus hydrodynamiques et des conditions climatiques,** et des effets anthropiques (piétinement, VTT). **Des recharges subséquentes sont donc à planifier par la suite.** Le suivi de ce projet sur 1 an aura permis entre autres d'apporter des informations afin de connaître la fréquence des recharges subséquentes.

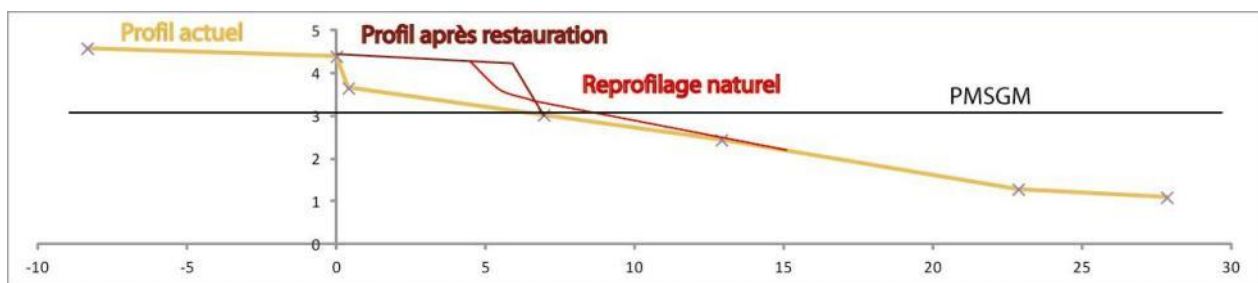


Figure 5. Profil actuel de la plage des Jésuites ainsi que les projections des profils après la recharge en sable et le reprofilage naturel.

Les travaux de recharge sédimentaire ont été réalisés après la période de dégel, afin de diminuer les coûts de transport, soit les 9 et 10 mai 2012. Ils ont été réalisés à marée basse.

Avant de procéder aux travaux, le comité ZIP a procédé au balisage de la zone d'intervention à l'aide de piquets de bois conformément au devis technique soit entre la ligne de rivage et la microfalaise (Figure 6.) afin de limiter tout empiétement de la machinerie sous la ligne de rivage.

Les travaux de recharge sédimentaire comprenaient le transport des sédiments au site de la restauration (Figure 7.), la mise en place (Figure 8.) ainsi que le compactage des sédiments sur la haute plage et la vérification du profil de la plage (Figure 9.). La responsabilité de ces travaux a été remise à « Transport en Vrac St-Denis », un entrepreneur local, recommandé par la municipalité de Rivière-Ouelle.



Figure 6. Balisage de la zone des travaux entre la ligne de rivage et la microfalaise.



Figure 7. Transport des sédiments au site



Figure 8. Mise en place des sédiments.



Figure 9. Compactage des sédiments et vérification du profil

La superficie totale touchée par la recharge sédimentaire représente 600 m^2 (Figure 17). Le volume de sédiment nécessaire est de 295 m^3 (590 tonnes). La superficie totale de 750 m^2 représente la superficie maximale d'intervention soit la ligne de rivage. Cette zone a pu être affectée durant la réalisation de la recharge par un empiétement de la machinerie.

L'entrepreneur a exécuté les travaux de recharge sédimentaire en se référant aux plans et coupes établis dans le devis technique (Bachand 2012-A). Les travaux comprenaient, l'aménagement de l'accès au site,

la fourniture des matériaux de sablière, la mise en place selon les profils définis, le nivellement et le nettoyage. Trente-six voyages de camions-bennes de 15, 16 et 18 tonnes ont été nécessaires afin de transporter les sédiments du banc d'emprunt au site à restaurer.

Les sédiments utilisés provenant du banc d'emprunt situé sur les lots 498-P et 499-P du 2^e rang de Ste-Anne –de La Pocatière, répondaient aux spécifications identifiées dans le rapport de caractérisation. C'est-à-dire, des graviers sableux similaires à ceux déjà en place (entre 55 % et 59 % de graviers et 41 % et 45 % de sable et une grosseur médiane des grains de 2,7 mm comme le mentionne les deux analyses granulométriques de ce banc d'emprunt). Cette condition était indispensable afin de respecter le certificat d'autorisation émis par le MDDEFP pour la réalisation des travaux.

Avant la mise en place des sédiments, un nettoyage de la plage a été réalisé, les matériaux contenant des clous ou de la peinture ont été retirés du site ainsi que les billots et les branches de fort. En contrepartie, les débris organiques de petite taille sont demeurés sur le site et étendus au sol sur l'ensemble de la zone de rechargement.

Les travaux de recharge ont débuté à l'ouest du site, mais les sédiments ont été déposés à l'extrémité est du site et ont été transportés et étendus à l'aide d'un tracteur chargeur John Deer 544 H sur roues et d'une pelle hydraulique avec pouce Caterpillar 315 C sur chenilles. La restauration du site s'est exécutée à mesure que les travaux ont progressés vers l'est, jusqu'au dernier camion qui a déposé son chargement directement à partir du chemin des Jésuites.

Les sédiments ont été déposés et étendus par couches successives et uniformes et ont été compactés grâce aux passages répétés de la machinerie. Enfin, le compactage et nivelage final a été exécuté à l'aide de la pelle hydraulique. Le nivellement avait pour objectif de rendre les profils conformes aux lignes théoriques des profils présentés dans le rapport de caractérisation. Le suivi des profils a été réalisé par le comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire à l'aide d'un laser rotatif automatique RL-H3C TOPCON, d'une règle graduée munie d'un récepteur laser, appartenant à la MRC de Kamouraska. Les travaux de rechargement sédimentaire se sont échelonnés sur une journée et demie malgré des conditions climatiques difficiles (vent, pluie, froid).

3.4 Pose d'un filet stabilisateur

Nous avons utilisé 300 mètres carrés de filet stabilisateur (CoirMAT # 400) fait de coir (fibre de noix de coco) afin de recouvrir la recharge sédimentaire. Cette membrane est 100 % biodégradable, sans aucun additif et contrôlée par Écocert et distribuée par Multi-formes environnement inc. Elle a été mise en place manuellement selon les directives du fabricant, parallèlement à la côte (Figure 10). Les ancrages de métal du fabricant n'ont pas été utilisés, mais plutôt des piquets de bois de 24 à 36 pouces afin de maintenir au sol le filet (Figure 11). Nous avons jugé que les ancrages métalliques de 6 ou 8 pouces étaient trop courts pour implanter dans les sédiments meubles et ainsi n'offraient pas une solidité adéquate. Cette membrane a été utilisée principalement afin de diminuer les impacts du ruissellement que pourraient causer les pluies durant les premiers mois, soit durant l'implantation des végétaux. Par la suite, leur système racinaire prendra le relai en termes de stabilisation lorsqu'ils seront bien établis. C'est pour cette raison que le filet a été installé que sur la partie supérieure de la recharge. La partie inférieure de la recharge sera beaucoup plus affectée et remaniée par l'action des vagues. C'est grâce à ce remaniement que la plage se reprofilera et atténuera l'effet des vagues à la côte.



Figure 10. Installation du filet stabilisateur dans une tranchée



Figure 11. Installation de piquets de bois pour maintenir le filet

3.5 Plantation de végétaux indigènes

Les travaux de plantation des végétaux ont été réalisés le 31 mai sous la responsabilité du Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire. Cette plantation a été réalisée à l'aide d'élyme des sables d'Amérique (*Leymus mollis mollis*) et de rosiers inermes (*Rosa blanda*). Ces végétaux présentent un système racinaire fortement développé et un feuillage qui agissent comme un filet, ce qui permet de retenir les grains de sable et de contribuer à stabiliser le sol. Le principe de la revégétalisation est d'utiliser les végétaux comme capteurs de sédiments sur la haute plage afin de maintenir cette section qui agit comme une zone de perte d'énergie des vagues et une source de sédiments.



Figure 12. Plants d'élyme des sables d'Amérique en caissettes de 98 multicellules

Les plants d'élymes des sables d'Amérique proviennent d'un organisme local, Les Jardins de Métis dans des formats multicellules comprenant 98 plants par caissettes. (Figure 12). Les plants d'élymes ont été transportés sur le site à l'aide d'un véhicule de location de style cargo (Figure 13). Les rosiers inermes proviennent d'un fournisseur provincial spécialisé en plantes indigènes, la Pépinière l'Aiglon dans des contenants de 1 litre.

L'élyme des sables d'Amérique (*Leymus mollis* sp. *mollis*) a été positionné à environ 1 à 2 m au-dessus de la ligne des hautes eaux sur 300 m², à une densité de 15 plants au m², donc 4 500 plants ont été nécessaires. Juste en amont de la plantation d'élymes, 130 plants de rosiers inermes (*rosa blanda*) ont été implantés sur 50 m² à une densité de 0,5 plant au m². Lors de la plantation, deux chargés de projet du Comité ZIP étaient présents, accompagnés d'un employé municipal et de 6 bénévoles. Les 4 500 plants ont été plantés durant l'avant-midi et les 130 plants de rosiers durant l'après-

midi. Les méthodes de plantation sont différentes pour ces deux espèces. Pour l'élyme des sables, il est préférable de bien arroser le substrat avant la plantation afin que les grains de sable se maintiennent plus facilement entre eux. Ensuite, à l'aide d'un poinçon ou d'un bâton on réalise les trous espacés de 25 cm et on insère les plants et on recouvre de sable (Figure 14 et 15). Par la suite, on réalise un bon arrosage dans les semaines suivantes en fonction des conditions météorologiques. Lors de cette plantation, l'arrosage ne fut pas nécessaire puisqu'il a plu la nuit avant et durant la plantation. Le sol était bien humide, cela a grandement accéléré les travaux de plantation.



Figure 13. Transport des plants d'élyme des sables avec un véhicule de location de style cargo.



Figure 14. Bénévoles au travail à l'aide d'un poinçon afin de façonner les trous et pour la plantation de l'élyme.



Figure 15. Bénévoles exécutant la plantation au travers du filet stabilisateur.



Figure 16. Plantation du rosier inerme dans une tranchée de 20 cm à la base de la recharge sédimentaire.

Les rosiers inermes, ont été plantés en réalisant une tranchée de 20 cm à la base supérieure de la recharge en respectant une distance de 50 cm entre eux (Figure 16).

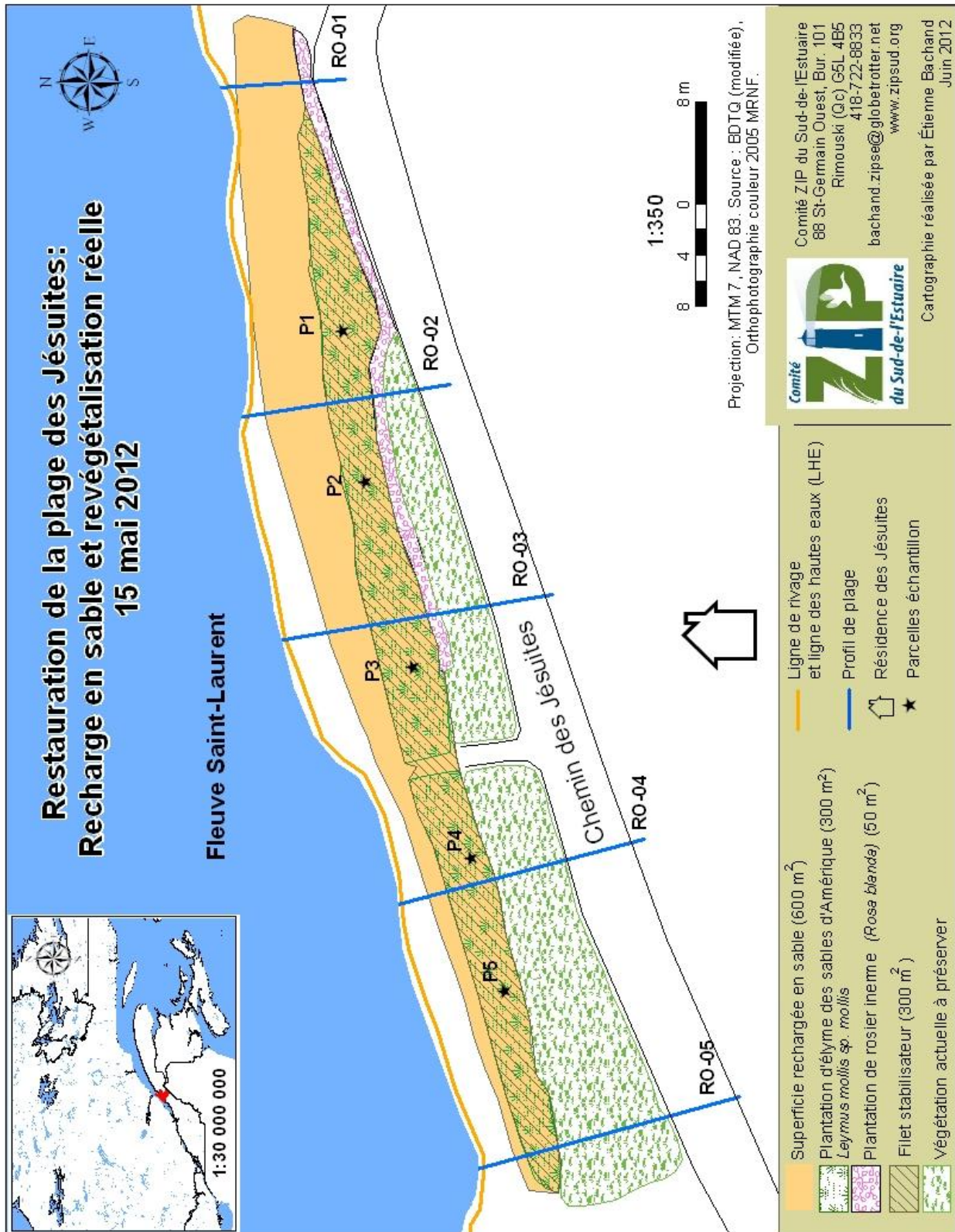


Figure 17. Carte des travaux de recharge en sable et revégétalisation en mai 2012.

4. SUIVI

Le Comité ZIP a réalisé un suivi d'un an sur le site. Le taux de reprise et l'expansion des plants d'élyme des sables ainsi que des rosiers inermes ont été notés grâce à cinq parcelles de 1 m². Celles-ci ont été installées aléatoirement suite aux travaux et identifiées à l'aide de piquets de bois (Figure 15). Ces parcelles faites de cadres en bois de 1 m par 1 m ont permis de dénombrer à cinq reprises les plants d'élymes vivants, de mesurer le plant le plus long et le plus court et de dénombrer les nouvelles tiges. Afin de déterminer l'évolution de la côte et le bilan sédimentaire du site, cinq profils transversaux ont été relevés avant et après les travaux. À l'aide d'un laser fourni par la MRC de Kamouraska, les cinq profils ont été relevés à cinq reprises après les travaux. Deux relevés ont été réalisés sur l'ensemble de la plage soit la haute plage (recharge en sable) et le haut estran jusqu'au point d'inflexion (Figure 18). À cause de la marée haute lors de la prise de donnée, les trois autres relevés sont incomplets, mais donnent de l'information sur l'évolution de la recharge en sable. Ces données topographiques ont permis d'obtenir des valeurs de largeur de la plage (haute plage et haut estran) et de calculer un indice du bilan sédimentaire de la plage (IBSP) à chacun des profils (Bernatchez et coll., 2010, Morissette et Joyal, 2012). L'IBSP a été obtenu grâce au calcul de l'aire sous la courbe des profils multipliée par un facteur 1. Cette formule permet d'obtenir des volumes sédimentaires par profil comparables entre eux.

$$IBSP = \frac{(H \times L)}{2} \times 1$$

où H est l'altitude d'un point sur le profil à partir du point d'inflexion
et L est la largeur entre deux points sur le profil

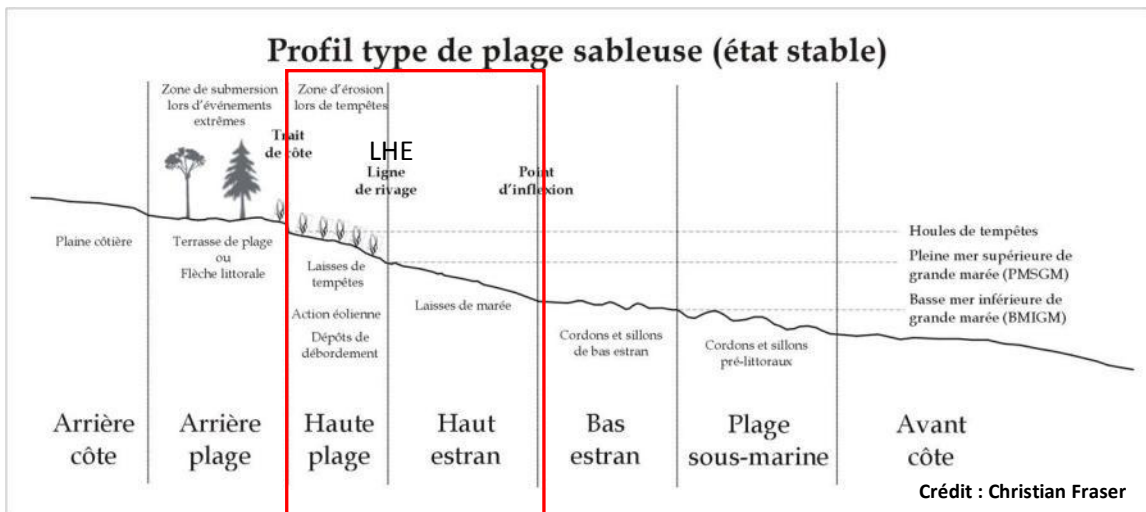


Figure 18. Nomenclature des sections de plage en fonction des niveaux de grandes marées et de la ligne des hautes eaux (LHE).

4.1 Grande marée du 26 mai 2013

Le 26 mai 2013 à 5h05 une marée de 6,2 mètres était prévue à la station Pointe-aux-Orignaux située à quelques dizaines de mètres du site restauré. Cette marée de vives-eaux était accompagnée de vents soufflant du nord-nord-est à des vitesses moyennes variant entre 32 et 41 km/h (Environnement Canada-Station La Pocatière) avec des rafales allant jusqu'à 69 km/h et d'une pression atmosphérique descendante. Cette combinaison de facteur a eu pour effet de créer une onde de tempête et de générer à la côte des vagues déferlantes de forte envergure.

Au lendemain de cette tempête, des dégâts étaient notables au niveau de la recharge en sable ainsi qu'au niveau de la plantation d'élyme des sables et de rosiers inermes (Figure 19.) De plus, une quantité importante de débris, principalement de bois, s'est retrouvée sur la plantation et à l'extrême ouest du site. Par endroits, plus de 0,6 m de débris recouvraient la plantation (Figure 20). De grandes quantités de débris se sont aussi retrouvées sur le chemin des Jésuites. Afin de libérer l'accès, la municipalité a retenu les services d'un entrepreneur local afin de déblayer le chemin et de pousser les débris en bordure du chemin, le long de la côte (Figure 21.).



Figure 19. Impact de la tempête sur la recharge en sable



Figure 20. Nombreux débris de bois sur la plantation



Figure 21. Débris de bois déplacés à l'aide de machinerie en bordure de la plage afin de libérer le chemin des Jésuites

À la suite de la tempête, le Comité ZIP a procédé à un relevé des cinq profils de plage et au dénombrement des plants d'élyme des sables dans les parcelles-échantillons. Il a été déterminé de réaliser un nettoyage rapidement afin de libérer les plants d'élyme des sables ensevelis sous les débris. Naturellement, lorsqu'une colonie d'élymes des sables est bien établie dans son milieu, elle a les ressources et la force pour traverser les débris. Dans ce cas-ci, les plants étaient encore dans leur période d'implantation et n'avaient pas toutes les forces nécessaires afin de traverser plus de 0,6 m de débris. Un nettoyage manuel à l'aide de râpeaux a été réalisé le 4 juin 2013 par l'équipe du Comité ZIP et des bénévoles (Figure 22). Les débris ont été déplacés de part et d'autre de la plantation afin de permettre aux plants d'élyme de se relever (Figure 23). Cette opération réalisée rapidement après la tempête était nécessaire puisque plusieurs tiges présentaient des teintes de décoloration (feuilles jaunies).



Figure 22. Nettoyage manuel de la plantation



Figure 23. Nettoyage terminé

4.2 Plantation

Le premier dénombrement a été réalisé suite à la plantation et varie entre 13 et 19 plants/m² ce qui représente une moyenne de 15,2 plants/m². Cela respecte le taux de plantation prévue de 15 plants/m². Le dénombrement des parcelles échantillons a permis de déterminer que durant la première saison (été 2012) le taux de reprise des plants a été excellent, aucune mortalité n'a été notée dans les cinq parcelles lors des relevés du 17 juillet et du 17 septembre 2012 (Figure 29). Lors du premier relevé de la deuxième saison, le 2 mai 2013, le dénombrement a permis de constater que sur l'ensemble des parcelles le nombre de plants d'élyme a au moins doublé (p3), et au mieux quadruplé (p4) (Figure 24 et 25). Lors du relevé subséquent du 28 mai 2013, suite à la tempête du 26 mai les parcelles p1 et p2 avaient complètement disparu, la parcelle p3 avait perdu près de la moitié des plants (Figure 26 et 27.) et on note une légère diminution dans la parcelle p5. Un fait intéressant la parcelle p4 qui a été peu affectée par la marée démontre une augmentation du nombre de plants. Avant la tempête du 26 mai 2013, aucune superficie revégétalisée n'avait été affectée. Cependant, après on note une perte de 100 m² ainsi on peut estimer une perte de 1 500 plants d'élymes des sables d'Amérique sur les 4 500 plants plantés initialement qui ont été emportés par les vagues, soit le tiers de la plantation (Figure 25). Une visite du site a été réalisée le 10 juillet 2013, nous avons constaté que le nettoyage réalisé en juin a été fortement bénéfique puisque la majorité des plants dégagés se sont bien relevés, et sont bien vigoureux, les traces de décoloration et de sécheresse des plants observées lors du nettoyage avaient complètement disparu (Figure 28).



Figure 24. Parcelle p3 suite à la plantation 31 mai 2012.



Figure 25. Parcelle p3, après 1 an, 3 mai 2013.



Figure 26. Parcelle p3 suite à la tempête 26 mai 2013.



Figure 27. Parcelle p3, après nettoyage, 28 mai 2013.



Figure 28. Parcelle p3, 10 juillet 2013.

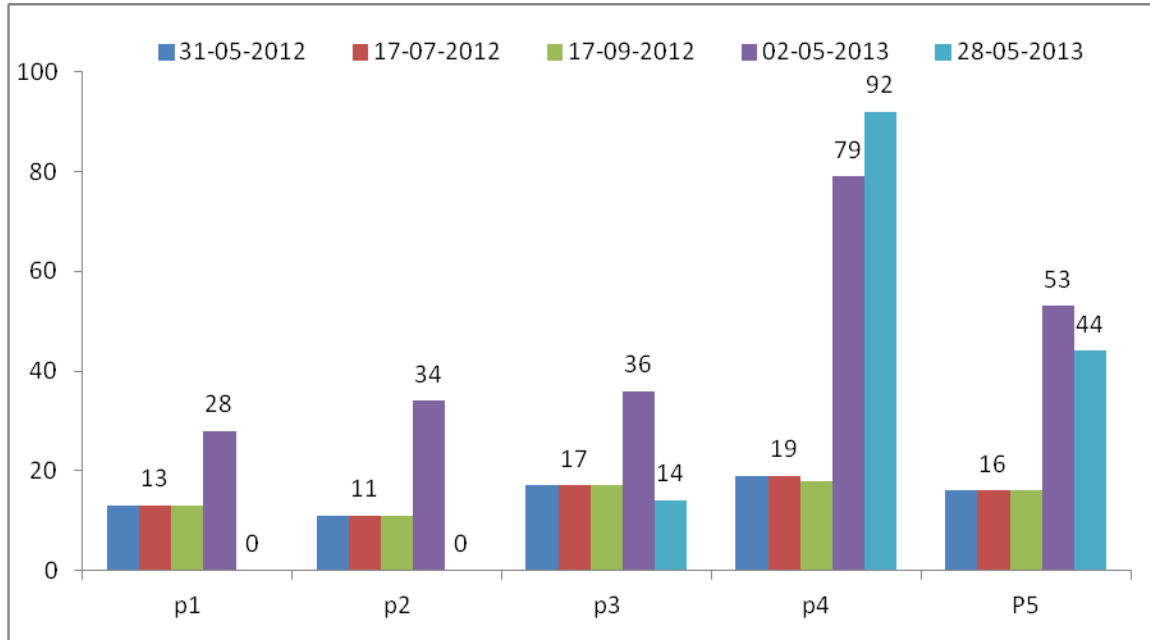


Figure 29. Nombre de tiges d'élyme des sables d'Amérique dénombrées dans 5 parcelles et relevées à 5 reprises.

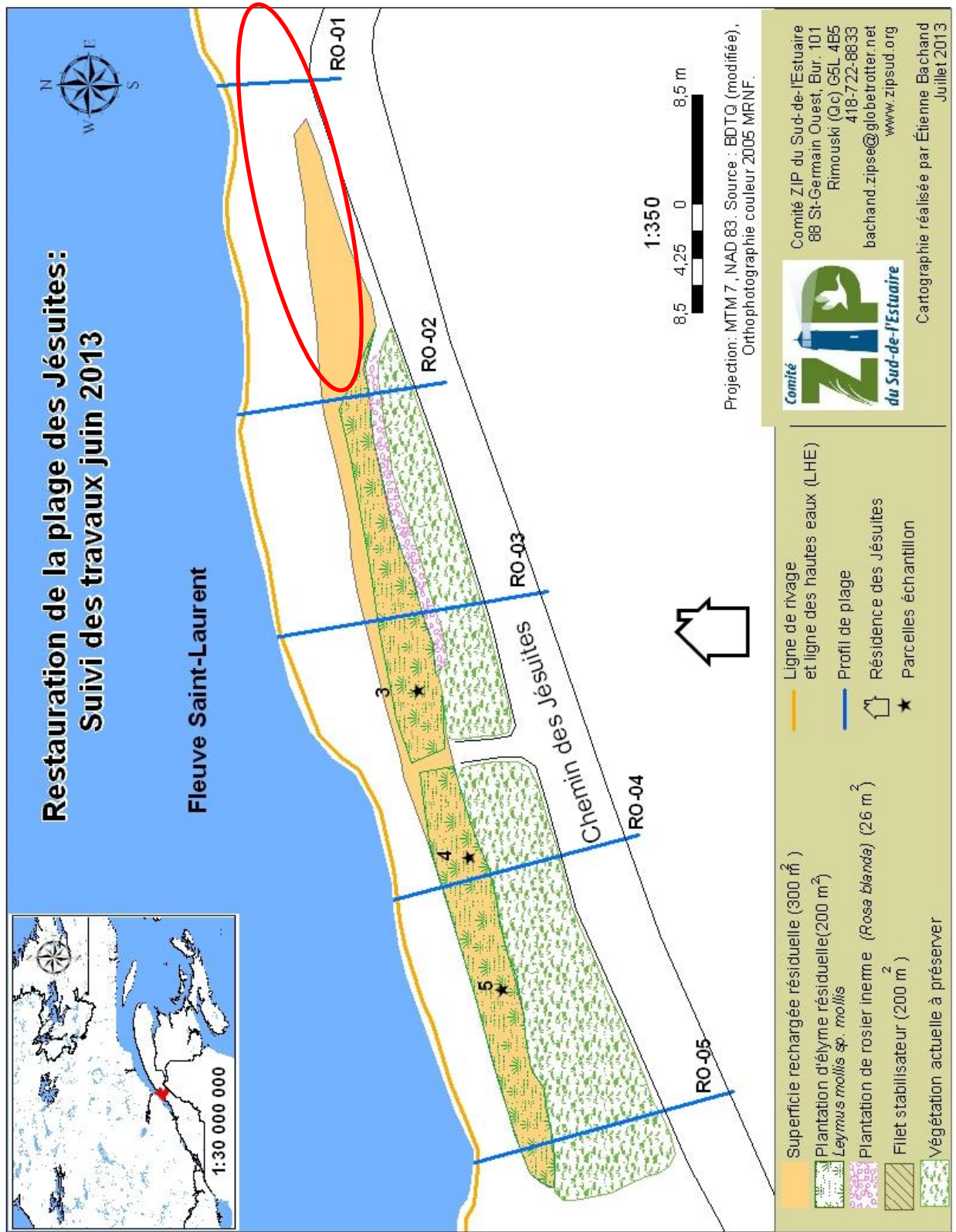


Figure 30. Carte de suivi de travaux de restauration à la fin du projet en juin 2013, cercle rouge, endroit recharge d'entretien.

4.3 Recharge sédimentaire

Les relevés topographiques des cinq profils permettent de représenter graphiquement l'évolution de la plage en fonction du relevé initial du 27 octobre 2011, à la suite des travaux de recharge en sable du 9 mai 2012, en juillet et en septembre. En 2013, deux relevés ont été réalisés le 2 et le 28 mai (Figure 31). Le suivi des superficies permet de constater une diminution de la superficie couverte par la recharge en sable, celle-ci était de 600 m² initialement (Figure 17). À la suite du suivi, la superficie de la recharge représente 300 m² (Figure 30). Cette diminution de superficie est causée par des causes naturelles et anthropiques tel que le sapement par les vagues, la submersion des terres, la déflation éolienne, le piétinement et l'effet de bout. Cependant, la diminution de la superficie rechargée en sable est principalement causée par la tempête du 26 mai 2013 qui a provoqué de l'érosion par les vagues et de la submersion sur la recharge en sable et le chemin des Jésuites. Au niveau des volumes de sédiments, on estime qu'entre 150 m³ et 200 m³ de sédiments ont été remaniés, soit environ la moitié de la recharge en sable initiale.

Cependant, il est important de quantifier et de caractériser l'ensemble de la plage (haute plage et haut estran) afin de connaître l'évolution du profil de la plage et du transit sédimentaire et non seulement la partie qui fut rechargée en sable. Les relevés topographiques permettent d'obtenir des valeurs de largeurs de la plage ainsi qu'un indice du budget sédimentaire de la plage (IBSP). Ces paramètres sont utilisés dans de nombreuses études (Bernatchez et Fraser 2012, Bernatchez et coll. 2010, Bernatchez et coll. 2011) et permettent de quantifier l'évolution et le dynamisme du secteur.

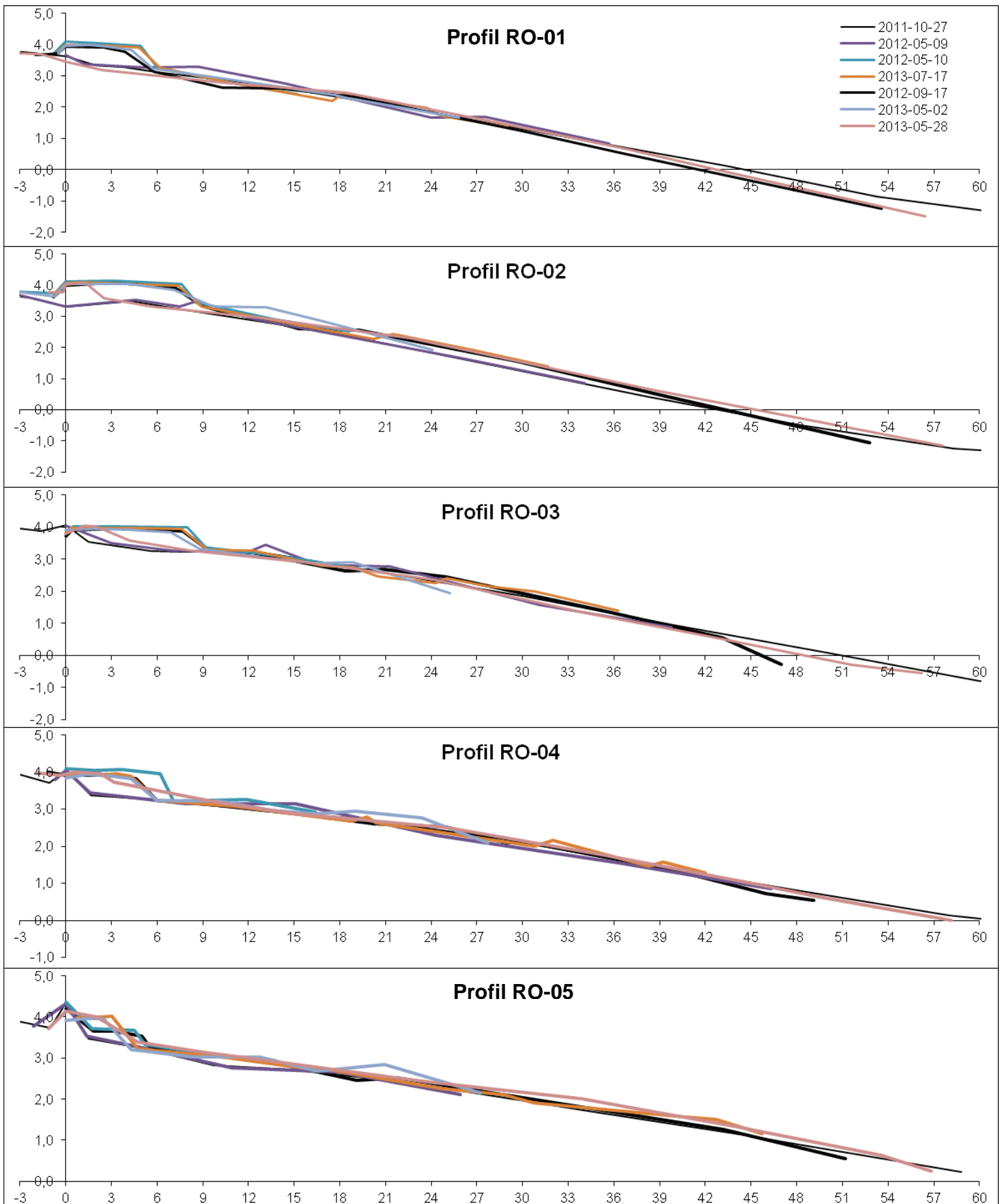


Figure 31. Évolution de la plage des Jésuites illustrés grâce à 5 profils de plage relevés avant, après les travaux de restauration et durant le suivi

Le suivi sur un an du site de la plage des Jésuites a permis de constater qu'il y a une variabilité interannuelle importante (Figure 32). En effet, les profils du centre (RO-02, RO-03 et RO-04) présentent une diminution de la largeur de plage lors de la première saison de suivi (2012) par rapport à la valeur initiale prise en 2011. Tandis que le profil RO-05 présente une forte augmentation par rapport à la valeur initiale. Par exemple, on note des diminutions de largeur de plage de 19,7 m et de 16,2 m (RO-03 et RO-04) et des augmentations de 12,9 m et de 26,15 m (RO-02 et RO-05). Lors du relevé du 17 septembre 2012, on note une diminution de la largeur de plage sur les profils du centre et une forte augmentation de la largeur de la plage sur le profil (RO-05). Lors du relevé du 28 mai 2013, suite à la tempête on observe une augmentation de la largeur de plage sur l'ensemble des profils. Les profils RO-01, RO-02 et RO-05 présentent une augmentation de la largeur de plage par rapport à la valeur initiale de 2011. Tandis que les profils RO-03 et RO-04 présentent une augmentation de la largeur de plage par rapport à la valeur de l'automne 2012.

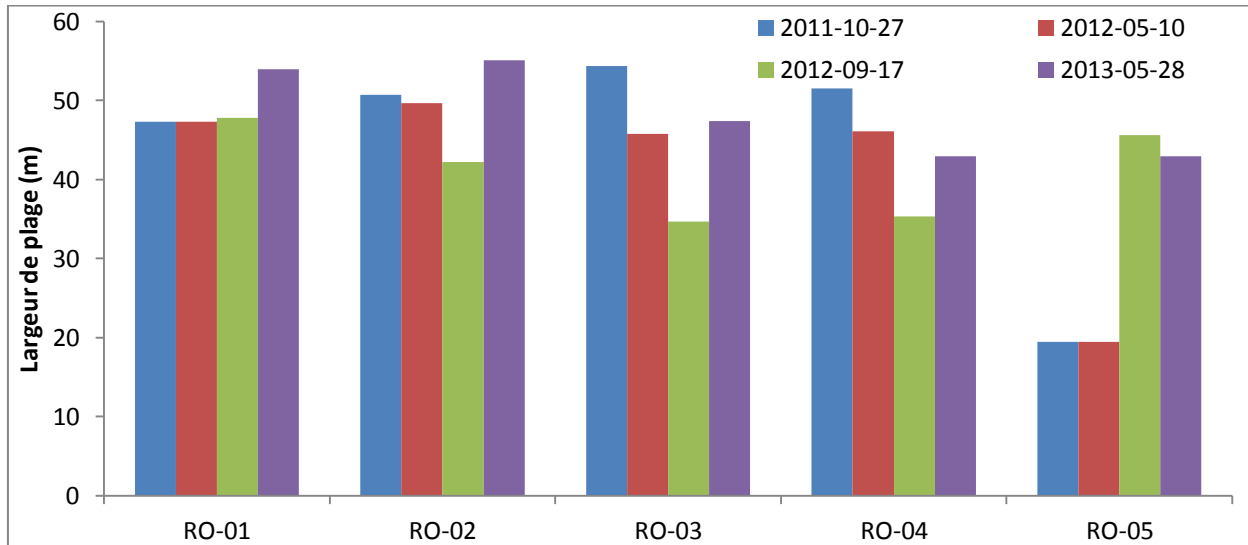


Figure 32. Largeur de plage (haute plage et haut estran) relevée sur les 5 profils et relevé à 4 reprises.

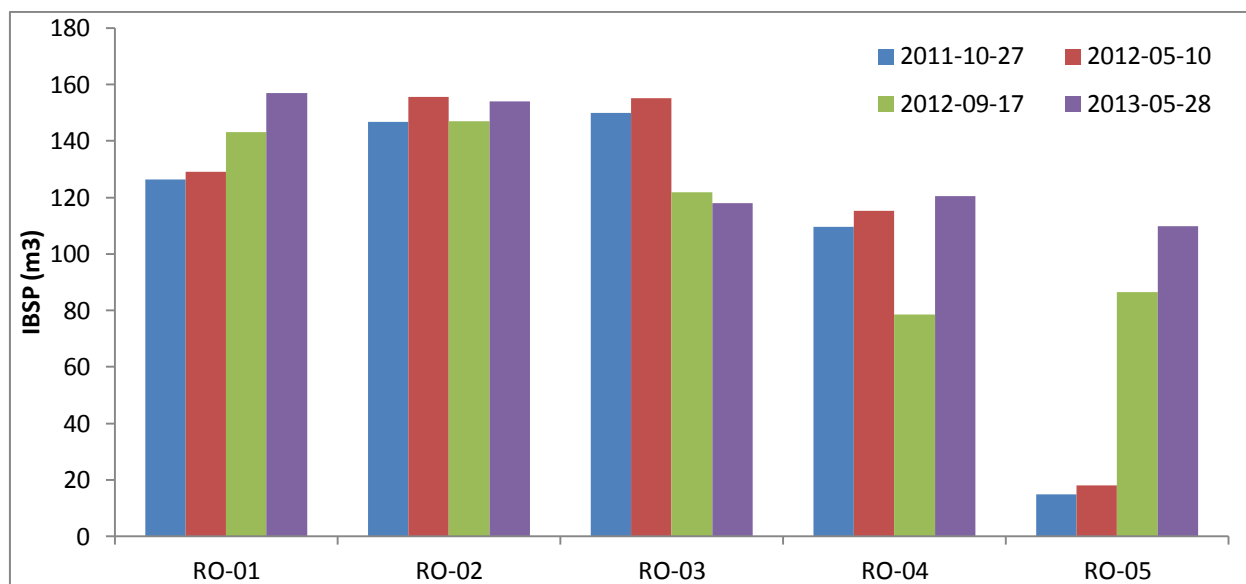


Figure 33. Indice du bilan sédimentaire de plage (IBSP) (m³) pour les 5 profils et relevé à 4 reprises.

L'indice de bilan sédimentaire de plage (IBSP) démontre une variabilité interannuelle et un bilan positif par rapport à l'indice de bilan sédimentaire initial (Figure 33). En effet, l'ensemble des profils à part le RO-03 présente IBSP plus élevé que le volume initial. Par exemple, le profil RO-01 à un IBSP de 126,3 m³ et au 28 mai 2013 a un IBSP de 157,1 m³. La plus forte augmentation de l'IBSP est observée dans le profil RO-05, on observe une augmentation de 94,9 m³. En contrepartie, le profil RO-03 présente une diminution de l'IBSP de 31,8 m³ par rapport au volume initial de 149,9 m³. Le relevé du 10 mai 2012 représente la part de l'IBSP qui fut ajoutée dans le système lors de la recharge en sable et varie de 2,9 m³ à 8,9 m³ par profil (Tableau 1.)

Profils	IBSP (m3)
RO-01	2,9
RO-02	8,9
RO-03	5,3
RO-04	5,7
RO-05	3,0

Tableau 1. Indice de bilan sédimentaire de plage (IBSP) (m3) qui fut ajouté le 9 mai 2012 pour les 5 profils.

Il est intéressant de constater que les valeurs de largeur de plage et de l'IBSP démontrent des tendances similaires, la largeur de la plage ainsi que la valeur de l'IBSP ont augmenté significativement dans les extrémités de la plage (RO-01 et RO-05). Tandis qu'une tendance de diminution de la largeur de plage et de la valeur de l'IBSP est observée au centre de la plage. Les valeurs en diminution lors du relevé du 17 septembre 2012 au centre de la plage correspondent probablement à un événement de grande marée accompagné de vent entre le 15 et le 16 septembre. La portion est de la plage a été la plus affectée lors de la tempête du 26 mai 2013 soit les profils RO-01 et RO-02. En effet, cette section de la recharge en sable a été entièrement déplacée par les vagues et comme l'indiquent les résultats le sable semble être descendu sur le haut estran au niveau de RO-01 où l'on observe un élargissement de la plage et une augmentation de l'IBSP. On observe aussi un élargissement de la plage et une augmentation de l'IBSP au niveau de RO-04

et RO-05 ce qui permet d'affirmer que le sable s'est déplacé vers l'ouest en suivant la dérive littorale. Cependant, la quantité de sédiments ajoutée lors des travaux de recharge sur l'ensemble du site ne peut expliquer la totalité de la variabilité du budget sédimentaire de la plage des Jésuites. En effet, une part importante de l'augmentation de l'IBSP est due à de la sédimentation naturelle sur la plage. Il est difficile avec un suivi d'un an seulement de départager la part de sédimentation naturelle versus l'apport artificiel.

5. RECOMMANDATIONS

Tout d'abord à la suite de la tempête du 26 mai 2013 une importante quantité de débris principalement ligneux se sont retrouvés sur le chemin des Jésuites et ont été poussés à l'aide d'une machinerie le long de la plage. **Nous recommandons qu'avant les grandes marées de septembre soient retirés de la plage les plus gros débris et une partie des amoncellements afin qu'ils ne soient pas repris par la marée.** Que ces débris soient déplacés à un endroit approprié. De plus, ce nettoyage permettrait de redonner un caractère plus esthétique au site. Il est important cependant de prendre toutes les précautions nécessaires lors du retrait des débris afin de ne pas affecter avec la machinerie le substrat sous-jacent, les plants d'élyme et les rosiers inermes survivants.

Tel que mentionné dans le rapport de caractérisation de la plage des Jésuites (Bachand, 2012), les travaux de recharge en sable demandent des recharges subséquentes. Il est difficile d'évaluer la fréquence des recharges d'entretien puisqu'ils sont fonction des conditions climatiques futures, de la fréquence des tempêtes. De plus, actuellement aucune étude n'est encore disponible sur le sujet puisque les recharges sédimentaires ont encore peu été utilisées sur les plages de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Une étude réalisée aux Îles-de-la-Madeleine en 2011 propose des prévisions de **recharge d'entretien aux 3 à 7 ans et de l'ordre du tiers de la recharge initiale** (Roche, 2011). Dans le cas de la plage des Jésuites, entre 150 m³ et 200 m³ (300 à 600 tonnes) de la recharge initiale a été déplacée vers l'est et sur le haut estran. **Nous recommandons qu'avant les grandes marées de septembre qu'entre 50 et 100 m³ (100 et 200 tonnes) de sédiments sableux soient remis sur la haute plage dans le secteur est,** le plus affecté (Figure 23). Les sédiments doivent provenir du banc d'emprunt situé sur les lots 498-P et 499-P du 2^e rang de Ste-Anne –de La Pocatière, puisqu'ils répondent aux spécifications identifiées dans le rapport de caractérisation (Bachand 2012). En suivant, les plans et devis initiaux cette recharge peut se réaliser directement à partir du chemin des Jésuites sans empiéter sur la plage. Une mise en place et une compaction sommaire des sédiments sont recommandées à l'aide d'un bélier mécanique ou d'une pelle chargeuse. Ces travaux peuvent aussi se réaliser à partir du chemin des Jésuites sans empiéter sur la plage.

Le certificat d'autorisation émit le 24 avril 2012 par le Ministère du Développement durable et des Parcs est valide 10 ans soit jusqu'au 24 avril 2022. Donc, les recharges d'entretien n'ont pas besoin de demande d'auprès du MDDEFP pourvu que les travaux respectent les plans initiaux inclus dans le plan et devis remis à la municipalité en avril 2012.

Pour les années subséquentes, nous recommandons à la municipalité de poursuivre les recharges d'entretien afin de limiter les impacts de l'érosion sur la portion est du chemin des Jésuites. En laissant la bordure du chemin des Jésuites sans protection, elle est vulnérable au sapement par la vague. En réalisant les recharges d'entretien on assure de limiter l'érosion du chemin tout en permettant d'ajouter du sédiment à la plage. En se basant sur une estimation, le tiers de la recharge initiale représente 100 m³ 200 tonnes (300m³/3). **Nous recommandons à la municipalité de prévoir un montant approximatif pour**

des recharges d'entretien annuel moyen de 30 m³ (30 m³ x 16 \$/tonne = 480 \$/an). Selon les conditions climatiques, il pourrait advenir que durant les deux prochaines années, aucun événement de tempête ne vienne endommager les travaux donc aucuns frais d'entretien nécessaire. En contrepartie, il pourrait advenir que les dommages surviennent lors d'une seule année ou d'un seul événement. **Nous recommandons que les débris ligneux déposés sur le chemin des Jésuites lors d'un événement de submersion subséquent ne soient pas poussés sur le littoral, mais soient déplacés à un endroit approprié** afin de ne pas endommager la végétation littorale.

Enfin, avec la tendance à l'augmentation de la fréquence des tempêtes et la vulnérabilité de la partie est de la plage accentuée par l'estran rocheux et le muret qui engendre de l'effet de bout **nous recommandons que les recharges d'entretien s'emploient seules** afin de diminuer les investissements dans une zone à risque. En rechargeant ponctuellement ce secteur de la plage suite aux événements de tempêtes subséquentes, la municipalité pourra ainsi limiter les dommages liés à l'érosion du chemin des Jésuites. Par contre, la problématique de submersion du secteur qui inonde le chemin d'eau et de débris est pratiquement inévitable à moins de considérer de lourds travaux d'ingénierie qui auraient des coûts en argent, mais aussi écologiquement en perturbant l'ensemble de la plage. Comme démontré avec les résultats du suivi, la plage des Jésuites est large et bénéficie d'un apport sédimentaire naturel important. Une structure rigide aurait des impacts négatifs à moyen et long terme sur l'ensemble du bilan sédimentaire de la plage.

Une solution durable qui pourrait être envisagée en concertation avec les résidents et les utilisateurs serait de fermer une partie du chemin des Jésuites à la circulation automobile et ne permettre que la circulation piétonnière. À partir de l'entrée de la cour de la résidence des Jésuites jusqu'à l'entrée des cours du premier résident en haut de la côte, le chemin pourrait être renaturalisé. Un petit sentier pourrait être aménagé le plus au sud possible devant la cour de la maison des Jésuites (Figure 34). De cette manière, la marée et les débris peuvent empiéter sur le chemin sans entraver la circulation et de cette manière chacun des propriétaires a un accès à sa résidence sans aucune modification.



Figure 34. Carte de proposition de la fermeture d'une portion du chemin des Jésuites.

6. BIBLIOGRAPHIE

7.

Bachand, E. (2012-A). *Devis Technique – Projet pilote – Restauration de la plage des Jésuites à Rivière-Ouelle*, Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, Québec, 6 p.

Bachand, E. (2012). *Rapport de caractérisation, restauration de la plage de Jésuites*, Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, Québec, 26 p.

Bernatchez, P. et J.-M. Dubois (2004). *Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien*, Géographie physique et quaternaire, vol. 58, n° 1, p. 45-71.

Bernatchez, P., Toubal, T., Van-Wiersts, S., Drejza, S. et Friesinger, S. (2010). *Caractérisation géomorphologique et sédimentologique des unités hydrosédimentaires de la baie de Plaisance et de Pointe-aux-Loups, route 199, Îles-de-la-Madeleine. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières*, Université du Québec à Rimouski. Rapport final remis au ministère des Transports du Québec, avril 2010, 177 p.

Bernatchez, P. et C. Fraser, (2012). *Evolution of coastal defense structures and consequences for beach width trends*, Québec, Canada, Journal of coastal research, Vol 28, n° 6, p 1550-1566.

Bernatchez, P., Fraser, C., Lefavre, D., Dugas, S., 2011. *Integrating anthropogenic factor, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards*. Ocean & Coastal Management, vol. 54, p. 621-632.

Bernatchez, P., Fraser, C., Lefavre., 2008. *Effets des structures rigides de protection sur la dynamique des risques naturels côtiers : Érosion et submersion*. Comptes rendus de la 4^e conférence canadienne sur les géorisques : des causes à la gestion. Presse de l'Université Laval, Québec, 594 p.

Dean, Robert G. (2002). *Beach nourishment: theory and practice*, River Edge, N.J.: World Scientific, Advanced series on ocean engineering; v. 18, 399 p.

Dean, R.G. et R.A. Dalrymple (2004). *Coastal processes: with engineering applications*, Cambridge, U.K. New York : Cambridge University Press, 475 p.

Juneau, M-N. Bachand, É. et Lelièvre-Mathieu, A. (2012) *Restauration et aménagement du littoral; Guide des bonnes pratiques du Bas-Saint-Laurent*, Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, Québec, 40 p.

Morissette, A., Joyal G. (2012) *Caractérisation hydrogéomorphologique et sédimentologique de la plage de la Pointe-à-Boisvert, Longue-Rive, Haute-Côte-Nord*. Rapport final remis au comité ZIP de la rive nord de l'estuaire, Baie-Comeau, 86 p.

Pupier-Dauche, S. (2008). « Le rechargement sédimentaire des plages charentaises et vendéennes : vers une gestion globale du littoral? », *Actes du colloque international pluridisciplinaire « Le littoral : subir, dire, agir »*, Lille, France, 11 p.

Savard J-P., Bernatchez P., Morneau F., Saucier F., Gachon P., Senneville S., Fraser C., Jolivet Y. (2008) *Étude de la sensibilité des côtes et de la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques - Synthèse des résultats*. OURANOS, Consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatique.