08/15/2019

Rapport final

DÉVELOPPEMENT D'UN OUTIL GÉOMATIQUE POUR LE SUIVI DE LA DYNAMIQUE CÔTIÈRE AU PARC NATIONAL KOUCHIBOUGUAC DEPUIS LES ANNÉES 1970

PRÉSENTÉ À : PARCS CANADA

PAR : SAMUEL BEAUPRE
ALEXANDRE BORDUAS
NOAH CASTONGUAY KHOUNSOMBATH
PHILIPPE MALO

KOUCHIFAUNE

Sommaire

La télédétection est une technique éprouvée pour l'étude spatio-temporelle des milieux côtiers, mais leur caractère dynamique représente un défi pour les géomaticiens. En effet, des phénomènes naturels comme les vagues, les marées, les courants et les tempêtes remanient les sédiments et modulent constamment l'allure du trait de côte. Cela rend le suivi de la dynamique côtière difficile, mais à la fois nécessaire pour les municipalités et les gestionnaires d'un parc aux prises avec ces phénomènes. Pour ces motifs, Parcs Canada à mandater l'équipe KouchiFaune pour développer un outil pour faciliter l'étude des changements du littoral au parc Kouchibouguac, situé au Nouveau-Brunswick.

À cette fin, le projet de *Développement d'un outil géomatique pour le suivi de la dynamique côtière au Parc national du Canada Kouchibouguac depuis les années 1970* explore différentes techniques permettant de délimiter le trait de côte. Ce suivi est réalisé principalement sur le secteur des Îles aux Sternes et est effectué à partir de photographies aériennes analogiques aéroportées et photographies aériennes numériques captées par drone et couvre la période des années 70 à aujourd'hui.

D'une part, un outil d'aide au tracé manuel du trait de côte a été développé pour les couvertures aériennes historiques, en utilisant les principes de traitement d'images numériques. Cet outil peut s'appliquer à toute couverture aérienne analogique aéroportée, dans des échelles semblables à celles utilisées soit 1:10 000, et pour des milieux côtiers similaires à ceux du parc Kouchibouguac. Ceux-ci comprennent les systèmes d'îles barrières, des systèmes plages-dunes, des côtes mésotidales, des côtes à falaise rocheuse et des marais maritimes, des types de milieux présents notamment le long des côtes de l'Amérique du Nord.

D'autre part, un outil semi-automatique exécutant une classification supervisée a été programmé pour faciliter le prolongement futur de l'analyse. Cet outil exploite les couvertures de photographies aériennes numériques captées par drone. La particularité de cet outil est qu'il utilise une méthode de classification et applique un traitement d'image numérique de manière semi-automatique.

Les résultats obtenus montrent des déplacements distincts des traits de côte des Îles aux Sternes. Cependant, il est difficile d'établir le niveau de précision des résultats obtenus. En effet, les données de terrain qui permettraient leur validation sont limitées, en particulier pour les couvertures plus anciennes. D'ailleurs, dans le cas où il faudrait analyser d'autres photographies aériennes analogiques aéroportées aux caractéristiques similaires, il est recommandé d'obtenir des données terrain du secteur à l'étude pour s'assurer de la validité de l'analyse.

Somme toute, le projet vient en aide au partenaire avec les outils développés pour le suivi du déplacement du trait de côte. Ces outils contribuent significativement à l'amélioration de l'efficacité et du temps nécessaire pour le suivi.

Table des matières

1. Introduction 1
1.1 Contexte 1
1.2 Problématique 3
1.3 Mandat et objectifs 6
2. Cadre de référence 6
2.1 Définition du trait de côte 6
2.2 Applicabilité de la théorie sur les données disponibles 6
2.3 Télédétection 7
2.4 Projets similaires 9
3. Méthodologie 11
3.1 Données 13
3.2 Volet 1 : Photographies aériennes (1974, 1995, 2002) 13
3.2.1 Prétraitements 14
3.2.2 Extraction des traits de côte par vectorisation manuelle 18
3.3 Volet 2 : Développement de l'outil semi-automatisé (imagerie par drone) 18
3.3.1 Prétraitements 19
3.3.2 Traitements transposés à la barre d'outils 19
3.3.3 Description de l'outil semi-automatisé 21
3.4 Calculs statistiques sur le déplacement du trait de côte 22
3.5 Validation des résultats 22
4. Présentation des résultats 23
4.1 Traits de côte obtenus à partir de l'outil d'aide au tracé manuel 24
4.2 Traits de côte obtenus à partir de l'outil semi-automatique 28
4.3 Résultats de l'analyse DSAS 33
4.4 Résultats de validation 35
4.5 Superficie des Îles aux Sternes 36
5. Discussion 38
5.1 Apports du projet 38
5.2 Méthodes existantes d'extraction des traits de côte 39
5.3 Analyse des résultats 39

5.4 Limites 41
5.5 Possibilités d'application et d'amélioration 41
6. Conclusion 43
Références 44
Annexe 1 48

Liste des tableaux

Tableau 1 - Caractéristiques de projets similaires 10
Tableau 2 - Données utilisées pour le projet 13
Tableau 3 - Évaluation de la précision du géoréférencement des photographies aériennes de 1974, 1995 et 2002 à partir de points de contrôle fixes dans le temps 35
Tableau 4 - Comparaison des superficies obtenues en fonction des différents tracés de l'île aux Sternes la plus au nord 36
Tableau 5 - Changement de la superficie des Îles aux Sternes entre 1974 et 2019 36

Liste des figures

Figure 1 - Carte de localisation du parc Kouchibouguac au Nouveau-Brunswick 2
Figure 2 - Secteurs prioritaires à l'étude au parc Kouchibouguac 4
Figure 3 - Secteur des Îles aux Sternes 5
Figure 4 - Signature spectrale du sable (Tiré de Aligarh Muslim University, 2002) 8
Figure 5 - Signature spectrale pour la végétation (Tiré de Parece, 2015) 8
Figure 6 - Schéma méthodologique 12
Figure 7 - Rehaussement du contraste par l'élévation au cube de la bande rouge 16
Figure 8 - Pente dérivée des variations de couleur entre pixels voisins 17
Figure 9 - Histogramme des options d'affichage 17
Figure 10 - Ajustement des valeurs visibles par masquage des pixels de faible intensité 18
Figure 11 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes (1974) 25
Figure 12 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes (1995) 26
Figure 13 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes (2002) 27
Figure 14 - Classification post-nettoyage du secteur des Îles aux Sternes – île nord (2018) 29

Figure 15 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes – île au nord (2018) 30
Figure 16 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes – île du milieu (2018) 31
Figure 17 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes – île au nord (2019) 32
Figure 18 - Déplacement net du trait de côte entre les années 1974 et 2002, secteur nord du parc Kouchibouguac (2019) 34
Figure 19 - Trait de côte de l'île au nord du secteur des Îles aux Sternes entre les années 1974 et 2019 37

1. Introduction

Ce document destiné à Parcs Canada présente la réalisation et les perspectives du projet *Développement d'un outil géomatique pour le suivi de la dynamique côtière au parc national Kouchibouguac depuis les années 1970*. Celui-ci mentionne le cadre de référence important à la réalisation du projet, la méthodologie empruntée, les résultats obtenus ainsi qu'une discussion à l'égard de ces derniers.

1.1 Contexte

Le projet de *Développement d'un outil géomatique pour le suivi de la dynamique côtière au parc Kouchibouguac* a été réalisé en partenariat avec Parcs Canada. Cette agence gère le parc national Kouchibouguac qui se trouve sur la côte acadienne du Nouveau-Brunswick (figure 1). Ce parc se démarque par un système d'îles-barrières dans la baie de Kouchibouguac et celui-ci consiste en une formation géologique côtière définie par de longues et étroites îles parallèles au littoral. De plus, les lagunes délimitées par ces îles-barrières abritent une diversité d'espèces floristiques et fauniques. Parmi celles-ci, on trouve la Sterne pierregarin qui est une espèce avienne particulièrement concernée par la problématique du secteur étudié.

Figure 1 - Carte de localisation du parc Kouchibouguac au Nouveau-Brunswick

1.2 Problématique

Plusieurs facteurs naturels, tels que vagues, marées, courants et intempéries, influencent la dynamique et l'évolution du cordon littoral du parc Kouchibouguac. Le remaniement des sédiments littoraux transforme ainsi continuellement la superficie des îles et par le fait même l'habitat de nidification d'une colonie de Sternes pierregarin. Les préoccupations de la protection sont justifiées par la fragilité et la précarité de cet écosystème. Dans ce contexte, le parc Kouchibouguac demande une méthode de suivi de la dynamique côtière des Îles aux Sternes (figure 3) et des autres milieux prioritaires identifiés (figure 2).

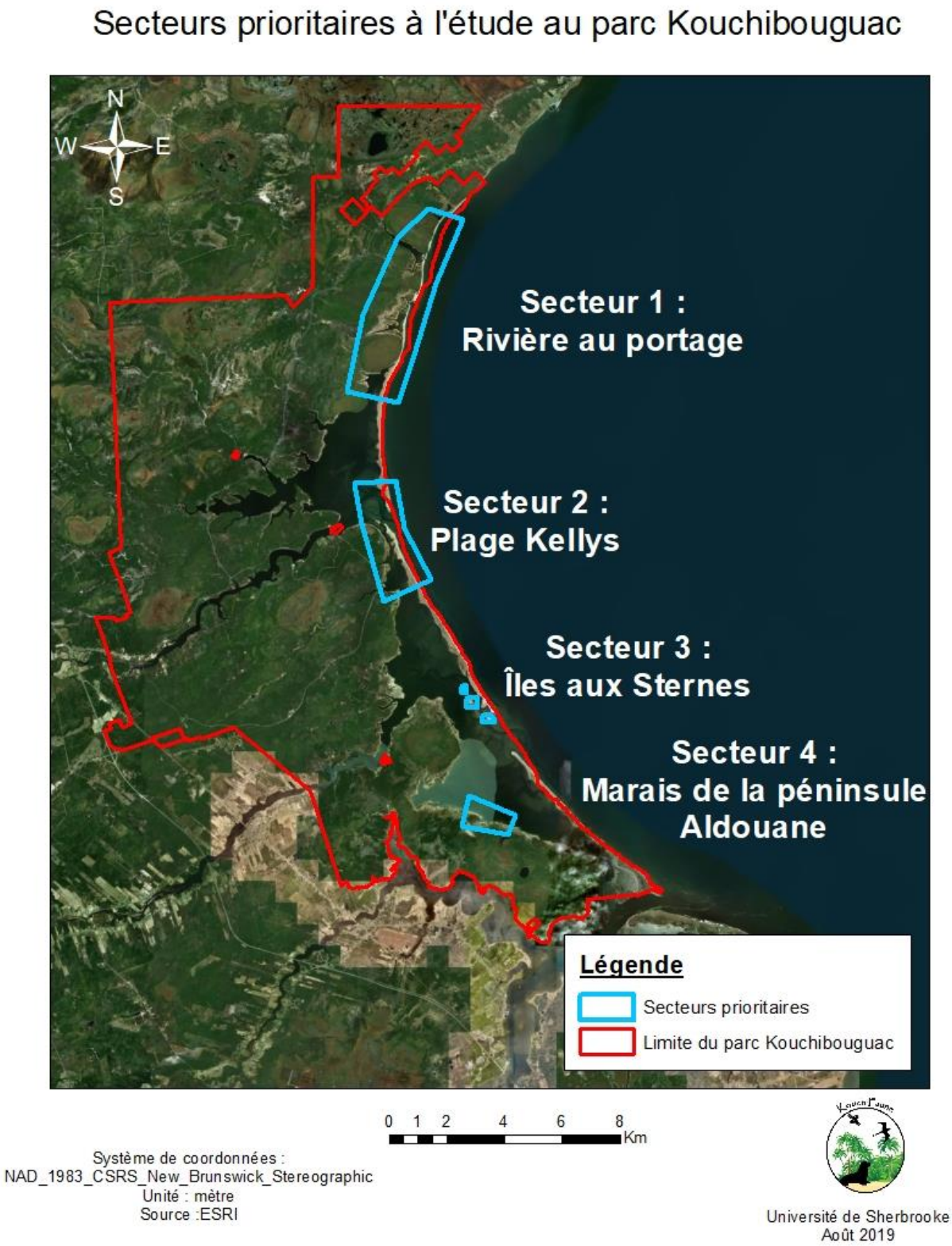


Figure 2 - Secteurs prioritaires à l'étude au parc Kouchibouguac

Figure 3 - Secteur des Îles aux Sternes

1.3 Mandat et objectifs

Le projet de *Développement d'un outil géomatique pour le suivi de la dynamique côtière au parc national Kouchibouguac depuis les années 1970* a pour objectif le suivi historique et futur de la dynamique côtière des Îles aux Sternes situées au parc Kouchibouguac. Plus précisément, le projet vise à développer un outil d'analyse géomatique facilitant le suivi de la dynamique côtière, en particulier pour le secteur des Îles aux Sternes. Les objectifs spécifiques du projet sont les suivants :

- Cartographier et décrire l'évolution des Îles aux Sternes de 1970 à aujourd'hui.
- Développer un outil d'aide au tracé manuel du trait de côte à partir de photographies aériennes à faible résolution spatiale.
- Développer un outil semi-automatique permettant l'extraction du trait de côte à partir de photographies à haute résolution spatiale.
- Vérifier l'applicabilité de la méthode dans d'autres secteurs prioritaires de l'environnement littoral du parc.

2. Cadre de référence

Cette section présente les informations issues de la littérature qui sont utiles à la réalisation du projet dont la définition du trait de côte, les applicabilités de la théorie sur les données disponibles, la télédétection et les projets similaires au projet.

2.1 Définition du trait de côte

Le trait de côte est délimité par la ligne d'intersection entre la surface topographique et le niveau des plus hautes mers (Mallet et Michot, 2012). Autrement dit, c'est la ligne d'intersection entre la mer et la terre qui correspond à la limite supérieure atteinte à marée haute lors des plus hautes marées. Cependant, en pratique, la détermination du trait de côte varie en fonction des différents types d'environnements côtiers (Mallet et Michot, 2012).

2.2 Applicabilité de la théorie sur les données disponibles

En raison du marnage inférieur à deux mètres, le type d'environnement correspondant au secteur des Îles aux Sternes est celui des côtes microtidales (Mallet et Michot, 2012). En théorie, pour ce milieu (figure 4), le trait de côte est identifié soit par une zone d'accumulation de sédiments liée au

déferlement des vagues, soit par le pied de dune qui correspond au plus haut niveau atteint par les eaux lors des plus fortes tempêtes (Mallet et Michot, 2012).

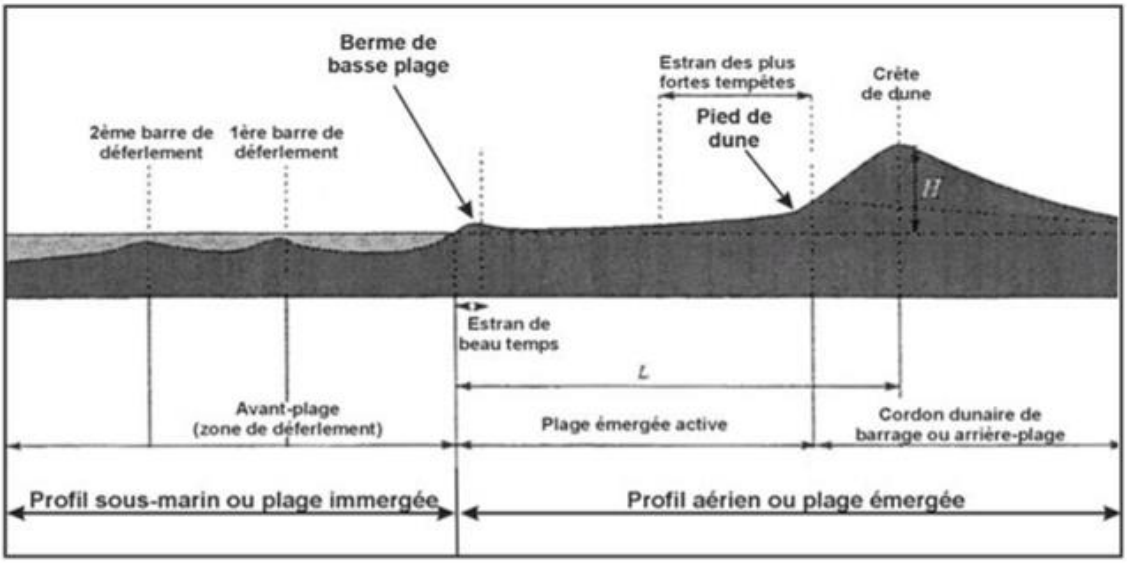


Figure 4 - Schéma type d'un profil de plage sableuse (Tiré de Mallet et Michot, 2012)

2.3 Télédétection

Les signatures spectrales théoriques du sable et de la végétation sont les éléments de télédétection pertinents au projet. En effet, une meilleure connaissance de la réflectance de ces types de cibles offre la possibilité de travailler avec les trois bandes disponibles (rouge, vert, bleu) de chacune des photographies aériennes.

La signature spectrale du sable subit une influence importante en fonction de la taille des grains (figure 5). Plus les grains sont fins, plus les réflectances moyennes sont élevées. De plus, on observe pour toutes les tailles de grains que la réflectance du sable est plus faible dans les longueurs d'onde du bleu et plus élevée dans les longueurs d'onde du vert et du rouge (Okin and Painter, 2004).

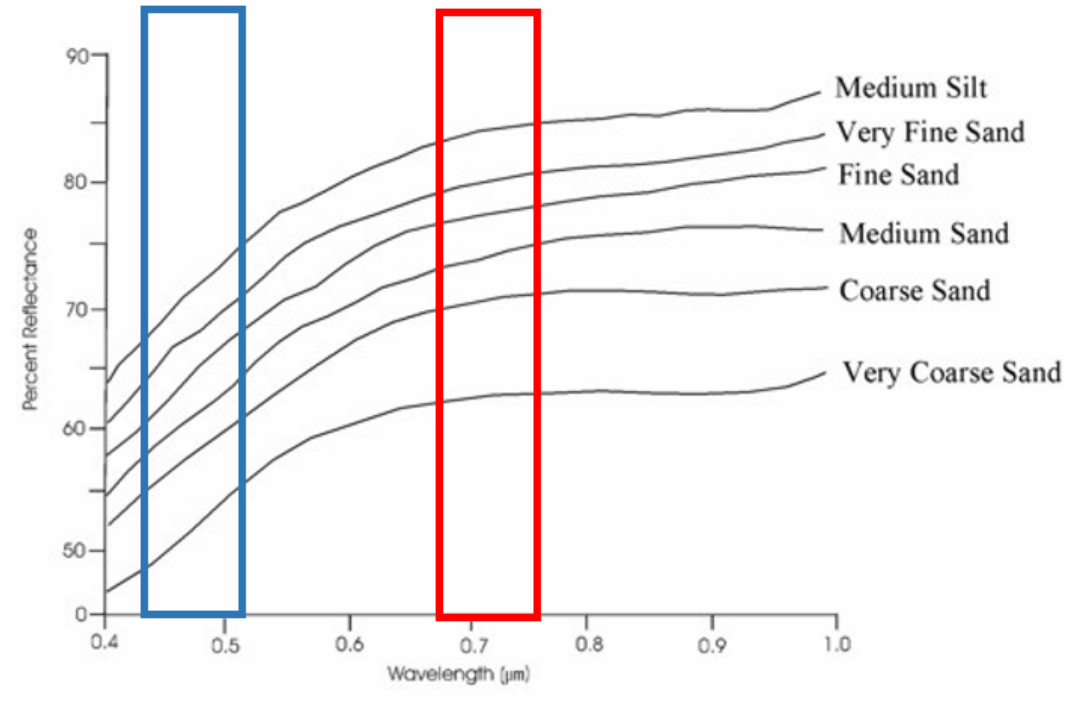


Figure 4 - Signature spectrale du sable (Tiré de Aligarh Muslim University, 2002)

En théorie, la signature spectrale de la végétation (figure 6) montre des valeurs de réflectance moyennement élevées dans les longueurs d'onde du vert, mais plutôt faibles dans le bleu et le rouge (Okin and Painter, 2004).

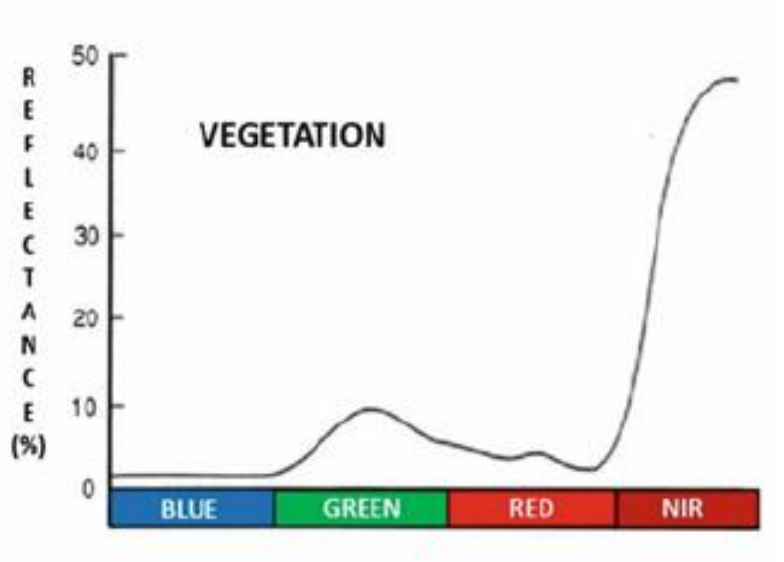


Figure 5 - Signature spectrale pour la végétation (Tiré de Parece, 2015)

Ces deux relations sont pertinentes pour le projet puisqu'elles montrent une différence importante de réflectances du sable et de la végétation dans la bande rouge.

2.4 Projets similaires

L'analyse des changements du trait de côte est un sujet préoccupant en raison des impacts sur la faune, la flore, mais aussi sur les populations humaines situées en milieu côtier. Plusieurs outils réussissent à délimiter la terre ferme du milieu aquatique. Cependant, cette délimitation n'est pas nécessairement indicatrice du trait de côte comme décrit dans la section 2.1. La connaissance de travaux similaires permet à l'équipe d'innover sous certains aspects tout en évitant de reproduire des erreurs connues. Quelques travaux ont été retenus afin d'assurer un développement original :

Tableau 1 - Caractéristiques de projets similaires

Projets	Méthodes / Algorithmes	Outils	Données sources utilisées	Résolution	Type de milieu côtier analysé	Points forts
Shoreline Extraction from the integration of Lidar Point Cloud Data and Aerial Ortho Lee, I-C., Wu, B., Li, R. (2009)	Décalage moyen de segment et erreur quadratique moyenne (RMSE)	NGS, NOAA	Lidar et ortho photographies	0,5 à 1,5 m	Îles et paysages urbains (Portsmouth, New Hampshire)	Combinaison de photographies aériennes et données Lidar
Automatic shoreline extraction from high-resolution Ikonos satellite imagery Shujian, Y., Mou, Y., Duanquan, Xu, D., You, X., Zhou, L., Zeng, W. (2013)	Décalage moyen de segment et erreur quadratique moyenne (RMSE)	IKONOS	IKONOS panchromatique	1 à 2 mètres	Traits de côte linéaires	Coordonnées 3D
A New Algorithm for Shoreline Extraction from Satellite Imagery with Non-Separable Wavelet and Level Set Method Shujian, Y., Mou, Y., Duanquan, Xu, D., You, X., Zhou, L., Zeng, W. (2013)	LFS	Filtre passe-bas comme pré-traitement	Diverses images satellitaires	Minimum de 15 mètres	Îles et traits de côtes linéaires	Leur algorithme permet de bien extraire des traits de côtes ayant des formes particulières. L'algorithme développé est également robuste face au bruit et brouillement
Shoreline Extraction from RADARSAT-2 Intensity Imagery Using a Narrow Band Level Set Segmentation Approach Lee, I-C., Wu, B., Li, R. (2009)	Filtres Gaussien,		RadarSat-2	8 x 8 mètres		Environnement similaire à celui du parc Kouchibouguac.
Automatic Extraction of Shorelines from Landsat TM 2 and ETM+ Multi-Temporal Images with SubPixel 3 Precision Pardo-Pascual, J., E., Amonacid-Caballer, J., Ruiz, L., A.,, Palomar-Vazquez, J. (2012)			Landsat 7 TM et ETM+	30 mètres	Traîts de côtes linéaires (Mer Méditérannée)	Extraction automatique du trait de côte
Shoreline extraction from the fusion of LiDAR DEM data and aerial images using mutual information and genetic algrithms Yousef, A., Iftekharuddin, K. (2014)	Genetic Algorithms (implique 6 éléments de classification)		Lidar et photopgrahies aériennes (NOAA)			Combinaison d'images aériennes et de données Lidar
A Comparative Study of Shoreline Mapping Techniques Li, R., Di, K., Ma, R. (2001)		MNT	IKONOS, NOAA	2,5 mètres	Lac Érié	Utilise différents formats de données et valide avec les données de NOAA
Coastal dynamic and shoreline mapping: multi-sources spatial data analysis in Semarang Indonesia Marfai, M., A., Almohammad, H., Dey, S., Susanto, B., King, L. (2008)		Analyse d'histogramme et délimitation manuelle	IKONOS, Landsat	5 mètres sur les cartes toporaphiques		Les données étudiés couvrent presque un siècle complet

Certaines cases ont été laissées vides, car l'article scientifique ne fournissait pas cette information.

3. Méthodologie

L'équipe KouchiFaune propose différentes méthodes de délimitation du trait de côte en fonction du type de données utilisé. Ainsi, la méthodologie comprend deux volets principaux qui se différencient en fonction du format de données traitées (figure 7).

Le premier volet concerne la délimitation du trait de côte sur des photographies aériennes à travers une méthode de vectorisation manuelle. Le deuxième volet concerne l'extraction du trait de côte à partir d'imagerie de haute résolution acquise par drone. Pour ce second volet, l'équipe a travaillé sur le développement d'un outil afin d'automatiser en partie l'extraction de traits de côte.

La technique de délimitation des traits de côte varie en fonction de la réalité terrain, mais aussi en fonction des caractéristiques perceptibles à partir de chaque type de donnée (tableau 1). En effet, ces différences existent puisque les données ont été acquises à des périodes différentes, à des résolutions différentes et à l'aide de technologies différentes. Malgré ces différences, toutes les opérations de prétraitement et de traitement décrites dans la section méthodologie ont été exécutées dans le logiciel ArcGIS, à l'exception du prétraitement des photographies par drone qui a été effectué sur WebODM. Le système de coordonnées NAD83 UTM zone 20N a été utilisé pour le projet.

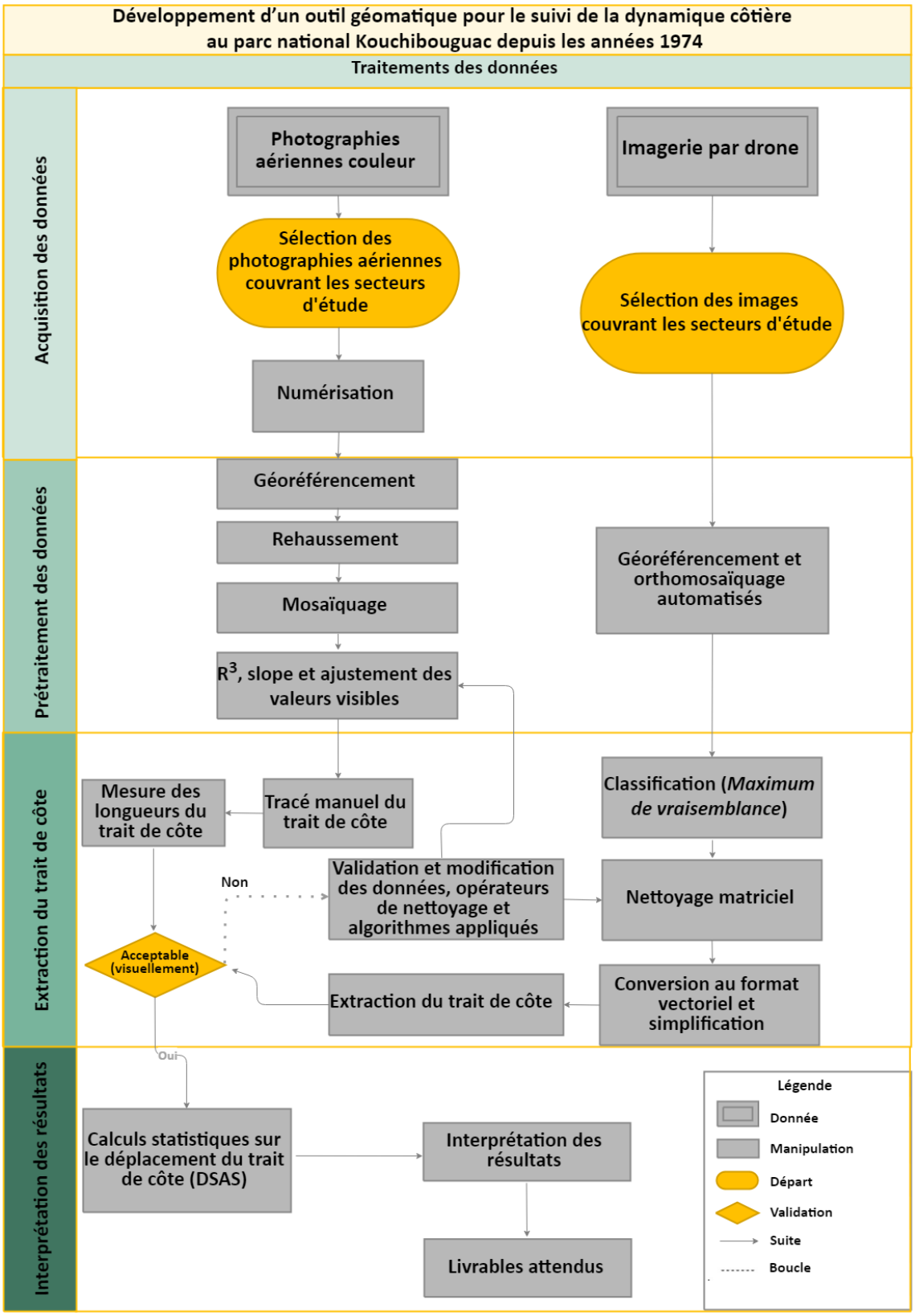


Figure 6 - Schéma méthodologique

3.1 Données

Les tableaux suivants présentent des données utilisées pour la réalisation du projet se trouve dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 2 - Données utilisées pour le projet

Année	Type	Échelle / Résolution	Ligne de vol	Numéro de photographie				Source
				Secteur 1 Rivière au Portage	Secteur 2 Plage Kellys	Secteur 3 Goulet de Terres Noires	Secteur 4 Marais de la péninsule Aldouane	
1974	Photographie aérienne	1:10 000	A30953	10-13, 67-69	15-17, 19-22, 61-64	56-58, 101-107, 132-135	51-52, 107-110	Photothèque nationale de l'air (PNA)
1995	Photographie aérienne	1:10 000	A31728	194-200	16-22, 180-181	8-14, 51-59	56-58, 70-72	Photothèque nationale de l'air (PNA)
2002	Photographie aérienne	1:12 500	A02507	Non-utilisé	213-215, 260-261, 275-278	70-74, 120-123	Non-utilisé	Ministère des Ressources Naturelles du Nouveau-Brunswick (MRN)
2002	Photographie aérienne	1:12 500	A02503	Non-utilisé	Non-utilisé	Non-utilisé	179-181	Ministère des Ressources Naturelles du Nouveau-Brunswick (MRN)
2018	Imagerie par drone	0,05 cm	x	x	x	DGI_0111-DGI_0755	x	Parc Kouchibouguac
2019	Imagerie par drone	0,05 cm	x	x	x	DGI_0322-DGI_0370	x	Parc Kouchibouguac
2019	Données terrain	x	x	x	x	x	x	Parc Kouchibouguac

3.2 Volet 1 : Photographies aériennes (1974, 1995, 2002)

Pour le volet 1 du projet qui consiste à analyser les couvertures de 1974, 1995 et 2002, l'équipe KouchiFaune a procédé à la vectorisation manuelle du trait de côte par photointerprétation. La vectorisation manuelle s'est avérée plus judicieuse pour les photographies historiques comparativement à la vectorisation automatique. En effet, la résolution et la netteté de ces images empêchaient d'obtenir de bons résultats de classification, ce qui engendrait une impossibilité de vectorisation automatique. De plus, le développement initial de la méthodologie prévoyait la création de modèles stéréoscopiques ainsi que la création de modèles numériques de terrain (MNT). Cependant, les faibles variations du relief du terrain des Îles aux Sternes ne permettaient pas de détecter de manière précise les ruptures de pente. Étant donné que l'objectif principal du projet est de suivre l'évolution du territoire abritant les Sternes pierregarin, l'équipe KouchiFaune a choisi de concentrer ses efforts sur le secteur des Îles aux Sternes.

3.2.1 Prétraitements

Les photographies de 1974 et 1995 des secteurs prioritaires ont été sélectionnées à partir d'un inventaire provenant d'un projet antérieur (Fréchette, 2007). En ce qui concerne les photographies aériennes de 2002, celles-ci ont été sélectionnées à partir d'une carte index regroupant des lignes de vol couvrant les secteurs prioritaires.

Géoréférencement

Le géoréférencement des photographies aériennes de 1974 et 1995 a été effectué à partir de l'orthophoto de 2002 comme elle offrait une résolution adéquate pour identifier des objets ponctuels fixes à travers les années. Cette étape réalisée avec l'outil *Géoréférencement* utilise quatre points de repère, situés aux quatre coins de chaque photo (ArcGIS, 2018k). Dans certaines photos, il était impossible d'identifier un point de repère pour tous les coins en raison de l'importante présence d'eau. Dans ce cas, des points les plus éloignés les uns des autres ont été sélectionnés. Également, comme la zone d'étude est dynamique et entourée d'eau, il a été difficile de retrouver des éléments fixes au travers des années, ce qui a donc nécessité d'utiliser des points de référence différents pour le géoréférencement des différentes années.

Rehaussement

Les teintes et les contrastes peuvent varier d'une image à l'autre, et ce même pour deux images acquises à la même date pour une même couverture aérienne. Il est donc nécessaire d'améliorer l'affichage des données matricielles pour chacune des photographies géoréférencées afin de les normaliser. Ce rehaussement consiste à redistribuer les valeurs de pixels le long de l'histogramme pour chaque canal (RGB) des images traitées, afin qu'elles contiennent toute la plage de valeurs que l'ordinateur est en mesure d'afficher. Cette étape de prétraitement résulte en des images plus détaillées et où certaines entités se distinguent plus facilement. La méthode d'étirement à utiliser dans ArcGIS est *Minimum-Maximum* (ArcGIS, 2018f).

Mosaïquage

Le mosaïquage permet de fusionner les photographies couvrant partiellement les secteurs à l'étude pour obtenir une mosaïque englobant l'entièreté de chaque secteur. L'outil de création de jeux de données matricielles (*Créer un jeu de données raster*) a permis de créer une couche matricielle

vide afin de stocker les photographies concernées par le mosaïquage (ArcGIS, 2018e). La mosaïque a ensuite été créée en ajoutant les photographies géoréférencées à la couche matricielle vide avec l'outil *Mosaïque* (ArcGIS, 2018d). L'opérateur de mosaïque utilisé avec l'outil était du type *Blend*, afin de pondérer les valeurs des cellules situées dans les zones de superposition et ainsi donner un résultat moyenné. Aucun défaut majeur n'a été noté lors de la création des mosaïques, excepté pour de faibles variations occasionnelles de teintes entre les images. Ce problème a été résolu avec l'outil *Équilibrage des couleurs des mosaïques* en utilisant les paramètres par défaut.

Création d'une couche matricielle d'aide à la photointerprétation

Dans l'optique de faciliter le tracé manuel du trait de côte, il est nécessaire de procéder à des ajustements sur les images aériennes. Ces ajustements jouent différents rôles afin de faire ressortir des informations complémentaires. Ceux-ci consistent à une chaîne de traitements enregistrée dans un outil personnalisé de logiciel SIG (ex. *ArcMap ModelBuilder* ou *QGIS Graphical Modeler*). Le seul intrant de cet outil est une photographie aérienne prétraitée.

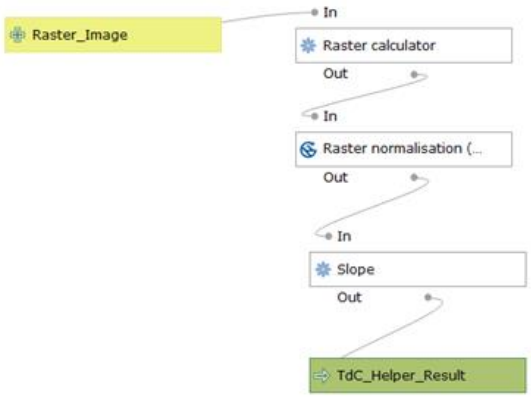


Figure 8 - Chaîne de traitements dans un outil de logiciel SIG

La première étape de l'outil est un calcul matriciel à l'aide de la *Calculatrice Raster* (ArcGIS 2018c). Lors de ce traitement, les valeurs des pixels de la bande rouge de l'image sont élevées au cube.

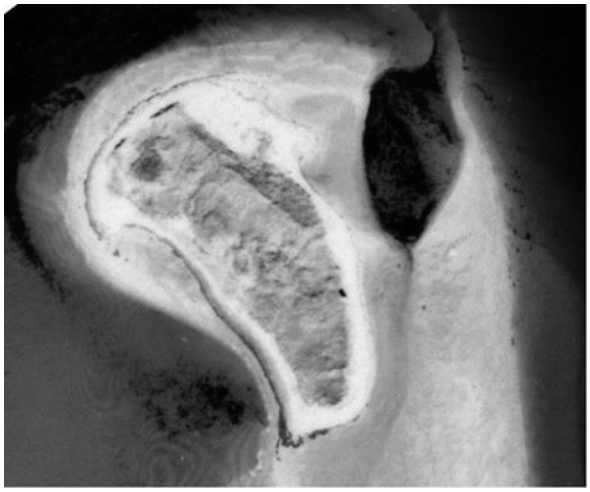


Figure 7 - Rehaussement du contraste par l'élévation au cube de la bande rouge

L'utilisation de la bande rouge au cube (R^3) pour toutes les images à l'aide de l'outil *Calculatrice Raster* permet d'obtenir un meilleur contraste entre les différents types de milieux, notamment entre l'eau et le sable, ainsi qu'entre le sable et la végétation (ArcGIS, 2018c).

Puisque l'élévation au cube retourne des valeurs de pixels très élevées, celles-ci ont été normalisées par un calcul mathématique à l'aide de l'outil *Calculatrice Raster*. La normalisation effectuée ramène les valeurs dans le domaine d'une image 8 bits, soit des valeurs entre 0 et 255 (ArcGIS, 2018c).

Ensuite, la couche matricielle résultante est modifiée en utilisant la fonction *Pente*. Cette fonction permet d'obtenir une couche matricielle de pourcentage de pente pour chaque image afin d'être en mesure de distinguer les endroits où il y avait des variations subites de type de sol, facilitant ainsi la vectorisation (ArcGIS, 2018l).

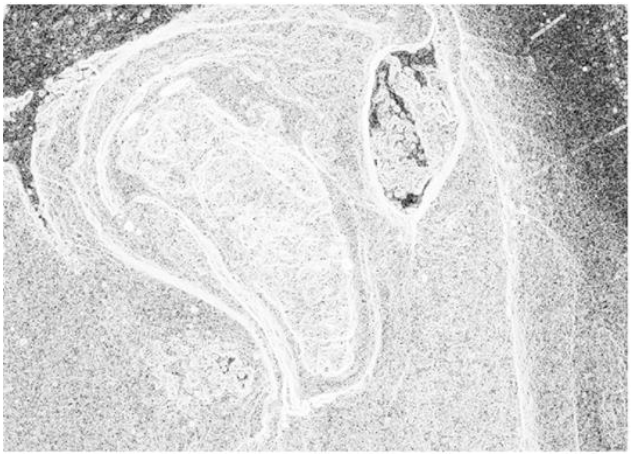


Figure 8 - Pente dérivée des variations de couleur entre pixels voisins

La dernière étape se résume à filtrer les valeurs qui ne sont pas pertinentes pour le tracé du trait de côte (figure 10). En accédant aux options d'affichage de la couche matricielle, le gradient de couleur est inversé pour afficher les intensités élevées en noir plutôt qu'en blanc. Un filtre de transparence est appliqué sur les valeurs faibles de variation d'intensité (figure 11). L'image filtrée affiche, en noir, seulement les pixels dont les valeurs sont très différentes de celles des pixels voisins.

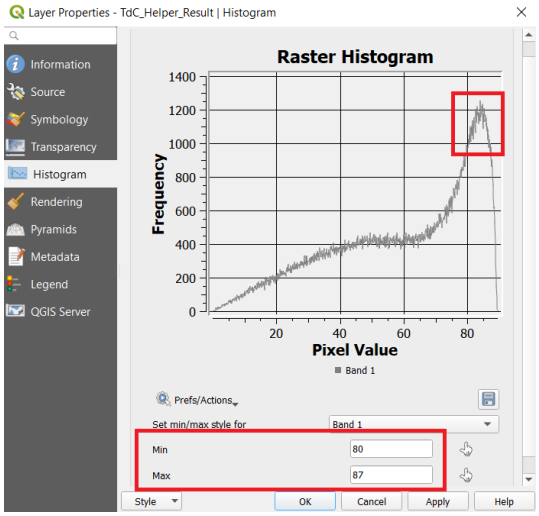


Figure 9 - Histogramme des options d'affichage

Le résultat illustré à la figure 12 accentue les limites entre les différentes composantes du milieu, soit l'eau, le sable et la végétation. Ainsi, ce résultat facilite le tracé manuel du trait de côte.

Figure 10 - Ajustement des valeurs visibles par masquage des pixels de faible intensité

3.2.2 Extraction des traits de côte par vectorisation manuelle

Une fois les prétraitements appliqués aux photographies aériennes de 1974, 1995 et 2002, l'équipe KouchiFaune a procédé à la création des couches vectorielles par photointerprétation, ainsi que par vectorisation manuelle du trait de côte avec l'outil *Editeur* d'ArcGIS (ArcGIS, 2018a).

La première étape de vectorisation manuelle consiste à analyser brièvement la photographie aérienne, ainsi que la couche d'aide au tracé manuel. Lorsqu'il y a concordance entre les indicateurs visuels par photointerprétation (ex. intersection de la végétation et du sable) et les indicateurs de soutien (alignement concentré de pixels noirs), un trait de côte continu est tracé (ex. ligne "continue" de la couche matricielle qui se superpose bien à l'indicateur par photointerprétation). S'il n'y a pas concordance pour une certaine région, le tracé n'est pas effectué et une section discontinue est définie. Pour chacune des zones discontinues, un trait de côte rectiligne est tracé entre les extrémités des deux segments de trait de côte continu les plus proches.

3.3 Volet 2 : Développement de l'outil semi-automatisé (imagerie par drone)

Le volet sur les photographies par drone présente le développement méthodologique des prétraitements et traitements effectués à l'aide de la barre d'outils pour l'extraction semi-automatisée du trait de côte.

3.3.1 Prétraitements

Les étapes de géoréférencement, d'orthorectification et de mosaïquage sont faites automatiquement à l'aide du logiciel libre WebODM version 1.1.0, et ce, grâce aux métadonnées liées aux images de drone (WebODM, 2019). À partir de ce logiciel, une orthophoto géoréférencée ainsi qu'un modèle numérique de terrain ont été extraits pour l'île la plus au nord du secteur des Îles aux Sternes. Dans une optique d'acquisition future d'images de drone afin de faire le suivi de la dynamique côtière des Îles aux Sternes, le partenaire utilisera le l'extension Drone2Map pour ArcGIS. Cette extension effectue essentiellement les mêmes tâches que WebODM.

3.3.2 Traitements transposés à la barre d'outils

L'entièreté des traitements qui suivent a été testée manuellement pour ensuite être programmée dans une barre d'outils. Ainsi, la chaîne de traitements est simplifiée et s'exécute plus rapidement. L'extraction semi-automatisée du trait de côte pour les photographies par drone est basée sur une classification supervisée avec l'outil *Classification d'image* (ArcGIS, 2018i). La classification supervisée est paramétrée par le nombre de classes, en fonction des composantes distinctes dans le domaine visible (sable, végétation, etc.). Cinq classes ont été créées pour analyser le secteur des Îles aux Sternes : végétation en santé, végétation flétrie, sable sec, sable humide et laisses de mer. Pour chacune des classes, 4 à 6 sites d'entraînement doivent être tracés par l'utilisateur. Une fois la collecte des sites d'entraînement terminée, une classification de type *Maximum de vraisemblance* est réalisée (ArcGIS, 2018f). Ce type de classification a été choisi pour sa robustesse dans ses estimations et sa possibilité d'utiliser un petit nombre de sites d'entraînement, amenant ainsi un compromis entre la précision du résultat et la rapidité d'utilisation.

Nettoyage matriciel post-classification

Une fois la classification terminée, la couche matricielle est nettoyée pour éliminer les pixels mal classifiés. L'outil *Nettoyage de limites* (ArcGIS, 2018j) permet de lisser les bords irréguliers séparant les différentes zones en retirant la majorité des pixels mal classifiés. Ce nettoyage s'effectue en fonction de différents poids attribués aux classes des polygones. Plus le poids est élevé, plus la probabilité est grande que la classe d'un pixel avoisinant soit remplacée par celle du polygone au poids élevé. Les poids les plus élevés ont été attribués aux classes de végétation et sable et les poids les plus faibles aux classes d'eau. Ce choix a été fait afin d'obtenir un meilleur

nettoyage des pixels des îles à l'étude, puisque les îles sont plus susceptibles d'être composées de végétation et de sable.

Le nettoyage post-classification fait par l'outil *Statistiques focales* remplace les pixels isolés en fonction de la valeur des pixels majoritaires dans leur voisinage (ArcGIS, 2018o). Plusieurs tests de paramétrage ont été effectués et les résultats de filtrage optimaux ont été atteint grâce à un filtre de 6 x 6 pixels. Ceci semblait être la taille adéquate afin de moyenner les valeurs des petits amas de pixels classifiés sans compromettre la valeur des grands amas classifiés. Ce filtre de lissage a été appliqué deux fois, puisqu'on observait une convergence du résultat optimal après deux filtrages.

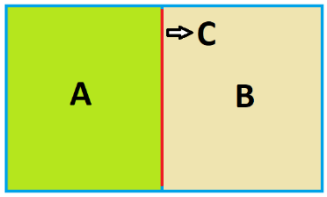
Conversion au format vectoriel

La conversion de la classification au format vectoriel a été effectuée avec l'outil *Raster vers polygones* (ArcGIS, 2018m). La couche vectorielle résultante a été nettoyée avec l'outil *Éliminer une portion du polygone* (ArcGIS, 2018g). Cet outil élimine les micro-polygones considérés aberrants. La condition d'élimination utilisée vise les polygones de moins de deux mètres carrés, puisque ces derniers étaient considérés trop petits pour être représentatifs du milieu correspondant. Les traitements sur les images de drone se sont terminés avec l'outil *Simplifier un polygone* afin d'éliminer les sommets redondants ou les courbes superflues et ainsi donner une allure plus lisse aux polygones (ArcGIS, 2018n).

Sélection des segments correspondant au trait de côte

La sélection des segments correspondant au trait de côte génère le résultat final de l'outil. Cette étape consiste à sélectionner des segments avoisinés de polygones de classes spécifiques (par exemples, « Sable sec » et « Végétation saine », ou bien « Sable sec » et « Laisses de mer »). Pour ce faire, un nouvel attribut est créé. Ce nouvel attribut contient un « type » de segment. Le type est défini en fonction des classes des polygones voisins. Une suite d'étapes précises permet de déterminer le type de chaque segment. Tout d'abord, la fonction *Entité vers ligne* est utilisée sur la couche vectorielle résultante de la conversion (matricielle à vectorielle) de la couche matricielle classifiée. Ensuite, la fonction *Intersecter* est utilisée (avec la couche de polygones et la couche de polylignes précédentes) pour générer des segmentations des polylignes de l'étape précédente de

sorte que ceux-ci soient avoisinés d'au plus 2 polygones. La couche des segmentations présente des doublons découlant de l'intersection entre une polyligne (C) et le polygone d'un côté (A) et de l'autre (B).



Les doublons contiennent donc les informations relatives aux classes des polygones voisins, respectivement. La fonction *Supprimer l'élément identique* permet ensuite d'éliminer ces doublons (basé sur les géométries). Toutefois, la classe du segment à éliminer est ajoutée dans un nouvel attribut. Les deux attributs des classes voisines sont regroupés pour former un type de segment de trait de côte. Finalement, l'utilisateur peut sélectionner les segments de trait de côte en fonction du type et du milieu étudié.

3.3.3 Description de l'outil semi-automatisé

KouchiFaune a développé, au cours de ce projet, un outil semi-automatique programmé en langage Python, permettant d'extraire le trait de côte au parc National Kouchibouguac à partir de photographies aériennes de haute résolution. Cet outil est réalisé avec le module ArcPy, qui permet d'automatiser des opérations sur ArcGIS (ArcGIS, 2018b). Il comprend une interface graphique simple d'utilisation avec le logiciel ArcMap. L'équipe a réalisé au cours du projet qu'une automatisation complète s'avérerait impossible, entre autres puisque le changement des milieux avec le temps ne permet pas de réutiliser les mêmes sites d'entraînement et nécessitera ainsi toujours des manipulations par l'utilisateur pour la classification. Le produit final demande donc une certaine interaction avec l'utilisateur, telle que la création d'un masque afin de classifier seulement la zone voulue de l'orthophoto générée avec Drone2Map, ainsi que la création des sites d'entraînements pour la classification supervisée. L'outil consiste en une extension qui s'ajoute à ArcMap et qui contient une suite de huit boutons. Les fonctions des différents boutons sont décrites dans le guide d'utilisation.

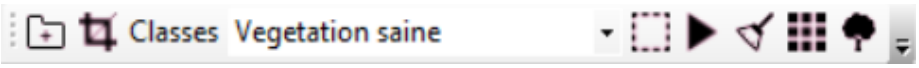


Figure 13 - Aperçu de la barre d'outils intégrée dans ArcGIS

3.4 Calculs statistiques sur le déplacement du trait de côte

En ce qui a trait à l'analyse des résultats, elle est effectuée à l'aide de l'outil Digital Shoreline Analysis System (DSAS) (Himmelstoss, E.A., et al, 2018). Cet outil est une extension d'ArcGIS qui permet le calcul de plusieurs statistiques en lien aux changements observés du littoral à travers le temps (United States Geological Survey, 2005). Ainsi, il est possible de procéder à une analyse multidate des déplacements du trait de côte pour l'ensemble des années de la zone à l'étude.

Pour ce faire, l'outil DSAS demande d'identifier les traits de côte à analyser et d'identifier la ligne de base qui agit comme ligne de référence. À partir de ces informations, il suffit d'établir la fréquence à laquelle on veut insérer des transects le long des traits de côte permettant le calcul des valeurs de changement. Pour obtenir ces valeurs, il faut sélectionner le test statistique *Shoreline Change Envelope* (SCE). Ce test mesure la distance absolue entre le trait de côte le plus loin et le trait de côte le plus près de la ligne de base pour chaque transect. Cette valeur ponctuelle représente le déplacement net des traits de côte pour ce transect à travers le temps. Ainsi, la comparaison de ces informations sur l'outil DSAS permet d'extraire les différences et similitudes des tracés.

3.5 Validation des résultats

Afin de validation les résultats, trois méthodes sont utilisées : (1) l'évaluation de la précision du géoréférencement des photographies aériennes, (2) l'évaluation de la précision du trait de côte par la comparaison du tracé semi-automatique avec les relevés terrain et (3) vérifier la concordance des résultats entre le tracé semi-automatique et du tracé manuel.

Tout d'abord, la précision du géoréférencement des photographies aériennes de 1974, 1995 a été évaluée. D'abord, le géoréférencement a été réalisé à partir de la mosaïque de 2002. Afin de définir le niveau de précision, l'équipe a identifié des objets fixes ponctuels retrouvés dans les couvertures aériennes des trois années ciblées. Au total, 39 objets ont été utilisés pour l'évaluation du géoréférencement tels qu'un bosquet, un point d'eau, un arbre isolé et des intersections de routes. De plus, un point de repère a été ajouté au centre de chaque objet pour les trois années. L'outil *distance* d'ArcGIS a ensuite été utilisé pour mesurer le décalage entre les positions d'un même objet sur les différentes couvertures aériennes. La moyenne de ces décalages pour chaque secteur a ensuite été calculée pour évaluer la précision du géoréférencement. Ainsi, il est possible de mesurer

la valeur de déplacement pour tous les objets ponctuels et en faire la moyenne par secteur pour les années 1974 et 1995 afin d'évaluer la précision du géoréférencement.

Ensuite, dans le but d'évaluer la précision des résultats obtenus par l'outil semi-automatique, il faut des données terrain du milieu à l'étude. En les comparant, il est possible d'établir s'il y a ou non concordance entre la délimitation des classes ciblées et la réalité terrain. Comme le trait de côte forme un polygone fermé, il est possible d'en calculer la superficie. À partir de cette valeur, il est possible d'évaluer la précision des résultats en comparant les superficies de l'île qui découlent des données terrain et du trait de côte généré par l'outil. Cependant, cette technique s'applique uniquement aux Îles aux Sternes et, plus précisément, à l'île la plus au nord.

Certes, les deux dernières méthodes présentées permettent d'évaluer la précision des résultats, mais il est aussi important d'estimer la concordance des résultats. En effet, comme ceux-ci proviennent des deux outils, il faut s'assurer de la reproductibilité et de la fiabilité des résultats des différentes méthodes développées dans le cadre du projet. Pour ce faire, il faut comparer le trait de côte de 2018 tracé manuellement grâce à l'outil d'aide au tracé manuel à celui obtenu suite à la classification produite par l'outil semi-automatisé. De là, la concordance des méthodes peut être estimée. En effet, il suffit de calculer, avec l'outil *Calculer des statistiques* d'ArcGIS, la superficie de l'île délimitée par le trait de côte obtenu pour les deux méthodes. À noter que cette technique s'applique uniquement aux Îles aux Sternes et, plus précisément, à l'île la plus au nord puisque l'outil semi-automatique est utilisé uniquement pour les photographies aériennes numériques captées par drone et qu'elle est présentement la seule pour laquelle ce type de couverture est disponible.

4. Présentation des résultats

À la suite des prétraitements, les photographies aériennes ont été utilisées pour tracer manuellement le trait de côte. Celui-ci est fait à partir des résultats obtenus avec l'outil d'aide au tracé manuel et de ceux de l'outil semi-automatique.

4.1 Traits de côte obtenus à partir de l'outil d'aide au tracé manuel

Cette section présente les différentes cartes réalisées à la suite de la vectorisation manuelle des traits de côte à partir des photographies de 1974, 1995 et 2002. Les figures suivantes montrent un tracé de trait de côte continu, mais il y a le tracé comporte certains segments discontinus. Ceux-ci sont engendrés en raison des couleurs diffuses des photographies qui rendent difficile la photointerprétation. Les tracés certains et incertains sont disponibles sous forme de données géospatiales (.shp) dans les livrables envoyés. Malgré les difficultés rencontrées, la couche matricielle d'aide à la photointerprétation a permis le tracé manuel du trait de côte comme elle permet une délimitation claire des différents milieux au sol par des différences de couleurs.

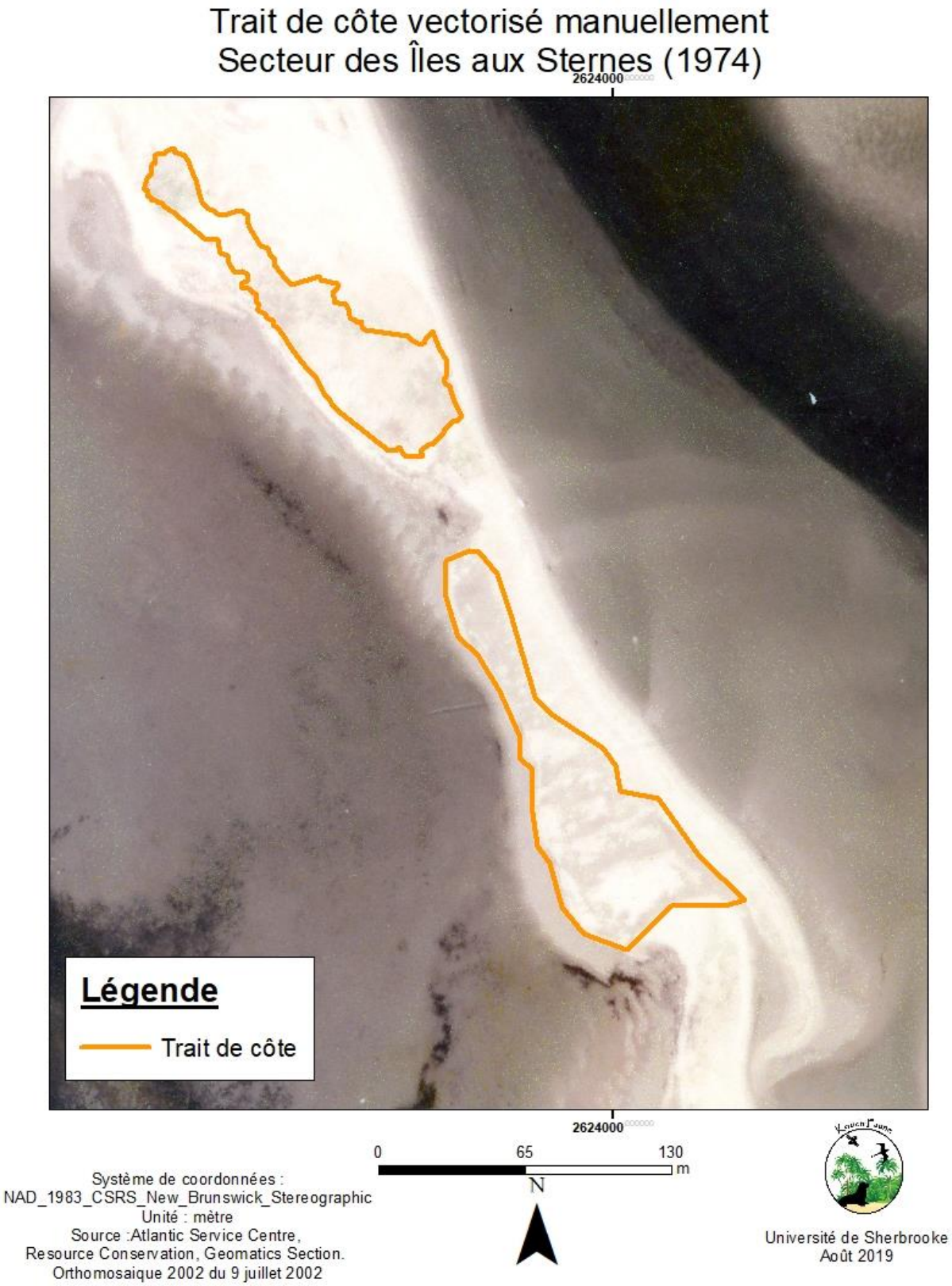


Figure 11 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes (1974)

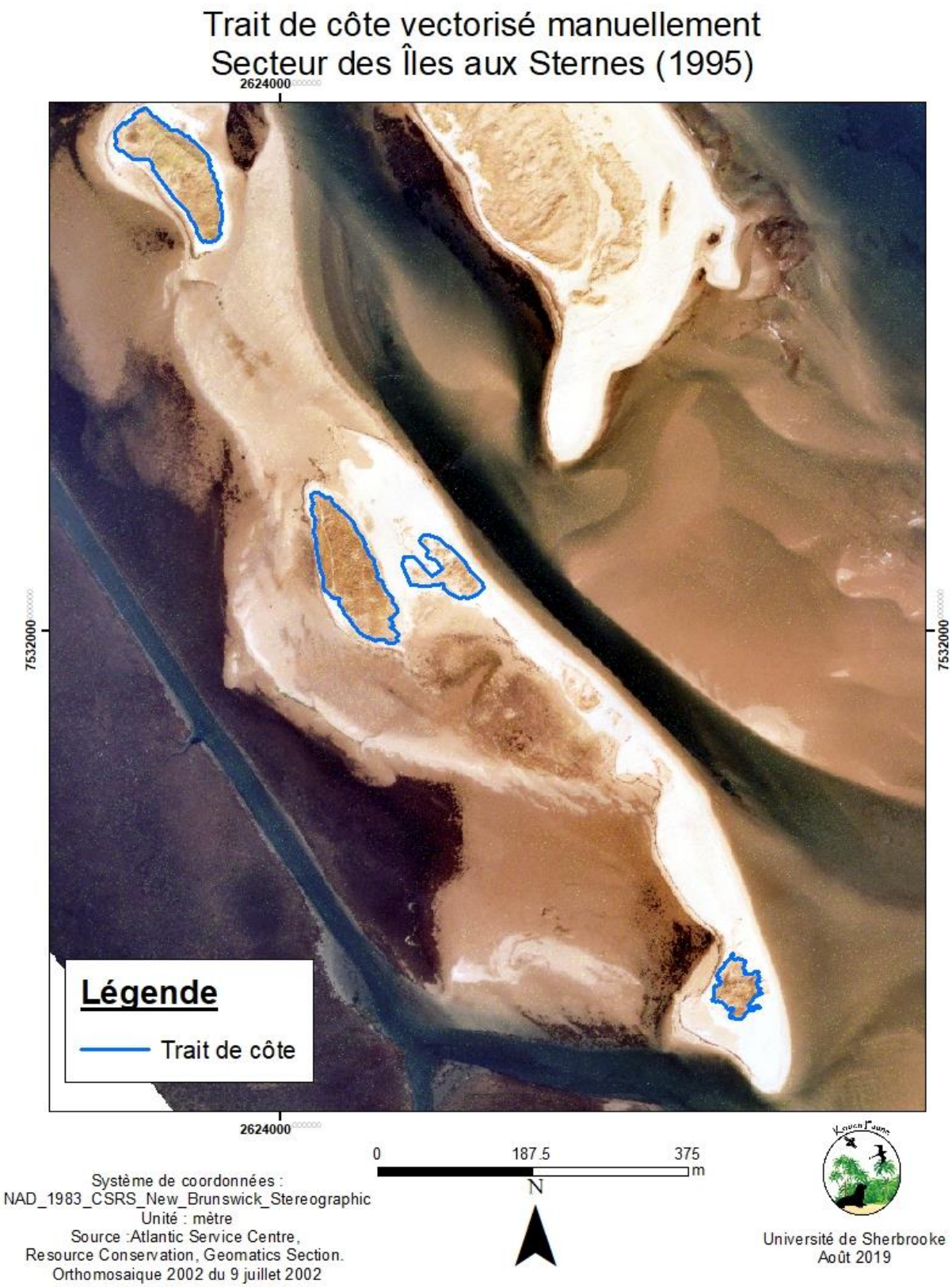


Figure 12 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes (1995)

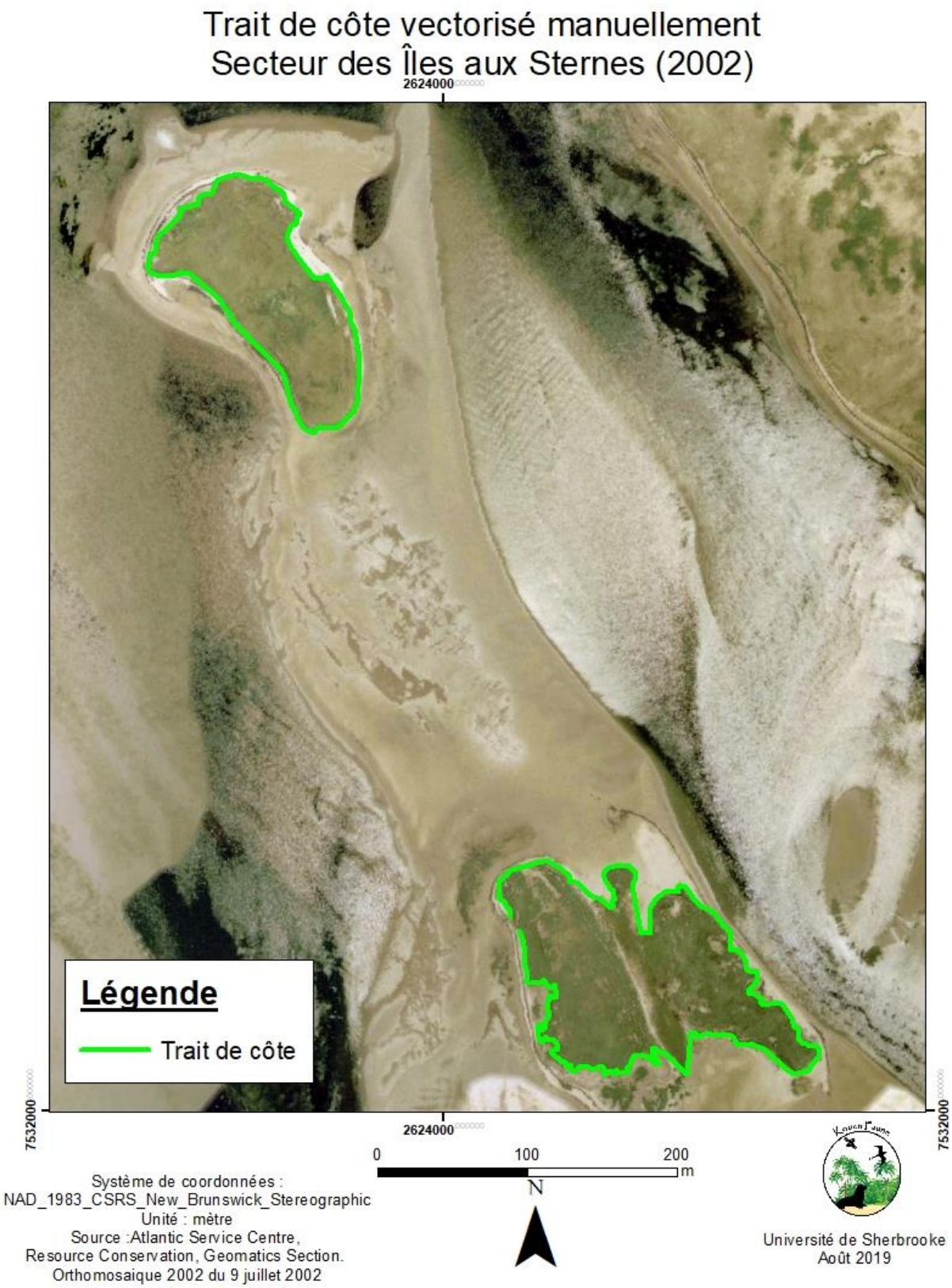


Figure 13 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes (2002)

4.2 Traits de côte obtenus à partir de l’outil semi-automatique

Cette section présente les différentes cartes réalisées à la suite de la vectorisation manuelle des traits de côte sur la classification à partir des photographies prises par drone de 2018 et 2019. Les figures suivantes montrent un tracé de trait de côte continu, mais le tracé comporte certains segments discontinus. Ces différents tracés sont disponibles sous forme de données géospatiales (.shp) dans les livrables envoyés. De plus, l'outil n'est pas pleinement complété au moment de la remise du rapport. Jusqu'à maintenant l'outil permet la classification automatique, mais n’est pas en mesure de délimiter le trait de côte de manière automatique. En revanche, il est possible de vectorisé manuellement le trait de côte à partir de la classification obtenue comme c'est le cas à la figure 17.

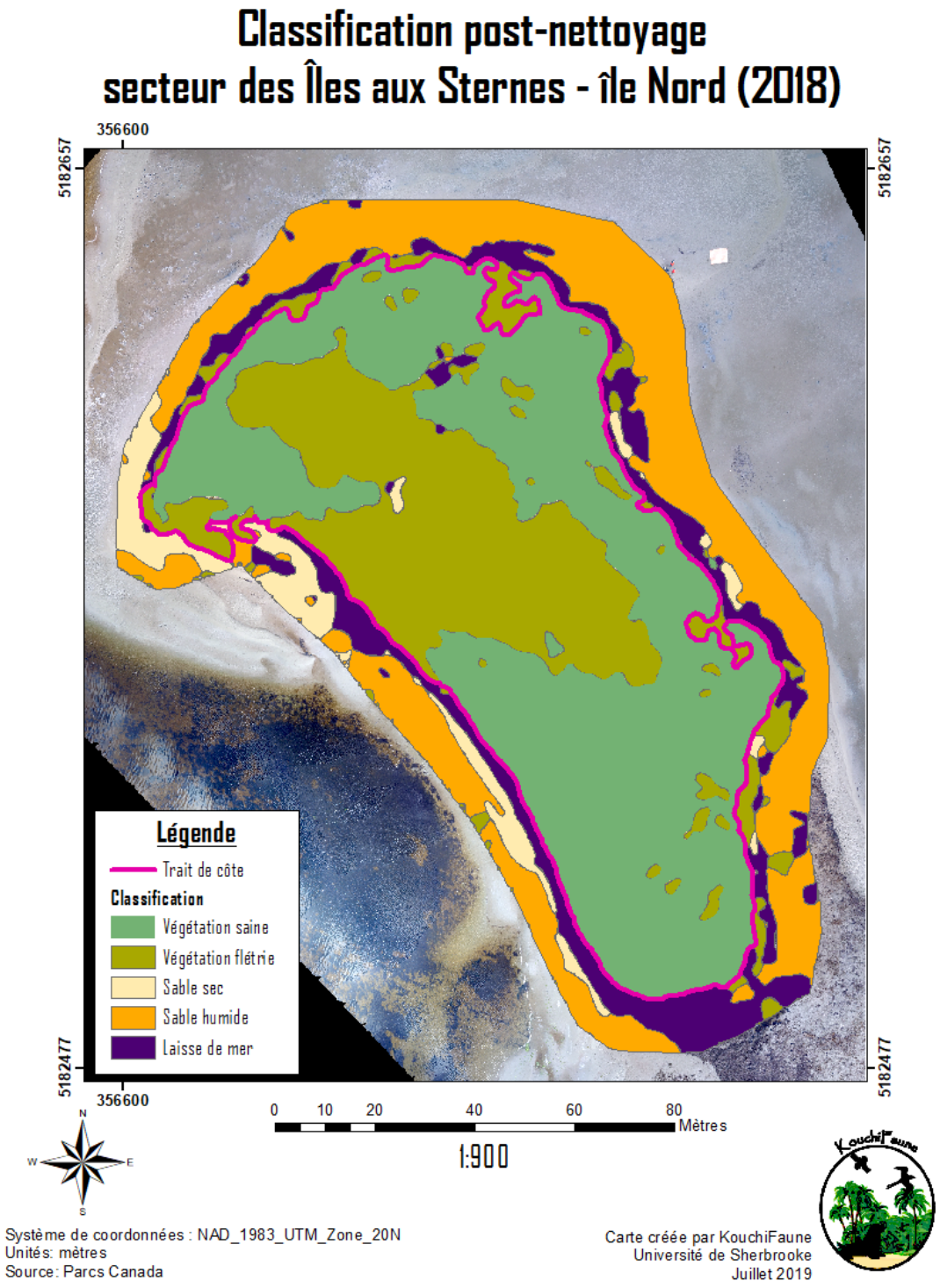


Figure 14 - Classification post-nettoyage du secteur des Îles aux Sternes – île nord (2018)

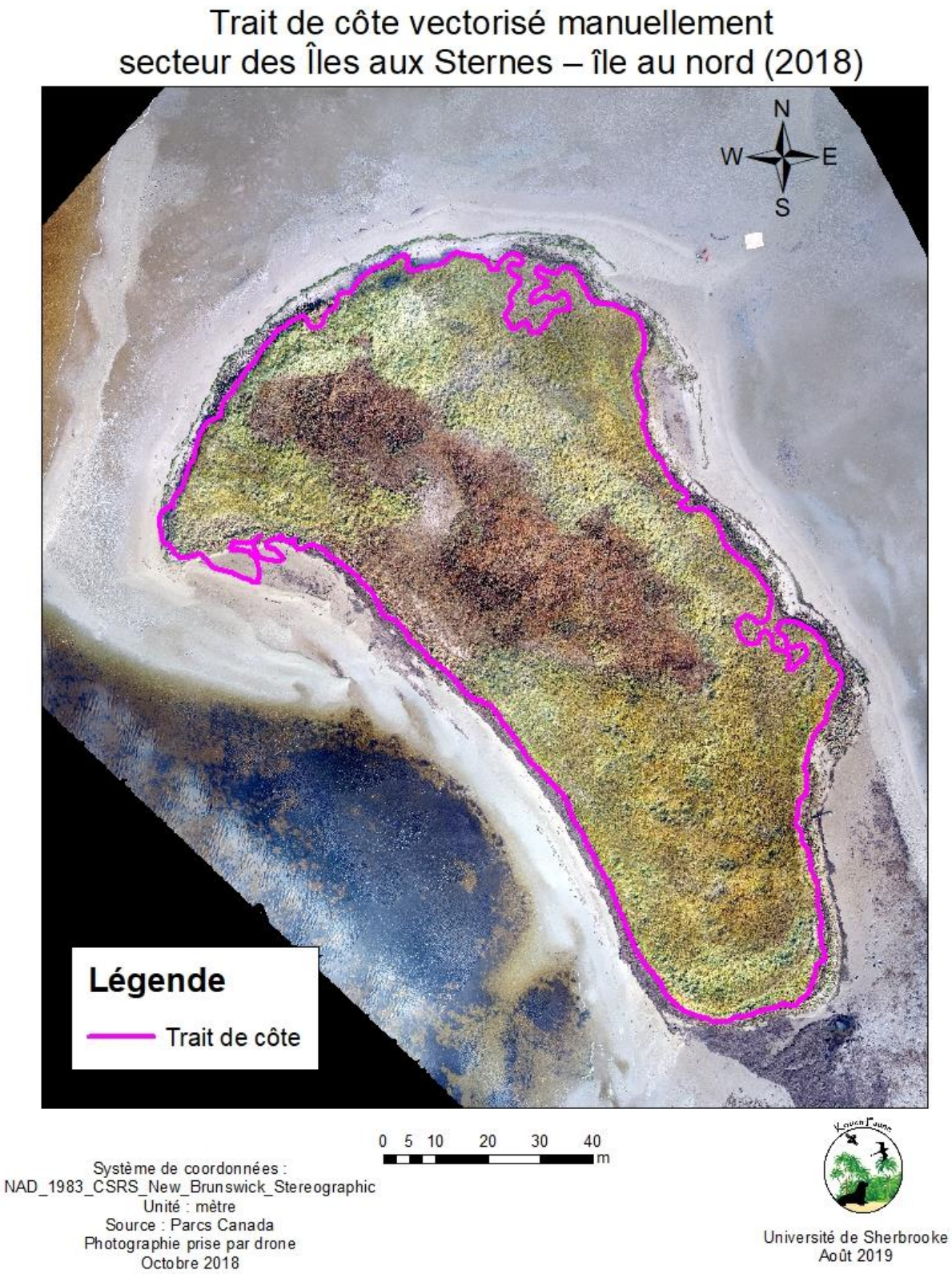


Figure 15 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes – île au nord (2018)

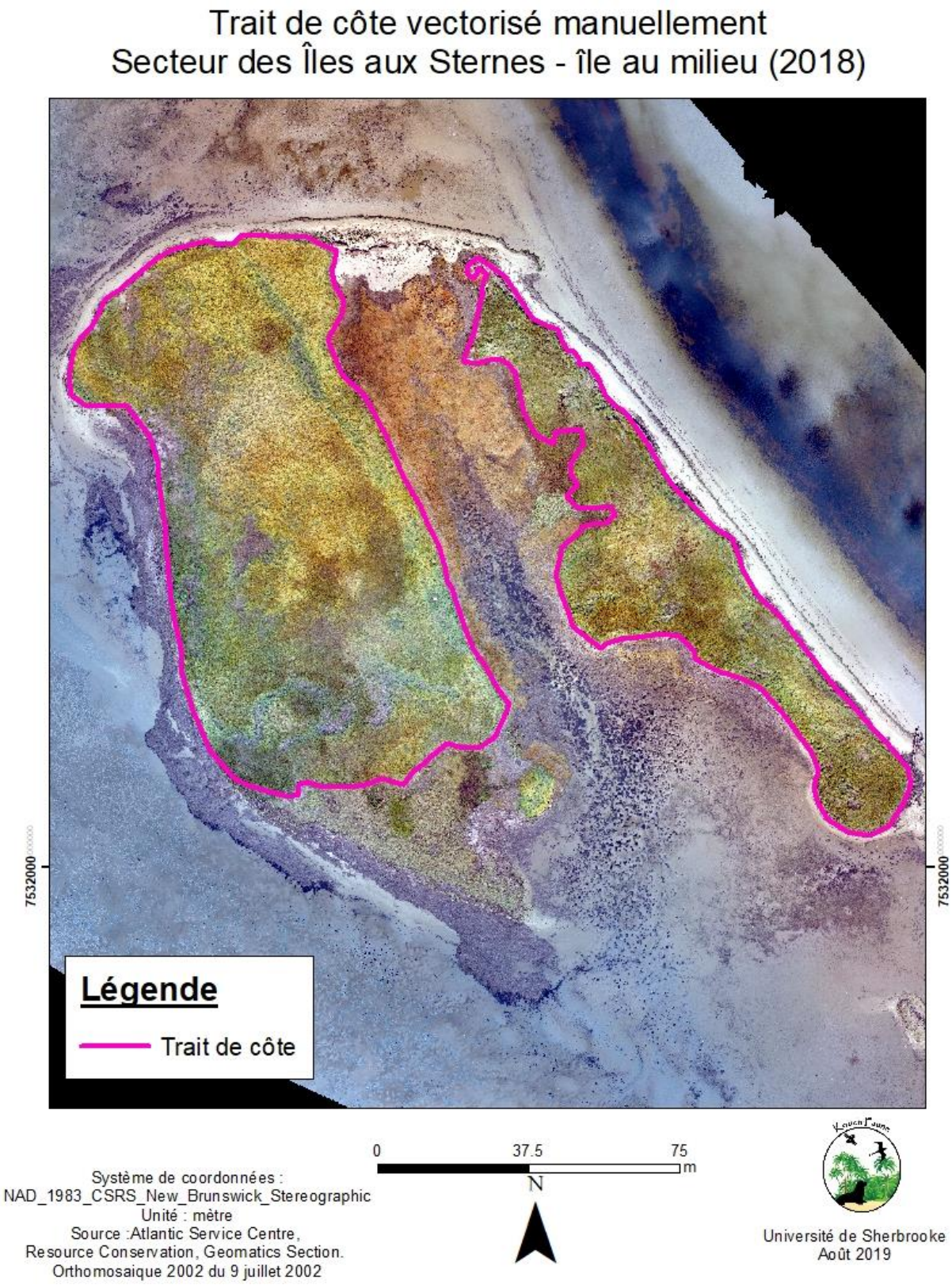


Figure 16 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes – île du milieu (2018)

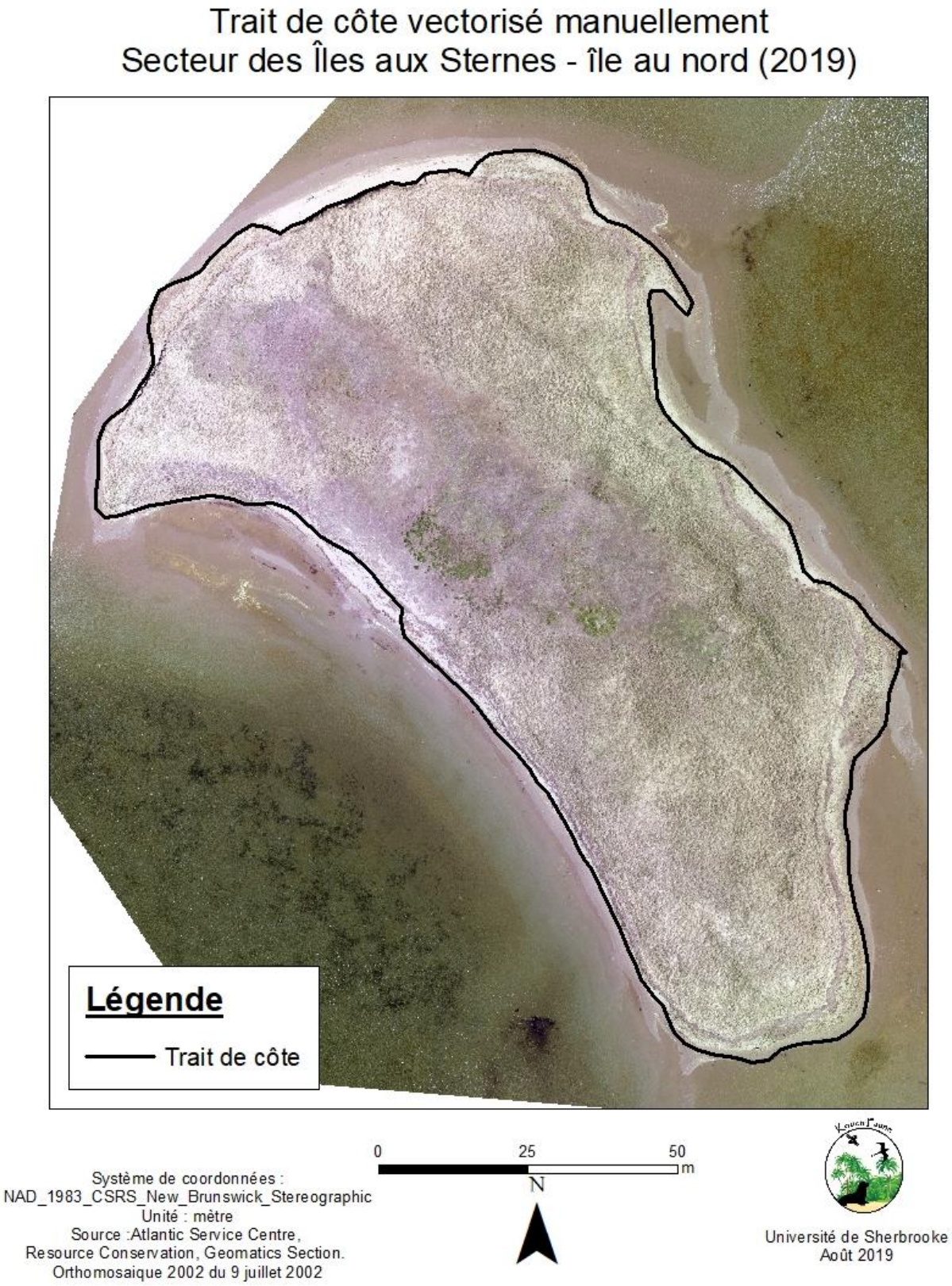


Figure 17 - Trait de côte vectorisé manuellement, secteur des Îles aux Sternes – île au nord (2019)

4.3 Résultats de l’analyse DSAS

Cette section présente les résultats obtenus par l’analyse des déplacements nets des traits de côte dans les secteurs prioritaires au parc Kouchibouguac pour les années 1974, 1995 et 2002. La figure suivante montre les principaux changements de la dynamique côtière observés sur l’ensemble du secteur. L’analyse complète du secteur est présentée en annexe. De plus, tous les tracés pour toutes les années sont disponibles sous forme de données géospatiales (.shp).

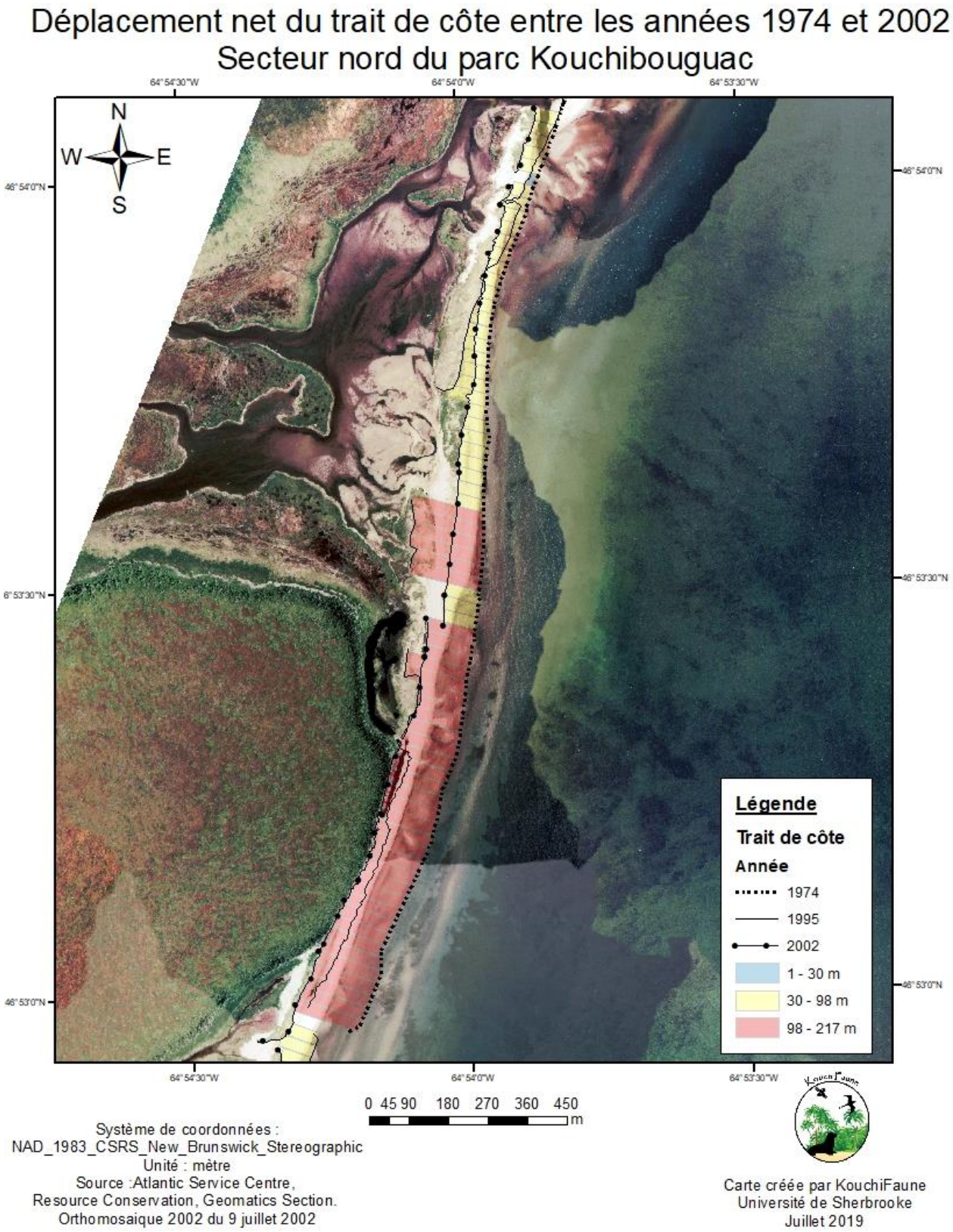


Figure 18 - Déplacement net du trait de côte entre les années 1974 et 2002, secteur nord du parc Kouchibouguac (2019)

4.4 Résultats de validation

Cette section fait état des techniques utilisées pour l'évaluation de la précision et de la concordance des résultats produites par les deux outils, soit l'outil d'aide au tracé manuel et l'outil semi-automatique.

À la suite de l'analyse des points de repère ajoutés pour géolocaliser les objets fixés au sol, une moyenne des décalages par secteur a été calculée (tableau 3). Cette valeur donne une indication sur la précision des tracés de traits de côte en fonction du géoréférencement. Ainsi, il est possible de déterminer s'il y a un décalage ou non entre les traits de côte causé par l'erreur humaine et non par la dynamique côtière.

Tableau 3 - Évaluation de la précision du géoréférencement des photographies aériennes de 1974, 1995 et 2002 à partir de points de contrôle fixes dans le temps.

Secteur	Longueur approximative du secteur (m)	Nombre de points de contrôle	Moyenne des décalages 1974-2002 (m)	Moyenne des décalages 1995-2002 (m)
Nord	9570	29	4.8	4.8
Plage Kellys	5110	8	7.8	6.4
Îles aux Sternes	120	2	-	6.9

En ce qui concerne l'évaluation de la précision des données et la concordance des méthodes, la superficie de l'île la plus au nord des Îles aux Sternes a été calculée pour les résultats des deux outils, pour les années 2018 et 2019. L'analyse de 2019 compare la précision du tracé de trait de côte fait par l'outil semi-automatique avec les données terrain acquises par Parcs Canada. Alors que l'analyse de 2018 indique la concordance des tracés de traits de côte générés à l'aide des deux outils développés.

Tableau 4 - Comparaison des superficies obtenues en fonction des différents tracés de l'île aux Sternes la plus au nord

Année	Type de tracé	Superficie (m^2)	Pourcentage d'écart (%)
2018	Tracé manuel	8978	0.01
	Tracé de la classification	8969	
2019	Tracé avec données terrain	9747	3.5
	Tracé de la classification	10 087	

4.5 Superficie des Îles aux Sternes

Un des objectifs de ce projet est de décrire l'évolution des Îles aux Sternes de 1974 à 2018. Pour ce faire, l'équipe a calculé avec l'outil *Calcul de la surface* la superficie des Îles aux Sternes en fonction des données disponibles. Le pourcentage de changement de superficie est calculé en comparant deux années consécutives à l'étude. Ensuite, comme l'intervalle entre les années varie, le changement annuel moyen en pourcentage a été calculé. Par contre, ce n'est qu'une valeur approximative, puisque les données des tempêtes et des plus hautes marées, susceptibles d'influencer la dynamique côtière, ne sont pas considérées dans l'analyse annuelle. Également, le pourcentage de changement de superficie est uniquement calculé pour l'île la plus au nord, où l'on dispose de données pour un plus grand nombre d'années. La figure 22 suivante présente la superposition des tracés du trait de côte de chacune des années de 1974 à 2019.

Tableau 5 - Changement de la superficie des Îles aux Sternes entre 1974 et 2019

Îles aux Sternes (3)	1974 (m^2)	1995 (m^2)	2002 (m^2)	2018 (m^2)	2019 (m^2)
Nord	4760	9188	11453	8978	9747
Milieu	6628	13311	-	-	-
Sud	-	2703			
Changement superficie (%) *	-	48.2	19.8	-27.6	7.9
Écart temporel (année)	-	21	7	16	1
Changement annuel moyen (%)	-	2.3	2.8	-1.7	7.9
*Le pourcentage de changement de superficie est uniquement pour l'île au Nord					

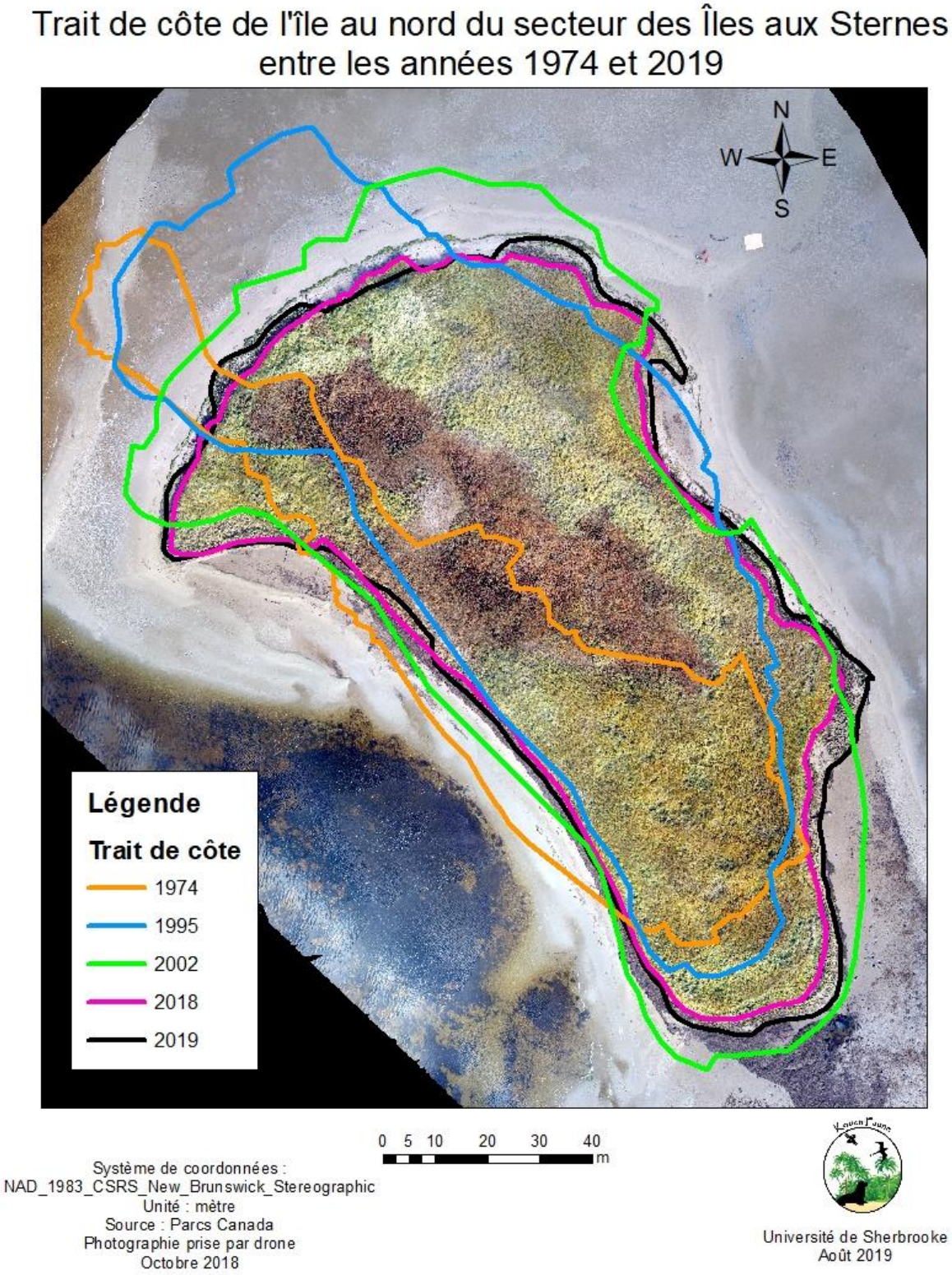


Figure 19 - Trait de côte de l'île au nord du secteur des Îles aux Sternes entre les années 1974 et 2019

5. Discussion

Suite à l'analyse des résultats, il est maintenant possible d'établir des constats sur la réalisation du projet. La section suivante traite des apports du projet, des méthodes existantes utilisées par d'autres experts, de la fiabilité des résultats, des limites du projet et des possibilités d'amélioration.

5.1 Apports du projet

Le projet vient en aide au partenaire avec les outils développés pour le suivi du déplacement du trait de côte. Ces outils contribuent significativement à l'amélioration de l'efficacité et du temps nécessaire pour le suivi. Dans cette section, les apports engendrés par l'outil semi-automatique, par l'outil d'aide au tracé manuel et par les autres livrables du projet sont abordés.

Tout d'abord, l'obtention de traits de côte par l'outil semi-automatique à partir des photographies aériennes numériques captées par drone est l'aspect du projet qui devrait permettre de réduire significativement le temps. En effet, l'outil est développé pour faciliter les manipulations, réduire le temps requis pour le traitement des données et pour l'analyse du déplacement du trait de côte au parc Kouchibouguac. En plus d'une rapidité accrue d'analyse, il n'y a qu'une seule démarche méthodologique à appliquer pour délimiter le trait de côte. Cela assure la répétitivité et la reproductibilité de la méthode, ce qui limite le risque d'erreurs de traitement et de manipulation lors des analyses.

D'autre part, l'outil d'aide au tracé manuel facilite l'interprétation des photographies aériennes analogiques aéroportées. En effet, il offre un support visuel à l'utilisateur pour le guider lors du tracé manuel du trait de côte. Ce support est particulièrement utile lorsque la qualité des photographies aériennes ne permet pas de distinguer facilement les indicateurs de traits de côte.

Au-delà des outils, la réalisation du projet a aussi résulté en une cartographie des secteurs à l'étude de 1974 à aujourd'hui. Certes, Parcs Canada possède actuellement plusieurs cartographies de la dynamique côtière, mais celles-ci proviennent d'observations et de données terrain. Dans le cadre de ce projet, l'équipe KouchiFaune offre une cartographie précise du déplacement net des traits de côte faite à partir des couvertures aériennes traitées par les technologies d'aujourd'hui. Cette

cartographie comprend à la fois le tracé du trait de côte des différents secteurs pour toutes les années à l'étude, mais aussi d'une analyse de leur déplacement effectuée DSAS. Celle-ci montre des déplacements nets du trait de côte des Îles aux Sternes et des autres secteurs à l'étude, ainsi que des variations de superficie des îles. Ces résultats obtenus avec les outils illustrent l'utilité et le potentiel de les utiliser dans l'analyse de la dynamique côtière au parc Kouchibouguac. Ceci est valide autant pour les années à venir que pour les années antérieures, tant que la méthode d'acquisition des photos correspond à celle de ce projet.

5.2 Méthodes existantes d'extraction des traits de côte

Le projet se démarque des autres projets en procédant à l'extraction du trait de côte à partir d'images à haute résolution. Également, il se distingue de ceux mentionnés à la section 2.4 par le traitement de photographies aériennes captées par drone à résolution spatiale très fine de l'ordre de quelques centimètres. L'extraction est semi-automatique et suit un processus séquentiel permettant de produire les données.

5.3 Analyse des résultats

La fiabilité des résultats obtenus par l'outil DSAS pour l'analyse du déplacement net des traits de côte est déterminée à partir des trois méthodes de validation. Celles-ci consistent à (1) l'évaluation de la précision du géoréférencement des photographies aériennes, (2) l'évaluation de la précision du trait de côte par la comparaison du tracé semi-automatique avec les relevés terrain et (3) vérifier la concordance des résultats entre le tracé semi-automatique et du tracé manuel. Les résultats de celles-ci se trouvent dans la section 4.4 et servent de référence pour établir la précision des résultats obtenus par les deux outils développés.

D'abord, l'analyse a été effectuée en considérant les objets fixes retrouvés sur la mosaïque d'orthophotographies de 2002. Ces objets considérés comme le niveau de référence ont permis la mesure des écarts avec les mêmes objets retrouvés en 1974 et 1995. En ce qui concerne le tracé du trait de côte de 1974, il faut considérer un écart moyen de 4.8 m pour le secteur au nord et un écart moyen de 7.8 m pour le secteur de la plage Kellys (tableau 3). Pour le tracé du trait de côte de 1995, il faut considérer un écart moyen de 4.8 m pour le secteur nord, un écart moyen de 6.4m pour le

secteur des plages Kellys et un écart moyen de 6.9 m pour le secteur des Îles aux Sternes (tableau 3). Différents facteurs expliquent ces écarts.

D'abord, le géoréférencement des photographies aériennes était difficile étant donné que la forme linéaire de la zone à l'étude. Cela a pour effet de limiter la répartition des points de contrôle dans chaque photographie. Or, la dispersion des points de contrôle est nécessaire pour diminuer la distorsion et optimiser le géoréférencement. De plus, la zone à l'étude est comprise entre un milieu océanique où il n'y a aucun point de repère identifiable et divers milieux côtiers dynamiques où ces points sont à la fois limités et changeants. En effet, on retrouve des milieux caractérisés, par exemple, par une végétation très basse et éparse, ou encore par la présence de petits cours d'eau. Outre les complications liées au milieu biophysique, d'autres causes ont compliqué cette tâche. Les teintes plutôt similaires des composantes de la végétation, tout comme celles de la portion sableuse, affectent directement la précision du tracé manuel.

En ce qui concerne le résultat de l'analyse de 2019, il est possible de conclure que l'outil semi-automatique fonctionne moins bien lorsque les conditions météorologiques et les paramètres d'acquisition des images ne sont pas les mêmes que ceux pris en considération pour l'analyse des photos de 2018 (tableau 4). En effet, pour que la classification semi-automatique fonctionne bien, il faut que l'altitude, la période de l'année et le niveau d'ensoleillement soient les mêmes, et il est préférable que l'acquisition des images se fasse lorsque la végétation est en pleine santé. Dans le cas contraire, les teintes des images ne représentent pas la réalité terrain de la même manière d'une couverture à l'autre. Par exemple, sur les images de 2019, certains milieux montrent des reflets anormaux comme certaines sections de sable ont des teintes verdâtres et du sable parsemé de végétation montre des teintes de mauve.

Pour ce qui est de l'évaluation de la concordance des résultats de 2018 des deux outils, il est possible de conclure que les deux outils permettent un résultat similaire avec un écart de 0.01% (tableau 3). Cela signifie que le partenaire peut adapter le choix de l'outil en fonction du type de données et de milieux pour procéder au suivi de la dynamique côtière. Les données produites par l'un ou l'autre des outils peuvent donc être considérées comme comparables.

5.4 Limites

Divers aspects du projet tel que les caractéristiques biophysiques du milieu étudié, la résolution spatiale des données ou même les méthodes scientifiques explorées composent les limites du projet.

Certaines limitations liées à la classification supervisée ont fait en sorte que l'outil est semi-automatique et non pas entièrement automatique comme prévu initialement. De plus, cette classification supervisée était très peu concluante pour détecter les indicateurs de trait de côte sur les photographies aériennes historiques. Cela a suscité le besoin de définir une méthode pour tracer manuellement le trait de côte tout en s'appuyant sur des indicateurs visuels redondants.

En ce qui concerne les limitations soulevées par la classification supervisée, trois facteurs sont en cause, soit le nombre de classes, le nombre de sites d'entraînement et l'algorithme de classification. Or, il existe une multitude de combinaisons de ces trois facteurs et aucune d'entre elles ne fonctionne parfaitement sur toutes les images disponibles. Pour cette raison, il est difficile d'obtenir des résultats reproductibles. Par conséquent, l'outil limite l'utilisateur à un nombre minimum et un nombre maximum de classes et de sites d'entraînement. Il effectue ensuite la classification à l'aide d'un algorithme prédéterminé.

5.5 Possibilités d'application et d'amélioration

L'outil semi-automatique est conçu principalement pour un secteur spécifique du parc Kouchibouguac, soit celui des Îles aux Sternes caractérisées par un système plages-dunes. En effet, il permet présentement d'effectuer des décisions semi-automatisées seulement pour des milieux présentant l'indicateur de trait de côte choisi, soit la limite entre la végétation et le sable sec. Cependant, l'outil pourrait bien fonctionner dans d'autres types de milieux comme les talus dunaires, les talus dans le roc et même les talus dans la tourbe, tant qu'on retrouve une délimitation claire entre une surface végétalisée et le sable sec. De plus, il serait intéressant de développer différents arbres de décision en fonction du type de milieu étudié.

Dans une optique future, il serait souhaitable de développer l'outil semi-automatique sur une plateforme de logiciel libre, afin d'éviter de contraindre les prochains utilisateurs potentiels à

acquérir une licence d'ArcGIS. Dans cet esprit, l'outil pourrait être développé en utilisant seulement la programmation Python jumelée avec les modules géospatiaux, tels que GDAL/OGR. Ainsi, il serait accessible pour tout organisme à but non lucratif, chercheur, étudiant ou autre qui souhaiteraient analyser la dynamique côtière.

Il serait aussi pertinent de s'attarder aux pistes permettant d'améliorer la fiabilité des résultats. En effet, plusieurs aspects du projet étaient limités en raison de certains obstacles. Tout d'abord, il n'y avait pas toujours une netteté du trait de côte entre une surface végétalisée et le sable sec sur certaines couvertures de photographies aériennes des années 1974 et 1995, ce qui limitait la précision planimétrique. Cette précision aurait amélioré les résultats obtenus du géoréférencement. Également, il y a des zones surexposées à l'éclairement de l'acquisition sur les photos historiques, ce qui limite l'identification des points de repère utiles au géoréférencement ou même la localisation d'indicateurs de trait de côte. En plus de ces difficultés, la résolution spatiale des photos historiques, surtout de 1974, n'était pas optimale pour bien différencier les pixels de végétation de ceux du sable. D'après ce qui précède, une meilleure résolution des photographies aériennes historiques aurait pallié l'ensemble de ces difficultés rencontrées. Cependant, cela fait partie des risques associés à travailler avec des données historiques puisqu'il est impossible de modifier les paramètres d'acquisition.

6. Conclusion

En conclusion, l'équipe KouchiFaune est parvenue à développer des méthodes permettant le suivi du déplacement du trait de côte au parc Kouchibouguac situé au Nouveau-Brunswick. De ce fait, l'équipe considère son mandat atteint ainsi que ses objectifs. En effet, l'équipe à réaliser le développement d'un outil semi-automatique de l'extraction du trait de côte pour le traitement des photographies aériennes numériques captées par drone ainsi qu'un outil d'aide au tracé manuel pour les couvertures aériennes analogiques aéroportées. Ceux-ci ont permis de réaliser l'objectif général de développer un outil d'analyse géomatique facilitant le suivi de la dynamique côtière des Îles aux Sternes et celui de cartographier et décrire l'évolution des Îles aux Sternes de 1974 à 2018. Ceux-ci permettront au partenaire de suivre rapidement et efficacement le déplacement net du trait de côte des secteurs côtiers et des Îles aux Sternes afin d'émettre des constats sur la situation des Sternes pierregarin.

Certes, les outils viennent en aide au partenaire, mais ceux-ci pourraient être améliorés dans le cadre d'un autre projet surtout sur le plan de l'arbre de décisions de l'outil. En effet, plusieurs arbres pourraient être développés pour différents milieux tels que les talus dunaires, les talus dans le roc, les talus dans la tourbe et les marais maritimes. Ainsi, l'outil semi-automatique pourrait rejoindre le plus d'experts scientifiques dans plusieurs régions différentes.

Finalement, l'outil d'aide au tracé manuel et l'outil semi-automatique constituent les éléments clés du projet *Développement d'un outil géomatique pour le suivi de la dynamique côtière au Parc national du Canada Kouchibouguac depuis les années 1970* réalisé par l'équipe KouchiFaune. Ces outils répondent aux objectifs et aux attentes du projet par leur simplicité et par la facilité d'utilisation pour le suivi de la dynamique côtière des Îles aux Sternes et des autres secteurs. De plus, une acquisition plus fréquente d'images des secteurs à forte dynamique côtière et une acquisition à des fréquences plus lente pour les secteurs à changement lent permettraient d'obtenir des analyses adaptées à l'évolution du terrain. Dans cette optique, l'équipe croit que ses outils seraient transposables pour d'autres organismes, chercheurs ou tout autre individu désirant analyser la dynamique côtière. En plus, les outils pourraient s'appliquer à d'autres régions que celles côtières telles, côtes microtidales, côtes à falaise rocheuse et marais maritime tant qu'il y a une délimitation claire entre un milieu végétalisé et le sable sec.

Références

Aligarh Muslim University (2002) Spectral Reflectance of Land Covers. Département de géologie [En ligne]. http://www.geol-amu.org/notes/m1r-1-8.htm (page consultée le 19 avril 2019)

ArcGIS (2018a) Ajout de la barre d'outils editeur (ESRI). Consulté à : http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/manage-data/editing-fundamentals/adding-the-editor-toolbar.htm

ArcGIS (2018b) A quick tour of ArcPy (ESRI). Consulté à : http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/analyze/arcpy/a-quick-tour-of-arcpy.htm

ArcGIS (2018c) Calculatrice raster (ESRI). Consulté à : https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/raster-calculator.htm

ArcGIS (2018d) Create Mosaic (ESRI). Consulté à : http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/latest/tools/bathymetry-toolbox/create-mosaic-dataset-from-model.htm

ArcGIS (2018e) Créer un jeu de données raster (ESRI). Consulté à : https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/tool-reference/data-management/create-raster-dataset.htm

ArcGIS (2018f) Diagramme en barres minimum maximum (ESRI). Consulté à : http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/latest/map/graphs/creating-bar-min-and-max-graphs.htm

ArcGIS (2018g) Éliminer une portion du polygone (ESRI). Consulté à : http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/data-management-toolbox/eliminate-polygon-part.htm

ArcGIS (2018h) How do I apply a vertical datum transformation in ArcGIS Desktop (ESRI). Consulté à : https://support.esri.com/en/Technical-Article/000015147

ArcGIS (2018i) Image classification using the ArcGIS Spatial Analyst extension (ESRI). Consulté à : http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/image-classification/image-classification-using-spatial-analyst.htm

ArcGIS (2018j) Nettoyage de limites (ESRI). Consulté à : http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/boundary-clean.htm

ArcGIS (2018k) Outils de la barre Géoréférencement (ESRI). Consulté à : http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/georeferencing-toolbar-tools.htm

ArcGIS (2018l) Pente (ESRI). Consulté à : http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/slope.htm

ArcGIS (2018m) Raster vers polygones (ESRI). Consulté à : https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/tool-reference/conversion/raster-to-polygon.htm

ArcGIS (2018n) Simplifier un polygon (ESRI). Consulté à : http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/cartography-toolbox/simplify-polygon.htm

ArcGIS (2018o) Statistiques focales (ESRI). Consulté à : http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/focal-statistics.htm

Di, K., Wang, J., Ruijin M., Li, R. (2003) AUTOMATIC SHORELINE EXTRACTION FROM HIGH-RESOLUTION IKONOS SATELLITE IMAGERY, Department of Civil and Environmental Engineering, The Ohio State University, 11 pages.

DNRE 02507 (72-73, 120-121) (2002) [photographie aérienne]. 1 : 12 500, couleur, 800 ppp, format TIF, Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Nouveau-Brunswick

ESRI (2011) ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Fréchette, A (2007) Analyse par photo-interprétation de l'évolution de la superficie des habitats de la zone littorale dans le secteur nord du Parc national du Canada Kouchibouguac (N.B.) entre 1974 et 2002 et application de trois scénarios d'inondation à l'aide d'un SIG. Université de Sherbrooke, Québec, 132 p.

Lee, I-C., Wu, B., Li, R. (2009) Shoreline extraction from the integration of LiDAR point cloud data and aerial orthophotos using mean shift, Mapping and GIS Laboratory, Dept. of Civil & Environmental Engineering & Geodetic Science, The Ohio State University, ASPRS 2009 Annual Coference, 7 pages.

Li, R., Di, K., Ma, R. (2001) A Comparative Study of Shoreline Mapping Techniques, Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University

Loos E., A., Niemann, K., O. (2002) Shoreline Feature Extraction from Remotely-Sensed Imagery, University of Victoria, 3 pages.

Mallet, C. et Michot, A. (2012) Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte. Géoscience pour une terre durable, p. 28-39.

Marfai, M., A., Almohammad, H., Dey, S., Susanto, B., King, L. (2008) Coastal dynamic and shoreline mapping: multi-sources spatial data analysis in Semarang Indonesia, https://www.researchgate.net/publication/5969288_Coastal_dynamic_and_shoreline_mapping_Multi-sources_spatial_data_analysis_in_Semarang_Indonesia, 13 pages.

Okin, G. and Painter, T. (2004) Effect of grain size on remotely sensed spectral reflectance of sandy desert surfaces. Remote Sensing of Environment. vol. 89, no 3, p. 272-280.

Parece, T. (2015) Land Use/Land Cover Monitoring and Geospatial Technologies: An Overview. Handbook of Environmental Chemistry. vol 33, p. 1-32.

QGIS Development Team (2019). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.

Ressources naturelles Canada, A30953 (101-104) (1974) [photographie aérienne]. 1:10 000, couleur, 800 ppp, format TIF, Photothèque nationale de l'air, Québec.

Ressources naturelles Canada, A31728 (10-13) (1995) [photographie aérienne]. 1:10 000, couleur, 800 ppp, format TIF, Photothèque nationale de l'air, Québec.

Pardo-Pascual, J., E., Amonacid-Caballer, J., Ruiz, L., A.,, Palomar-Vazquez, J. (2012) Automatic Extraction of Shorelines from Landsat TM 2 and ETM+ Multi-Temporal Images with SubPixel 3 Precision, Geo-Environmental Cartography and Remote Sensing Group, Department of Cartographic Engineering, Geodesy and Photogrammetry, Universitat Politèca de València, 50 pages.

Secteur des Îles aux Sternes (2018) [photographie aérienne par drone]. Couleur, 72 ppp, format TIF, Parcs Canada, Nouveau-Brunswick

Shujian, Y., Mou, Y., Duanquan, Xu, D., You, X., Zhou, L., Zeng, W. (2013) A New Algorithm for Shoreline Extraction from Satellite Imagery with Non-Separable Wavelet and Level Set Method, International Journal of Machine Learning and Computing, Vol. 3, No. 1, Février 2013

United States Geological Survey (2005) Digital Shoreline Analysis System. [Document PDF]

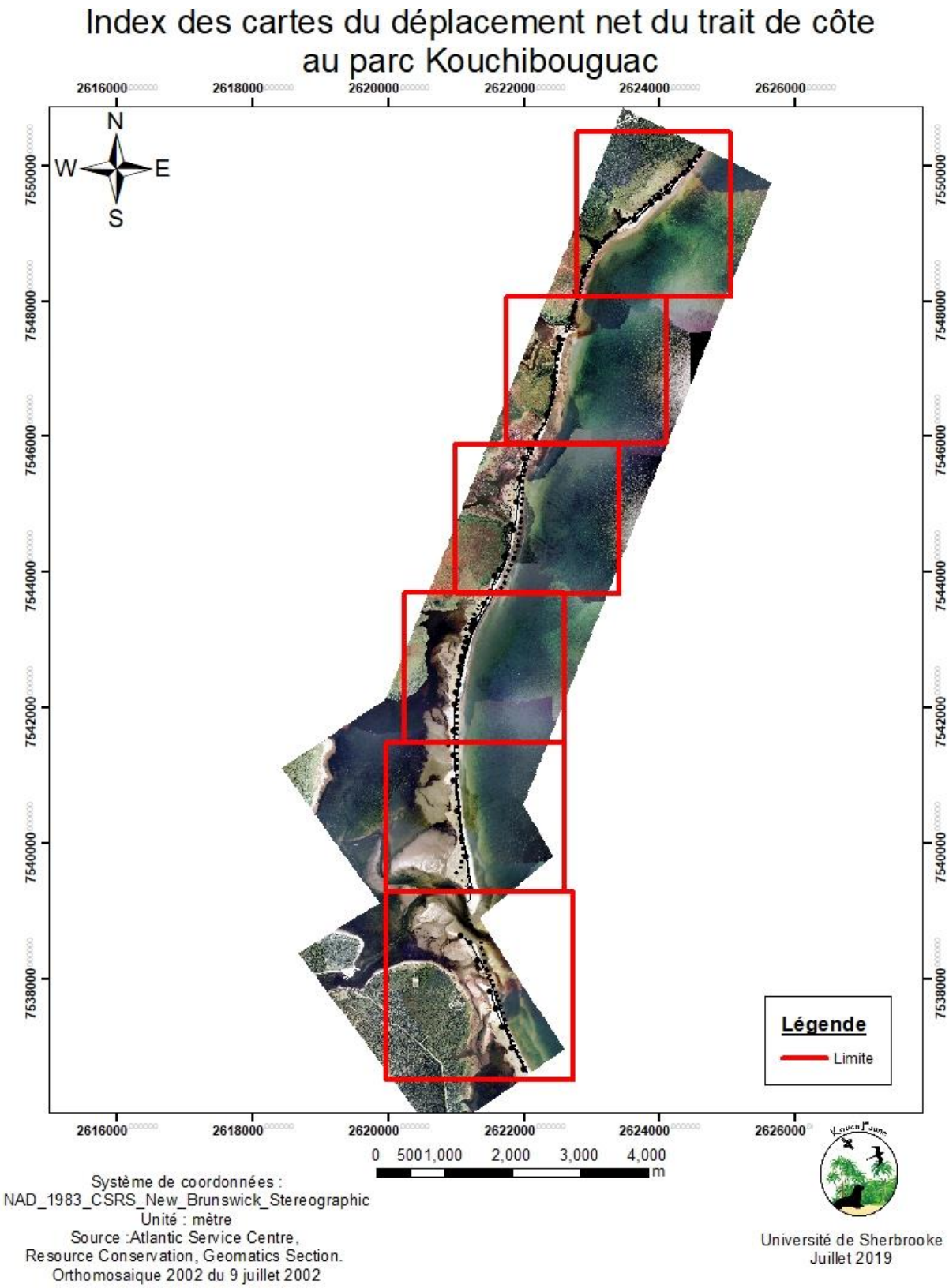
Consulté à :
https://woodshole.er.usgs.gov/projectpages/DSAS/version3/images/pdf/DSASv3_2.pdf

Yousef, A., Iftekharuddin, K. (2014) Shoreline extraction from the fusion of LiDAR DEM data and aerial images using mutual information and genetic algrithms, International Joint Conference, 8 pages.

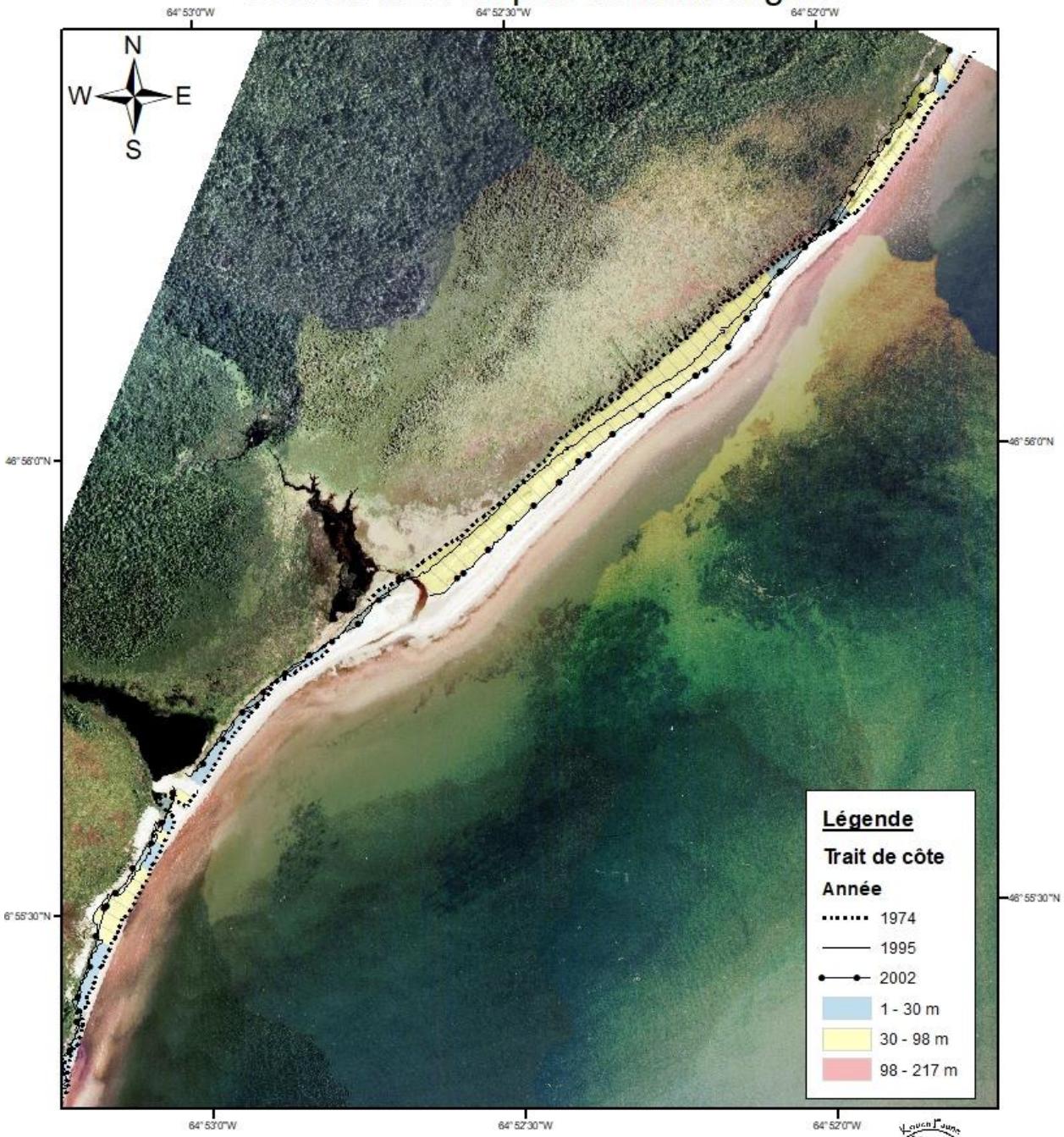
Yuanming S., Jonathan L., Gary G. (2010) Shoreline Extraction from RADARSAT-2 Intensity Imagery Using a Narrow Band Level Set Segmentation Approach, Marine Geodesy, 33:2-3, 187-203.

WebODM (2019) Open Drone Map [Logiciel] Version 1.1.0.

Annexe 1


Index des cartes du déplacement net du trait de côte
au parc Kouchibouguac
2616000
2618000
2620000
2622000
2624000
2626000
7550000
7548000
7546000
7544000
7542000
7540000
7538000
N
W
E
S
Légende
Limite
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000
m
Système de coordonnées :
NAD_1983_CSRS_New_Brunswick_Stereographic
Unité : mètre
Source :Atlantic Service Centre,
Resource Conservation, Geomatics Section.
Orthomosaique 2002 du 9 juillet 2002
Université de Sherbrooke
Juillet 2019

Déplacement net du trait de côte entre les années 1974 et 2002
Secteur nord du parc Kouchibouguac

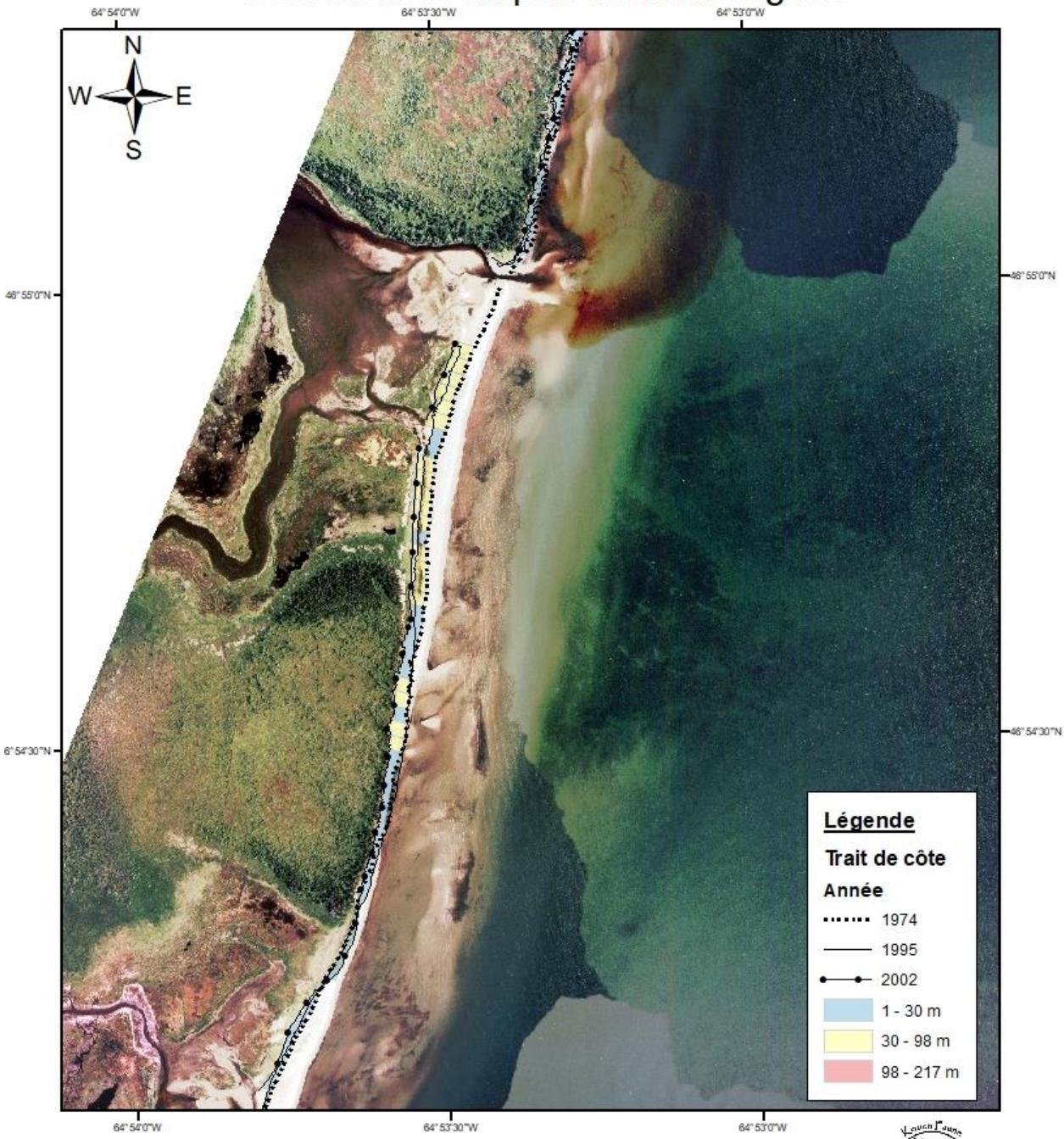


0 45 90 180 270 360 450 m

Système de coordonnées :
NAD_1983_CSRS_New_Brunswick_Stereographic
Unité : mètre
Source :Atlantic Service Centre,
Resource Conservation, Geomatics Section.
Orthomosaique 2002 du 9 juillet 2002

Carte créée par KouchiFaune
Université de Sherbrooke
Juillet 2019

Déplacement net du trait de côte entre les années 1974 et 2002
Secteur nord du parc Kouchibouguac

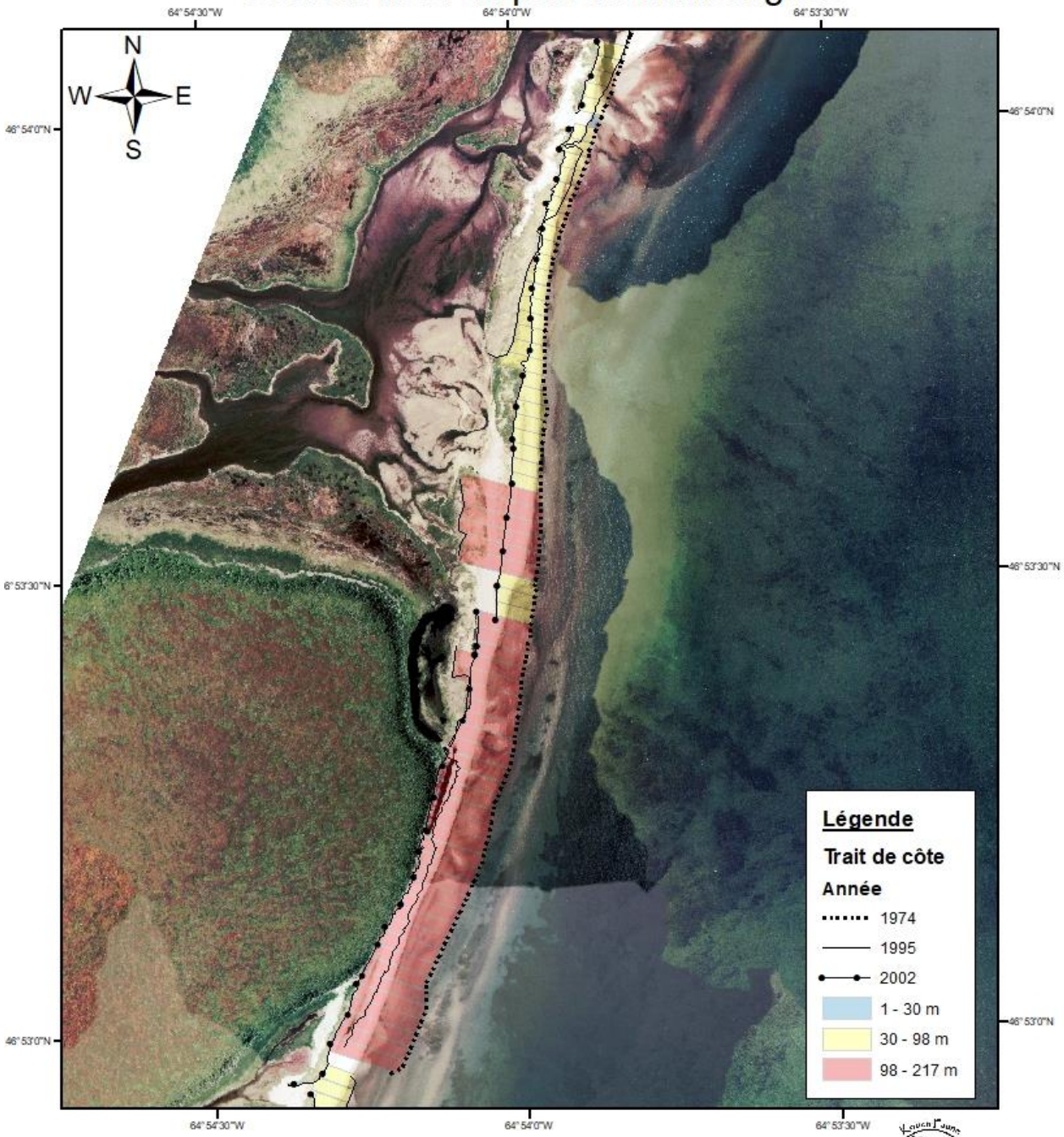


0 45 90 180 270 360 450 m

Système de coordonnées :
NAD_1983_CSRS_New_Brunswick_Stereographic
Unité : mètre
Source :Atlantic Service Centre,
Resource Conservation, Geomatics Section.
Orthomosaique 2002 du 9 juillet 2002

Carte créée par KouchiFaune
Université de Sherbrooke
Juillet 2019

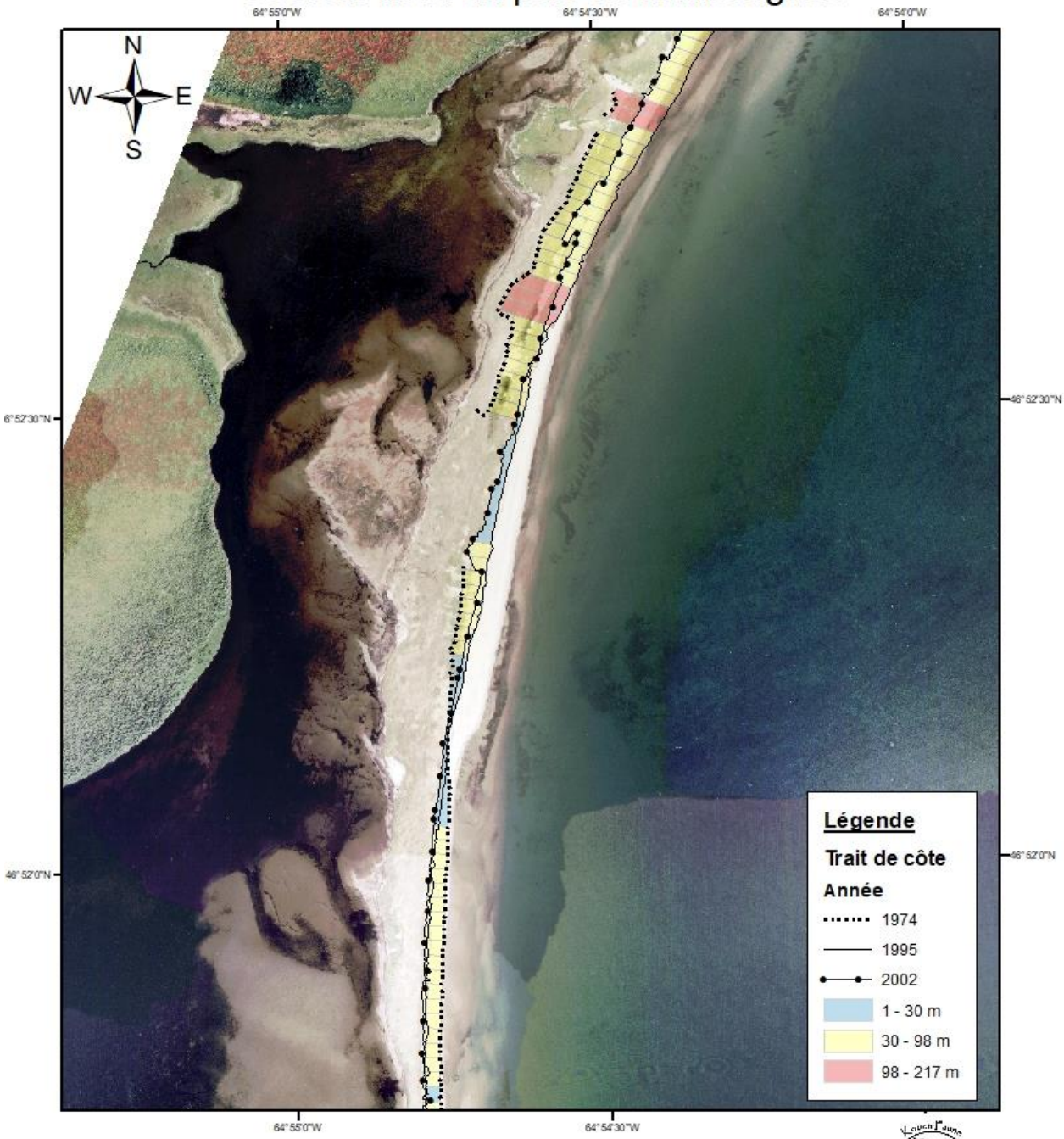
Déplacement net du trait de côte entre les années 1974 et 2002
Secteur nord du parc Kouchibouguac



Système de coordonnées :
NAD_1983_CSRS_New_Brunswick_Stereographic
Unité : mètre
Source :Atlantic Service Centre,
Resource Conservation, Geomatics Section.
Orthomosaique 2002 du 9 juillet 2002

Carte créée par KouchiFaune
Université de Sherbrooke
Juillet 2019

Déplacement net du trait de côte entre les années 1974 et 2002
Secteur nord du parc Kouchibouguac

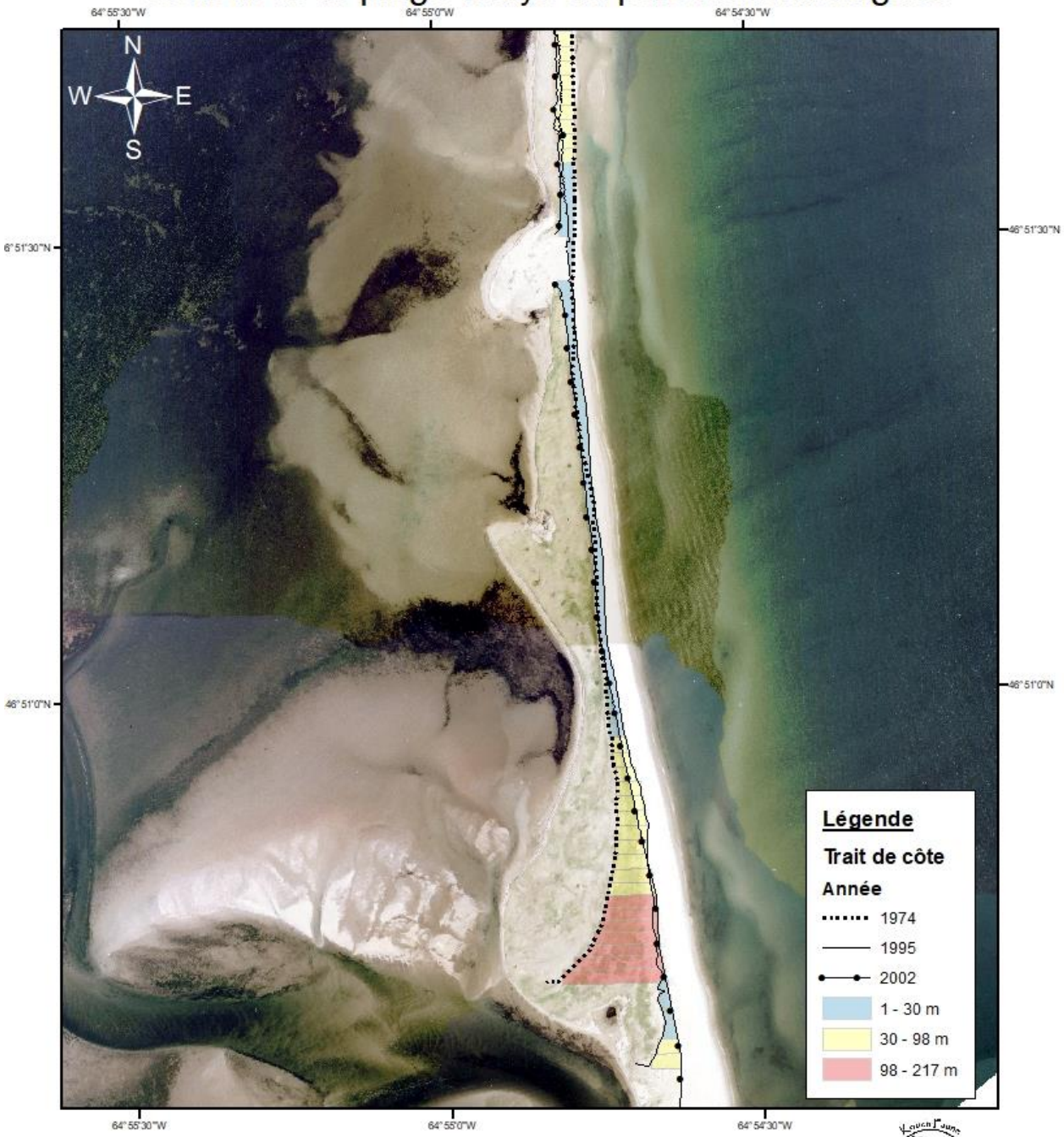


0 45 90 180 270 360 450 m

Système de coordonnées :
NAD_1983_CSRS_New_Brunswick_Stereographic
Unité : mètre
Source :Atlantic Service Centre,
Resource Conservation, Geomatics Section.
Orthomosaique 2002 du 9 juillet 2002

Carte créée par KouchiFaune
Université de Sherbrooke
Juillet 2019

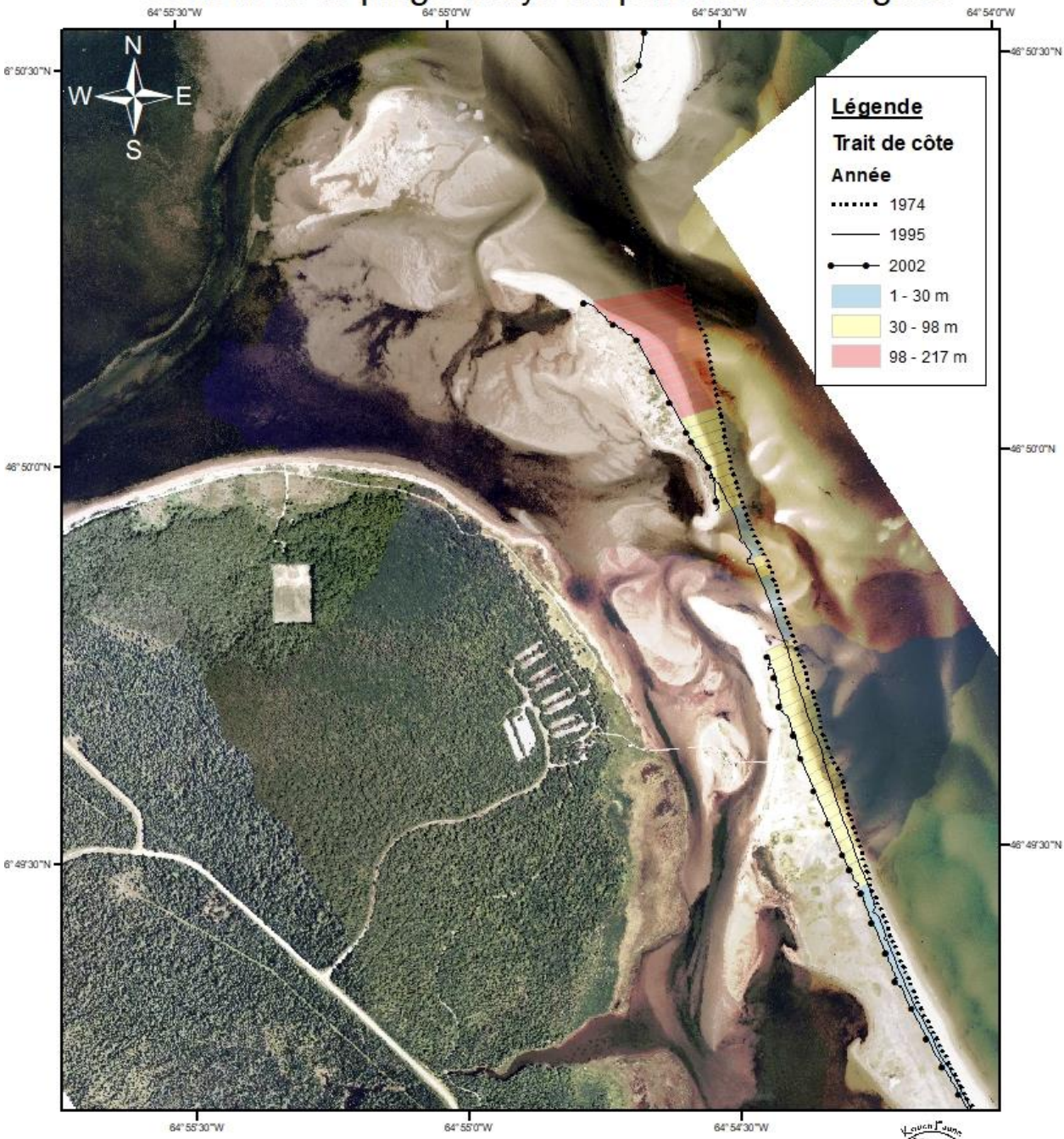
Déplacement net du trait de côte entre les années 1974 et 2002
Secteur de la plage Kellys au parc Kouchibouguac



Système de coordonnées :
NAD_1983_CSRS_New_Brunswick_Stereographic
Unité : mètre
Source :Atlantic Service Centre,
Resource Conservation, Geomatics Section.
Orthomosaique 2002 du 9 juillet 2002

Carte créée par KouchiFaune
Université de Sherbrooke
Juillet 2019

Déplacement net du trait de côte entre les années 1974 et 2002
Secteur de la plage Kellys au parc Kouchibouguac



Système de coordonnées :
NAD_1983_CSRS_New_Brunswick_Stereographic
Unité : mètre
Source :Atlantic Service Centre,
Resource Conservation, Geomatics Section.
Orthomosaique 2002 du 9 juillet 2002

Carte créée par KouchiFaune
Université de Sherbrooke
Juillet 2019