

CHAPITRE IV

MÉTHODOLOGIE

MCours.com

La démarche méthodologique s'est articulée à partir des objectifs spécifiques. Dans un premier temps, une campagne sur le terrain a permis d'identifier et de cartographier un maximum d'indices témoins d'une époque où le niveau marin était inférieur à l'actuel. Pour se faire, nous avons eu recours à diverses approches dont l'utilisation du GPS, l'analyse stratigraphique, la datation au ^{14}C et les relevés altitudinaux au DGPS qui ont permis d'établir les taux de submersion. Dans un deuxième temps, une analyse statistique des données marégraphiques a été réalisée dans le but de voir si la submersion rapportée dans la littérature pour les provinces voisines s'observait aussi pour le secteur des Îles-de-la-Madeleine.

4.1 Campagnes sur le terrain

4.1.1 Cartographie et inventaire des indices de submersion

Les campagnes sur le terrain se sont déroulées de mai à juin 2007 et 2008. La phase initiale du projet consistait à localiser un maximum d'indices relatifs à une hausse récente du niveau marin. Ainsi, les vestiges de forêts submergées ont fait l'objet d'une cartographie systématique, de même que les tourbes et les prés salés exposés par l'érosion littorale.

En 2007, les premiers indices ont été localisés grâce aux équipes de *Caractérisation côtière* et de celles du *Suivi de l'érosion côtière* du *Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières* de l'UQAR alors que ces derniers ont arpenté systématiquement le littoral de l'archipel, et ce tant du côté marin que lagunaire. En 2008, nous avons visité les sites identifiés par Dubois (1993, inédit).

Un total de dix-huit sites d'intérêt ont été documentés. Pour chacun des sites visités, une localisation au GPS (*Global Positioning System*) et une description générale du site d'intérêt étaient réalisées, supportées à l'aide de quelques photos. Pour les environnements terrestres submergés, des profils topographiques à l'aide d'un DGPS ont été réalisés de même qu'une cartographie des souches. Enfin, une coupe stratigraphique a été réalisée afin de décrire la succession d'environnement dans lequel s'insère l'horizon forestier.

Les visites sur le terrain ont aussi permis de se familiariser avec la dynamique littorale actuelle et de rapporter plusieurs cas d'ajustements côtiers liés à la submersion marine dont les microfalaises d'érosion, les lobes et cordons transgressifs, les brèches de tempêtes et la dégradation des bordures forestières.

4.1.2 Relevés au DGPS

Les relevés topographiques et la cartographie des souches des sites ont été réalisés à l'aide du DGPS (*Differential Global Positioning System*) Magellan. La topographie fine de chaque site a été réalisée en suivant des transects perpendiculaires à la côte, incluant le bas et le haut estran, l'arrière-plage et l'arrière-côte. Un maximum d'informations géomorphologique et botanique a été relevé pour chacun des sites, dont la limite entre le haut et le bas estran, la position ligne de rivage (limite de la végétation littorale), celles du trait de côte (microfalaise active) et des débris de tempête.

Pour les sites comportant une forêt fossile, la répartition des souches a aussi été cartographiée. L'altitude était prise au col de l'arbre. De manière à s'assurer de la validité des données et des datations qui allaient les accompagner, seules les souches ancrées dans leur horizon forestier d'origine étaient inventoriées, celles ne l'étant pas ayant pu être déplacées par la dynamique littorale.

Les altitudes fournies par les relevés au DGPS sont exprimées en mètre en fonction du 0 géodésique, ce qui correspond au niveau moyen des mers (NMM). Aux Îles-de-la-Madeleine, l'altitude du niveau moyen des mers est de 0,7 m (tableau 3.2). Les relevés au DGPS ont l'avantage de rendre l'ensemble des données altitudinales comparables d'un site à l'autre.

Les données récoltées au DGPS ont été traitées à l'aide du logiciel *GNSS Solutions*, une technologie de *Magellan Navigation Inc.*

4.1.3 Les coupes stratigraphiques ou datation relative

Des coupes stratigraphiques ont été réalisées pour la majorité des sites d'intérêt. Ces coupes fournissent de précieuses informations sur la succession et la nature des dépôts de chacune des unités composant l'environnement. Ce type d'approche permet d'établir un ordre dans la succession des environnements. Lorsqu'une unité est datée, la stratigraphie permet de dater de manière relative, les autres unités.

Lorsque l'érosion côtière exposait une séquence organique d'intérêt, celle-ci était simplement dégagée à l'aide de la pelle et d'une truelle de manière à pouvoir observer l'ensemble des environnements constituant la coupe. Lorsque le contact basal ne pouvait être atteint avec la pelle, l'utilisation d'un carottier de type « Russian Peat Borer » a permis de poursuivre la prospection. Ce type de carottier est conçu pour les terrains organiques et permet un

prélèvement des environnements sous-jacents sans compression des échantillons (Aquatic Research, 2008). Le carottier a été particulièrement utile dans les environnements de marais maritimes et afin d'atteindre la base de séquence de grande profondeur.

4.1.4 Prélèvement pour analyse dendrochronologique

Pour chaque individu bien conservé, un prélèvement d'une rondelle de bois a été extrait dans le but d'en faire une analyse dendrochronologique. Cette coupe était réalisée à hauteur du col de manière à détenir le maximum d'anneaux de croissance. Tous les échantillons ont été préparés pour leur analyse dendrochronologique, c'est-à-dire qu'ils ont été sablés successivement avec des papiers aux grains de grossiers à fins (80, 100, 120, 160 et 220).

À l'origine du projet, l'objectif de ce prélèvement était de raccorder par analyse dendrochronologique, la séquence climatologique de la période de croissance des arbres à la période actuelle. Nous avons dû abandonner cet objectif lorsque les datations au ^{14}C nous ont informé que les forêts étaient beaucoup trop vieilles pour être raccordées au couvert forestier actuel de l'archipel. D'après M. Benoît Boudreau, technicien forestier à la municipalité des Îles-de-la-Madeleine, le couvert forestier date tout au plus de 80 ans. De plus, tous les échantillons présentaient du bois de réaction rendant impossible l'association des communautés à la courbe de référence pour l'est du Canada tel qu'annoncé par M. Dominique Arsenault, responsable du laboratoire d'écologie historique et de dendrochronologie de l'UQAR.

4.2 Datations au radiocarbone et calibration

La datation au radiocarbone (^{14}C) a été utilisée afin de positionner dans le temps l'époque où le niveau marin était inférieur à l'actuel. Pour se faire, et lorsque la séquence organique s'y prêtait bien, la datation au radiocarbone a fourni l'âge de la base et/ou du sommet des unités organiques. Pour les souches, la datation des individus est basée sur les cernes d'arbres prélevés près du cœur de l'arbre. Tel que mentionné précédemment, pour chaque échantillon daté, un positionnement altitudinal était relevé au DGPS. La combinaison de ces informations a permis de positionner dans le temps les transitions terrestre/marin ou encore forestier à tourbière, permettant dans certains cas de quantifier la submersion marine. Le choix du matériel à dater est de toute évidence une étape critique. Il doit appartenir et représenter l'environnement duquel on cherche à obtenir l'information. L'échantillonnage doit se faire avec précaution afin d'éviter toute contamination en provenance d'environnements adjacents. Il faut ainsi faire attention de distinguer le matériel autochtone de l'allochtone. De plus, il faut être attentif à la contamination en profondeur occasionnée par les racines des plantes colonisatrices positionnées sur d'anciens dépôts.

La datation au radiocarbone conventionnelle et par « « accelerator-mass spectrometer » (AMS) sont les plus communes pour dater le matériel organique de moins de 50 ka B.P. Cette technique de datation tire son principe de la dégradation de l'isotope radioactif du carbone. Elle consiste à mesurer le nombre de particules radioactives émises par un échantillon sachant que la demi-vie du ^{14}C est de 5 568 ans (Demi-vie de Libby) (STUIVER et POLACH, 1977). La datation conventionnelle permet d'obtenir l'âge d'un organisme par dégradation de l'isotope ^{14}C qu'il a capté tout au long de sa vie. La datation AMS mesure quant à elle directement le nombre d'atomes ^{14}C en utilisant un accélérateur de particules par spectrométrie. Cette dernière ne nécessite qu'une très faible quantité de matériel comparativement à la datation au radiocarbone conventionnelle.

Les échantillons ont été confiés au *Laboratoire de radiochronologie* du Centre d'Études Nordiques (CEN) de l'Université Laval pour leur datation. Ce laboratoire possède les

installations nécessaires à la réalisation de datations par méthode conventionnelle (radiométrique) et à la préparation des échantillons pour les datations AMS (Accelerator Mass Spectrometry). Ces échantillons ont ensuite été envoyés au laboratoire de *University of California* (UCIAMS).

Les datations au radiocarbone (^{14}C B.P.) ont ensuite été calibrées en années du calendrier (cal. Yrs B.P.) à l'aide du programme de calibration *CALIB* de STUIVER et REIMER (1993, version 5.0). Le programme est disponible en ligne sur le site de $^{14}\text{CHRONO}$ Center, Queens University Belfast (<http://calib.qub.ac.uk/>). Selon la nature du matériel daté, *CALIB* offre un choix de courbe d'étalonnage. Pour la présente étude, la matière organique a été calibrée à l'aide de la courbe *IntCal09.14c* de REIMER *et al.* (2009) de la version 6.0 de *CALIB*. Le programme fait la conversion à partir d'une datation radiocarbone en calculant la probabilité de la distribution de l'âge réel de l'échantillon. Par exemple, l'âge calibré d'une datation radiocarbone de 585 ± 15 B.P. sera fournie comme ceci :

One Sigma Ranges (1σ):	[start:end]	relative area
(68.3 % cal age ranges)	[549 BP:559 BP]	0.230905
	[601 BP:629 BP]	0.769095
Two Sigma Ranges (2σ):	[start:end]	relative area
(95.4 % cal age ranges)	[542 BP:563 BP]	0.280857
	[591 BP:639 BP]	0.719143

et sera rapporté en fonction du minimum et du maximum exprimés par le 2σ , soit 542-639 cal. B.P. La médiane sera utilisée pour calculer les taux de submersion, soit $590,5 \pm 48,5$ cal. B.P. dans le cas illustré ci-dessus. Étant donné que les datations B.P. réfèrent à l'an 1950, un ajustement des datations a été réalisé de manière à prendre en compte les 57 années qui séparent l'année de référence des datations obtenues de l'année de mesure des niveaux d'eau et géomorphologiques (2007). Les datations sont présentées des trois façons afin de faciliter les comparaisons avec d'autres travaux sur la submersion marine.

4.3 Calcul des taux de submersion

Les taux de submersion ont été obtenus en comparant l'altitude des environnements terrestres submergés datés à celle de leur environnement homologue contemporain. Ainsi, pour un site donné, l'altitude d'une souche submergée datée a été comparée à l'altitude minimale à partir de laquelle colonise aujourd'hui la strate arborescente.

Prenons en exemple la souche datée à 606 ± 50 ans cal. B.P. du site de baie du Bassin. Un différentiel altitudinal de 0,96 m sépare la souche submergée (-0,16 m) de l'altitude de colonisation minimale par la strate arborescente (0,80 m). En rapportant ce différentiel sur la datation calibrée, l'on obtient un taux de submersion de l'ordre de 15,8 cm/siècle (1,6 mm/an).

Lorsque l'environnement ne se prêtait pas à cette comparaison, l'altitude de la souche submergée a été comparée à l'altitude de la colonisation par les plantes terrestres de la haute plage, cette limite correspondant théoriquement à la limite atteinte par les pleines mers supérieures de grande marée (PMSGM) que nous interprétons comme la ligne de rivage. Les taux obtenus de cette manière sont minimaux étant donné que les plantes de rivage tolèrent la submersion occasionnelle par les eaux marines alors que les arbres n'ont pas cette tolérance et colonise la côte plus haut. La limite de la ligne de rivage peut aussi s'observer sur le terrain par la présence des laisses de marée.

Reprenons l'exemple ci-dessus. Cette fois l'altitude de la souche submergée (-0,16 m) sera retranchée à celle de la ligne de rivage identifiée sur le terrain (0,64 m) pour un différentiel altitudinal de 0,80 m. Dans ce cas, le taux de submersion atteint seulement 13,2 cm/siècle (1,3 mm/an).

Enfin, en absence de ces deux situations, l'altitude des éléments submergés a été comparée à celle à partir de laquelle se développe la végétation terrestre à l'arrière-plage. Cette situation

s'est présentée au site de l'Anse aux Renards (île de Pointe-aux-Loups) alors que la configuration du littoral ne permettait pas d'identifier les limites énoncées ci-haut.

Les taux de submersion ont été calculés à partir de la date calibrée B.P. Pour des fins de comparaison avec la littérature, ils ont aussi été calculés à partir de la datation B.P. Enfin, les taux de submersion ont aussi été calculés à partir de la datation calibrée additionnée de 57 ans, étant donné que les datations B.P. font référence à l'an 1950. Cette stratégie n'a pas eu particulièrement d'impact sur les datations de plus de 500 ans mais semblait mieux représenter la réalité pour les datations plus récentes. Un tableau accompagne chacun des sites et y présentent les différents taux générés.

4.4 Analyse des données marégraphiques

4.4.1 Provenance des données analysées

Un inventaire des stations marégraphiques et de leur couverture temporelle a d'abord été réalisé pour la région des Îles-de-la-Madeleine à partir de la section *Gestion des données scientifiques intégrées* du ministère Pêches et Océans Canada (MPO, 2010) (tableau 4.1). Le site rend public les données canadiennes sur les marées et les niveaux d'eau du réseau permanent d'observations du *Service hydrographique du Canada* (SHC) archivées au *Centre national des données du Canada*. Les données sont disponibles en format numérique (données digitales) ou sont archivées sur microfilms. Les données archivées sur microfilms présentent des séries temporelles très courtes avec de nombreuses données absentes (tableau 4.1). Il a été jugé impossible d'utiliser ce matériel en raison de leur qualité. Ainsi, seules les données numériques ont été analysées. Ces dernières sont fournies en format « Comma-separated values » (.csv).

La démarche a permis de cibler un total de neuf stations dont les périodes d'enregistrement ont variées dans le temps. Le détail des couvertures temporelles de chacune des stations est présenté au tableau 4.1 alors que la figure 4.1 schématise la distribution des données numériques seulement. Malencontreusement, pour des raisons d'incohérence entre les données des différentes stations, il n'est pas possible d'utiliser l'ensemble des informations fourni par les neuf stations, une situation à laquelle l'équipe de M. Denis Lefavre, chercheur scientifique au Service hydrographique du Canada (SHC) de l'Institut Maurice-Lamontagne (IML), travaille présentement.

Ainsi, dans le but d'établir un taux de la hausse du niveau marin pour le secteur des Îles de la Madeleine, seules les données marégraphiques de la station de Cap-aux-Meules (anciennement nommée « Grindstone Wharf ») ont été analysées, soit celle qui détient la plus longue séquence d'enregistrements dans le temps.

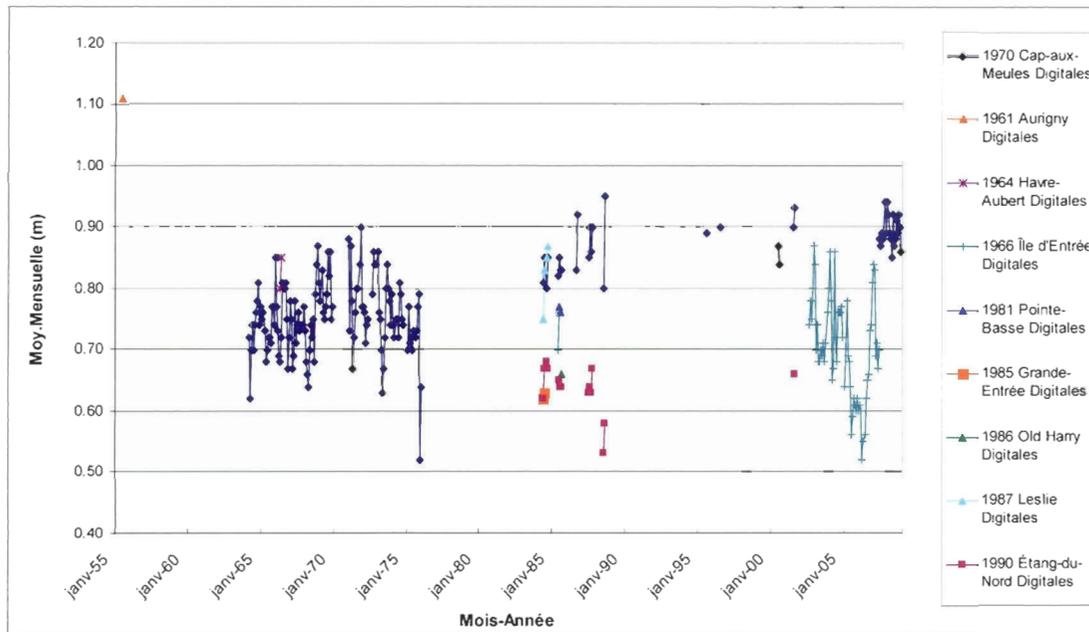


Figure 4.1 Distribution des moyennes mensuelles enregistrées pour chacune des neuf stations marégraphiques des Îles-de-la-Madeleine (données digitales seulement) (MPO, 2010)

4.4.2 Traitement des données marégraphiques

Dans le but d'affirmer ou d'infirmer s'il existe une relation entre le niveau marin et l'espace temps, une droite de régression linéaire a été appliquée aux données marégraphiques de la station de Cap-aux-Meules. Les analyses ont été basées sur les moyennes mensuelles. Ces dernières ont été générées à partir des données horaires disponibles en format numérique.

Afin de parvenir à notre objectif, une base de données a été générée à l'aide du logiciel *PASW Statistics 18*, un produit de la technologie *SPSS Inc.* Bâtie à partir des valeurs horaires du niveau de l'eau, elle comporte aussi les informations relatives au jour, au mois et à l'année d'appartenance. Cette structure a permis de vérifier la normalité de chacune des distributions (journalière, mensuelle et annuelle) avant d'appliquer la droite de régression linéaire.

La procédure a permis d'isoler 125 mois d'enregistrements marégraphiques comportant un minimum de 28 jours pour la période couverte entre mars 1964 et juin 2010. Un test de Kruskal-Walis (K-S) a été appliqué à chacun des groupes (journalier et mensuel) afin de valider la normalité des distributions de ceux-ci. Le niveau de signification étant établi à 0,05. Dans 99 % des cas, la distribution des valeurs était normale.

Le traitement des enregistrements marégraphiques comporte son lot de problèmes, la première étant la discontinuité des données, couvrant de quelques heures par jour à quelques jours par mois et, plus rarement, des mois entiers voire une année entière. Bien qu'elle soit incomplète, la qualité des données a tout de même permis une analyse représentative de la banque de données numériques de Cap-aux-Meules.