



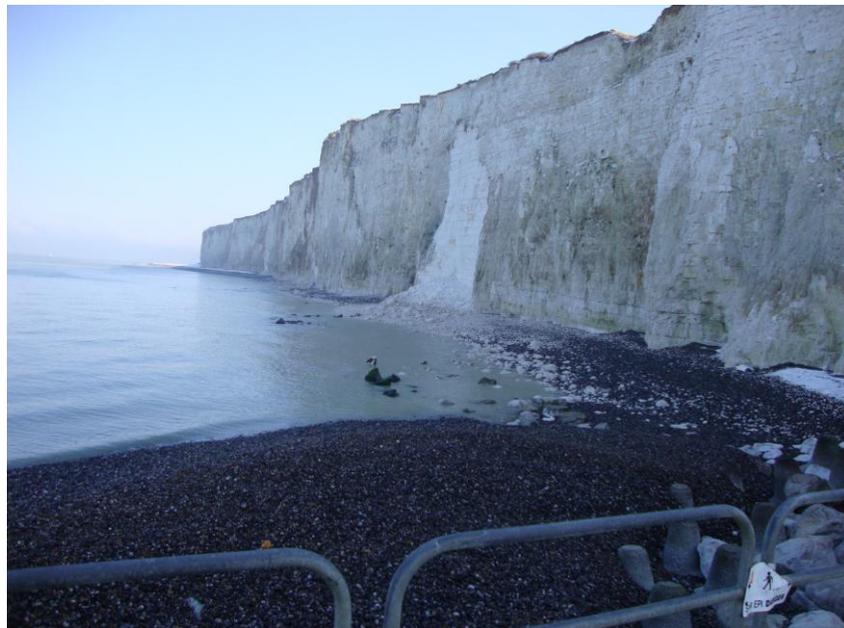
Réseau d'Observation du Littoral Normand et Picard

Année Universitaire 2011-2012

Master : **Géographie STAR**

Spécialité : **Aménagement et Gestion Intégrée
des Ressources Environnementales**

Méthodes et techniques d'observations pour le suivi de la dynamique côtière



Cordon de galets qui protège la racine de la falaise - Vers Dieppe – Février 2012

Mémoire réalisé par Mamadou M'BODJ

Sous l'encadrement scientifique de :

Yann MEAR - GÉOCEANO (CNAM- LUSAC/UCBN)

Stéphane COSTA - Université de Caen

Sophie Le Bot - Université de Rouen



Méthodes et techniques d'observations pour le suivi de la dynamique côtière

Mémoire réalisé par Mamadou M'BODJ

Sous l'encadrement scientifique de :

Yann MEAR - GEOCEANO (CNAM – LUSAC/UCBN

Stéphane COSTA - GEOPHEN de l'Université de Caen

Sophie Le Bot - M2C de l'Université de Rouen

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer toute ma gratitude à Monsieur Stéphane COSTA qui m'a permis d'obtenir ce stage et a encadré ces recherches en m'accordant sa confiance.

Mes remerciements s'adressent ensuite à Monsieur Yann MÉAR qui a encadré la réalisation de ce stage. Je lui exprime mes plus sincères remerciements pour la confiance qu'il m'a toujours accordée.

J'exprime par ailleurs ma profonde reconnaissance aux membres du Conseil Scientifique qui ont initié ce stage très enrichissant.

J'ai ensuite une pensée toute particulière pour Monsieur Emmanuel POIZOT, qui m'a largement conseillé et soutenu tout au long de ces six mois de stage.

Je voudrais par ailleurs remercier d'une manière générale toute l'équipe de GÉOCEANO qui m'a permis de réaliser ce stage dans d'excellentes conditions.

Je tiens également à remercier la Cellule d'animation du ROLNP, en particulier Madame Natacha SAULI pour sa gentillesse et son aide multiforme.

J'ai également une pensée pour mes amis stagiaires qui ont partagé la même aventure et témoigné de leurs bonnes et mauvaises expériences, en particulier Baba TOURÉ.

Un grand merci à toutes les personnes qui m'ont encouragé ou proposé leur aide, Khadija, Christine, et tous les autres.

Sommaire

Introduction générale	2
I. Contexte de l'étude	3
II. Le trait de côte.....	7
III. Les sédiments	16
IV. Suivi du littoral : méthodes et techniques	19
V. Compétences régionales.....	35
Conclusion.....	43
Bibliographie	45
Glossaire.....	47
Annexes	53

Sigles et abréviations

AAMP : Agence des Aires Marines Protégées

BioMEA : Biologie des Mollusques marins et des Ecosystèmes Associés

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CBNBL : Conservatoire Botanique National de Bailleul

CETE : Centre d'Études Techniques de l'Équipement

CETMEF : Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales

CBIBP : Contrat de Plan Interrégional du Bassin Parisien

CNAM : Conservatoire National des Arts et Métiers

CREC : Centre de Recherches en Environnement Côtier

GEMEL : Groupe d'Étude des Milieux Estuariens et Littoraux

GEOCEANO : Géoscience appliquée à l'océanographie

GEOPHEN : GÉOgraphie PHysique et ENvironnement

GIP Seine-Aval : Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval

GRESARC : Groupe de Recherches sur les Environnements Sédimentaires Aménagés et les Risques Côtiers

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

INTECHMER : Institut National des Sciences et Techniques de la Mer

LOMC : Laboratoire Ondes et Milieux Complexes

LUSAC : Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg

M2C : Morphodynamique Côtière et Continentale

ROLNP : Réseau d'Observation du Littoral Normand et Picard

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

UCBN : Université de Caen Basse-Normandie

Avant propos

Si les travaux sur la dynamique littorale sont nombreux, l'analyse, des méthodes et techniques qui permettent de suivre cette évolution (hors d'eau, sous l'eau), constitue une préoccupation beaucoup plus récente. Les partenaires du ROLNP comme le CETMEF, le BRGM, les Universités de Rouen et de Caen, constituent les pôles précurseurs en la matière.

Ce stage de Master s'inscrit donc dans la continuité d'une problématique dans laquelle le Réseau d'Observation du Littoral Normand Picard (ROLNP) est impliqué depuis plus de deux ans. Les compétences du ROLNP concernent essentiellement la dynamique côtière des régions normandes et picarde. Nous souhaitons, par ce travail, poursuivre ces recherches en les orientant notamment vers une analyse des méthodes et techniques de suivi du rivage normand-picard.

Ce stage s'est déroulé du 2 avril au 28 septembre au laboratoire GEOCEANO dans les locaux de l'Institut National des Sciences et Techniques de la Mer à Cherbourg. Il avait pour sujet « Méthodes et techniques d'observations pour le suivi de la dynamique côtière ».

Introduction générale

Le littoral, interface entre Terre, Mer et Atmosphère est un milieu extrêmement dynamique. Il est complexe à étudier car c'est le lieu d'interaction de l'hydrosphère, de l'atmosphère de la lithosphère et de la biosphère. Les zones littorales sont aussi le lieu de relation entre nature et société. Au delà de cette complexité naturelle, les zones littorales sont menacées par la remontée du niveau de la mer et de la pression anthropique. Parallèlement, le changement climatique s'annonce à l'échelle du globe. On n'en connaît pas les conséquences à des échelles plus petites et des grandes masses continentales. Mais les experts prédisent des implications fortes sur la dynamique des milieux littoraux en raison de l'augmentation du niveau moyen de la mer de son intensité et de la fréquence des tempêtes.

Les zones littorales sont déjà touchées par cet événement. Il en découle des modifications importantes du trait de côte et l'impact à moyen terme peut s'avérer catastrophique pour les populations.

La prise en compte de ces forçages nécessite de travailler à l'échelle du domaine côtier et du subtidal. La présente étude a pour objectif de définir un inventaire des méthodes et techniques d'observation de la dynamique du littoral.

En effet, le littoral normand picard est constitué de tous les types de côtes. C'est un littoral dont la dynamique est étudiée, mais parfois avec des méthodes et des techniques aussi variées que diverses, aux marges d'erreur et au pas de temps d'analyse différents rendant les comparaisons difficiles.

A ce titre, le ROLNP m'a confié l'étude portant sur les méthodes de suivi du littoral normand picard. Il s'agit donc de réfléchir sur une ou plusieurs stratégies de suivi de la dynamique du littoral et de proposer à terme un ou plusieurs protocoles de suivi de la dynamique du rivage normand picard fiables, homogènes et pérennes.

Le lieu de mon stage fut le laboratoire GÉOCEANO dans les locaux de CNAM-INTECHMER à Cherbourg.

Le projet du présent rapport est de présenter les résultats obtenus. Ainsi dans ce qui va suivre, j'exposerai en premier lieu le contexte général du stage. J'aborderai ensuite l'objet et la mobilité du trait de côte ainsi que des sédiments avant d'étudier les méthodes et techniques tout en évoquant les principes de base et les compétences régionales.

I. Contexte de l'étude

I.1 Structure administrative d'accueil : le ROLNP

La création du Réseau d'Observation du Littoral Normand Picard (ROLNP) est le fruit de l'association des Régions Haute-Normandie, Basse-Normandie et Picardie ainsi que du Conservatoire du Littoral. C'était ainsi qu'il a été mis en place en septembre 2010 et porté par le Syndicat mixte du littoral normand. Son objectif est de rassembler et diffuser la connaissance scientifique et technique, pour fournir aux élus et décideurs des outils d'aide à la gestion du littoral.

Pour mener à bien ses activités, le ROLNP s'est doté d'un organigramme de fonctionnement interne tel qu'illustré sur la Figure 1 :

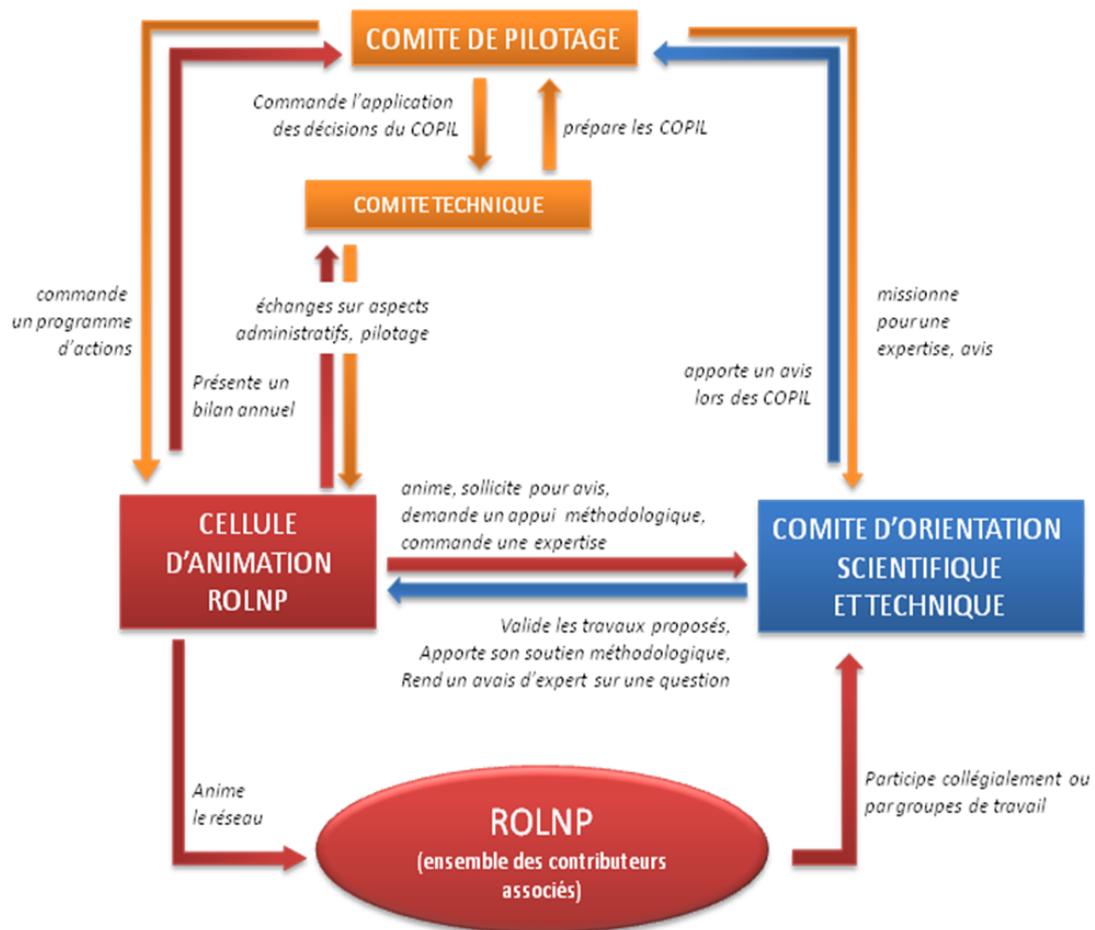


Figure 1: Organigramme ROLNP (www.rolnp.fr)

Le suivi du littoral fait partie intégrante du programme du ROLNP. Le réseau s'est ainsi attribué la mission principale de valoriser et de compléter les informations existantes sur le littoral, sur ces aspects environnementaux, sociaux et économiques, ceci dans le but de permettre à l'ensemble des acteurs d'évaluer l'état du littoral, mais aussi les politiques locales et nationales mises en place. Ce suivi a aussi pour but de diffuser une information cohérente à un large public.

Pour réaliser cette mission et atteindre son objectif, le réseau s'est doté d'un conseil scientifique rassemblant des experts de domaines très variés. Ainsi, des spécialistes en géographie, biologie, hydrologie, géologie et météorologie, appartenant à diverses institutions composent ce conseil et apportent leur vision sur les problématiques du littoral.

1.2 Structure d'accueil : le laboratoire GEOCEANO du LUSAC de l'UCBN

Créé en 1981, l'Institut National des sciences et Techniques de la Mer (INTECHMER) est un institut en sciences appliquées confié au Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM). C'est la première formation supérieure implantée dans la Communauté Urbaine de Cherbourg.

Ses missions sont l'enseignement, la recherche fondamentale et appliquée, et la diffusion de la culture scientifique et technique. Il forme des techniciens d'études de la Mer et comprend ainsi trois départements :

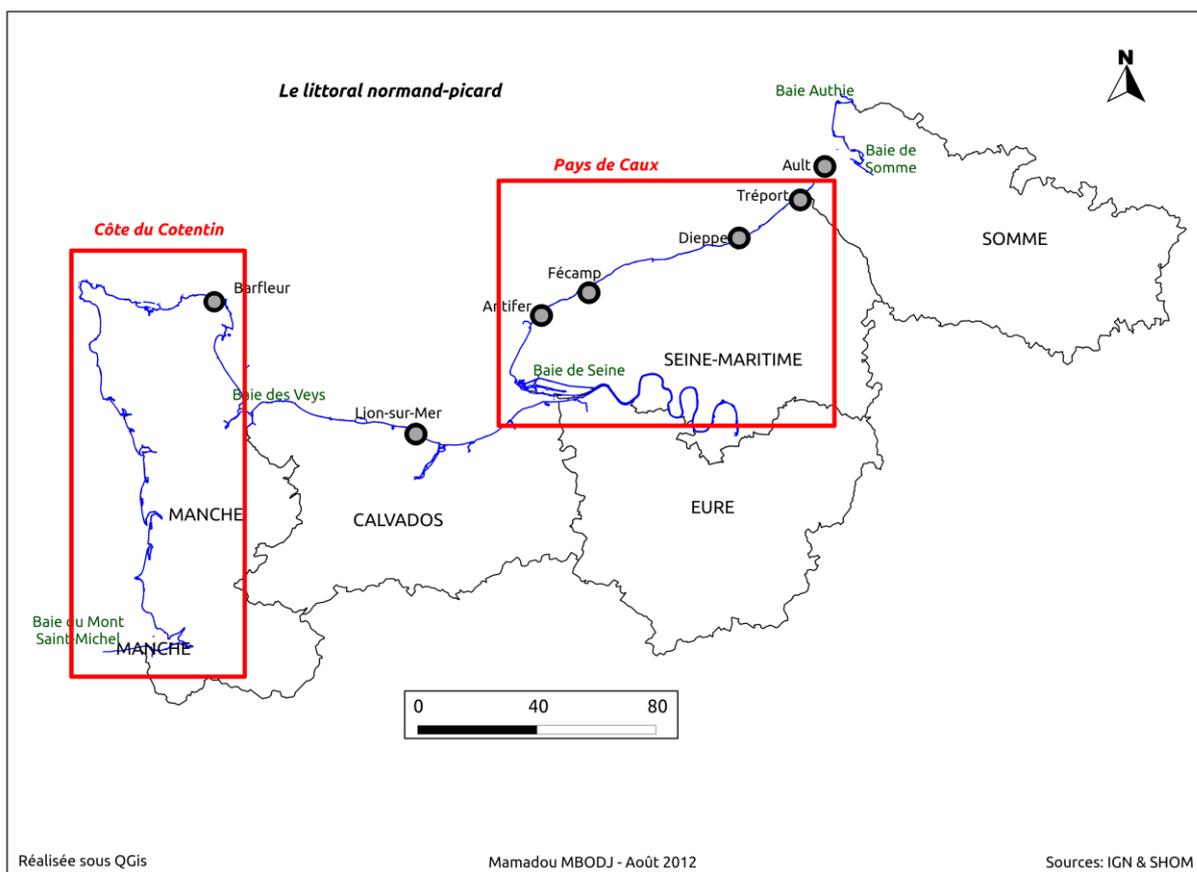
- Département formation ;
- Département documentation et communication ;
- Département recherche et transfert de technologies.

Mon stage s'est déroulé dans ce dernier département au sein du laboratoire GEOCANO dont l'un des axes principaux de recherche est la dynamique sédimentaire sous l'eau.

L'INTECHMER propose des formations scientifiques et techniques permettant d'acquérir des connaissances théoriques et pratiques ainsi que des compétences techniques dans les métiers de la mer. Des activités de recherche et de coopérations scientifiques y sont également développées.

1.3 Le cahier de charges

Le contexte de l'étude est le littoral normand picard. Il couvre les trois régions du ROLNP et s'étend sur plus de 700 km, de la baie du Mont Saint-Michel dans le Sud-Manche jusqu'au Nord-Ouest de la Somme à la baie d'Authie (Carte 1). C'est un littoral constitué de tous les types de côtes : des côtes rocheuses, des côtes à falaise à recul rapide, des plages sableuses et des dunes, des plages de galets, des estuaires et des havres.



Carte 1: Carte de localisation

Le stage effectué s’insérait dans le cadre de la recherche sur les méthodes et techniques d’observations et suivis du trait de côte. Mon rôle était d’une part de dresser le bilan de ces méthodes et techniques et d’autre part d’élaborer le bilan des compétences régionales en matière de suivi du trait de côte et des dynamiques sédimentaires. Pour ce faire, un schéma de recherche d’informations a été réalisé. Ce schéma (Figure 2) permet pour chaque objectif, de cibler les sources de collecte et d’identifier les méthodes et techniques de collecte de données appropriées.

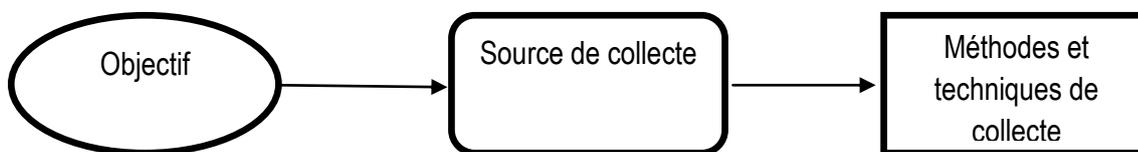


Figure 2: Schéma de recherche d'information

Pour l’ensemble des objectifs, les principales sources de collecte ont été les références du ROLNP ainsi que les études des différents partenaires.

Concernant les méthodes de collecte des données, la synthèse bibliographique a occupé une place importante dans notre démarche. Et cette démarche méthodologique se résume comme suit (Figure 3):

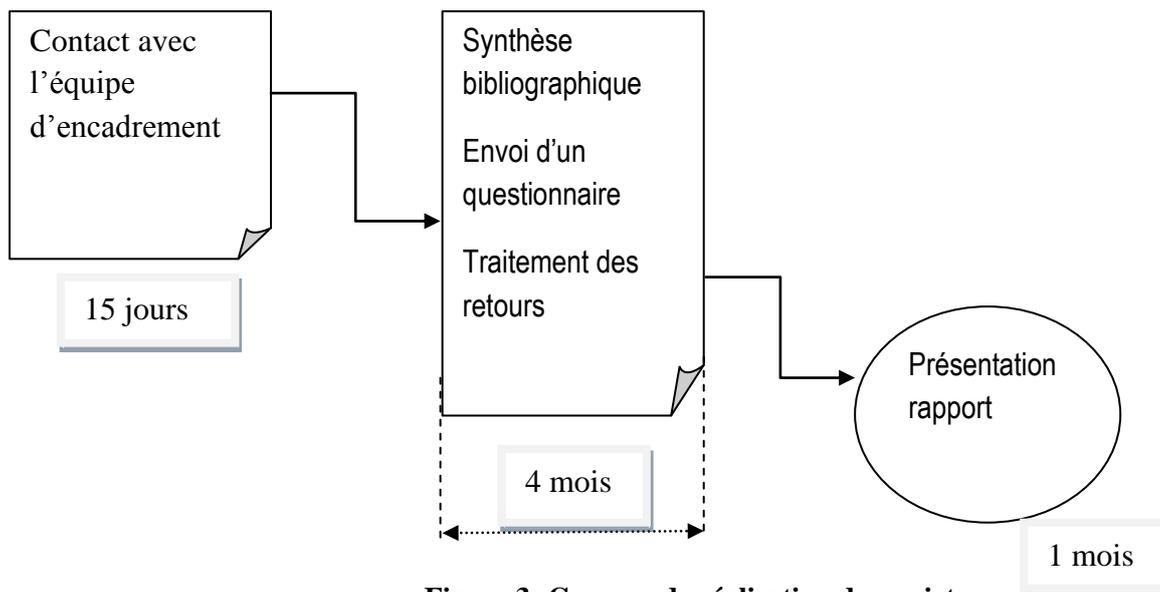


Figure 3: Canevas de réalisation du projet

L'objectif global de cette étude est d'identifier et de synthétiser la connaissance existante en matière de méthode d'observations et de suivis de la dynamique littorale sur la façade de la Basse-Normandie, de la Haute-Normandie et de la Picardie.

Cet objectif global se traduit à travers la réalisation d'une étude exhaustive des différentes méthodes et techniques d'analyse de la dynamique littorale ainsi qu'à l'élaboration d'un bilan de compétences des différents partenaires du ROLNP afin d'offrir un catalogue des savoir-faire et des compétences acquis.

Pour atteindre ces objectifs et répondre au cahier des charges (Annexe 1: Cahier de charges), mon plan de marche consistait à :

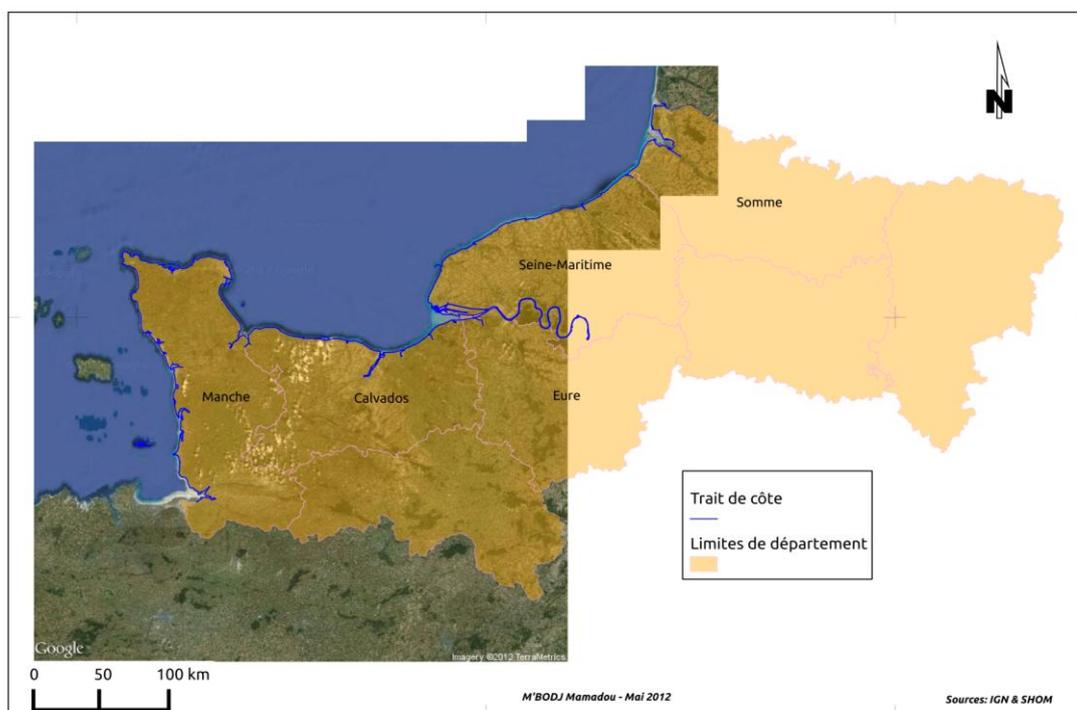
- ✓ Identifier les partenaires du ROLNP ;
- ✓ Élaborer un questionnaire ;
- ✓ Faire de la recherche bibliographique sur la question ;
- ✓ Analyser les réponses au questionnaire ;
- ✓ Rédiger enfin le mémoire.

Le présent mémoire est divisé en cinq parties. La première partie présente le contexte général du stage, en abordant le cadre général et présentant les intervenants ainsi que le cahier de charges. Les seconde et troisième parties présentent respectivement le trait de côte et les sédiments ainsi que leur mobilité. La quatrième partie aborde le suivi du littoral avec ses différentes méthodes et techniques. La dernière partie s'intéresse aux compétences régionales.

II. Le trait de côte

II.1 Définitions

Le trait de côte (Carte 2) est une ligne qui marque la limite jusqu'à laquelle peuvent parvenir les eaux marines. C'est donc le bord de l'eau calme lors des plus hautes mers possibles. La nécessité de mesurer son évolution s'impose pour contrôler les processus d'érosion.



Carte 2: Trait de côte des régions normandes et picarde

Loin d'être un trait fixe, le trait de côte est une réalité dynamique. En effet, pour un même lieu, le trait de côte peut être défini de plusieurs façons, en fonction des organismes et techniques qui ont servi à le définir. Cette variabilité est fortement liée à la définition du zéro hydrographique. Tout l'enjeu consiste à le délimiter aussi durablement.

Il existe trois variables pour la définition du trait de côte : l'organisme normatif, l'outil de définition et l'interaction entre ces deux derniers. L'ambiguïté de la définition du trait de côte peut avoir deux causes, la première est la difficulté d'établir une limite au niveau mondial, et la deuxième est due au fait que cette délimitation est variable en fonction des organismes de référence.

Ainsi, le trait de côte du cadastre territorial correspond aux limites du parcellaire. De ce fait, sur une côte haute, il s'arrête en haut de la falaise. Sur une côte basse, sa limite peut coïncider avec celle de la végétation terrestre, mais peut s'étendre au-delà, et parfois même sur l'estran.

Par contre, le trait de côte du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) repose de manière plus stricte sur un datum marégraphique : le niveau des plus hautes

mers astronomiques appelé PMVE (Plus hautes Mers de Vives Eaux). Sa délimitation est basée sur des méthodes d'altimétrie, de photogrammétrie et correspond à la hauteur relative du trait de côte par rapport au zéro hydrographique. Le zéro hydrographique (niveau de basse mer) est une altitude de référence à partir de laquelle sont calculées les bathymétries et l'altitude de l'estran.

Quant à celui de l'IGN, il est défini comme une référence mesurée par rapport à « leur » zéro. Ce dernier est déterminé à partir des mesures marégraphiques à Marseille. Ce niveau sert de base pour calculer les altitudes en France. Ce trait de côte est maintenant basé sur la même limite que celle du SHOM car les projets (litto 3D) en commun les obligent à travailler avec une référence commune.

II.2 Les types de trait de côte

Le littoral est un espace dont les formes, les caractéristiques géologiques et l'évolution sont variées. On distingue les côtes rocheuses et les côtes meubles.

Certaines côtes rocheuses sont bordées de falaises dont la taille peut être très variable. Mais toutes les côtes rocheuses ne sont pas des falaises puisque certaines s'inclinent doucement vers la mer. Et toutes les falaises ne sont pas des côtes rocheuses, certaines étant taillées dans des matériaux meubles comme les falaises dunaires.

Les méthodes d'observations ne s'appliquent pas uniformément à tous les types de côtes. Il est donc essentiel d'identifier les méthodes qui s'appliquent à chaque type de côte.

II.2.1 Les côtes rocheuses

Les côtes rocheuses dépendent de la structure géologique du continent et sont marquées par la remontée récente de la mer. Elles sont caractérisées par des découpes dans le littoral engendrées par l'action destructive de la mer aux dépens des reliefs côtiers.

Les paysages des côtes rocheuses sont extrêmement variés. Ils dépendent de la géologie, des conditions bioclimatiques et des agents hydrodynamiques. Ils peuvent être constitués de falaises, des récifs coralliens, des platiers, des rias ou encore des calanques.

Les côtes rocheuses sont généralement hautes et escarpées sans véritable plage. Les matériaux peuvent être durs ou meubles et d'origines diverses : granite, basalte, argile, calcaire. Souvent, à la base de la falaise se trouve un banc rocheux plat et érodé qui peut être nu (littoral érosif : les débris sont pulvérisés et entraînés au large) ou posséder une couche épaisse de matériaux grossiers (littoral d'accumulation). (Frayssi, 2000).

Par ailleurs certaines falaises dites mortes échappent aux actions marines c'est le cas des Vaches Noires dans le Calvados (Photo 1).



Photo 1: Côte rocheuse des Vaches Noires (Calvados) – Master AGIRE, 2011

Quoi qu’il en soit, l’érosion des falaises est continue. En effet, la préparation du massif rocheux s’effectue sur des pas de temps longs alors que l’effondrement ou le glissement se fait par à-coups.

II.2.2 Les côtes meubles

Les côtes meubles sont les plages, les dunes, les estuaires (Photo 2 – estuaire de la Seine), les deltas, les lagunes et les récifs coralliens.



Photo 2: Estuaire de la Seine - Mars 2012

Elles proviennent du transfert et de l’accumulation des sédiments (Photo 3 – Cordon dunaire). C’est à dire qu’elles résultent de la sédimentation marine ou de l’activité d’organismes vivants tels que les algues ou les invertébrés. Une position d’abri est favorable à leur genèse et ce type de rivage sert de régulateur en développant d’immenses plages.



Photo 3: Cordon dunaire protégé par des rochers à Courseulles-sur-Mer - 2011

Contrairement aux côtes rocheuses, qui ne peuvent que reculer, les côtes meubles subissent alternativement, parfois de façon très rapide, des phases d'accrétion (progression de la ligne de rivage par accumulation de sédiments) et d'érosion.

Ces côtes meubles sont des zones de dépôts dus à l'action des vagues et à leurs courants induits. En général, elles sont ouvertes aux vagues de vent et leur morphologie est très variable. Leur formation est récente, lorsque la montée du niveau de l'océan s'est ralentie.

II.3 Dynamique du trait de côte

Selon la définition précédente, le trait de côte représente l'interface entre le domaine terrestre et le domaine maritime. Il est donc soumis à des agents dynamiques spécifiques que sont certains facteurs océaniques (la houle, la marée, etc.) et facteurs climatiques (le vent, les intempéries, le changement climatique). Ces facteurs construisent et déconstruisent le trait de côte au fil du temps. Cela entraîne une importante variabilité spatiale et temporelle. Le trait de côte est donc une notion complexe, sans cesse en mouvement.

Le trait de côte peut prendre des formes variées qui sont dues aux résultats des différents forçages existants. C'est donc la mobilité sédimentaire et le type de sédiment charrié qui façonnent le trait de côte et par conséquent le littoral. L'énergie joue donc un rôle primordial dans l'aspect du trait de côte. Il sera strict sur un paysage de falaise et variable sur des zones intercotidales ouvertes à la houle.

Le trait de côte est aussi le résultat d'un ensemble d'interactions. Celles-ci peuvent être renforcées lors de conditions exceptionnelles. En fonction de sa localisation et de son exposition, le trait de côte peut subir, sous différentes formes, des événements exceptionnels comme des ouragans, des tempêtes ou encore des tsunamis. (Photo 4, érosion marine à Ault)



Photo 4: érosion de la mer à Ault – (Beauchamp, 2006)

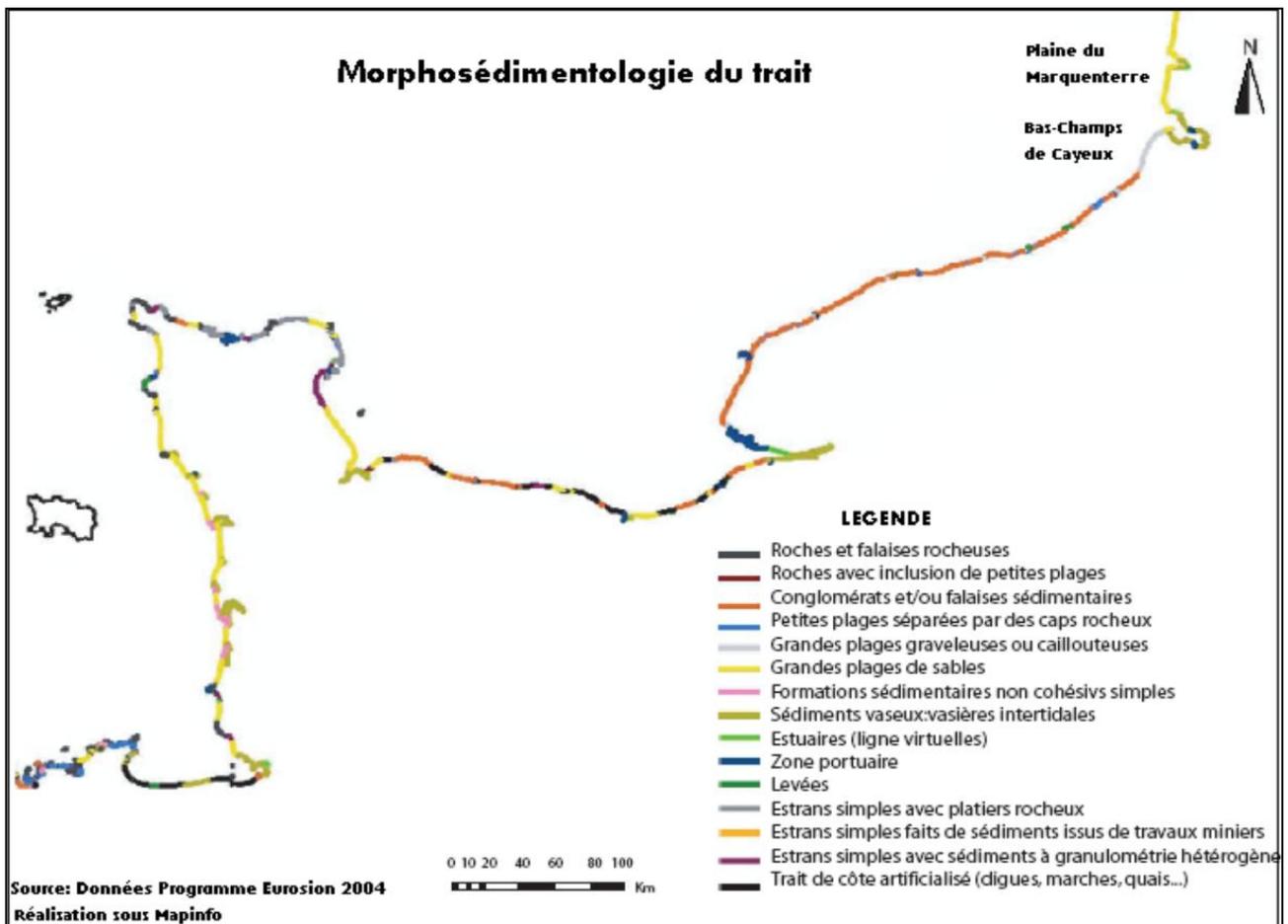
Ces évènements peuvent donc altérer le fonctionnement normal du littoral et modifier le trait de côte en lui-même. Il est donc nécessaire lors de la définition du trait de côte d'avoir à l'esprit l'importance des évènements climatiques cycliques saisonniers ainsi que les évènements exceptionnels.

II.4 Typologie et mobilité des littoraux normand- picards

Le littoral normand-picard qui s'étend de la baie du Mont Saint-Michel dans le Sud Manche jusqu'à la baie d'Authie constitue la terminaison nord-occidentale du Bassin Parisien. Il est constitué de tous les types de côtes :

- ✓ les côtes rocheuses ;
- ✓ les côtes à falaise à recul rapide;
- ✓ les plages sableuses et les dunes ;
- ✓ les plages de galets ;
- ✓ les estuaires et les havres.

Il se caractérise par l'existence d'une côte à falaise d'altitude moyenne de 70 m, taillée pour l'essentiel dans les craies du Crétacé supérieur, plus ou moins riches en lits de silex. Le rivage normand picard est ainsi très découpé le long des côtes rocheuses et rectiligne le long des côtes basses. La Carte 3 est une illustration de la typologie du rivage normand picard.



Carte 3: Typologie du littoral normand picard (Ly, 2011)

Le Nord de la Picardie présente une morphologie faite de faciès très variés sur une longueur de 70 km. Cette partie du littoral est caractérisée par des dépôts continentaux et marins. C'est une côte d'accumulation. On peut distinguer :

- Un cordon dunaire assez large entrecoupé par les estuaires de l'Authie et de la Somme (Photo 5);



Photo 5: Estuaire de la Somme – février 2012

- Les cordons de galets de la rive sud de la Somme à Ault (Photo 6);



Photo 6: Bout du système de galet dans la Somme - Février 2012

- Les falaises crayeuses bordées de plages de galets d’Ault au Tréport amorçent le Pays de Caux en Seine-Maritime (Photo 7).



Photo 7: Falaise vive protégée par un cordon de galets vers Cayeux - 2012

La partie du littoral allant d’Antifer à Ault, située en grande partie dans la Seine-Maritime, est caractérisée par un vaste plateau sédimentaire entaillé de vallées et de vallons. C’est une côte d’ablation avec essentiellement des falaises crayeuses parfois accompagnées de platiers rocheux. Ces falaises s’étendent sur 130 km avec une hauteur moyenne de 70 m.

Les parois à pic des falaises de craie blanche du pays de Caux peuvent prendre des formes impressionnantes d’arches et d’aiguilles, comme à Étretat qui doit son aspect aux effets de l’érosion de la mer sur cette roche tendre et friable (Photo 8).



Photo 8: Les falaises d'Étretat dans le pays de Caux (www.rolnp.fr)

La Basse-Normandie compte 417 km de littoral dont 330 appartiennent à la Manche. C'est une côte globalement exposée aux houles et tempêtes d'ouest et de nord-ouest. Elle est caractérisée par des formations géologiques tendres quelques faciès rocheux dans le nord Cotentin vers Granville et les calcaires en petites falaises vers Luc-sur-Mer et Lion-sur-Mer. (Photo 9)



Photo 9: Côte rocheuse de Villerville - 2011

Des havres sont localisés sur la côte du Cotentin entre l'estuaire de la Vire et la baie du Mont-Saint-Michel.

Les plages sont des zones d'accumulation de sédiments. Ils vont des sables fins aux blocs, les grèves étant des zones d'accumulation de galets. Les plages normand-picardes sont parfois accompagnées de dunes. Les dunes nécessitent un vent suffisant, une plage large et régulière, un stock sableux, une pente douce et une végétation qui joue un rôle de brise-vent et de piège à sédiments (Photo 10).



Photo 10: Cordon de galets près la Hague - 2011

Les estuaires et les embouchures fluviales ont une dynamique hydrologique et sédimentaire très particulière en raison du contact eau douce - eau salée et de la rencontre de l'écoulement du fleuve et des courants des marées. Ce sont des lieux d'échange d'énergie et de matière entre les milieux marins et terrestres. Cette situation est très favorable à la vie animale et végétale (Photo 11).



Photo 11: Mare de Vauville - 2011

Lorsque des zones d'accumulation d'alluvions se forment dans une embouchure, conduisant à la séparation du fleuve en plusieurs bras, cette partie est nommée « delta ». Cette configuration du littoral est très sensible aux bouleversements hydrodynamiques et aux transports sédimentaires.

Quant aux lagunes, ce sont des bassins d'eau saumâtre isolés de la mer par des îles barrières dites « lido », qui communiquent avec la mer par des passes (graus) ou des passages sous-marins.

Les récifs coralliens sont des constructions marines résultant de la symbiose entre un animal microscopique, le polype, et une algue unicellulaire qui vit dans ses tissus, la zooxanthelle. Les récifs coralliens présentent des formes variées selon la chronologie de leur formation. Il existe trois principaux types de récifs : le récif frangeant, le récif barrière et l'atoll.

III. Les sédiments

III.1 Définitions

Constituant la plus grande partie des fonds marins, le sédiment est un dépôt naturel de substances minérales (débris de roches) résultant de l'érosion du sol (vent, eaux, glaciers). Le sédiment est donc une particule de taille et d'origine variable du galet aux vases.

Le galet est un caillou arrondi et lisse, poli sous l'action de l'eau que l'on trouve sur les rivages ou sur les fonds aquatiques. (Photo 12)



Photo 12: Cordon de galets au Pays de Caux - 2012

Le sable est une roche sédimentaire meuble constitué principalement de quartz. Il provient de la désagrégation de roches sous l'action de divers agents d'érosion tels que le vent, la houle, les eaux courantes ou le gel. Les sables peuvent être très fins, fins, moyens, grossiers ou très grossiers. (Photo 13)



Photo 13: Sable dunaire de Vauville - 2011

Les vases sont des sédiments homogènes très fins. Elles proviennent des mouvements des eaux profondes chargées de particules du fond océanique et qui se déposent lorsque les courants faiblissent. Les sédiments vaseux sont d'autant plus fins qu'ils se forment loin des côtes continentales. (Photo 14)



Photo 14: Vasière de la mare de Vauville - 2011

III.2 Typologie des sédiments

Le sol marin est très diversifié. Il est composé de graviers, de galets, de sables et des vases. Le sable provient de l'érosion des roches cristallines, les galets de l'érosion des falaises ou de l'embouchure des fleuves. Les vases sont cohérentes et difficiles à éroder. Le tableau 1 donne une classification simplifiée des particules sédimentaires.

	éléments fins	sable	gravillons	galets
Composition	Vases et limons	grains de silices ou de calcaires	Morceaux de roche plus ou moins roulés	
Diamètre	> 60 µm	2 à 0,1 mm	2 à 26 mm	2 à 50 cm

Tableau 1: Classification des particules sédimentaires

Les blocs, apportés par les rivières ou arrachés de la côte, usés et arrondis donnent des galets. Les éléments plus petits donnent des graviers, des grains de sable, des silts et des argiles. L'ensemble silt + argile + matière organique forme la vase.

Pour des pentes douces (< 5%), on trouve du sable fin. Le gros sable et les galets se déposent dans les parties les moins abrités à turbulence maximale. Les vases sont présents sur le rivage.

III.3 Dynamique sédimentaire

Le sédiment est variable en nature et dynamiquement actif. Les avancées ou le recul du trait de côte sont dus à un mouvement perpétuel de matériaux (vases, sables ou galets). Ces mouvements ont pour cause l'agitation de la mer ou l'action du vent.

Les silts et les argiles sont transportés en suspension au sein de la masse d'eau.

Les sables et les galets constituent des matériaux non cohésifs. Leur transport s'effectue par glissement, roulement et saltation. (Figure 4)

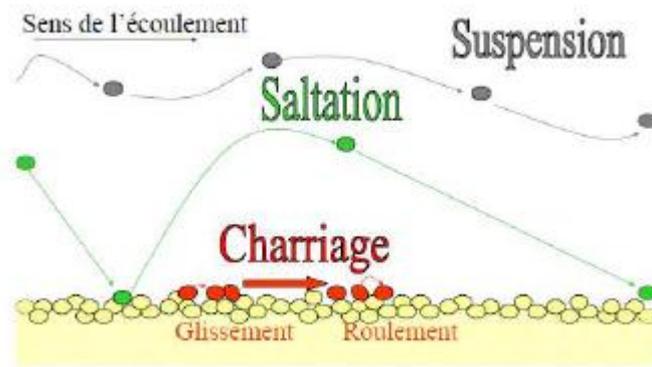


Figure 4: Modes de transport des sédiments dans un courant (Marin, 2011)

La sédimentation de la charge transportée par un courant se produit essentiellement quand la vitesse diminue. Une fois déposées, les argiles peuvent former des matériaux cohésifs qui résistent mieux à l'action érosive des agents hydrodynamiques (vagues, houles, courants...).

Actuellement, la remontée généralisée du niveau marin s'accompagne d'une remobilisation de sédiments d'origine marine, particulièrement bien visible le long du littoral normand-picard. Les débris coquilliers se rajoutent donc aux sédiments terrigènes.

Les sédiments déposés peuvent être repris si la vitesse du courant augmente. En fonction de l'hydrodynamisme un tri granulométrique se met en place. Les particules très fines sont déposées dans des lieux très calmes (estuaires, fond de golfe, lagune, marais maritimes). Les éléments grossiers peuvent se déposer dans des eaux plus agitées.

III.4 Typologie et mobilité des sédiments du littoral normand-picard

Le Nord de la Picardie est caractérisé par un cordon dunaire entrecoupé par les estuaires d'Authie et de la Somme. Ce sont donc de grandes plages de sable et des vasières intertidales. Entre la rive sud de la Somme au Tréport, les plages sont graveleuses ou caillouteuses. On est dans des cordons de galets (Photo 15).



Photo 15: Érosion de la mer à Ault (Beauchamp, 2006)

En ce qui concerne la Haute-Normandie, le pays de Caux se caractérise par un vaste plateau sédimentaire entaillé de vallées et de vallons. C'est une côte d'ablation qui correspond à des falaises crayeuses associées à leur cordon de galets et leur plate-forme d'érosion marine.

Pour la Basse-Normandie, le littoral calvadosien est caractérisé par ces falaises taillées dans les calcaires et les marnes jurassiques. Le littoral du Bessin comporte une succession de hautes falaises vives et de cordons de sable. Dans cette région, la côte est exposée aux houles et tempêtes d'ouest et de nord-ouest. Elle est par ailleurs caractérisée en général par des formations géologiques tendres en dépit des quelques faciès rocheux du nord Cotentin et les calcaires en petites falaises vers Luc-sur-Mer (Ly, 2011). Quand à la côte du Cotentin qui s'étend de l'estuaire de la Vire à la baie du Mont Saint-Michel, elle est caractérisée par ses havres.

Après ces généralités sur l'évolution du trait de côte et des dynamiques sédimentaires, l'inventaire des différentes méthodes et techniques permettant de suivre la dynamique côtière sera présenté.

IV. Suivi du littoral : méthodes et techniques

La méthode ou technique à adopter dépend des objectifs que l'on cherche à atteindre et des résultats attendus des mesures. « La disponibilité des équipements et du personnel, le coût des opérations ou des investissements apparaissent trop souvent comme des facteurs déterminants dans les pratiques d'aujourd'hui et ces choix conduisent parfois à des impasses ou à un faible rendement par rapport aux efforts consentis » (CETMEF, 2001). Il est donc nécessaire d'identifier les besoins avant d'opter pour une méthode ou une technique de mesure.

Plusieurs méthodes et techniques existent pour le suivi du littoral. Elles sont aériennes, subaériennes, terrestres ou sous marines, passives ou actives, directes ou indirectes. Les méthodes de suivi peuvent donc différer selon le type de linéaire côtier (embouchure de fleuve, plage sableuse, falaises, flèches de galets, etc.). En accord avec mes tuteurs, les méthodes et techniques décrites dans ce qui va suivre, sont classées suivant six grandes familles : la photo-interprétation, la topographie/bathymétrie, la géophysique, l'hydrodynamique, le transport sédimentaire et la géomatique.

Pour faire l'inventaire de ces méthodes, ce travail s'attache sur deux axes de recherches : les méthodes d'analyse de la dynamique du trait de côte et les méthodes d'analyse des dynamiques sédimentaires aussi bien dans la partie infratidale, intertidale et subtidale.

IV.1 Méthodes d'analyse de la dynamique du trait de côte

IV.1.1 La photo-interprétation

a. Principe et domaines d'applications

La photo-interprétation est « une technique permettant, à partir d'un couple stéréoscopique de photographie, d'étudier et de définir avec précision les formes, les dimensions et la position dans l'espace d'un phénomène quelconque » (Ordre des arpenteurs-géomètres du Québec : www.oagq.qc.ca). C'est une technique qui a pour but de localiser et de restituer de façon précise les caractéristiques géométriques d'un objet à partir d'une ou plusieurs images. Les photographies peuvent être aériennes ou satellitaires et sont issues à partir de satellite, d'un avion ou de tout autre appareil volant. (Figure 5)

La photo-interprétation peut avoir des applications dans divers domaines comme par exemple le renseignement militaire, les télécommunications, la surveillance maritime, la gestion agricole, la gestion des risques et l'aménagement du territoire. (Cf. Annexe 2: Fiche technique imagerie aérienne ou satellitaire).



Figure 5: Avion d'acquisition et vue d'un SPOT-5 (www.spotimage.fr)

b. Modalités de mise en place

Pour le principe d'acquisition d'une imagerie aérienne, un avion équipé d'une caméra survole à altitude constante la zone d'intérêt. Il suit des axes de vols rectilignes prédéfinis par un plan de vol. Pour l'imagerie satellitaire, les constructeurs utilisent certaines lois physiques pour

choisir parmi les différents types d'orbites possibles celle qui sera la plus adaptée aux capacités d'acquisition attendues. (Figure 6)



Figure 6: Plan de vol et d'acquisition (Michel-Villaz, 2008)

Les éléments embarqués pour l'imagerie aérienne sont la centrale inertielle qui enregistre les altitudes de l'avion et le GPS pour enregistrer les coordonnées de chaque cliché. Pour l'imagerie satellitaire, les instruments embarqués à bord des satellites sont généralement les centrales inertielles, les antennes GPS, les disques durs de stockage, les antennes pour communiquer avec les stations au sol et les capteurs d'acquisition d'images.

Les traitements d'image sont globalement identiques pour l'aérienne ou le satellitaire. En général, les images aériennes sont destinées à être utilisées telles quelles alors que celles issues des satellites sont conçus pour être retravaillées. Il existe néanmoins des produits finis en satellitaire comme l'orthophotoplan de l'IGN ou les MNT.

c. Intérêts, limites et coûts

L'intérêt majeur de la photo-interprétation est le fait qu'elle soit répétitive. En effet, il y'a une mission tous les 5-7 ans depuis 1947 et même 1920 pour certains secteurs du rivage normand picard. Les deux dernières missions, 2000 et 2008 sont des orthophotoplans qui permettent des comparaisons précises.

Les distorsions et les erreurs de parallaxe sont des limites de la photo-interprétation. En effet, un terrain accidenté peut causer d'importantes distorsions sur une photographie aérienne. La marque de l'objet sur la photo est d'autant plus importante que son altitude est élevée (Figure 8). Ceci est dû au fait que l'objet est plus proche de l'objectif. Les parallaxes font que ni l'échelle, ni les surfaces ne sont constantes sur l'ensemble du cliché. La taille de l'objet sur le cliché est d'autant plus importante que celui-ci est proche des extrémités de la photo (Figure 7).

La résolution fine de la photo-interprétation est un avantage mais l'exploitation reste difficile. Par exemple sur la figure 8, il y'a de la difficulté pour repérer les petits éboulements.



Figure 7: Falaise crayeuse au Pays de Caux (Letortu, 2011)

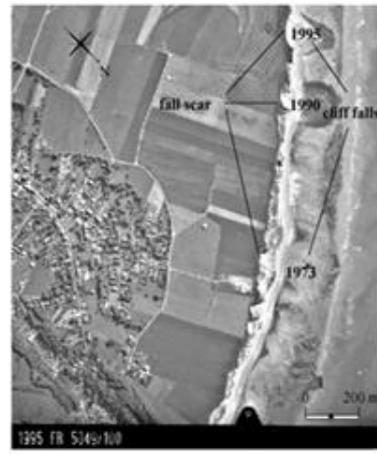


Figure 8: Plage de Berneval-sur-Mer (Letortu, 2011)

Les échelles ne sont pas pertinentes avec les vitesses que l'on cherche à estimer notamment pour les falaises. Les déformations nécessitent des logiciels de redressement de photos. Les conditions météorologiques peuvent compliquer une mission en allongeant les délais.

Le coût de la photo-interprétation dépend du coût de l'acquisition et du coût du traitement. Il faut compter autour de 2.000 € de l'heure pour le coût de l'acquisition et 60 € de l'heure pour le traitement. Ainsi le coût d'une image satellitaire ou aérienne varie entre 12 et 75 € le km².

IV.1.2 Le suivi topographique

La topographie consiste à représenter graphiquement un lieu sur le papier. L'opération correspondante est le levé topographique.

Le levé peut être destiné à l'élaboration de plans topographiques comme il peut servir à l'établissement d'une carte couvrant une vaste étendue. Le suivi topographique peut être terrestre (DGPS), aérienne (Lidar) ou marin (sondeur multifaisceaux ou sonar).

a. Le DGPS

✓ Principe et domaines d'application :

Une station de référence est installée le long d'une voie dans une position fixe dont on connaît avec précision les coordonnées. Le récepteur GPS de la station mesure les signaux de tous les satellites en vue (Figure 9).

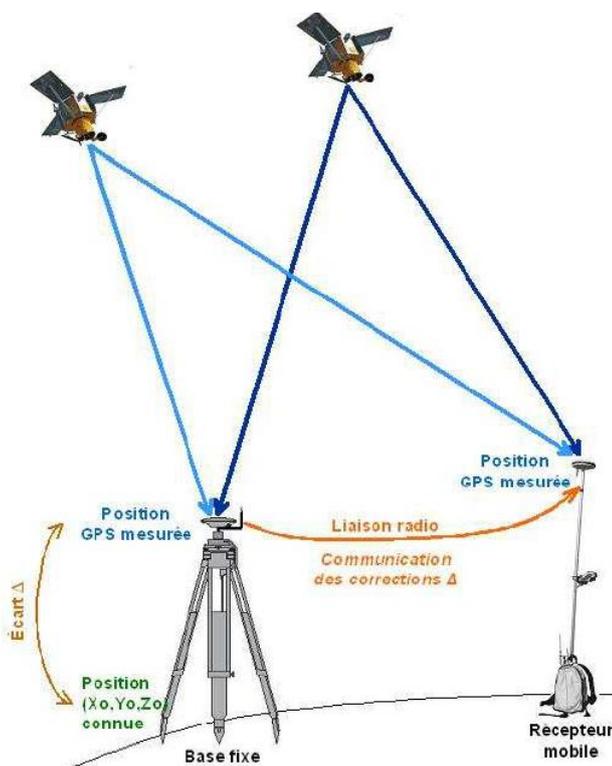


Figure 9: Principe de fonctionnement du DGPS (Jaud, 2011)

Comme la station se trouve à un endroit de coordonnées connues, elle est capable de résoudre l'équation du temps de parcours théorique de chaque signal des satellites. La station de référence peut alors déterminer n'importe quelle erreur temporelle. La station différentielle transmet les corrections à effectuer à tous les satellites en vue.

Les domaines d'utilisation du DGPS sont multiples. Les levés servent notamment à cartographier les ressources naturelles, faciliter la navigation terrestre ou maritime, produire des cartes topographiques et déterminer l'emplacement des frontières.

✓ Intérêts, limites et coûts

Le DGPS est une méthode d'amélioration considérable de la précision des positions obtenues à partir des récepteurs GPS. La précision est centimétrique mais c'est une méthode fastidieuse pour les grandes étendues. Cela peut prendre beaucoup de temps.

Le coût d'acquisition d'un DGPS varie entre 45.000 et 55.000 €. Pour la mise en œuvre, une brigade de 2 personnes devrait suffire et le coût de cette mise en œuvre oscille entre 600 et 900 € par jour. (Cf. Annexe 3 : Fiche technique DGPS)

b. Le Lidar aéroporté

✓ Principe et domaines d'applications

Le Lidar est une technologie basée sur la mesure de distances par l'intermédiaire d'un scanner laser embarqué à bord d'un avion ou hélicoptère (Figure 10). Fixé à bord de celui-ci, le

système calcule le temps d'aller retour d'une impulsion laser entre l'instant de son émission au niveau de la tête laser et sa réflexion sur la surface terrestre. La figure 11 est un exemple d'une restitution de la cartographie sous-marine sur la base d'un lidar aéroporté.

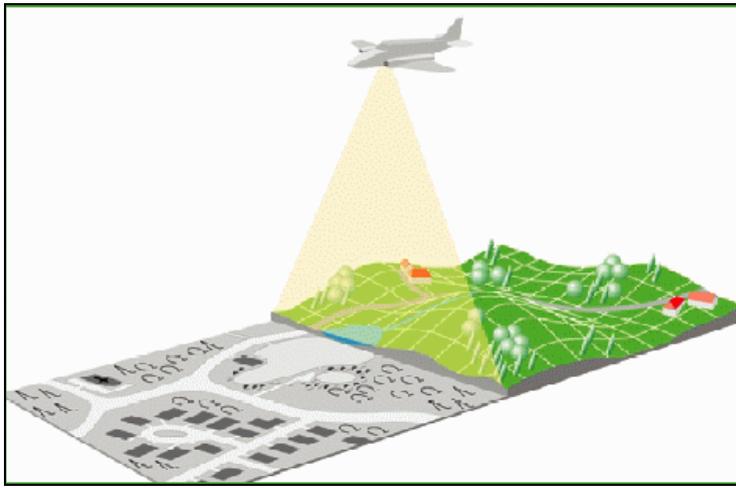


Figure 10: Principe de fonctionnement du Lidar aéroporté (Costa, 2002)

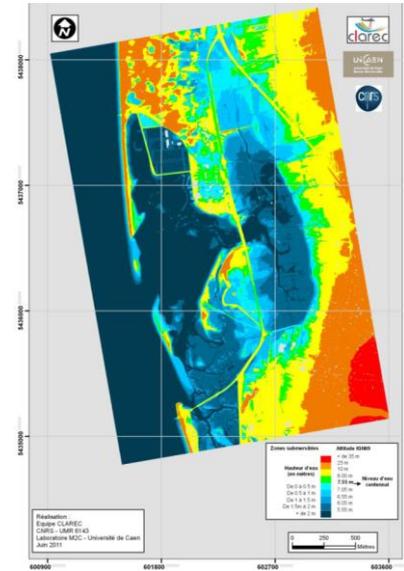


Figure 11: Exemple de cartographie des zones (Blainville) situées sous le niveau marin sur la base d'un levé lidar (avril 2010). Projet Liteau III (Surcote); Équipe CLAREC, Univ. de Caen.

Les principaux domaines d'applications du lidar sont la météorologie, le climat, l'agriculture, les relevés topographiques des zones urbanisées ou inondées, la géologie, les régions côtières et la bathymétrie.

✓ Intérêts, limites et coûts :

Le lidar a l'avantage de couvrir de grandes surfaces et d'être très précis, la précision est décimétrique. Il y'a aussi la répétitivité des survols, les mesures se font dès lors que l'avion est disponible. Mais le laser ne traverse pas la végétation. De plus l'exploitation est difficile et le traitement nécessite du matériel. La mise en œuvre nécessite une équipe formée, très spécialisée, de 5 à 7 personnes et le coût de cette mise en œuvre varie entre 800 et 1.500 €/km². Quant au coût d'acquisition, il est de 1,2 millions d'euros. (Cf. Annexe 4: Fiche technique Lidar aéroporté)

c. Le scanner terrestre

✓ Principe et domaines d'application

Le scanner terrestre (Figure 12) est un instrument permettant d'effectuer des mesures topographiques avec une haute résolution et une grande précision. Il émet un laser qui se réfléchit sur un point de l'environnement et retourne au scanner. Du temps d'aller-retour du signal, on déduit

avec précision la distance entre le point et le scanner. Il balaie tout l'espace en mesurant la position d'environ 10.000 points par seconde, avec une portée autour de 250 m (Figure 13)



Figure 12: Scanner Laser Terrestre (Letortu, 2011)

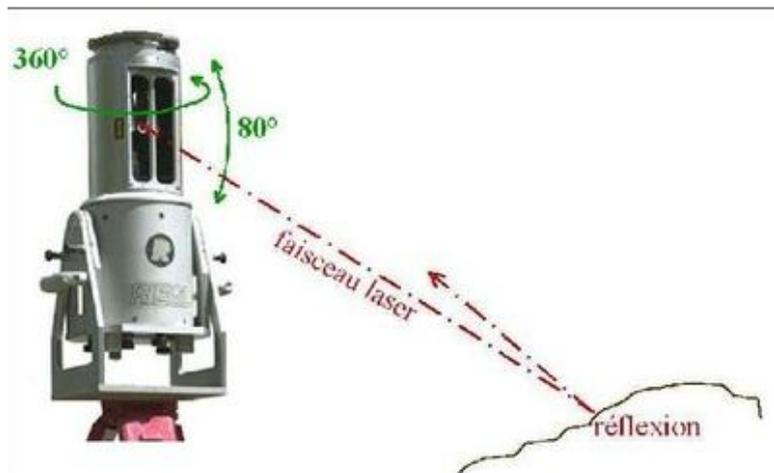


Figure 13: Principe de fonctionnement du scanner

✓ Intérêts, limites et coûts

Le scanner terrestre effectue des mesures d'une très grande précision : la marge d'erreur est centimétrique. La densité de points est remarquable, il peut mesurer la position de plusieurs milliers de points en une seconde mais la couverture de l'espace est restreinte. Elle est de quelques centaines de mètres. Les principaux avantages d'un scanner sont :

- L'exhaustivité des relevés ;
- La suppression des erreurs de relevés et des oublis ;
- L'obtention de fichiers 3D représentant fidèlement la réalité ;
- La précision des fichiers ;
- La vitesse de réalisation des mesures ;
- L'économie de temps et d'erreur sur les études d'ingénierie.

Par ailleurs, l'exploitation n'est pas aisée, elle nécessite une vraie technicité. Les limitations d'utilisation du scanner terrestre sont les fortes vibrations, les mouvements, la fumée, le brouillard, le givre et la neige, les températures supérieures à 60° Celsius, les poussières fines, les peintures dont la longueur d'onde dans le visible est très proche de celle du laser.

Le coût de la mise en œuvre tourne autour de 800 à 1.200 € par jour avec une équipe spécialisée de 2 à 4 opérateurs. Quant au coût d'acquisition, il varie de 70.000 à 120.000 €. Il y'a aussi le poids et l'encombrement du matériel ainsi que la taille des fichiers qui sont des inconvénients du scanner terrestre. (Cf. Annexe 5: Fiche technique Scanner terrestre)

IV.2 Méthodes d'analyse des dynamiques sédimentaires

Pour l'étude des dynamiques sédimentaires, il faut distinguer la partie aérienne et subaérienne de la partie sous marine.

IV.2.1 Partie aérienne et subaérienne

Pour la partie subaérienne les méthodes les plus utilisées sont le DGPS centimétrique et les mesures par voie aéroportée notamment le lidar bathymétrique.

Le DGPS, comme pour l'analyse du trait de côte, présente les mêmes difficultés. Il présente une grande précision mais la mise en œuvre prend beaucoup de temps, fastidieux pour les grandes surfaces.

Le lidar bathymétrique (Figure 14) fonctionne par le même principe que pour le trait de côte mais sa précision dépend de la résolution des capteurs et de la rugosité ou turbidité des surfaces en eau. En outre sa mise en œuvre est beaucoup plus coûteuse.

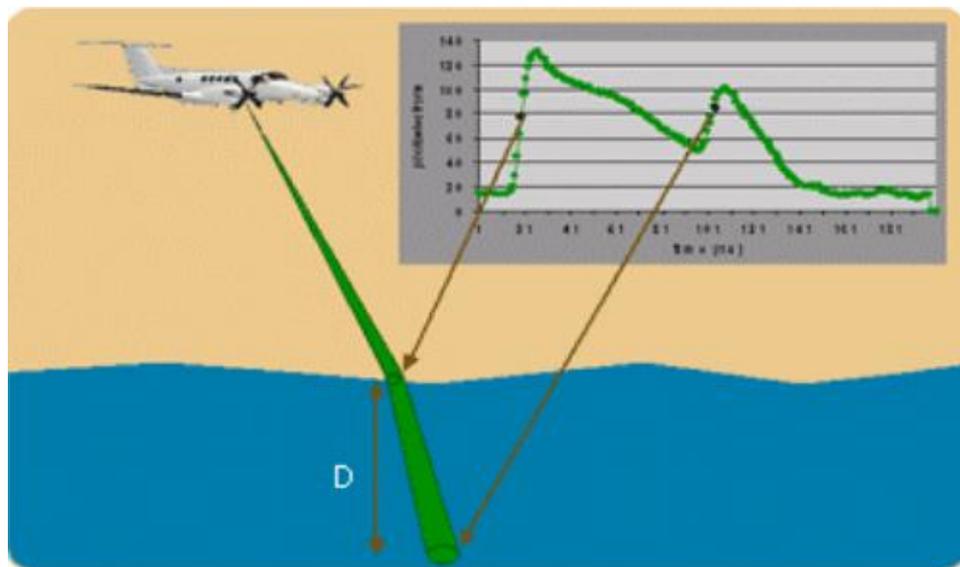


Figure 14: Principe du lidar bathymétrique (Flamant, 2010)

Le lidar bathymétrique reste limité aux surfaces immergées d'une profondeur comprise entre 2 et 30 m et pour des eaux peu turbides et calmes (CETMEF, 2001).

IV.2.2 La partie sous-marine

a. Le sondeur multifaisceaux (SMF)

Ce sont des systèmes acoustiques qui permettent d'obtenir de manière précise et rapide des reliefs topographiques du relief sous-marin et des images sonar présentant la réflectivité locale du fond et de sa nature.

✓ Principe et domaines d'applications

Le principe de fonctionnement du SMF est qu'il est installé sous la coque du navire et il mesure simultanément la profondeur selon plusieurs directions par les faisceaux de réception du système. Une impulsion sonore est émise au travers d'un lobe d'émission étroit dans la direction longitudinale et le long transversalement (Figure 15). Ce signal sonore émis par le navire permet, après réverbération sur le fond et enregistrement de l'écho en retour, de déterminer la profondeur moyenne à la verticale de la coque, en fonction du temps de trajet de l'onde sonore. (Cf. Annexe 6: Fiche technique Sondeur multifaisceaux)

Cette profondeur est calculée en fonction de la vitesse du son par la relation :

$$P = \frac{c \times dt}{2}$$

Avec :

P : profondeur (m)

c : célérité du son (m/s)

dt : durée trajet navire-fond-navire (s)

Quant à la largeur de fauchée, elle est exprimée par la relation :

$$F = 2 \times P \times \tan \theta_M$$

Avec :

P : profondeur

$2\theta_M$: ouverture angulaire

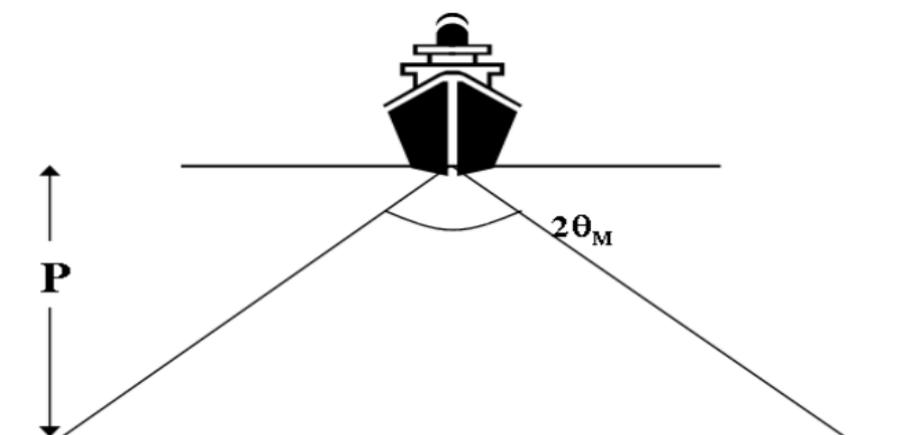
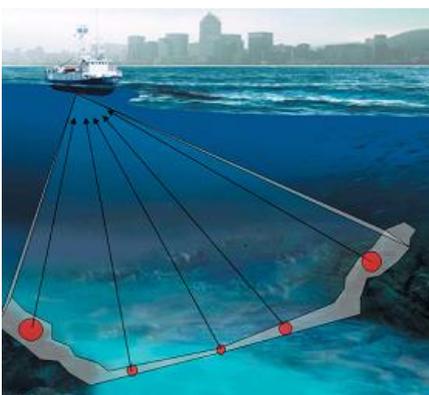


Figure 15: Principe de fonctionnement du sondeur multifaisceaux (www.espace-sciences.org)

Dans le domaine côtier, le sondeur multifaisceaux est une technique exclusivement destinée aux domaines immergés, le subtidal. C'est la méthode de base à toutes recherches

océanographiques. Les autres applications des sondeurs sont essentiellement le génie civil, les travaux publics et la documentation archéologique.

✓ Intérêts, limites et coûts

Le sondeur multifaisceaux permet de multiplier les mesures et de reconstituer les reliefs sous-marins de façon beaucoup plus précise. La résolution est submétrique au-dessus de 50 m de profondeur. Il couvre une large zone en une courte période. Par exemple, 30.000 km² d'une région à 5.000 mètres de profondeur peut être cartographiée en 25 jours (www.ifremer.fr). L'autre intérêt est le fait que le SMF met en évidence la morphologie du fond ce qui n'est pas le cas pour les autres méthodes. Les avantages d'un sondeur multifaisceaux sont nombreux (Rebent, 2003) :

- Exploration acoustique d'un large couloir transversalement à la route du navire ;
- Couverture bathymétrique rapidement obtenue et de résolution fine (jusqu'à plusieurs sondes/m²) ;
- Meilleure interpolation entre les points de sonde, tout en réalisant moins de profils ;
- Image en niveau de gris de la réflectivité du fond.

Mais le traitement est complexe et nécessite un personnel spécialisé, formé avec un coût de mis en œuvre compris entre 1.500 et 7.500 € par jour d'opération. Il est réalisé avec des logiciels comme Hysweep et se décompose en plusieurs étapes :

- ✓ Correction des sondes ;
- ✓ Contrôle qualité de la marée et de l'altitude du bateau (roulis, tangage, cap et pilonnement)
- ✓ Examen des fichiers sondes un par un et utilisation des filtres pour éliminer les sondes erratiques
- ✓ Sauvegarde des données traitées dans un format XYZ.

Ce sont ces fichiers XYZ qui permettent ensuite de réaliser un modèle numérique de terrain (MNT), à partir duquel les isobathes sont générées. Par la suite une carte bathymétrique est réalisée. Pour cela, les isobathes sont créées ainsi qu'un géotiff, puis exportés et enfin intégrés dans des logiciels comme Arcgis ou Autocad.

Les moyens financiers d'acquisition restent élevés et peuvent varier de 70.000 à 115.000 €.

b. Le sonar à balayage latéral

Le sonar à balayage latéral est un appareil qui, comme le sondeur multifaisceaux, fonctionne à l'aide d'ondes sonores. Il permet donc la réalisation d'images acoustiques des fonds marins selon la réflectivité des sédiments. (Cf. Annexe 7: Fiche technique Sonar à balayage latéral)

✓ Principe de fonctionnement et domaines d'application

Le poisson est fixé à un câble relié au bateau. Ce qui permet ainsi l'émission d'ondes sonores plus près du fond marin. Cette onde sonore, est constituée d'un faisceau émit perpendiculairement à la direction du bateau, qui, lorsqu'il atteint le fond de l'océan, est réfléchi pour ensuite être re-capté par le poisson. Le temps écoulé entre l'émission et la réception des signaux sonores, permettra donc de déterminer la profondeur (ressources naturelles Canada : www.rncan.gc.ca). (Figure 16)

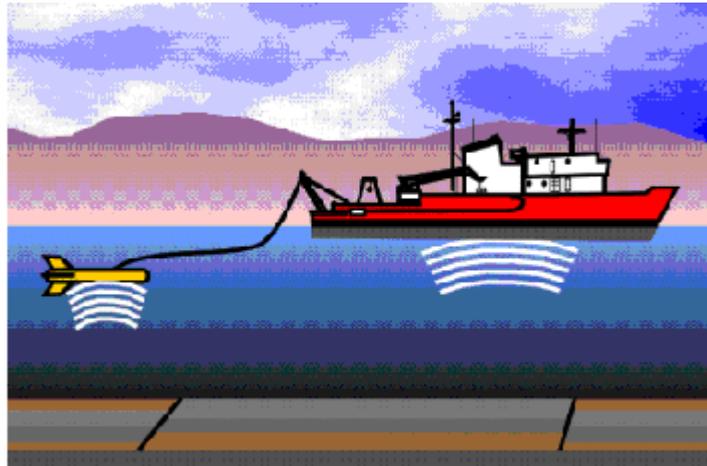


Figure 16: Principe de fonctionnement du sonar à balayage latéral

✓ Intérêts, limites et coûts

Le sonar à balayage est un système de haute définition. La résolution est submétrique. Il produit une image en continu et en niveau de gris du fond marin (Figure 17). Il permet d'insonifier à différentes fréquences, et perpendiculairement à la route du navire, une bande de 50 à 1.000 m de largeur en fonction de la profondeur. (Ehrhold, 2003)

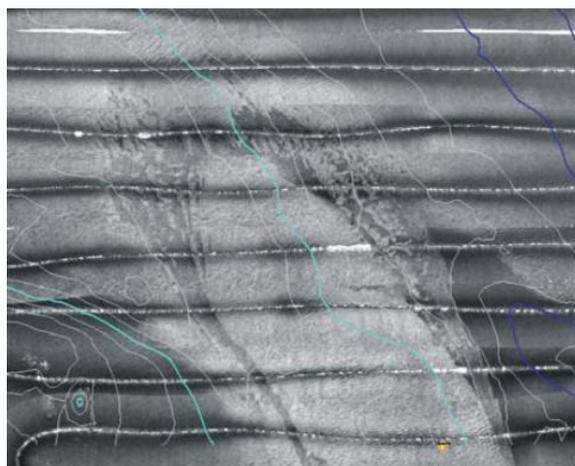


Figure 17: Exemple d'une sortie sonar: mosaïque acoustique (Ehrhold, 2003)

Le sonar à balayage latéral couvre de grandes surfaces et il très précis (submétrique). Les mesures peuvent être répétitives mais l'exploitation reste difficile. Le traitement est réalisé sous le logiciel Caraïbes de l'Ifremer et l'analyse des mosaïques acoustiques géoréférencées sous SIG.

C'est un système onéreux qui nécessite des compétences techniques spécifiques d'au moins deux opérateurs. Par exemple pour les petits fonds, le coût d'acquisition varie de 35.000 à 63.000 € pendant que le coût de mise en œuvre est compris entre 500 et 900 € par jour de travail.

c. La sismique

La sismique est une technique de mesure indirecte. Elle consiste à enregistrer en surface des échos issus de la propagation dans le sous-sol d'une onde sismique provoquée. Ces échos sont générés par les hétérogénéités du sol. Par exemple, le passage d'une couche d'argile à une couche de sable dans une colonne sédimentaire va se traduire par la présence d'un réflecteur sur les enregistrements. Selon le mode de propagation de l'onde on parle de sismique de réflexion (Figure 18) ou de sismique de réfraction (Figure 19). (www.ifremer.fr)

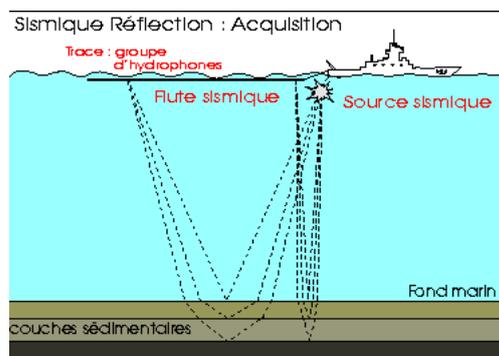


Figure 18: Principe de la sismique réflexion

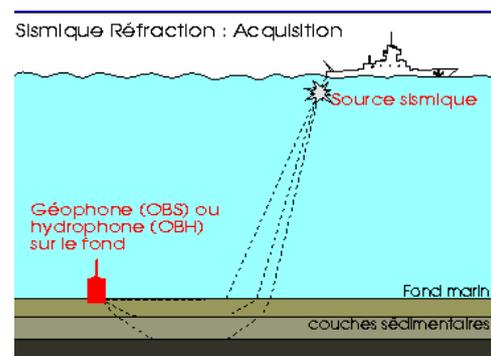


Figure 19: Principe de la sismique réfraction

Le temps d'arrivée de l'écho permet de situer la position de cette transition dans l'espace. L'amplitude de l'écho apporte des informations sur certains paramètres physiques des milieux en contact. (www.ifremer.fr)

Les domaines d'applications sont nombreux et divers. En effet, plusieurs scientifiques et industriels utilisent les études sismiques comme les géotechniciens, les géologues et les géophysiciens. Ainsi les principales applications de la sismique sont :

- ✓ La reconnaissance des sédiments superficiels ;
- ✓ Les aménagements du littoral et des embouchures ;
- ✓ L'implantation d'ouvrages en mer ;
- ✓ La cartographie des fonds ;
- ✓ La recherche de granulats.

IV.3 Autres méthodes

Pour cette étude, je me suis essentiellement intéressé aux principales méthodes et techniques notamment celles utilisées par les différents partenaires du ROLNP. Toutefois, d'autres techniques permettent d'analyser la dynamique du trait de côte et des dynamiques sédimentaires.

IV.3.1 Le tachéomètre

Le tachéomètre (Figure 20) permet de déterminer des directions en mesurant les angles horizontaux et verticaux. Il comporte trois fonctions :

- ✓ Fonction de goniomètre (mesure des angles azimutaux et zénithaux) ;
- ✓ Fonction de clisimètre (mesures des pentes) ;
- ✓ Fonction de stadimètre (mesures des distances), grâce à un télémètre à visée infrarouge ou à un laser.



Figure 20: Tachéomètre (www.planet-tp.com)

Le tachéomètre est simple d'utilisation avec sa nivelle électronique et son plomb laser. Il permet de livrer un levé, une implantation, une station libre, une ligne de référence, une distance entre points, une surface et un volume, des points cachés, ...

La mesure de la position relative de la mire, placée à une hauteur connue à la verticale du point à localiser, est obtenue par calcul polaire (Figure 21). Il s'agit d'une mesure relative par rapport à la position du tachéomètre. Au-delà de 200 à 300 m, la visée devient imprécise.

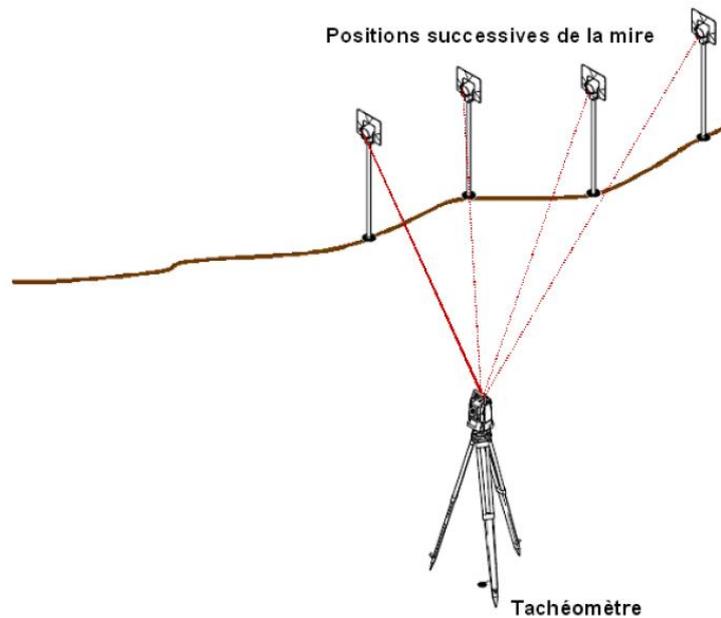


Figure 21: Principe du tachéomètre (Jaud, 2011)

Appelé aujourd'hui station totale, le tachéomètre permet de stocker dans une carte mémoire les mesures effectuées sur le terrain, pour les transférer et les traiter ensuite par ordinateur grâce aux logiciels de DAO, de tableurs ou de SIG. Certains appareils intègrent un récepteur GPS qui détermine lui-même sa position et occasionne donc un gain d'efficacité supplémentaire.

Il est fréquemment utilisé en topographie dans toutes les opérations de levé de terrains, dans les BTP et de l'industrie.

Le tachéomètre présente une grande précision pour le domaine côtier, de l'ordre de $\pm 5\text{cm}$. La mise en œuvre se fait avec une brigade en opération la journée de deux opérateurs au minimum. Le coût de cette mise en œuvre est compris entre 500 et 600 € par jour. Et le coût d'acquisition d'un tachéomètre varie de 3.700 à 6.500 € (Cf. Annexe 8:Fiche technique Tachéomètre)

IV.3.2 Le magnétomètre

La magnétométrie est une technique géophysique qui permet d'analyser les variations du champ magnétique. Ces variations sont causées par les objets contenant du fer ou d'autres métaux magnétiques. Le magnétomètre permet ainsi de repérer des objets se trouvant submergés, et en rattachant les valeurs par le positionnement GPS, de créer des cartes des variations du champ magnétique.

Les levés sont produits avec un poisson tiré avec un câble et par une embarcation, contenant un capteur qui mesure l'amplitude du champ magnétique total. (Figure 22)



Figure 22: Principe de fonctionnement du magnétomètre (www.hydro-international.com)

Les domaines d'application du magnétomètre sont essentiellement l'exploration minière, les études géologiques et le repérage des objets submergés sous le fond marin.

IV.3.3 La vidéo surveillance : Système ARGUS

Développée surtout aux Pays-Bas et aux États-Unis, la vidéo permet de quantifier les évolutions morphosédimentaires. C'est une alternative autonome et peu coûteuse, comparée aux méthodes traditionnelles, basées sur la détection du trait de côte dans un environnement mésotidal.

Le principe consiste à installer sur un site une station automatisée avec plusieurs caméras (Figure 23).



Figure 23: Suivi du littoral par vidéo surveillance (Lesagec, 2006)

Chaque caméra est perchée en altitude au dessus du littoral et connectée au système de traitement d'image de la station graphique du site qui communique avec le monde extérieur par téléphone. Chaque heure, les images collectées sont transmises automatiquement. Le coût de gestion de l'installation est quasiment nul.

Les principales applications de la vidéo surveillance sont :

- ✓ Le suivi de la position du trait de côte ;
- ✓ L'identification des zones d'érosion ;
- ✓ L'impact des tempêtes ;
- ✓ Le suivi et la surveillance des rechargements sableux ;

✓ L'impact des ouvrages côtiers.

La vidéo est de plus en plus employée autour du monde car elle offre une étude à long-terme et à hautes résolutions temporelles (heure) et spatiales (10 km). La qualité des images qui dépend de la qualité atmosphérique reste la principale limite.

Les coûts pour équiper un site sont de 45.000 € puis de 4.500 € par an pour l'exploitation et la maintenance. (Cf. Annexe 9:Fiche technique de la vidéo surveillance)

IV.3.4 Le traceur sédimentaire

Le traceur permet de quantifier la dispersion des sédiments se déplaçant sur les fonds sableux sous l'effet des courants et des vagues.

Le principe consiste à introduire le traceur dans le milieu pour mettre en évidence les mouvements sédimentaires (Figure 24). Le traceur doit avoir le même comportement hydrodynamique que le sédiment naturel, c'est-à-dire avoir les mêmes caractéristiques (formes, tailles des grains, densité, ...) et être facilement détectable in situ. (Figure 25)



Figure 24: Pose d'un traceur
(www.cg50.fr)



Figure 25: Traceur de galets numérotés
(www.ulaval.qc.ca)

Le traceur permet ainsi de suivre le trajet, la dispersion et la vitesse des particules sédimentaires. Le but est de déterminer le débit de charriage à travers une section orthogonale à la direction du transport. Et ce débit est donné par la relation :

$$Q = \rho \times L_t \times V_m \times E_m$$

Où :

ρ : masse volumique du sédiment en place

L_t : largeur du transport

E_m : épaisseur, supposée identique partout, de la couche de sédiments qui participent au mouvement

V_m : vitesse moyenne de cette couche qui s'obtient en comparant les positions des centres de gravité des digrammes de transport successifs.

IV.3.5 Le piège à sédiments

Le piège à sédiments permet de quantifier la dispersion des sédiments en suspension dans l'eau. Il permet notamment de quantifier le tonnage des apports sédimentaires sur une vasière.

Le piège à sédiments est constitué de deux plaques superposées (Figure 26). La plaque supérieure est percée d'un trou de 100 mm de diamètre. Entre les deux, un premier filtre sec en papier de 110 mm de diamètre préalablement pesé repose sur un second de même diamètre en microfibre de verre afin de favoriser la circulation d'eau. L'ensemble des éléments est maintenu en place à l'aide de 4 tiges enfoncées dans le substrat et par quatre écrous. Après la haute mer, le filtre supérieur est prélevé puis séché à l'étuve. Le différentiel poids final du filtre – poids initial du filtre permet de déduire la quantité de sédiments déposés. (Cuvilliez, 2008)



Figure 26: Dispositif du piège à sédiments (Cuvilliez, 2008)

La liste des méthodes et techniques d'analyse de la dynamique côtière est encore longue mais celles évoquées précédemment dans ce présent rapport sont les plus utilisées en général. Il y'a aussi le **S4** qui est un appareil muni de capteurs permettant de mesurer la vitesse des courants et la hauteur de la houle. Mais également le **marégraphe** et le **houlographe** qui mesurent l'amplitude de la houle ainsi que la vitesse des courants. Ainsi que les stations météorologiques de Météo France.

Dans ce qui va suivre, je vais faire un inventaire des compétences régionales en matière de méthodes et techniques d'analyse de la dynamique côtière. Ce qui permettra d'établir un catalogue des savoir-faire.

V. Compétences régionales

Cette partie présente dans un premier temps notre démarche de recherche. Elle essaie, dans une seconde phase de savoir si l'on dispose régionalement des compétences qui peuvent faire toutes ces méthodes et techniques. Elle a donc pour objectif de proposer aux régions une politique de suivi

fiable, homogène et pérenne. C'est-à-dire de préciser pour chaque méthode le coût en homme et moyens et quelles sont les régions susceptibles de l'utiliser..

La phase d'appropriation de la thématique constituait cette première étape. Le cadre de l'étude porte sur les côtes normandes et picardes. Plusieurs études ont déjà été réalisées par le ROLNP notamment le stage de M. LY sur la dynamique du trait de côte des régions normandes et picardes de 2011. Mes travaux sont le complément de cette étude sur les méthodes et techniques d'observations et suivis du littoral.

V.1 Travail effectué

Le travail consiste à faire une recherche bibliographique sur les méthodes et techniques d'observations du trait de côte. C'est la phase de compilation des informations disponibles sur le thème et le cadre de l'étude. Elle s'est faite au niveau de la bibliothèque de l'Intechmer et via internet. Les rapports d'activité et d'autres études commanditées par les différents partenaires du ROLNP ont été consultés. Cette synthèse bibliographique a permis de recenser tous les éléments pertinents sur le littoral normand picard et de disposer d'informations utiles sur la problématique du trait de côte et l'évolution des particules sédimentaires

Dans une seconde phase, il fallait identifier les différents partenaires du réseau. Pour ce faire, j'ai utilisé le mailing du réseau qui contenait les coordonnées complètes de tous les membres du conseil scientifique représentant les différents partenaires au sein du ROLNP. Par la suite, un questionnaire a été élaboré et envoyé par mail et par la poste (Cf. Annexe 10: Questionnaire).

J'en ai envoyé cinquante le 16 mai 2012 et les retours nous sont parvenus furent en deçà de nos espérances. Au 31 mai 2012, je n'avais que dix-huit retours et seuls six travaillaient sur le trait de côte et l'évolution des particules sédimentaires.

La rencontre du conseil scientifique du 31 mai à Rouen est venue à point nommé. Elle nous a permis de mettre à jour notre liste et de prendre directement contact avec certains acteurs et de reformuler notre questionnaire afin de relancer les partenaires.

Complété, le questionnaire a été renvoyé le 4 juin 2012. Le 15 juin 36 retours étaient reçus même si la majorité ne faisait pas d'étude sur ma thématique.

C'est au cours de la rencontre de Rouen du 31 mai 2012 que nous avons convenu d'une réunion d'échange entre l'équipe du ROLNP et celle du GEOCEANO à Cherbourg. Cette réunion s'est tenue le 21 juin 2012. Elle a permis d'aborder l'état d'avancement de mon stage. Les remarques ont permis de corriger et de valider l'approche par laquelle les méthodes allaient être abordées en termes de classement. Le compte rendu complet de cette réunion est jointe en annexe dans ce mémoire (Cf. Annexe 11 : Compte rendu de réunion GEOCEANO & ROLNP).

Par la suite le questionnaire a été corrigé et renvoyé aux différents partenaires avec cette fois un suivi téléphonique. Au 4 septembre, j'avais eu 75% de retours. Il faut dire que beaucoup de représentant étaient en vacances au mois de juillet/août.

Les données recueillies ont été traitées et agencées pour la production du rapport.

V.2 Les méthodes utilisées

Des 75% de réponses au questionnaire, treize (13) sur soixante-cinq (65) travaillent effectivement sur la dynamique du trait de côte et le déplacement des particules sédimentaires. Le tableau ci-dessous recense les différentes méthodes et outils utilisés par ces treize partenaires du ROLNP. L'approche méthodologique est très diversifiée.

Les techniques et méthodes évoquées dans la partie IV sont coutumières dans les divers laboratoires. Ces laboratoires détiennent le plus souvent les matériels et les savoir-faire.

Le tableau 2 recense les différentes méthodes et techniques utilisées par les différents partenaires du ROLNP.

Méthodes & Outils		Partenaires ROLNP												
		GEOCEANO	GEOPHEN	RNN	AAMP	M2C	BRGM-Pi	LOMC	GIP	UPJV	GEMEL	BioMEA	CBNBL	SHOM
Photo- interprétation	Terrestre		X			X	X	X		X	X			
	Aérien		X			X	X	X	X	X	X			X
	Satellitaire					X	X		X		X			X
Topographie Bathymétrie	Aérien (Lidar)			X			X	X	X	X		X		X
	Terrestre	Lidar		X			X	X				X		
		Tachéomètre	X	X			X	X			X	X		
		DGPS RTK	X				X	X			X	X		X
	Marin	Sondeur monofaisceau	X			X	X	X		X		X		X
Sondeur multifaisceaux		X			X	X			X		X		X	
Géophysique	Sonar latéral		X	X		X	X	X	X		X			X
	Sismique réflexion		X				X	X						
	Magnétométrie		X											X
	Gravimétrie		X											X
Hydrodynamique	Mesure houle						X	X				X		X
	Mesure marée		X				X	X				X		X
	Mesure courant		X				X	X		X		X		X
	Météo/Climat		X	X	X		X	X				X		
Transport sédimentaire	Mode	Suspension	X				X		X	X		X	X	
		Fond	X	X			X		X	X		X	X	X
	Lieu	Bassin versant		X			X			X		X		
		Rivière		X			X			X		X		
		Plage		X			X	X	X	X		X	X	
	Domaine marin	X				X	X	X	X		X		X	
Géomatique	Modélisation		X	X				X		X		X		
	SIG		X	X		X	X	X	X		X		X	X
	Géostatistique		X				X	X				X		

Tableau 2 : Synthèse des différentes méthodes et techniques des partenaires du ROLNP

V.3 Catalogue des savoir-faire régional

En dehors des organismes de recherche et des organismes d'État comme le Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF), le BRGM, le Centre d'Études Techniques de l'Équipement (CETE), le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), le GIP Seine-Aval et l'Agence des aires marines protégées, plusieurs laboratoires universitaires et associations privées travaillent sur la thématique de la dynamique littorale et côtière.

V.3.1 Le laboratoire GEOCEANO de l'Intechmer

Les principales thématiques de recherche du laboratoire GEOCEANO sont :

- ✓ la dynamique sédimentaire intertidal et petits fonds (de la particule à l'unité géologique) ;
- ✓ l'influence des forçages ;
- ✓ l'étude des processus hydrosédimentaires.

Pour mener ses études, le laboratoire fait des prélèvements et de l'instrumentation in situ dans l'eau et les sédiments. Ils font également de la topographie par DGPS et tachéomètre, de la géophysique appliquée (sismique réflexion THR, sonar latéral, sondeur multifaisceaux), de l'analyse des sédiments en laboratoire (granulométrie, matière organique, analyses élémentaires XRF, géotechnique) ainsi que de la modélisation et des SIG.

V.3.2 Le laboratoire Géographie Physique et Environnement (GEOPHEN)

Les principaux axes de recherches du laboratoire Géophen sont :

- ✓ la dynamique littorale actuelle notamment la falaise, les côtes rocheuses et le cordon de galets ;
- ✓ les dynamiques passées (holocènes)
- ✓ l'étude climatologique des événements extrêmes et des types de temps générateurs de dommages.

Les méthodes utilisées sont pour le trait de côte le suivi diachronique de photos aériennes de l'IGN géoréférencées (suivi haut de falaise) et la photogrammétrie.

Pour mener ses études le laboratoire possède un laser terrestre, un tachéomètre, un DGPS, un courantmètre, un traceur sédimentaire et utilise les stations météorologiques et les photographies aériennes. Il envisage d'acheter un lidar pour les levés de Criel et Cayeux.

V.3.3 Le laboratoire Morphodynamique Continentale et Côtière (M2C)

Rattaché à l'Institut des Sciences de l'Univers, à l'Université de Caen Basse-Normandie et à l'Université de Rouen, le laboratoire M2C s'intéresse à la morphodynamique de l'interface

océan/continent. Ses études portent sur la dynamique des bassins versants jusqu'à l'évolution des zones côtières adjacentes, du trait de côte à la zone infratidale.

Les recherches du laboratoire se déclinent du processus, au transfert puis au bilan et permettent de distinguer l'impact des facteurs naturels de celui d'origine anthropique.

Pour faire ses études, le laboratoire M2C met en œuvre pour la couverture sédimentaire :

- Description des faciès morpho-sédimentaires sur la base :
 - ✓ des données de l'imagerie et de la bathymétrie du sondeur multifaisceaux EM1000, du sonar à balayage latéral, du système RoxAnn, calibrées par des prélèvements de sédiments à la benne et de la caméra vidéo ;
 - ✓ des données sur la granulométrie et la nature des particules des sédiments.
- Mesure et analyse des agents forçants responsables des flux sédimentaires.

Pour l'étude de la dynamique du trait de côte, le M2C met en œuvre :
- L'évolution topographique à l'aide de données de Lidar topographique (CLAREC dont SO-DYC) de tachéomètres et d'ALTUS (topographie à haute fréquence), utilisations des piquets ;
- L'évolution sédimentaire à l'aide de carottes courtes (radiographie SCOPIX, spectrocolorimètre), de prélèvements ;
- Les mesures de flux sédimentaires à l'aide de pièges, d'un granulomètre in situ, de sonde de turbidité ;
- Les mesures sur les agents forçants à l'aide des courantomètres (ADC, ADV, S4) et des stations météo.

Les études du M2C ont lieu essentiellement sur l'estuaire de la Seine et l'Ouest du Cotentin.

Pour les méthodes d'études, le M2C possède pratiquement tous les équipements de mesure et prévoit d'acheter un sondeur monofaisceau d'ici 5 ans.

V.3.4 Le laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC)

Les objets d'étude du LOMC sont l'érosion des plages, le transfert sédimentaire à la plage, le domaine marin et l'influence des forçages.

Le laboratoire travaille sur une zone géographique qui couvre tout le territoire du ROLNP. Ses études se déroulent de l'échelle du trait de côte jusqu'à l'infratidal. Il développe des techniques expérimentales et des outils numériques appropriés pour ces axes de recherche.

V.3.5 Université de Picardie Jules Vernes

Il faut préciser que M. Desruelles, enseignant-chercheur, est le seul au département de géographie à mener des études sur les problématiques du littoral. Ses axes de recherches sont

centrés sur le transfert sédimentaires dans le bassin versant, la dynamique paléoenvironnementale, l'influence des forçages et les modifications climatiques.

L'échelle de travail est le trait de côte de la Picardie. Les méthodes utilisées pour le suivi sont la photo-interprétation, la topographie au tachéomètre, le DGPS RTK ainsi que l'analyse sédimentologie.

V.3.6 Le laboratoire Biologie des Mollusques marins et des Écosystèmes Associés (BioMEA)

La BioMEA réalise des études sur la couverture sédimentaire côtière de l'estuaire de la baie des Veys du Havre de la Venlée. Les axes de recherches du laboratoire sont l'érosion de plages et le domaine marin dans l'intertidal de la Basse-Normandie.

Les méthodes utilisées sont le transport sédimentaire, la sédimentologie et la géostatistique. Il s'agit de prélèvements et carottages, des analyses granulométriques (laser et pondérale) et de la géostatistique.

Pour mener ses études le laboratoire possède une sonde multiparamétrique et un érodimètre. Il envisage d'acheter un courantomètre.

V.3.7 Le Conservatoire Botanique National de Bailleul – Haute-Normandie (CBNBL)

Le CBNBL est une association qui regroupe des acteurs publics territoriaux, gérée par un conseil d'administration. Il regroupe quatre collectivités territoriales dont la ville de Bailleul. Par son agrément, le CBNBL est compétent en Haute-Normandie et en Picardie.

Le CBNBL fait des études sur les modifications climatiques en Haute-Normandie. Le trait de côte et le subtidal sont les échelles de référence pour ces études.

Les méthodes employées sont les SIG. Une cartographie des espèces patrimoniales et des végétations de la basse vallée de la Saône dans le cadre du projet INTERREG LICCO avec plusieurs partenaires scientifiques et le conservatoire du littoral pour la partie française.

V.3.8 Groupe d'Etude des Milieux Estuariens et Littoraux (GEMEL)

Le GEMEL est une association interrégionale de recherche et d'animation scientifique. Son objectif est de faciliter les contacts entre les chercheurs sur les domaines estuariens et littoraux. C'est ainsi qu'il est impliqué dans de nombreux projets du littoral normand picard.

Les principaux champs d'intérêts du GEMEL sont l'érosion de plages, le transfert sédimentaire, le domaine marin, la dynamique paléoenvironnementale, l'influence des forçages et les modifications climatiques.

Leurs études sont menées à l'échelle du trait de côte, du subtidal, de l'intertidal et de l'infratidal principalement dans la Baie de Somme qui est leur zone d'atelier.

Les méthodes et outils sont la photo-interprétation, la topographie/bathymétrie, le sonar latéral, l'hydrodynamique, la sédimentologie ainsi que la géomatique.

V.3.14 Réserves Naturelles Nationales de Beauguillot (RNN Basse-Normandie)

Réserves naturelles nationales est une association qui anime de nombreux échanges et travaux entre les gestionnaires des espaces naturels. Son objectif est de protéger les milieux naturels exceptionnels, rares et/ou menacés.

L'équipe de Beauguillot a mené des études sur la couverture sédimentaire côtière. En 2011, c'était l'étude sur l'évolution des principaux faciès biomorphosédimentaires. Une autre étude sur les mêmes faciès est en cours et concerne non seulement la Baie de Veys mais aussi l'estuaire de la Seine, la Baie de Somme ainsi que d'autres sites de la Manche Atlantique.

L'échelle sur laquelle les études se sont déroulées est la zone intertidale pour la Baie des Veys mais également sur tout le littoral normand-picard et d'autres sites en dehors de ces régions. Pour l'échelle de temps, elle est annuelle et en acquisition continue.

Les méthodes utilisées consistent en une surveillance continue des habitats biomorphosédimentaires estuariens (substrats meubles) et à choisir cinq stations en Baie des Veys, échantillonnées annuellement autour du 15 octobre. En ce qui concerne le traitement du sédiment, la granulométrie se fait par la méthode pondérée d'AFNOR.

Ce protocole sur les habitats biomorphosédimentaires a été testé sur 8 sites de la façade Manche-Atlantique. Il devrait être généralisé à d'autres sites de ces façades et probablement sur le littoral normand-picard.

C'est un travail conduit dans le cadre de l'observation littoral, limicole et macrofaune benthique animé par Réserves Naturelles de France (RNF) avec le partenariat de l'Agence des Aires Marines Protégées (AAMP).

Pour être mises en œuvre, leurs études utilisent les données des stations météorologiques de Météo France. Ils font appel également à des prestataires pour le matériel.

Toutes les méthodes et techniques évoquées précédemment sont coutumières dans ces divers laboratoires et associations. Ils détiennent très souvent les matériels et les savoir-faire.

De plus, grâce au financement des régions Basse-Normandie, Haute-Normandie, Picardie et Nord-Pas-de-Calais et du CNRS, dans le cadre du programme interrégional CLAREC (Contrôle par Laser Aéroporté des Risques Environnementaux Cotiers), le laboratoire M2C a acquis un Lidar aéroporté à l'Université de Caen. Le domaine littoral de la façade maritime Manche – Mer du Nord constitue la zone d'intervention prioritaire du Lidar acquis.

Conclusion

« La mobilisation des acteurs et les réunions des compétences disponibles feront le succès d'une gestion durable du trait de côte, [...] » disait Jean Louis Borloo, l'ancien Ministre de l'écologie, de l'énergie du développement durable et de la mer. Le littoral est géré par un nombre élevé d'acteurs intervenant à des échelles très différentes, traduction implicite de l'organisation sociopolitique de notre pays, de l'éparpillement des responsabilités et d'une insuffisance de coordination entre les autorités.

De nombreuses compétences régionales et structures travaillent déjà ensemble. Mais elles travaillent sur des projets ou programmes de recherche, parfois localisés, qui n'ont que très rarement l'emprise spatiale des trois régions avec une pérennité trop courte ou pas assurée.

Le recensement de l'ensemble des méthodes et techniques au cours de stage a permis de mettre en évidence la complémentarité de ces différentes approches et de caractériser les avantages liés à chaque des méthodes et outils. Cependant, il est nécessaire d'adapter les techniques au site à étudier et aux processus que l'on cherche à étudier.

Trop souvent, la disponibilité des équipements et du personnel, le coût des opérations ou des investissements, apparaissent comme des facteurs déterminants dans les pratiques d'aujourd'hui. Ces choix conduisent parfois à des impasses ou à un faible rendement par rapport aux efforts consentis. Il est donc nécessaire d'identifier précisément les besoins avant d'opter pour une technique de mesure.

Pour le suivi du littoral à long terme où une vision globale sur plusieurs années est recherchée, les méthodes du laser aéroporté apparaissent comme les plus adaptées.

En ce qui concerne le suivi pour une évolution à court terme en présence d'enjeux forts où des mesures de sauvegarde souvent dans l'urgence doivent être prises, le DGPS sur véhicule semble être la technique la mieux adaptée.

S'agissant des suivis pour la surveillance des d'ouvrages ou de travaux où une grande quantité de données et une bonne disponibilité des équipes est nécessaire, les DGPS centimétriques sont les plus adaptés pour ce type de projet.

Pour le suivi des processus hydrosédimentaires où le rendement kilométrique est privilégié, les outils les plus performants sont les mesures aéroportées pour la bathymétrie des travaux, le sonar à balayage latéral et le sondeur multifaisceaux pour la reconnaissance des zones subtidales.

La dynamique du littoral ne peut être appréciée correctement que si l'on dispose d'une base de données la plus exhaustive possible établie à partir d'observations fiables, comparables et

reproductibles. L'accumulation d'accumuler des données est nécessaire, la diffusion (sans but lucratif) des métadonnées est plus utile. C'est l'une des missions du ROLNP.

Ce stage m'a formé au travail de chercheur, aussi bien sur le terrain qu'au laboratoire pour le traitement des données et la valorisation de celles-ci. De plus le sujet de ce stage était vraiment très intéressant et m'a permis de concrétiser mon envie de travailler dans la morphologie du littoral.

Bibliographie

Batti A., Depraetere C. - CRISP (2007) – Panorama des méthodes d’analyse de l’érosion dans un contexte insulaire. Rapport, 28 pages, juin 2007

Belhache M. (2009) – Estimation de la topographie intertidale à partir d’images vidéo obliques. Mémoire de stage Master 1 Ingénierie et Géoscience du Littoral, 50 pages – Université de Caen Basse-Normandie

Boulvain F. (2011) – Une introduction aux processus sédimentaires, Cours de pétrologie sédimentaire de l’Université de Liège, www2.ulg.ac.be/geolsed/processus/processus.htm, consulté le 06 juillet 2012

BRGM-Orléans (2010) – Journées « Impacts du changement climatique sur les risques côtiers », 214 pages, Recueil des actes, novembre 2010

Campmas L. (2008) – Acquisitions et mise en valeur des données du suivi du littoral normand. Rapport de stage de fin d’études, 53 pages – Promotion Pourquoi pas (2005-2008) – INTECHMER

Choppin L.- BRGM (2010) – Exemples de méthodes utilisées pour la gestion de stocks sableux marins dans quelques pays. Document public, Rapport BRGM/RP-51397-FR, 46 pages, juin 2002

Clus-Auby C., Paskoff R. et Verger F. – Conservatoire du littoral (2004) – Impact du changement climatique sur le patrimoine du conservatoire du littoral : scénarios d’érosion et de submersion à l’horizon 2100. Synthèse, 44 pages, 2004

Conseil Général des Alpes-Maritimes - Direction de l’Écologie et du Développement Durable (2007) – Étude de l’évolution du trait de côte du littoral des Alpes-Maritimes, Rapport MAR N°60554C, 142 pages, Février 2007

Jaud M. (2011) – Techniques d’observation et de mesure haute résolution des transferts sédimentaires dans la frange littorale. Thèse de l’École Doctorale des Sciences de la Mer en Sciences de la Terre, 245 pages – Université de Bretagne Occidentale

Kemila A., (2010) – Élaboration de recommandations méthodologiques pour la mise en œuvre et l’exploitation d’un suivi littoral. Mémoire de stage de fin d’études, 61 pages – Master 2 Professionnel Ingénierie du littoral – Génie côtier – Université de Caen

Krien Y., Garcin M., Pedreros R., Le Cozannet G. - BRGM (2010) – Méthodes pour l’évaluation à l’échelle nationale de l’emprise maximale de l’aléa submersion marine. Document public, Rapport BRGM/RP-58101-FR, 89 pages, février 2010

Le Berre I., Hénaff A., Devogèle T., Mascret A. et Wenzel F. (2005) – SPOT5 : un outil pertinent pour le suivi du trait de côte ?, Norois [en ligne], 196 | 2005/3, mis en ligne le 15 décembre 2008, consulté le 19 juin 2012. URL : <http://norois.revues.org/378>; DOI : 10.4000/norois.378

Lecaplain M. (2005) – Suivi du littoral bas-normand : techniques et méthodes mise en œuvre. Rapport de stage de fin d’études, 53 pages – Promotion Peter Blake (2002-2005) – INTECHMER

Letortu P. (2009) – Risques naturels en Manche orientale et centrale : le recul des falaises à matériel cohérent et les inondations par la mer. Mémoire de Master 2 Recherche en Géographie, 221 pages – Université de Caen Basse-Normandie

Mairie de Miquelon-Langlade – Direction de l’Agriculture et de la Forêt, Conservatoire du littoral – Maison de la Nature et de l’Environnement de Saint-Pierre et Miquelon – (2009) – Un littoral dynamique : quelles mesures d’interventions ? – Actes du séminaire 21 au 24 mai 2009 – Miquelon-Langlade, 23 pages

Ministère de l’Écologie, du Développement et de l’Aménagement Durables (2007) – Changement climatique et prévention du risque sur le littoral, 70 pages – Séminaire sur la prévention des risques naturels majeurs, septembre 2007

Ministère de l’Écologie, de l’Énergie, du Développement Durable et de la Mer (2010) – La gestion du trait de côte, 290 pages, Éditions Quae, 2010

Ministère de l’Équipement, des Transports et du Logement – Centre d’Études Techniques Maritimes et Fluviales (2001) – Recommandations méthodologiques pour le suivi morphologique du littoral, 93 pages, Dossier 99726 CREOCEAN 2001

Rihouey D., Blangy A., Dugor J., Dailloux D. (2008) – Technique vidéo appliquée à la topographie de la plage intertidale. X^{ème} journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis, 10 pages

Glossaire

Accrétion : Progression de la ligne de rivage par accumulation de sédiments.

Affouillement : Érosion d'un rivage due aux courants et aux vagues.

Analyse diachronique : Analyse qui envisage les changements dans le temps.

Anthropique : Lié aux activités humaines

Anti-dune : Forme sableuse sous-marine qui se déplace en sens inverse du courant.

Approche systémique : Théorie se proposant d'étudier un système dans son ensemble.

Arrière-côte : Partie située en retrait du rivage, côte terre.

Atterrissement : Dépôt de sédiments (terre, sable, graviers, galets) apportés par les agents hydrodynamiques.

Avant-côte : Partie du domaine subtidal proche du rivage, concernée par des échanges avec la côte.

Bathymétrie : Mesure des profondeurs d'eau. Le lieu des points d'égale profondeur est une isobathe.

Bouchon vaseux : Accumulation de vase en suspension, caractéristique des estuaires, se déplaçant en fonction de la marée et de l'hydrologie des cours d'eau.

Budget sédimentaire : Bilan des apports et pertes de sédiments sur une zone.

Capacité de transport : Volume susceptible d'être transporté par les agents hydrodynamiques.

Coefficient de marée : Rapport, en un lieu donné, du marnage au marnage moyen en vive-eau d'équinoxe. Ce nombre, exprimé en centièmes, est appliqué aux marées des côtes de France. A forts coefficients (80 à 120) correspondent les marées de vives eaux, à de faibles coefficients (30 à 50) correspondent des marées de mortes eaux.

Cordon dunaire : Forme littorale constituée d'une accumulation de sable, parallèle à la côte.

Dérive littorale : Flux de sédiments sensiblement parallèle au rivage, en poche côtier, résultant de différentes causes (houle, courants, vent).

Épi : Ouvrage transversal construit sur l'estran, dont le but est de retenir une partie de la charge sédimentaire véhiculée par la dérive littorale.

Estran : Zone comprise entre les plus hautes et les plus basses mers connues ou zone de balancement des marées.

Estuaire : Indentation profonde du littoral, soumise à la marée et qui correspond à l'embouchure d'un ou de plusieurs fleuves. Le milieu estuarien correspond à la totalité de la transition entre le domaine marin et les eaux douces.

Facteur hydrodynamique : Phénomène physique agissant sur la dynamique d'une masse d'eau. Les principaux facteurs marins sont le niveau moyen de la mer, les états de mer, la marée et les courants associés.

Flèche littorale : Forme constituée par l'accumulation de matériaux meubles (sables ou galets) entre un point d'ancrage à une extrémité et une pointe libre à l'autre extrémité s'avancant en mer.

Granulométrie : Techniques d'analyses des sédiments meubles (argiles, limons, sables, galets, etc.) constituant à classer les grains selon leur dimension.

Houle : Oscillations régulières de la surface de la mer, observées en point éloigné du champ de vent qui les a engendrées, dont la période se situe autour de dix secondes.

Infratidal : Relatif à la zone côtière située sous les plus basses eaux communes, donc continuellement immergée.

Intertidal : Qualifie la zone de balancement des marées comprise entre les niveaux des pleines et des basses mers (Synonyme : estran)

Laisse de mer : Dépôts d'algues et de matériaux organiques divers abandonnés par la mer à marée haute ou après une tempête.

Ligne de rivage : Limite entre la terre et la mer dont la position varie en fonction de la marée.

Marée : Mouvement périodique de montée et de descente de la mer, de périodes voisines de 12 heures à 24 heures ou de quelques jours, dû à l'attraction de la lune et du soleil. Dans les régions atlantiques, la marée est semi-diurne et comporte deux pleines mers et deux basses mers par jour lunaire.

Marnage : Différence de hauteurs d'eau entre pleine mer et basse mer.

Métadonnées : Ensemble des paramètres descripteurs permettant de qualifier un jeu de données en vue d'établir un classement ou un archivage dans une base de données.

Microtidal : Par opposition à macrotidal, qualifie une zone à faible marnage.

Morphodynamique : Discipline consacrée à l'étude des formes du littoral et à leur évolution sous l'action de facteurs hydrodynamiques et éoliens.

Morphologie : Étude scientifique des formes du relief.

Morphosédimentaire : se dit d'objets considérant la forme et la nature des matériaux meubles.

Orthophotographie : Photographie aérienne orthorectifiée pour permettre une visualisation en projection plane.

Photogrammétrie : Méthode de cartographie topographique par mesures issues de l'analyse de couples de photographies aériennes.

Planimétrie : discipline consacrée aux méthodes de représentation des objets en projection plane.

Plateau continental : Secteur des fonds marins débutant à la ligne de rivage et se prolongeant en pente douce jusqu'à une profondeur de 120 à 200 mètres.

Platier rocheux : haut-fond ou estran rocheux affleurant à marée basse.

Régression marine : Abaissement du niveau moyen de la mer.

Saltation : Processus de transport sédimentaire par l'eau ou par le vent, entraînant les particules à se déplacer par sauts.

Sédiment cohésif : Sédiment fin ayant des propriétés d'adhérence qui se traduisent par des comportements caractéristiques en termes de vitesse de chute, de floculation, de tassement et consolidation.

Sédiment terrigène : Sédiment de nature minérale ou biologique qui provient de la terre ou a été produit par la terre.

Subaérien : Se dit d'un dépôt constitué à l'air libre.

Subtidal : Qualifie les fonds marins côtiers s'étendant en dessous du niveau des plus basses mers.

Supratidal : Qualifie la zone située au-dessus du niveau des hautes mers de vive-eau, marquée par la présence des végétaux supportant les embruns salés.

Surcote : Différence positive entre le niveau marégraphique mesuré et le niveau théorique, correspondant à la perturbation du phénomène astronomique du cycle de marée par des causes météorologiques.

Talard : Microfalaise résultant de l'érosion de formations de sédiments fins.

Trait de côte : Ligne d'intersection de la surface topographique avec le niveau des plus hautes mers astronomiques (Définition du SHOM). Par extension, limite entre la mer et la terre.

Zéro hydrographique : Zéro des cartes marines. Origine conventionnelle des hauteurs d'eau prédites dans les annuaires et des sondes portées sur les cartes marines. Il correspond au niveau des plus basses mers par coefficient de 120.

Table des cartes

Carte 1: Carte de localisation	5
Carte 2: Trait de côte des régions normandes et picardes	7
Carte 3: Typologie du littoral normand picard (Ly, 2011)	12

Table des tableaux

Tableau 1: Classification des particules sédimentaires	17
Tableau 2 : Synthèse des différentes méthodes et techniques des partenaires du ROLNP	38

Table des photographies

Photo 1: Côte rocheuse des Vaches Noires (Calvados) – Master AGIRE, 2011	9
Photo 2: Estuaire de la Seine - Mars 2012	9
Photo 3: Cordon dunaire protégé par des rochers à Courseulles-sur-Mer - 2011	10
Photo 4: érosion de la mer à Ault – (Beauchamp, 2006)	11
Photo 5: Estuaire de la Somme – février 2012.....	12
Photo 6: Bout du système de galet dans la Somme - Février 2012.....	13
Photo 7: Falaise vive protégée par un cordon de galets vers Cayeux - 2012.....	13
Photo 8: Les falaises d'Étretat dans le pays de Caux (www.rolnp.fr).....	14
Photo 9: Côte rocheuse de Villerville - 2011	14
Photo 10: Cordon de galets près la Hague - 2011	15
Photo 11: Mare de Vauville - 2011	15
Photo 12: Cordon de galets au Pays de Caux - 2012	16
Photo 13: Sable dunaire de Vauville - 2011	16
Photo 14: Vasière de la mare de Vauville - 2011	17
Photo 15: Érosion de la mer à Ault (Beauchamp, 2006)	18

Table des figures

Figure 1: Organigramme ROLNP (www.rolnp.fr)	3
Figure 2: Schéma de recherche d'information	5
Figure 3: Canevas de réalisation du projet.....	6
Figure 4: Modes de transport des sédiments dans un courant (Marin, 2011).....	18
Figure 5: Avion d'acquisition et vue d'un SPOT-5 (www.spotimage.fr).....	20
Figure 6: Plan de vol et d'acquisition (Michel-Villaz, 2008).....	21
Figure 7: Falaise crayeuse au Pays de Caux (Letortu, 2011).....	22
Figure 8: Plage de Berneval-sur-Mer (Letortu, 2011)	22
Figure 9: Principe de fonctionnement du DGPS (Jaud, 2011).....	23
Figure 10: Principe de fonctionnement du Lidar aéroporté (Costa, 2002)	24
Figure 11: Exemple de cartographie des zones (Blainville) situées sous le niveau marin sur la base d'un levé lidar (avril 2010). Projet Liteau III (Surcote); Équipe CLAREC, Univ. de Caen.	24
Figure 12: Scanner Laser Terrestre (Letortu, 2011)	25
Figure 13: Principe de fonctionnement du scanner.....	25
Figure 14: Principe du lidar bathymétrique (Flamant, 2010).....	26
Figure 15: Principe de fonctionnement du sondeur multifaisceaux (www.espace-sciences.org).....	27
Figure 16: Principe de fonctionnement du sonar à balayage latéral	29
Figure 17: Exemple d'une sortie sonar: mosaïque acoustique (Ehrhold, 2003).....	29
Figure 18: Principe de la sismique réflexion	30
Figure 19: Principe de la sismique réfraction	30
Figure 20: Tachéomètre (www.planet-tp.com).....	31
Figure 21: Principe du tachéomètre (Jaud, 2011)	32
Figure 22: Principe de fonctionnement du magnétomètre (www.hydro-international.com).....	33
Figure 23: Suivi du littoral par vidéo surveillance (Lesagec, 2006).....	33
Figure 24: Pose d'un traceur (www.cg50.fr)	34
Figure 25: Traceur de galets numérotés (www.ulaval.qc.ca)	34
Figure 26: Dispositif du piège à sédiments (Cuvilliez, 2008).....	35

ANNEXES

Annexes

Annexe 1: Cahier de charges	54
Annexe 2: Fiche technique imagerie aérienne ou satellitaire	56
Annexe 3 : Fiche technique DGPS	57
Annexe 4: Fiche technique Lidar aéroporté.....	58
Annexe 5: Fiche technique Scanner terrestre.....	59
Annexe 6: Fiche technique Sondeur multifaisceaux.....	60
Annexe 7: Fiche technique Sonar à balayage latéral	61
Annexe 8:Fiche technique Tachéomètre.....	62
Annexe 9:Fiche technique de la vidéo surveillance.....	63
Annexe 10: Questionnaire.....	64
Annexe 11 : Compte rendu de réunion GEOCEANO & ROLNP	68

Annexe 1: Cahier de charges

Cahier des charges stage de Master 2
proposé par le réseau d'Observation du Littoral Normand et Picard
Année 2012

STAGE de M. Mamadou M'BODJ

Sujet : Méthodes et techniques d'observations et suivis de la dynamique côtière (intérêts, limites, précisions, coûts, etc.).

Encadrement scientifique : S. Costa, S. Le Bot, Y. Méar

Missions :

Les missions du stagiaire se décomposent comme suit :

- Bilan des équipes de recherches (Basse-Normandie, Haute-Normandie, Picardie)
- Réalisation de fiches synthétiques du savoir-faire des équipes de recherches
- Bilan des méthodes d'études du littoral
- Réalisation du rapport de synthèse
- Proposition d'un quatre pages synthétisant l'ensemble du travail effectué

Pour la réalisation de ces missions, le stagiaire prendra contact avec des membres du Conseil scientifique et des partenaires du Réseau d'Observation du Littoral Normand et Picard. Il pourra être amené à rencontrer d'autres organismes compétents sur la façade Manche. Il effectuera les déplacements afin des les rencontrer.

Livrables (pour le ROLNP, à compléter éventuellement par le maître de stage selon ses besoins propres) :

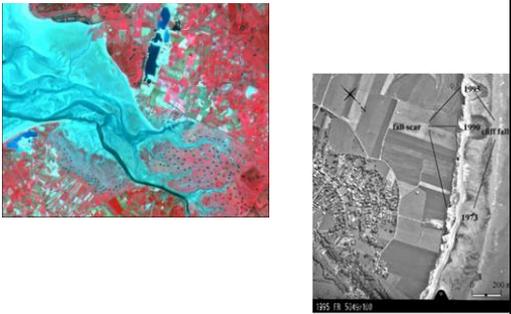
- Rapport au format papier et au format informatique (word et pdf)
- Restitution orale
- Diaporama de la restitution orale (format power point)
- Document de communication de 4 pages synthétisant l'ensemble du travail effectué au format word et pdf (*modèle fourni*)
- Bibliographie renseignée sous forme de base de données (*modèle fourni*)
- S'il y a lieu¹ :
 - Données SIG produites ou collectées. Celles-ci doivent être remises au ROLNP selon les modalités suivantes :
 - Systèmes de référence et de projection cartographique : RGF 93/ Lambert 93
 - Unité pour la géométrie des coordonnées de géoréférencement : mètre
 - Format shape, avec si possible un fichier de légende
 - Projet enregistré en chemin relatif (projet mxd sous Arcgis)
 - Tables attributaires renseignées de manière claire. Un fichier excel précisera la nomenclature des champs et des valeurs ainsi que l'unité de chaque champ.

¹ Un appui technique SIG pourra être fourni par le ROLNP, si besoin.

- Métadonnées : les données SIG doivent être livrées avec les métadonnées associées, au format XML, compatibles aux normes ISO 19115/19119 et ISO TS19139 (*modèle fourni*)
- Cartographie : les cartes doivent respecter les règles de sémiologie graphique (avec à minima : titre, échelle, orientation, source, date, légende). Elles doivent être fournies au format pdf avec polices de caractères intégrées.

Annexe 2: Fiche technique imagerie aérienne ou satellitaire

Imagerie aérienne satellitaire

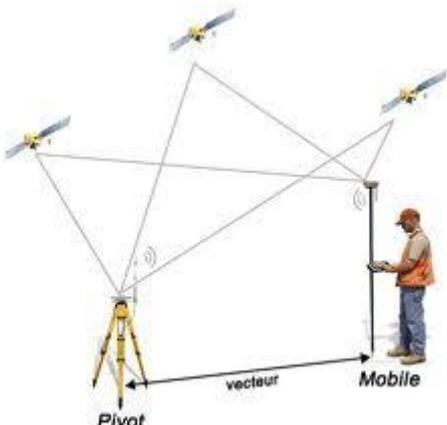
Caractéristiques techniques	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Domaines : Estran, Secteurs dunaires ✓ Précision : 2,5 – 10 m ✓ Type d'informations fourni : mesures géométriques, informations géographiques ✓ Utilité : uniformisation des mesures ✓ Exemples d'application : Cartographie de base, hydrographie côtière, géomorphologie dynamique

Principe	
Rechercher la dynamique des états successifs de certaines formes. Le capteur du SPOT découpe la lumière en 4 bandes spectrales le proche infrarouge, le moyen infrarouge, le rouge et le vert.	
Avantages	Inconvénients
<p>Observation d'un site sous différents angles de vue</p> <p>Haute résolution</p> <p>Répétitivité de la prise de vue</p> <p>Programmation de l'acquisition</p>	<p>Distorsion des échelles</p> <p>Qualités des photographies</p> <p>Erreurs de parallaxe</p>

Modalités de mise œuvre et coûts	
Compétences requises	Personnel qualifié
Coût d'acquisition	Élevé pour une bonne résolution (10000 € pour une résolution de 2,5 m)
Coût de traitement	Élevé selon la quantité d'information
Fourchette du coût de mise en œuvre	1500 €/km

P
H
O
T
O
-
I
N
T
E
R
P
R
E
T
A
T
I
O
N

DGPS RTK

Caractéristiques techniques	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Domaines : Dunes, falaises, plage, estran ✓ Précision : 2 cm ✓ Type d'informations fourni : mesures géométriques, informations géographiques ✓ Utilité : précision des mesures ✓ Exemples d'application : travaux publics, agricultures

Principe
Un récepteur de référence stationné sur un point prédéterminé, reçoit à chaque instant la position des satellites dans l'espace, et calcule sa propre position.

Intérêts	Limites
Rend facultatif le post-traitement des données GPS Grande précision Portée des bases de référence peut atteindre 300 Km	Fastidieux pour de grandes étendues Source d'erreurs (décalage d'horloge, éphémérides, ...) Impose le choix d'une liaison de communication adéquate

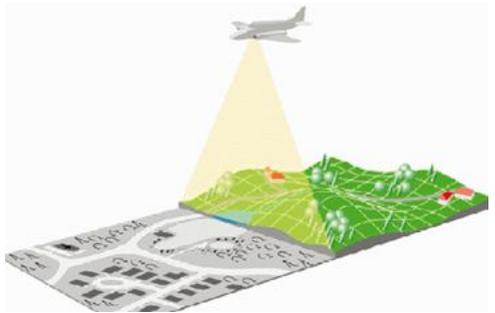
Modalités de mise œuvre et coûts	
Compétences requises	1 opérateur
Coût d'acquisition	45000 à 50000
Coût de traitement	600 à 700 €/Jour
Fourchette du coût de mise en œuvre	600 à 700 €/Jour

**S
U
I
V
I

T
O
P
O
G
R
A
P
H
I

Q
U
E**

Lidar aéroporté

Caractéristiques techniques	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Domaines : Dunes, falaises, plage, estran ✓ Précision : 10 cm ✓ Type d'informations fourni : mesures géométriques, informations géographiques ✓ Utilité : précision des mesures ✓ Exemples d'application : travaux publics, agricultures

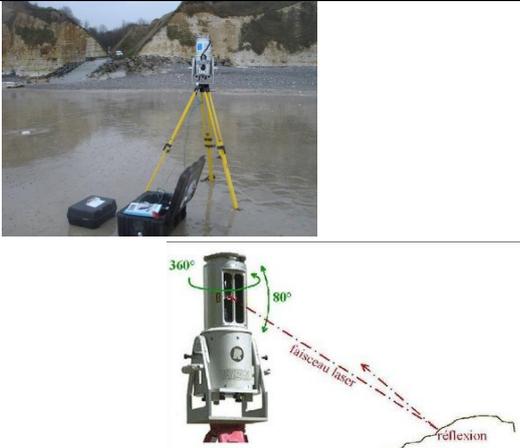
Principe
<p>Fixé à bord d'un avion, le système calcule le temps d'aller retour d'une impulsion laser entre l'instant de son émission au niveau de la tête laser et sa réflexion sur la surface terrestre</p>

Intérêts	Limites
Couvre de grandes surfaces	Exploitation difficile
Très précis	Problème de végétation
Répétitivité des survols	Répartition souvent inégale des points bruts
Système actif et aéroporté	L'avion à moins de 25 km d'un réseau de base de DGPS
Rapidité	Moyens financiers d'acquisition

Modalités de mise œuvre et coûts	
Compétences requises	1 expert en traitement de données 1 technicien pour les levés GPS
Coût d'acquisition	1.200.000 €
Coût de traitement	Personnel formé très spécialisé
Fourchette du coût de mise en œuvre	800 à 1.500 €/km ²

Annexe 5: Fiche technique Scanner terrestre

Scanner terrestre

Caractéristiques techniques	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Domaines : Dunes, falaises, plage, estran ✓ Précision : millimétrique ✓ Type d'informations fourni : mesures géométriques, informations géographiques ✓ Utilité : précision des mesures ✓ Exemples d'application : travaux publics, génie civil, documentation archéologiques

Principe
<p>Le principe de fonctionnement consiste en l'émission d'un rayon lumineux d'une fréquence bien déterminée et à l'enregistrement du retour de cette onde qui aura été décalée ou déplacée par son impact sur une surface réfléchissante. Le décalage de l'onde réfléchie permet le calcul précis de la distance qui sépare le point frappé et le scanner.</p>

Intérêts	Limites
Grande précision	Exploitation des données pas toujours aisée
Cadence de relevé importante	Couverture d'espace restreinte
Rapidité d'exécution	Poids et encombrement du matériel
Mesures automatiques et systématiques	Taille des fichiers obtenus
	Les fortes vibrations, le brouillard, la neige

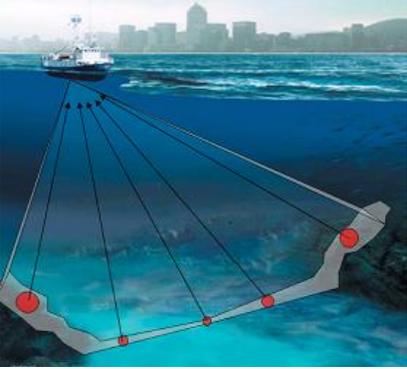
Modalités de mise œuvre et coûts	
Compétences requises	2 opérateurs au moins
Coût d'acquisition	70.000 à 125.000 €
Coût de traitement	600 à 1.000 €/Jour
Fourchette du coût de mise en œuvre	600 à 1.000 €/Jour

**S
U
I
V
I

T
O
P
O
G
R
A
P
H
I
Q
U
E**

Annexe 6: Fiche technique Sondeur multifaisceaux

Sondeur multifaisceaux

Caractéristiques techniques	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Domaines : Domaine côtier subtidal ✓ Précision : décimétrique ✓ Type d'informations fourni : bathymétries, imageries, natures des fonds ✓ Utilité : précision des mesures ✓ Exemples d'application : travaux publics, génie civil, documentation archéologiques

Principe
<p>Installé sous la coque du navire, le sondeur multifaisceau mesure simultanément la profondeur selon plusieurs directions par les faisceaux de réception du système. Une impulsion sonore est émise au travers d'un lobe d'émission étroit dans la direction longitudinale et le large transversalement. Pour chaque faisceau de réception, la zone du fond explorée est l'intersection entre le lobe d'émission et le faisceau de réception.</p>

Intérêts	Limites
<p>Résolution fine</p> <p>Explore un large couloir sur la route du navire</p> <p>Meilleure interpolation entre les points de sonde</p> <p>Image en niveau de gris de la réflectivité du fond</p>	<p>Acquisition et traitement complexes</p> <p>Coût du matériel élevé</p>

Modalités de mise œuvre et coûts	
Compétences requises	Personnel spécialisé
Coût d'acquisition	70.000 à 115.000 €
Coût de traitement	1500 à 7500 €/Jour d'intervention
Fourchette du coût de mise en œuvre	1500 à 7500 €/Jour d'intervention

**S
U
I
V
I

B
A
T
H
Y
M
E
T
R
I
Q
U
E**

Annexe 7: Fiche technique Sonar à balayage latéral

Sonar à balayage latéral

Caractéristiques techniques	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Domaines : immergés en permanence ✓ Précision : métrique ✓ Type d'informations fourni : bathymétries, imageries, morphologie du substratum ✓ Utilité : précision des mesures ✓ Exemples d'application : travaux publics, génie civil, documentation archéologiques

Principe
<p>Les sonars à balayage latéral sont des systèmes acoustiques de type émetteur-récepteur composés de deux voies disposées symétriquement de part et d'autre du poisson. Ils utilisent les propriétés de rétro-diffusion acoustique des fonds : c'est la manière dont le fond renvoie les ondes acoustiques en fonction de l'angle d'incidence.</p>

Intérêts	Limites
<p>Résolution fine</p> <p>Explore un large couloir sur la route du navire</p> <p>Meilleure interpolation entre les points de sonde</p> <p>Image en niveau de gris de la réflectivité du fond</p>	<p>Acquisition et traitement complexes</p> <p>Coût du matériel élevé</p>

Modalités de mise œuvre et coûts	
Compétences requises	Requiert un haut niveau de technicité
Coût d'acquisition	35.000 à 63.000 €
Coût de traitement	500 à 900 €/Km ² d'intervention
Fourchette du coût de mise en œuvre	500 à 900 €/Km ² d'intervention

**S
U
I
V
I

B
A
T
H
Y
M
E
T
R
I
Q
U
E**

Annexe 8:Fiche technique Tachéomètre

Tachéomètre

Caractéristiques techniques	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Domaines : Dunes, falaises, plage, estran ✓ Précision : 5 cm ✓ Type d'informations fourni : mesures géométriques, informations géographiques ✓ Utilité : précision et rapidité des mesures ✓ Exemples d'application : travaux publics, agricultures

Principe
Le principe du tachéomètre consiste à mesurer deux angles et une distance pour repérer un point dans l'espace.

Intérêts	Limites
Facilité de mise en œuvre Très bonne performance à courte distance Grande précision (±5 cm pour le littoral)	Réfraction atmosphérique Source d'erreurs (décalage d'horloge, éphémérides, ...) Portée de base ne dépasse pas 300 m

Modalités de mise œuvre et coûts	
Compétences requises	Brigade en opération à la journée de 2 opérateurs au minimum
Coût d'acquisition	3.700 à 6.500 €
Coût de traitement	500 à 600 €/Jour
Fourchette du coût de mise en œuvre	500 à 600 €/Jour

**S
U
I
V
I

T
O
P
O
G
R
A
P
H
I

Q
U
E**

Annexe 9: Fiche technique de la vidéo surveillance

Vidéo surveillance

Caractéristiques techniques	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Domaines : Estran, plages ✓ Précision : ± 10 m ✓ Type d'informations fourni : mesures géométriques, informations géographiques ✓ Utilité : uniformisation des mesures ✓ Exemples d'application : Suivi de la position du trait de côte, identification des zones d'érosion, surveillance des rechargements sableux

Principe	
<p>Le principe de la vidéo surveillance est basé sur la photogrammétrie qui permet de transformer une image oblique brute en une image métrique plane. C'est-à-dire qu'elle utilise la parallaxe obtenue entre deux images acquises selon des points de vue différents.</p>	
Avantages	Inconvénients
<p>Observation d'un site sous différents angles de vue</p> <p>Haute résolution spatiale : 10 km</p> <p>Haute résolution temporelle : 1 heure</p> <p>Répétitivité de la prise de vue</p> <p>Enregistrement automatique des images</p>	<p>Distorsion des échelles</p> <p>Qualité atmosphérique</p> <p>Erreurs de parallaxe</p>

Modalités de mise œuvre et coûts	
Compétences requises	Personnel qualifié pour le traitement
Coût d'acquisition	45.000 à 50.000 € pour équiper la station
Coût de traitement	4.500 à 7.000 € par an
Fourchette du coût de mise en œuvre	4.500 à 7.000 €/an

P
H
O
T
O
-
I
N
T
E
R
P
R
E
T
A
T
I
O
N

Annexe 10: Questionnaire

« Méthodes et techniques d'observations et suivis de la dynamique côtière »

Le Réseau d'Observation du Littoral Normand et Picard réalise un bilan des connaissances sur les méthodes et techniques d'observations de la dynamique côtière sur la façade littorale de Basse-Normandie, Haute-Normandie et de Picardie. Afin de mener à bien cette étude, pouvez-vous compléter le questionnaire ci-dessous et de nous le faire parvenir dès que possible. Nous vous remercions par avance du temps que vous pourrez consacrer à fournir ces renseignements.

1. Votre équipe/service a-t-il mené des études sur la dynamique :

- Du trait de côte Oui Non
- De la couverture sédimentaire côtière Oui Non

Si oui, quelles méthodologies avez-vous mises en œuvre ?

2. Quand et sur quelle zone du littoral normand-picard ont eu lieu ces études ?

Études	Date	Zone étudiée

3. À quelle échelle les études menées se déroulent-elles ? Précisez la localisation.

- Locale (plage, estuaire,....) :
- Façade littorale (Ouest Cotentin,....) :
- Régionale (Littoral normand-picard,) :

4. Les méthodes utilisées

Le tableau suivant a pour objectif de faire un point sur les méthodes d'études qui sont mises en œuvre par les partenaires du ROLNP. Pour une meilleure synthèse, merci de préciser si votre équipe possède le matériel indiqué, l'emprunte ou le loue pour des périodes d'utilisation spécifiques.

	Équipement	Possédé	Emprunt/Location	Achat envisagé Échéance
Téledétection aérienne	Photographies planes/obliques (stéréoscopie, photo- interprétation)			
	Autres porteurs (drone, ballon captif, hélicoptère, ULM,)			
	LIDAR			
Téledétection spatiale	Spot 5			
	FORMOSAT-2			
	RADAR			
	Autres			
Géophysique	Sismique réflexion haute résolution			
	Sonar latéral			
	Bathymétrie mono-faisceau			
	Bathymétrie multi-faisceau			
	Gravimétrie			
Topographie	Autres			
	Tachéomètre			
	Vidéo (Webcam)			
	Perche optique			
	DGPS			
	Repères de terrains (piquets, objets remarquables, ...)			
Masse d'eau	Autres			
	Sonde multiparamétrique			
	Courantomètre			
Traceurs sédimentaires	Autres			
	Naturels (minéraux argileux, minéraux lourds, ...)			
Logiciels	Artificiels (sable fluorescent, ...)			
	SIG			
Divers	Modélisation			
	Piège à sédiments			
	Analyse sédimentologique			
	Moyens à la mer			
	Stations météorologiques			
	Autres			

Fréquence d'utilisation s'il y'a lieu

Équipement		Très courant	Courant	Rarement
Télédéttection aérienne	Photographies planes/obliques (stéréoscopie, photo-interprétation)			
	Autres porteurs (drone, ballon captif, hélicoptère, ULM,)			
	LIDAR			
Télédéttection spatiale	Spot 5			
	FORMOSAT-2			
	RADAR			
	Autres			
Géophysique	Sismique réflexion haute résolution			
	Sonar latéral			
	Bathymétrie mono-faisceau			
	Bathymétrie multi-faisceau			
	Gravimétrie			
Topographie	Autres			
	Tachéomètre			
	Vidéo (Webcam)			
	Perche optique			
	DGPS			
	Repères de terrains (piquets, objets remarquables, ...)			
Masse d'eau	Autres			
	Sonde multiparamétrique			
	Courantomètre			
Traceurs sédimentaires	Autres			
	Naturels (minéraux argileux, minéraux lourds, ...)			
Logiciels	Artificiels (sable fluorescent, ...)			
	SIG			
Divers	Modélisation			
	Piège à sédiments			
	Analyse sédimentologique			
	Moyens à la mer			
	Stations météorologiques			
	Autres			

Annexe 11 : Compte rendu de réunion GEOCEANO & ROLNP

Stage - ROLNP		
Méthodes et techniques d'observations et suivis de la dynamique côtière (intérêts, limites, précisions, coûts, etc.)		
Lieu et date de la réunion :		
Bureaux Intechmer à Cherbourg le 21 juin 2012		
Personnes présentes		
Structure	Nom	Poste
Université de Caen/GEOPHEN	M. COSTA	Professeur des Universités
ROLNP	Mme PFEIFFER	Chef de projet
	M. THULIE	Chef de mission Géomatique
Intechmer/GEOCEANO	M. MEAR	Maître de conférences
	M. POIZOT	Ingénieur d'études
ROLNP/UCBN	M. M'BODJ	Étudiant -Stagiaire

1. État d'avancement du stage

Un état des lieux a été fait avec la présentation des méthodes, de la fiche type par méthode ainsi que par partenaire.

Les remarques ont permis :

- ✓ de valider le classement par lequel les méthodes seront abordées ;
- ✓ de corriger le contenu et les entrées de la fiche type partenaire.

Les recommandations ont été faites sur l'importance :

- ✓ de proposer des fourchettes sur les coûts de mise en place de chaque méthode ;
- ✓ d'insister sur les compétences régionales.

Enfin, le format de la bibliographie a été abordé afin qu'il soit conforme aux normes définies dans le cahier de charge.

2. Comment harmoniser les sites GEOWEB du ROLNP et GEOCEANO pour une stratégie commune dans l'organisation des données ?

Intechmer/GEOCEANO souhaite bénéficier de l'expertise du Géomaticien du ROLNP pour optimiser son GEOWEB.

A la suite de la réunion, une fiche type par méthode et une autre par partenaire ont été élaborées. Elles sont jointes avec courrier pour validation.

Table des matières

Sigles et abréviations	IX
Avant propos	1
Introduction générale	2
I. Contexte de l'étude	3
I.1 Structure administrative d'accueil : le ROLNP	3
I.2 Structure d'accueil : le laboratoire GEOCEANO du LUSAC de l'UCBN	4
I.3 Le cahier de charges	4
II. Le trait de côte	7
II.1 Définitions	7
II.2 Les types de trait de côte	8
II.2.1 Les côtes rocheuses	8
II.2.2 Les côtes meubles	9
II.3 Dynamique du trait de côte	10
II.4 Typologie et mobilité des littoraux normand- picards	11
III. Les sédiments	16
III.1 Définitions	16
III.2 Typologie des sédiments	17
III.3 Dynamique sédimentaire	17
III.4 Typologie et mobilité des sédiments du littoral normand-picard	18
IV. Suivi du littoral : méthodes et techniques	19
IV.1 Méthodes d'analyse de la dynamique du trait de côte	20
IV.1.1 La photo-interprétation	20
IV.1.2 Le suivi topographique	22
IV.2 Méthodes d'analyse des dynamiques sédimentaires	26
IV.2.1 Partie aérienne et subaérienne	26
IV.2.2 La partie sous-marine	26
IV.3 Autres méthodes	31
IV.3.1 Le tachéomètre	31
IV.3.2 Le magnétomètre	32
IV.3.3 La vidéo surveillance : Système ARGUS	33
IV.3.4 Le traceur sédimentaire	34

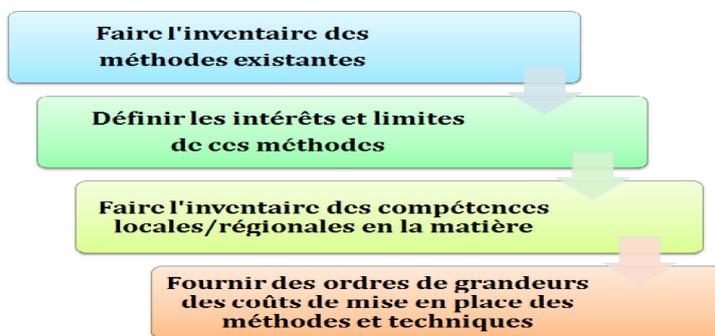
IV.3.5 Le piège à sédiments.....	35
V. Compétences régionales.....	35
V.1 Travail effectué	36
V.2 Les méthodes utilisées.....	37
V.3 Catalogue des savoir-faire régional.....	39
V.3.1 Le laboratoire GEOCEANO de l'Intechmer	39
V.3.2 Le laboratoire Géographie Physique et Environnement (GEOPHEN).....	39
V.3.3 Le laboratoire Morphodynamique Continentale et Côtière (M2C).....	39
V.3.4 Le laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC)	40
V.3.5 Université de Picardie Jules Vernes.....	40
V.3.6 Le laboratoire Biologie des Mollusques marins et des Écosystèmes Associés (BioMEA)	41
V.3.7 Le Conservatoire Botanique National de Bailleul – Haute-Normandie (CBNBL).....	41
V.3.8 Groupe d'Etude des Milieux Estuariens et Littoraux (GEMEL).....	41
V.3.14 Réserves Naturelles Nationales de Beauguillot (RNN Basse-Normandie).....	42
Conclusion	43
Bibliographie.....	45
Glossaire.....	47
Table des cartes.....	50
Table des tableaux.....	50
Table des photographies.....	50
Table des figures.....	51
Annexes.....	53
Table des matières.....	69

Méthodes et techniques d'observations pour le suivi de la dynamique côtière

Réseau d'observation du Littoral Normand Picard
CNAM-Intechmer - Cherbourg

Suivant les méthodes d'analyse de la dynamique du trait de côte et des dynamiques sédimentaires, quelles stratégies pour le suivi de la dynamique du littoral Normand et picard ?

Méthodologie :



Résultats :

Dynamique du trait de côte : Principales techniques					
Méthodes	Domaine	Type de mesure	Précision	Mise en œuvre	Coût (HT)
Imagerie	Falaises, Plages Intertidal	Géométrie des clichés	±50 cm	Acquisition Clichés IGN	1500 €/Km
DGPS	Plages Intertidal Falaises	Coordonnées Angles Distances	Centimétrique	Point par point ou sur Mobile	600 €/Jour Brigade en opération
Lidar	Plages Intertidal Falaises	Profil altimétrique	±15 cm	Spécifique Préparation du site en amont	1,200,000 € Acquisition
Scanner Terrestre	Plages Intertidal Falaises	Topographie	Centimétrique	Point par point	800 €/Jour Brigade en opération

Dynamiques sédimentaires : Principales techniques					
Méthodes	Domaine	Type de mesure	Précision	Mise en œuvre	Coûts (HT)
DGPS	Plages Intertidal Falaises	Coordonnées Angles Distances	±5 cm	Point par point ou sur Mobile	600 €/Jour Brigade en opération
Lidar	Plages Intertidal Falaises	Profil altimétrique	±15 cm	Spécifique Préparation du site en amont	1,200,000 € Acquisition
Sondeur multifaisceau	Immergé	Coordonnées Altimétrie	±10 cm	Point par point Calibrage logiciels	1500 à 7500 €/Jour d'intervention
Sonar à balayage latéral	Immergé	Morphologie	Métrique	Spécifique	400 à 600 €/km²

Retour sur problématique :

Compétences régionales : Elles existent mais sur des programmes de recherche localisés qui n'ont pas l'emprise spatiale des trois régions et avec une pérennité trop courte ou pas assurée.

Méthodes proposées :

- ✓ Dans le long terme : Lidar aéroporté
- ✓ Dans le court terme à enjeux forts : DGPS centimétrique
- ✓ Pour la surveillance d'ouvrages/travaux : DGPS centimétrique
- ✓ Pour l'étude des processus hydrosédimentaires : Lidar bathymétrique, Sonar, Sondeur multifaisceaux

La dynamique du littoral ne peut être appréciée correctement à court ou long terme que si l'on dispose d'une base de données la plus exhaustive possible établie à partir d'observations fiables, comparables et reproductible.

C'est bien d'accumuler de la donnée mais diffuser les métadonnées et les résultats est encore mieux. C'est l'une des missions du ROLNP