

Jan 2000 1866

**UNIVERSITE DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DE LILLE
UFR DE GEOGRAPHIE**

**LABORATOIRE «GEOGRAPHIE
DES MILIEUX ANTHROPISES»
URA 1688 CNRS**

ANNEE 1997

NUMERO D'ORDRE : 2188

THESE DE DOCTORAT EN GEOGRAPHIE

«Analyse géographique du milieu physique»

présentée par :

PHILIPPE DEBOUDT



**ETUDE DE GEOMORPHOLOGIE HISTORIQUE
DES LITTORAUX DUNAIRES
DU PAS-DE-CALAIS ET DU NORD-EST DE LA MANCHE**

Volume I

soutenue le 18 décembre 1997 devant le jury composé de :

Président et

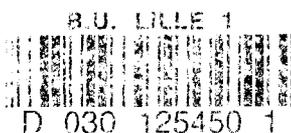
Rapporteur : Monsieur A. MIOSSEC, Professeur à l'Université de Nantes

Rapporteur : Monsieur F. HINSCHBERGER, Professeur Emérite à l'Université de Caen

Directeur : Madame Y. BATTIAU-QUENEY, Professeur à l'Université de Lille 1

Examineurs : Monsieur E.J. ANTHONY, Professeur à l'Université du Littoral (Dunkerque)

Monsieur J.J. DUBOIS, Professeur à l'Université de Lille 1



AVANT-PROPOS

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de Thèse Madame Yvonne BATTIAU-QUENEY. Le travail accompli depuis 1990 doit beaucoup à ses encouragements, à ses critiques et à sa curiosité scientifique, toujours manifestée, pour l'orientation peu «traditionnelle» de mes recherches en géomorphologie.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Jean-Jacques DUBOIS. Ses recherches en biogéographie historique ont constitué une référence pour notre travail, elles ont déterminé le choix de la problématique de cette thèse. Les entretiens que nous avons eus à l'U.F.R. ou sur le terrain ont toujours été une étape importante dans le cheminement de ma réflexion scientifique sur le littoral.

Madame BATTIAU-QUENEY et Monsieur DUBOIS ont donné beaucoup de leur temps à la lecture de ce travail : je les remercie pour les critiques et les corrections apportées.

Je remercie Monsieur HINSCHBERGER et Monsieur MIOSSEC de m'avoir fait l'honneur d'accepter d'être les rapporteurs de ma thèse.

Je remercie Monsieur ANTHONY pour avoir accepté d'examiner ce travail.

L'orientation importante de ce travail de thèse vers la géographie historique n'aurait pas été possible sans l'accueil qui m'a été réservé au Service Maritime des Ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais ; je remercie vivement le Directeur du SMBC et tous les personnels de cette administration qui m'ont un jour apporté leur aide.

Je remercie plus particulièrement, Monsieur François VICTOR, Ingénieur de la subdivision «Environnement et Eaux du Littoral», qui dès le début de la thèse m'a permis de l'accompagner à plusieurs réunions, sur le terrain ou en mairie, ainsi que Monsieur Eric

LEJEUNE, qui lui a succédé en 1995 et qui m'a donné tous les moyens matériels pour travailler dans sa subdivision.

Je remercie très chaleureusement Monsieur Sylva TULLIE, Chargé d'études en Environnement, pour m'avoir accompagné dans les archives du Service Maritime de Boulogne-sur-Mer et permis (et aider) d'emporter dans son bureau la majeure partie des dossiers dont j'avais besoin (je lui dois encore des excuses pour lui avoir fait respirer toute cette poussière...) ; les résultats obtenus à partir du dépouillement des archives doivent beaucoup à sa patience.

Je remercie Monsieur Patrick BLAMANGIN, Assistant d'études, qui m'a accompagné de nombreuses fois sur le littoral du Pas-de-Calais et m'a appris les techniques du levé topographique. Je dois aussi remercier Monsieur Alain ROLLAND pour son aide dans l'utilisation des logiciels informatiques et les moyens matériels qu'il a mis à ma disposition pour la préparation des communications réalisées pendant la thèse.

La recherche de sources historiques et le dépouillement de fonds d'archives m'a amené à travailler dans de nombreuses bibliothèques ou aux archives départementales ; je tiens à remercier les personnes rencontrées dans ces organismes pour leur accueil et leur patience.

L'achèvement de cette thèse doit aussi beaucoup à l'enseignement reçu à l'U.F.R. de Géographie de l'Université de Lille et plus particulièrement aux cours de géomorphologie de Monsieur Jean SOMME. Les entretiens avec Monsieur Edward ANTHONY, Professeur à l'Université du Littoral, sur la recherche en géomorphologie littorale, ont toujours été d'un grand intérêt scientifique. Des remerciements aussi à toute l'équipe administrative de l'U.F.R. de Géographie (en particulier Béatrice Dheygere, Nicole Cunat et Monique Bécu) pour son aide et ses encouragements pendant toute la durée de la thèse.

Je ne saurais oublier mes parents pour leur soutien et leurs encouragements pendant toutes ces années d'études universitaires, qu'ils en soient ici remerciés. Un clin d'oeil à Nesquik. Je pense aussi beaucoup, pendant cette période difficile à vivre pour ceux qui me sont proches, à Valérie qui m'a toujours témoigné son amour et sa tendresse.

SOMMAIRE

VOL. I

INTRODUCTION GENERALE 19

<p>PREMIERE PARTIE : PROBLEMATIQUE GENERALE. SOURCES ET METHODES. LES PRINCIPAUX TRAVAUX ANTERIEURS.</p>

CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE GENERALE. Une étude de géomorphologie littorale et de géographie historique. 24

I) **Du milieu et de l'environnement en géographie physique.** 24

II) **Le concept de géosystème : un emboîtement des échelles spatiales et des temporalités.** 24

A) Définition du concept de géosystème : application au milieu littoral. 24

B) Les différents pas de temps de l'étude : une combinaison de temporalités 25

III) **De la biogéographie historique à la géomorphologie historique.** 27

CHAPITRE 2 : SUR L'ETUDE DU ROLE DES SOCIETES HUMAINES DANS L'EVOLUTION DES LITTORAUX DUNAIRES. ETAT DES RECHERCHES ACTUELLES ET PRESENTATION DES SOURCES UTILISEES. 28

I) **Aperçu sur les recherches actuelles relatives aux rapports entre les organisations humaines et l'évolution du trait de côte.** 30

A) <u>Présentation des recherches réalisées sur les côtes à wadden du littoral allemand de la Mer du Nord, du littoral du New Jersey (Etats-Unis) et du littoral atlantique français.</u>	30
B) <u>Présentation des recherches réalisées sur la côte occidentale du Cotentin et le littoral du Finistère (Bretagne).</u>	32
II) La gestion de la nature littorale en France : quelques réflexions basées sur les travaux antérieurs.	34
A) <u>Présentation des principales orientations de la recherche française sur la gestion de la nature littorale.</u>	34
B) <u>La mise à plat du système français de lutte contre l'érosion côtière : les «quatre cercles de la protection côtière».</u>	35
1) Des textes de Colbert à l'Etat napoléonien : une conception militaire et «terrienne» de la défense du trait de côte.	35
2) Du trait de côte au littoral et de la défense à l'aménagement : le tournant politique des années 1970.	36
III) Présentation des sources historiques étudiées. Les principaux travaux antérieurs et l'état d'avancement des recherches actuelles sur les littoraux du Pas-de-Calais et du Cotentin.	37
A) <u>Présentation des sources, travaux antérieurs et recherches actuelles sur le littoral du Pas-de-Calais.</u>	37
1) Les travaux réalisés sur le littoral du Pas-de-Calais.	37
2) Les sources utilisées pour le littoral du Pas-de-Calais.	39
B) <u>Présentation des sources, travaux antérieurs et recherches actuelles sur le littoral nord-est du Cotentin.</u>	42

DEUXIEME PARTIE :
PRESENTATION DES LITTORAUX ETUDIES.

CHAPITRE 3 : PRESENTATION DES LITTORAUX ETUDIES. De la mise en place du littoral actuel pendant l'Holocène aux premières interventions des sociétés humaines sur le littoral.	44
I) Le littoral de la plaine maritime flamande.	44
A) <u>Les limites de l'étude et les caractères généraux du littoral actuel. Les principaux travaux antérieurs.</u>	44
B) <u>Les variations du niveau de la mer et l'évolution de la ligne de rivage pendant l'Holocène.</u>	46
C) <u>L'humanisation de la plaine maritime et de son littoral du IX^{ème} siècle à la première moitié du XX^{ème} siècle ou la conquête de nouveaux territoires sur la mer.</u>	49
1) La transgression de Dunkerque III et l'évolution littorale postérieure au VIII ^{ème} siècle.	49
2) L'aménagement des polders de la zone littorale actuelle et la fermeture des zones estuariennes au XVIII ^{ème} siècle.	50
D) <u>L'étude de l'évolution de la ligne de rivage depuis le milieu du XVIII^{ème} siècle: bilan des travaux antérieurs et nouveaux résultats pour la période 1970-1996.</u>	52
1) Le littoral des falaises du cap Blanc-Nez à Calais : une tendance à l'érosion et les premières interventions des sociétés humaines pour tenter de stabiliser l'évolution naturelle du trait de côte.	52

2) Le littoral de Calais à Dunkerque : une tendance à la progradation depuis le XII ^{ème} siècle interrompue localement par des reculs du trait de côte.	54
II) Le littoral de la plaine maritime picarde.	56
A) <u>Limites géographiques et caractères généraux.</u>	56
B) <u>La mise en place du littoral de la plaine maritime picarde. Comparaison avec le littoral de la plaine maritime flamande.</u>	56
C) <u>Estuaires, marais maritimes et waddens : leur rôle dans l'évolution du littoral de la plaine maritime picarde.</u>	58
D) <u>L'anthropisation des estuaires de l'Authie et de la Canche : caractères depuis le Moyen Age et conséquences sur l'évolution du trait de côte.</u>	60
1) La conquête des marais maritimes du Moyen Age au milieu du XIX ^{ème} siècle.	61
2) Du milieu du XIX ^{ème} siècle à nos jours : la fin des renclôtures et le développement de l'intervention géotechnique des sociétés humaines dans l'évolution des rives nord des estuaires de l'Authie et de la Canche.	62
III) Le littoral de la côte nord-orientale du Cotentin, entre la Pointe de Néville et Saint-Vaast-La-Hougue (Département de la Manche).	65
A) <u>Limites géographiques et caractères généraux. Les principaux travaux antérieurs.</u>	65
B) <u>L'étude des formations meubles littorales du Val de Saire : chronostratigraphie et mise en place pendant le Quaternaire.</u>	66
C) <u>L'étude de l'évolution de la ligne de rivage depuis le milieu du XIX^{ème} siècle : apports de la comparaison des plans cadastraux et des photographies aériennes.</u>	68

D) <u>Les caractères de l'humanisation du littoral nord-est du Cotentin.</u>	70
1) Une perception précoce du rôle des influences humaines dans la dynamique du littoral.	70
2) L'institutionnalisation de la défense contre la mer au XIX ^{ème} siècle et l'originalité du littoral de Réville sur la côte nord-orientale du Cotentin.	71

<p>TROISIEME PARTIE : LES MILIEUX DUNAIRES DU PAS-DE-CALAIS ET DU NORD-EST DE LA MANCHE : ANALYSE A PLUSIEURS ECHELLES SPATIO-TEMPORELLES.</p>

CHAPITRE 4 : GEOMORPHOLOGIE ET BIOGEOGRAPHIE DES LITTORAUX DUNAIRES DU PAS-DE-CALAIS ET DE LA MANCHE ORIENTALE. Apports de l'étude de la végétation littorale à l'étude de la morphologie et de la dynamique des milieux dunaires.	73
I) Une étude des relations entre la morphologie, la végétation et les interventions des sociétés humaines.	75
A) <u>Morphologie et végétation littorales du domaine d'étude.</u>	76
B) <u>Evolution des conceptions scientifiques et présentation de la méthode utilisée pour l'étude de la végétation littorale : l'adaptation des méthodes de la phytosociologie à une étude de géomorphologie littorale.</u>	79
1) Evolution des concepts relatifs à l'étude scientifique de la végétation en milieu dunaire.	79
2) Présentation de la méthode d'étude de la végétation dunaire.	82
C) <u>Sur les relations entre les aspects morphologiques, phytogéographiques et anthropiques dans le processus d'évolution des littoraux dunaires.</u>	84

1) Présentation des travaux antérieurs.	84
2) Typologie des littoraux étudiées d'après la classification de Short et Hesp (1982) et de Carter (1988, 1990).	87
3) Une étude des conséquences des interventions humaines sur la dynamique des milieux dunaires.	89
II) Morphologie et végétation sur le littoral de la plaine maritime flamande entre Sangatte et Oye-Plage.	90
A) <u>Typologie des unités morphologiques et des séquences phytogéographiques sur la dune bordière du Platier d'Oye.</u>	91
1) A l'ouest, un littoral progradant associé à une dynamique linéaire dominante de la végétation dunaire.	91
2) Au centre, un littoral en érosion sous la double commande des processus morphogéniques et de la pression anthropique.	92
3) A l'est, un littoral en érosion transformé par la pression cynégétique.	94
B) <u>Typologie des unités morphologiques et des séquences phytogéographiques sur la dune bordière de Sangatte.</u>	94
1) A l'ouest, une dune bordière stabilisée.	95
2) Un cas exemplaire de restauration d'une dune bordière.	97
3) A l'est, un stade avancé de dégradation de la dune bordière de Sangatte.	101
III) Morphologie et végétation sur le littoral de la rive nord de la baie de l'Authie.	102

A) <u>L'extrémité septentrionale de la Pointe du Haut-Banc : des milieux dunaires anthropisés au contact de la station de Berck-Plage.</u>	105
B) <u>Un système dunaire dont la morphologie et la végétation sont déterminées par la dynamique éolienne.</u>	107
C) <u>La succession de deux unités morphologiques à la Pointe de la Rochelle: une dune bordière active et un contre-poulier.</u>	109
D) <u>De la dune bordière aux mollières de la baie de l'Authie : conséquences de la progression des marais maritimes sur l'évolution morphologique et phytogéographique des milieux dunaires.</u>	111
IV) Morphologie et végétation sur la côte nord-orientale du Cotentin.	112
A) <u>Le littoral de Jonville (commune de Réville) : caractères morphologiques et phytogéographiques d'un littoral progradant.</u>	113
B) <u>Le littoral oriental du Cotentin : caractères morphologiques et phytogéographiques d'un littoral en érosion.</u>	114
C) <u>Structure et dynamique des milieux dunaires de la côte nord-orientale du Cotentin.</u>	114
Conclusion du chapitre 4.	115
CHAPITRE 5 : PRESENTATION DU CADRE MORPHODYNAMIQUE ET MORPHOSEDIMENTAIRE DES LITTORAUX DU DOMAINE D'ETUDE.	117
D) Les conditions hydrodynamiques, météorologiques et la dynamique sédimentaire des littoraux du Pas-de-Calais et du nord-est Cotentin.	118

A) <u>Les sources sédimentaires sur les côtes basses meubles de la Mer du Nord et de la Manche orientale : le rôle de la plate-forme continentale.</u>	118
B) <u>Des conditions marégraphiques caractéristiques des plages macrotidales.</u>	120
1) Variations géographiques de la marée sur les littoraux étudiés.	120
2) Le rôle des courants de marée dans les transports sédimentaires.	120
C) <u>Les caractéristiques de la houle et son rôle dans les transports sédimentaires.</u>	122
1) Les interactions entre la marée et la houle : détermination de zones d'action dominante respectives.	122
2) Le rôle des houles dans le transport côtier longitudinal : principaux résultats de travaux réalisés sur la côte ouest du Cotentin et le littoral dunkerquois.	123
3) Directions de propagation et statistiques des houles sur les littoraux du Nord-Pas-de-Calais et du Nord-Est Cotentin.	125
4) Analyse de l'influence de la houle sur la dynamique du littoral (évolution du trait de côte et transports sédimentaires dans la zone côtière) : l'exemple des conditions de la propagation de la houle à l'approche de la rive nord de la baie de l'Authie.	127
D) <u>Le rôle des conditions météorologiques sur la dynamique littorale.</u>	130
1) Caractéristiques du régime des vents : directions dominantes et conséquences sur le régime des houles.	131
2) Le régime des tempêtes de 1985 à 1995 : analyse climatologique.	131
II) L'évolution des concepts relatifs à l'étude de la dynamique du littoral en géomorphologie.	133

A) <u>Les différentes échelles spatio-temporelles de la dynamique littorale : approches déductives et inductives.</u>	133
B) <u>La dynamique du littoral considérée dans le cadre de cellules sédimentaires.</u>	135
C) <u>Application du concept de cellule sédimentaire au littoral du Nord-Pas-de-Calais et à la côte nord-orientale du Cotentin.</u>	137

<p>QUATRIEME PARTIE : ETUDE DE L'AMENAGEMENT ET DE LA GESTION DES LITTORAUX DU PAS-DE-CALAIS ET DU NORD-EST DE LA MANCHE AUX XIX ET XX^{EMES} SIECLES.</p>

CHAPITRE 6 : ETUDE DU ROLE DES TEMPETES DANS LES RAPPORTS ENTRE LES SOCIETES HUMAINES ET L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE.	143
---	-----

I) Présentation de la problématique et des sources utilisées.	145
A) <u>La tempête, événement météorologique considéré comme un processus morphogénique sur le littoral.</u>	145
B) <u>L'intérêt des sources historiques et des archives pour l'étude des relations entre les tempêtes, les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte.</u>	146
C) <u>Une étude appliquée au littoral de Sangatte.</u>	147
II) Les tempêtes et la dynamique des littoraux dunaires anthropisés : du phénomène météorologique au processus morphogénique.	148
A) <u>Les relations entre le phénomène météorologique et la morphogénèse.</u>	150
B) <u>Les conséquences des tempêtes sur la morphologie et la dynamique du littoral.</u>	153

III) Etude des rapports entre les tempêtes, les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte : apport des archives et application au littoral de Sangatte.	155
A) <u>Etude de la fréquence des tempêtes sur le littoral de Sangatte depuis la fin du XVI^{ème} siècle.</u>	155
B) <u>Les caractéristiques des tempêtes ayant provoqué des dommages sur le littoral de Sangatte depuis 1882.</u>	158
1) Les tempêtes de l'hiver 1921.	158
2) La tempête de 1953.	159
C) <u>Etude de l'évolution des réponses apportées par les sociétés humaines aux dommages causés par les tempêtes sur le littoral.</u>	161
1) La tempête du 7 janvier 1905 : une relation entre les Wateringues, l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis et l'Armée.	161
2) Les tempêtes de novembre et décembre 1921 : vers une protection du trait de côte qui prend en compte la mobilité sédimentaire du littoral.	163
3) La tempête de décembre 1925.	165
4) La tempête des 31 janvier, 1 ^{er} et 2 février 1953 : les conséquences de l'intervention des sociétés humaines dans l'impact des tempêtes sur le littoral.	166
D) <u>Conclusion partielle : les trois cadres de l'intégration de la tempête dans l'espace et le milieu littoral (figure 97).</u>	168

Conclusion du chapitre 6 : Sur les rapports entre les tempêtes, les sociétés humaines et la dynamique du littoral : orientation des recherches actuelles et nouvelles perspectives. 172

La place des tempêtes dans la dynamique des littoraux dunaires : un emboîtement d'échelles spatio-temporelles.

CHAPITRE 7 : LES ETAPES DE LA MISE EN PLACE DES OUVRAGES DE DEFENSE DU TRAIT DE COTE ET L'EVOLUTION DES CONCEPTIONS DES SOCIETES HUMAINES PAR RAPPORT A LA GESTION DU LITTORAL DE LA SECONDE MOITIE DU XVII^{ÈME} SIECLE AUX ANNEES 1980. 178

I) La plus longue histoire de défense du trait de côte dans le Pas-de-Calais : le littoral de Sangatte. 179

A) La digue de Sangatte ou la digue de Pénélope : un rôle déterminant pour la défense des Wateringues de 1598 à 1921. 180

1) La protection du littoral : un enjeu pour la défense des Wateringues du Pas-de-Calais. 180

2) La création de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis : une prise en charge collective de la protection du territoire des Wateringues. 182

B) L'extension des ouvrages de défense transversaux : une prise de conscience de la dynamique sédimentaire et l'affirmation de la conception des Ingénieurs du Service Maritime. 186

1) Les débuts de la prise en compte de la dynamique sédimentaire : la mise en place d'un système d'épis à partir des années 1920. 186

2) Une intervention humaine ambivalente sur l'évolution de la dune bordière : d'une volonté de contrôler son évolution aux conséquences de l'Occupation de Guerre. 188

3) 1950-1980 : le désengagement financier des acteurs institutionnels dans la protection du trait de côte.	189
II) Du caractère ambivalent de l'anthropisation sur la rive nord de la baie de l'Authie (milieu du XIX^{ème} siècle) à la généralisation des ouvrages de protection du trait de côte.	190
A) <u>Du choix de l'implantation d'un hôpital sur le littoral à la mise en place d'ouvrages de protection du trait de côte.</u>	190
B) <u>Comparaison des rapports entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines sur les littoraux de Sangatte et de la baie de l'Authie.</u>	193
C) <u>L'institutionnalisation de la défense contre la mer : la protection du trait de côte au service de celle des terres basses de la plaine maritime picarde.</u>	194
D) <u>Sur l'évolution des rapports entre l'évolution du littoral et les sociétés humaines : comparaison des rives nord de la baie de l'Authie et de l'estuaire de la Canche.</u>	196
III) L'évolution des rapports entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines sur la côte nord-orientale du Cotentin.	198
A) <u>L'institutionnalisation de la défense contre la mer sur la côte nord-orientale du Cotentin au XIX^{ème} siècle.</u>	198
B) <u>Le littoral de Réville-Jonville : des premiers aménagements aux conflits d'usage des années 1990.</u>	200
1) Les premiers aménagements sur le littoral de Jonville et la perception de changements dans le paysage littoral.	200
2) De l'émergence d'une volonté collective pour la défense du littoral à son institutionnalisation.	201
3) Les conséquences de la perception d'un changement dans la dynamique du littoral de Jonville.	203

4) L'émergence de conflits dans la gestion du littoral de Réville.	204
Conclusion du chapitre 7 : Bilan de quatre siècles de rapports entre les organisations humaines et l'évolution du trait de côte sur les littoraux du Pas-de-Calais et de la Manche.	204
CHAPITRE 8 : LA GESTION DE LA NATURE LITTORALE DANS LES ANNEES 1990 SUR LES LITTORAUX DE SANGATTE ET DE OYE-PLAGE.	209
I) Le programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière de Fort-Mahon.	209
A) <u>Un changement dans la conception et le traitement du recul du trait de côte sur le littoral de Sangatte (1980-1993).</u>	210
1) Du Maire au Service Maritime : une absence d'intervention sur l'état et la dynamique de la dune bordière commandée par la prise en compte des risques et du potentiel de financement.	211
2) De la digue de Sangatte au programme expérimental de protection de la dune bordière de Fort-Mahon et de l'Association syndicale de la Saline Mouron au Conservatoire du Littoral.	212
B) <u>Le processus de mise en oeuvre du programme expérimental par le Conservatoire du Littoral.</u>	213
1) La philosophie de protection des littoraux dunaires du Conservatoire du Littoral et ses aménagements.	213
2) Du Conservatoire du Littoral au bureau d'étude et du Service Maritime à l'expert scientifique : les acteurs et l'exposé des différentes solutions de protection côtière.	215
a) Les acteurs de la construction du projet.	215

b) Le choix d'une méthode expérimentale de protection côtière en adéquation avec les financements disponibles.	218
C) <u>Etude de l'impact des ouvrages de protection et des méthodes de restauration de la phase expérimentale sur l'évolution du couple plage-dune bordière entre 1993 et 1996.</u>	220
1) L'impact des épis sur l'évolution sédimentaire de la plage.	221
a) Principes généraux de l'impact des épis sur l'évolution de la plage et règles de dimensionnement.	221
b) Présentation de l'évolution de la plage de Sangatte depuis l'implantation des trois épis.	222
2) L'impact des ouvrages expérimentaux sur l'évolution sédimentaire du haut de plage.	223
a) Principes généraux de l'impact des ouvrages longitudinaux du haut de plage et règles de dimensionnement.	223
b) Présentation de l'influence des ouvrages du haut de plage implantés en 1993 sur la plage de Sangatte.	224
<u>La digue en rondins de bois</u>	225
<u>L'ouvrage longitudinal de haut de plage de caractère expérimental</u>	225
D) <u>L'engagement du Conservatoire du Littoral sur le littoral de Sangatte intégré dans le temps long de la protection côtière : analyse critique.</u>	226
II) La protection du lotissement des Ecardines : de l'urbanisation à la protection du cordon dunaire sur le littoral du Platier d'Oye (1970-1996).	229

A) <u>Du lotissement des Ecardines à la Réserve naturelle et du Service Maritime au Conservatoire du Littoral.</u>	231
B) <u>De la restauration des milieux dunaires à la création d'une Réserve naturelle et la construction d'ouvrages de défense du trait de côte</u>	233
1) Le rôle du Conservatoire du Littoral dans la transformation des rapports entre les acteurs institutionnels et le littoral.	233
2) Conséquences de la première intervention du Service Maritime sur l'évolution du trait de côte.	235
C) <u>Les conséquences de la tempête de 1993 sur la mobilisation des acteurs institutionnels et l'anthropisation du littoral.</u>	236
1) Les caractéristiques du projet élaboré par le Service Maritime pour la protection du lotissement des Ecardines.	237
2) Vers la mise en oeuvre d'un programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière du Platier d'Oye ?	240
Conclusion du chapitre 8.	241
CONCLUSION GENERALE	244
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	249
	VOL. II
LISTE DES FIGURES	1
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	8

INTRODUCTION GENERALE

La recrudescence actuelle de l'érosion littorale, soulignée à l'échelle mondiale par plusieurs états des lieux sur le recul de la ligne de rivage ou le démaigrissement des plages (Paskoff, 1981, 1983 ; Bird, 1985 ; Miossec, 1994a), est une préoccupation majeure des sociétés humaines. L'érosion littorale qui affecte principalement les côtes basses meubles et en particulier les littoraux dunaires (Hinschberger, 1996 ; Yoni, 1997) est appréciée dans un contexte socio-économique marqué dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle par une «littoralisation» croissante des activités humaines, contribuant à intégrer les espaces littoraux à l'oekoumène. Au «territoire du vide» caractérisant le littoral du XIX^{ème} siècle, sur lequel la valorisation est limitée à des usages économiques, succède, au XX^{ème} siècle, le littoral du «trop plein» (Corbin, 1988) en relation avec l'émergence du désir de rivage (Corbin, 1995) et, entre autre, la valorisation des espaces littoraux par le développement du tourisme (Dewailly, 1985). La dialectique des rapports entre l'espace littoral et les sociétés humaines est dominée par une conjonction, entre d'une part le recul du trait de côte et d'autre part, le déplacement géographique et la concentration des hommes et des activités sur un espace restreint : le littoral ; cette conjonction est rappelée par Guilcher (1990) : «c'est dans ce rush sur les littoraux qu'on nous annonce que la côte est en train de reculer». Relativement à ce contexte, deux attitudes sont possibles : lutter contre l'érosion marine par la mise en place d'équipements de protection ou aménager le littoral en relation avec une prise en considération de la dynamique littorale ; dans cette deuxième approche, la gestion de l'urbanisation est un moyen d'éviter l'affrontement à la mer (Miossec, 1994a).

Miossec (1993) souligne l'importance du vocabulaire utilisé pour l'étude des rapports société-littoral et la confusion fréquente des deux attitudes : parler d'aménagement du littoral «pour ce qui n'est en somme qu'équipements de la ligne de rivage en matière de défense des côtes». De la même façon, la valorisation fait-elle référence à une volonté de mise en valeur de l'espace littoral ou à une volonté de tirer de la valeur de cet espace ? La définition donnée par Claval (1971) de l'aménagement (Grande Encyclopédie Larousse) et rappelée par Miossec

(1988, 1993) doit être méditée : «ensemble des mesures concertées qui règlent l'utilisation de l'espace et son équipement de manière à assurer le plein épanouissement des individus, à faciliter la vie sociale en minimisant les frictions qui résultent du rapprochement d'activités antinomiques et à éviter les perturbations de l'équilibre naturel dont la destruction serait, immédiatement ou à terme nuisible à la collectivité» ; en définitive, l'aménagement assimilé à la projection d'une pensée sur l'espace suppose que les milieux, au sens naturaliste, soient reconnus dans les mécanismes de type systémique qui les animent. L'étude des rapports entre les sociétés humaines et le littoral doit donc s'appliquer à la connaissance des milieux littoraux et de leur fonctionnement ainsi qu'à l'étude de «leur mise en espace» qui ne correspond pas toujours à un aménagement.

Nous avons choisi pour contexte géographique les littoraux dunaires des départements du Pas-de-Calais et de l'est de la Manche (figure 1) dont les caractères mésologiques déterminent, relativement à une petite échelle spatiale et à l'échelle pluriannuelle, une tendance au recul de la ligne de rivage. Les terrains étudiés caractérisent trois contextes géomorphologiques :

- une dune bordière sur le littoral de la plaine maritime flamande, à l'extrémité méridionale du littoral de la Mer du Nord ; les portions du trait de côte ayant fait l'objet d'un travail de terrain sont situées à Sangatte et à Oye-Plage (figure 2).

- un massif dunaire développé sur la rive nord de baie de l'Authie correspondant à l'un des trois estuaires (avec celui de la Canche et de la Somme) du littoral de la plaine maritime picarde (figure 3).

- des micro-milieux dunaires développés sur le littoral nord-est du département de la Manche (Cotentin), entre la Pointe de Néville et l'embouchure de la Saire, correspondant à une côte de type contraposée (figure 4).

La délimitation des différents terrains ne correspond pas à des unités fonctionnelles ou juridiques : la logique géographique est une double logique géomorphologique et géo-historique. Notre étude se situe, en effet, à l'intersection de deux champs scientifiques : la géomorphologie littorale et la géographie historique.

Paskoff et Kelletat (1991) et Paskoff (1993a) ont rappelé les deux principales approches possibles pour l'étude de la dynamique des milieux littoraux :

- «une approche instrumentale, quantitative et modélisatrice» largement développée par les chercheurs anglo-saxons et caractérisée par une grande numérisation des observations.

- «une approche de caractère historique et de nature empirique qui consiste à éclairer ce qu'a été le comportement d'une côte dans le passé pour comprendre la situation présente». Cette deuxième approche a orienté notre recherche dans deux directions d'investigation : l'étude des répercussions de l'évolution du trait de côte sur les modalités de l'humanisation de l'espace littoral et celle de l'évolution des conceptions des sociétés humaines sur l'anthropisation de l'espace littoral. Sur le littoral du Nord de la France, Briquet (1930b) a déjà développé ce champ de recherches : «Aux transformations naturelles de la côte sont en effet mêlées les manifestations de l'activité humaine, et d'une double manière : l'évolution littorale exerce sur les actes posés par l'homme une répercussion qui les contrarie ou qui les favorise. L'homme à son tour réagit librement sur le cours de cette évolution pour l'entraver ou la seconder» ; il est ici question d'une approche de géographie historique ou, selon le propos de Corlay (1995) de «géo-histoire», «qui vise à retrouver l'évolution des rapports entre les sociétés et l'espace littoral, les cycles d'activités à différents pas de temps, les projets et les stratégies passées».

La première partie de ce travail de thèse expose la problématique générale et présente, en particulier, les principes et méthodes d'une géomorphologie historique des littoraux dunaires qui font référence à la biogéographie historique définie par Dubois (1980, 1989, 1991). Les terrains sont présentés dans la longue durée historique et relativement à une petite échelle spatiale. Par ailleurs, nous nous intéressons autant aux espaces littoraux mis en place, aménagés et territorialisés par les sociétés humaines, qu'aux milieux littoraux résultant de la rencontre entre les contraintes naturelles imposées par le milieu physique et les interventions anthropiques.

La deuxième partie s'inscrit dans une approche géomorphologique. En premier lieu, l'étude des terrains relativement à une grande échelle spatiale et sur le court terme montre l'étroite relation entre les aspects morphologiques, biogéographiques et anthropiques ; ceux-ci

réagissent dialectiquement les uns aux autres pour former des unités de paysage emboîtées et hiérarchisées. En second lieu, les processus morphogéniques qui conditionnent l'évolution des milieux sont présentés ; dans le cadre d'une démarche empirique, les limites des unités fonctionnelles (cellules sédimentaires) sont déterminées. L'analyse des terrains relativement à ces deux échelles spatio-temporelles montre l'importance des variations spatiales dans la dynamique des milieux littoraux et la nécessaire méfiance par rapport aux généralisations sur le thème du recul des côtes (Guilcher, 1990). Selon le propos de Miossec (1993), l'approche géomorphologique permet, par l'analyse des terrains, de dégager une typologie et de montrer la «complexité non point des milieux naturels littoraux mais bien des sociétés qui y sont implantées et développent des pratiques variées». En effet, «les sociétés littorales sont diverses, protéiformes et chaque région, même de petite dimension a sa propre culture, ses propres références» (Miossec, 1993) ; c'est de cette diversité dont il est question dans les deux dernières parties.

La troisième et la quatrième partie de la thèse s'inscrivent dans une approche de géographie historique. Nous présentons la problématique de l'étude des rapports entre le littoral et les sociétés humaines. Dans notre thèse, ces deux termes ont un sens restreint. Il y est plus question du trait de côte que du littoral ; la gestion de la ligne de rivage est, en effet, le point de départ de toute forme d'aménagement de l'espace littoral (Miossec, 1993) et le principal aspect de l'anthropisation du littoral est représenté par le paysage de la défense côtière qui constitue le premier champ d'observation des rapports entre le littoral et les sociétés humaines ; «l'habit d'arlequin» est constitué par les ouvrages de défense du trait de côte (Guilcher, 1990 ; Miossec et Cabanne, 1990 ; Miossec, 1993, 1994a, 1995 ; Paskoff, 1994a). Il est aussi davantage question des acteurs institutionnels concernés par la gestion du littoral que de l'ensemble des sociétés humaines. Le cadre réglementaire de la défense des côtes est ancien et notre intérêt s'est principalement manifesté au Service Maritime, gestionnaire du Domaine Public Maritime.

Trois pas de temps sont considérés pour l'étude des relations entre le littoral et les sociétés humaines :

- le temps des crises ou des événements météorologiques paroxysmiques correspondant aux tempêtes.

- le temps historique des XIX et XX^{èmes} siècles ; à cette échelle temporelle, l'analyse régressive des espaces littoraux permet de déceler des héritages et des séquences évolutives.

- le temps actuel ou les années 1990 ; à partir de deux études de cas, une analyse critique de l'aménagement du littoral du Pas-de-Calais est présentée.

PREMIERE PARTIE :
PROBLEMATIQUE GENERALE.
SOURCES ET METHODES.
LES PRINCIPAUX TRAVAUX
ANTERIEURS.

CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE GENERALE. UNE ETUDE DE GEOMORPHOLOGIE LITTORALE ET DE GEOGRAPHIE HISTORIQUE.

I) Du milieu et de l'environnement en géographie physique.

Dans le champ disciplinaire de la géographie physique, les études sur le thème des rapports entre le milieu naturel et les sociétés humaines se sont multipliées ces vingt dernières années ; elles sont contemporaines de la diffusion des notions de «milieux» et d'«environnement» en géographie physique. Bertrand (1968, 1978), Dauphiné (1979, 1996), Marchand (1980), Bomer (1990, 1994), Robic *et al.* (1992) et Tissier (1996) ont étudié l'émergence de ces notions. D'après ces auteurs, les biogéographes sont les premiers à avoir étudié les rapports milieu naturel-société humaine : «à l'histoire naturelle des milieux s'ajoute l'histoire sociale car l'anthropisation domine très souvent le fonctionnement des milieux naturels» (Bertrand, 1978). Le paysage acquiert une dimension historique et socioculturelle, «le paysage n'a de réalité et de sens que pour un groupe social (...) il est un processus, produit du temps et plus précisément de l'histoire sociale.» (Bertrand, 1978). Le paysage devient la référence essentielle d'une géographie physique privilégiant une approche globale ou systémique pour l'étude des milieux naturels ; cette approche a été conceptualisée par Bertrand (1968) à l'intérieur de la notion de géosystème.

II) Le concept de géosystème : un emboîtement des échelles spatiales et des temporalités.

A) Définition du concept de géosystème : application au milieu littoral.

Le géosystème représente l'unité fonctionnelle et compréhensible de l'espace géographique (Pinchemel P. et Pinchemel G., 1995) dans le cadre d'un emboîtement d'échelles spatio-temporelles. Rougerie et Beroutchachvili (1991), Derruau (1996) et Petit-Berghem

(1996) ont présenté une synthèse sur le concept de géosystème. Trois des six unités hiérarchiques composant le géosystème se situent aux échelles habituelles de perception des paysages : géosystème, géofaciès et géotope sont directement perceptibles sur le terrain et sont caractérisés par une dimension, une physionomie, un fonctionnement et une dynamique. Au géosystème peut correspondre un système dunaire ou une dune bordière et la zone arrière-dunaire. A un niveau scalaire inférieur, plusieurs géofaciès interdépendants possèdent une homogénéité au plan structural et une phase évolutive qui leur sont propres au plan dynamique. Le géofaciès peut, par exemple, correspondre au versant maritime d'une dune bordière. Le plus petit niveau scalaire est représenté par le géotope correspondant à une particularité mésologique, écologique et éventuellement fonctionnelle qui affecte ponctuellement le géofaciès. A ce niveau d'analyse correspondant à l'échelle spatiale d'une forme d'érosion éolienne (caoudeyre) sur le versant maritime de la dune bordière, l'écologie rejoint la géographie par la prise en compte des facteurs micro-climatiques, micro-topographiques et édaphiques. Rappelé par Petit-Berghem (1996), le géosystème correspond à un emboîtement d'échelles spatiales mais aussi à la rencontre de plusieurs temporalités ; un aspect important de notre travail sur le terrain (Chapitre 3) et au contact des archives (Chapitres 6 et 7) consiste à en rendre compte.

B) Les différents pas de temps de l'étude : une combinaison de temporalités.

Un apport important de la thèse réside dans l'association des deux approches naturalistes et historiques pour l'étude des rapports entre le milieu littoral et les sociétés humaines : dans le cadre de cette dernière approche, plusieurs pas de temps sont considérés :

- le temps long marqué par la prépondérance des facteurs naturels dans l'évolution de la position de la ligne de rivage (contexte climatique, variations du niveau de la mer, variations du bilan érosion-sédimentation). La rupture temporelle importante dans cette évolution est marquée par les débuts de l'interférence entre l'évolution naturelle du littoral et les interventions anthropiques (Partie 2).

- le temps historique des XIX et XX^{èmes} siècles. D'après Paskoff (1993a), ce pas de temps est, pour trois raisons, le plus significatif pour l'étude des rapports entre le littoral et les sociétés humaines :

- «il est suffisamment long pour avoir permis l'occurrence de fortes tempêtes dont on sait que ce sont elles qui font évoluer durablement une ligne de rivage».

L'étude des tempêtes s'inscrit dans un pas de temps différent intégré au temps historique : les temps forts de la morphogénèse associés aux tempêtes. Dans l'étude de l'évolution des paysages forestiers du Nord de la France, Dubois et Petit-Berghem (1991) ont analysé les conséquences des événements de tempête occasionnant des chablis. D'après Miossec (1993), des recherches plus approfondies sur la réalité de ce phénomène sont l'une des clés de l'évolution de la ligne de rivage. Dans une analyse moins ambitieuse que celle de Marchand (1985) qui envisage l'étude du climat non pas pour lui même mais dans un complexe où sont en interaction l'espace, le milieu et la société, nous montrons à la suite de Trzpit (1990, 1996) que «la tempête représente un phénomène paroxysmique avec lequel les hommes doivent fatalement composer». Nous étudions, comme le suggère Trzpit (1996), «l'impact, mieux, le jeu dialogique qui s'instaure entre ces deux protagonistes toutes les fois que ce phénomène naturel récurrent fait une apparition».

- «on dispose pour cette période de documents historiques assez nombreux qui permettent d'étudier correctement les modifications du tracé d'un rivage».

- «il correspond à une époque au cours de laquelle les interventions humaines diverses ont considérablement altéré les processus naturels en jeu sur les littoraux».

A l'intérieur de ce pas de temps historique, «l'orientation essentielle est tournée vers les aspects humains associant au niveau des méthodes, le terrain et le dépouillement des archives». Le caractère inédit de notre étude repose en particulier sur le dépouillement et l'analyse des archives d'un acteur de la gestion de l'évolution du trait de côte : les Services Maritimes du Pas-de-Calais ou de la Manche.

- le temps actuel (les années 1990) ; nous analysons dans deux études de cas (sur les littoraux de Sangatte et de Oye-Plage) la gestion actuelle du littoral pour suggérer quelques

réflexions à partir de la comparaison des analyses effectuées dans le cadre des temporalités différentes présentées précédemment.

III) De la biogéographie historique à la géomorphologie historique.

Dans ce travail, l'acception du terme de géomorphologie historique a pour référence conceptuelle la biogéographie historique définie par Dubois (1989, 1991) pour l'étude des espaces et milieux forestiers du Nord de la France. D'après Dubois (1989), «après le développement des méthodes d'étude quantitative de la végétation (...) qui analysent surtout des variations spatiales, il semble nécessaire de réintroduire la durée, et toute son «épaisseur historique» dans l'étude des milieux forestiers». L'étude de biogéographie historique est basée sur la prise en compte de la double logique de l'espace et du milieu, «une étude qui vise à développer à côté de l'approche strictement naturaliste de la biogéographie classique, une approche de géographie historique, qui s'intéresse autant aux espaces forestiers, morcelés, aménagés, et territorialisés par les sociétés humaines, qu'aux milieux forestiers, résultat d'une longue confrontation entre les contraintes naturelles et les interventions humaines».

Relativement à cette double logique spatiale de l'espace et du milieu, le littoral peut être étudié dans le cadre conceptuel de la géomorphologie historique. Considéré comme un milieu géographique (au sens de Pinchemel P. et Pinchemel G. (1995) c'est à dire comme le produit de cette dialectique de l'espace et du milieu), le littoral est étudié par rapport à différents pas de temps à partir d'une analyse régressive des paysages littoraux. D'après Dubois (1980), considérant les paysages forestiers, la méthode de l'analyse régressive cherche à établir une classification génétique des paysages actuels, à discerner les héritages des mutations récentes ; à faire la part des dynamiques (forestières) liées aux potentialités naturelles et des bouleversements résultant des vicissitudes historiques». Appliquée aux paysages littoraux étudiés dans ce travail, l'analyse régressive permet de déceler l'emboîtement des systèmes spatiaux qui se sont succédé en relation avec l'évolution des rapports entre le littoral et les sociétés humaines. Notre objectif est en partie un des enjeux soulignés par Miossec (1990a) : «établir une culture littorale actuelle».

CHAPITRE 2 : SUR L'ETUDE DU ROLE DES SOCIETES HUMAINES DANS L'EVOLUTION DES LITTORAUX DUNAIRES. ETAT DES RECHERCHES ACTUELLES ET PRESENTATION DES SOURCES UTILISEES.

Les recherches réalisées sur ce thème ont connu, à l'intérieur du champ disciplinaire de la géomorphologie littorale, un développement important dans les décennies 1980 et 1990 (Paskoff, 1985, 1994a ; Guilcher, 1987, 1990 ; Carter, 1988 ; Miossec, 1990a, 1993, 1994a, 1995, 1996 ; Carter et Woodroffe, 1994 ; Nordstrom, 1994 ; Corlay, 1995 ; Carré, 1996), contemporain de l'émergence du concept d'environnement et de l'application d'une démarche géographique à l'étude des relations entre le milieu naturel et les sociétés humaines (Tissier, 1992, 1996 ; Veyret, 1994). Néanmoins, alors que sur le littoral du Pas-de-Calais, des travaux majeurs ont déjà abordé ce sujet dans la première moitié du XX^{ème} siècle (Demangeon, 1905a ; Blanchard, 1906 ; Briquet, 1930), aucun travail de même importance n'a été réalisé sur le littoral du Cotentin. Par ailleurs, l'étude des relations entre le milieu littoral et les sociétés humaines n'a pas fait l'objet de recherches géographiques d'importance sur le littoral du Pas-de-Calais depuis le travail de Briquet (1930a, b).

Avant d'exposer les résultats de notre travail (Chapitres 6, 7 et 8), nous présentons une synthèse, non exhaustive, des principaux travaux réalisés depuis le début des années 1980, sans nous limiter aux littoraux français. Cette présentation permet d'exposer les principales orientations adoptées par les géomorphologues pour l'étude des rapports entre l'évolution du littoral et les interventions des sociétés humaines ; elle fournit aussi un cadre de références pour entreprendre ultérieurement une comparaison avec les résultats obtenus sur les littoraux du Pas-de-Calais et du Cotentin. Ces travaux se distinguent par le milieu géomorphologique étudié (côte à wadden, dune bordière) et les sources utilisées (cartographiques ou archivistiques). De nombreux travaux concernent tout d'abord les littoraux à vasières qui se développent, par exemple, sur les rives méridionales de la Mer du Nord, sur le littoral du New-Jersey (Etats-Unis) et sur le littoral atlantique français. Ces littoraux, profondément humanisés depuis plusieurs siècles sont des terrains de choix pour la conduite de recherches sur les relations entre

l'évolution du trait de côte et les interventions des sociétés humaines. Nous présentons, ensuite, plusieurs travaux réalisés sur le littoral atlantique français pour montrer les méthodes et les orientations de la recherche française sur ce thème. Les résultats de ces travaux sont exposés dans une perspective de comparaison ultérieure avec ceux concernant les littoraux dunaires. Ils ont en commun de choisir comme point de départ un terrain d'étude particulier et de préciser, à partir d'une double investigation, géomorphologique et historique, les différentes étapes dans les relations élaborées dans l'histoire entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines.

Un second ensemble de travaux s'est développé parallèlement à celui énoncé précédemment : le point de départ de la recherche n'est plus le terrain d'étude mais les sociétés humaines qui ont développé des pratiques variées dans l'histoire pour répondre à l'évolution naturelle du milieu littoral. Sur les littoraux de Oye-Plage et de Sangatte, les rives nord des estuaires de la Canche et de l'Authie et la côte nord orientale du Cotentin, l'étude pluriséculaire de l'évolution du trait de côte montre une tendance au recul (Deuxième partie). Le traitement du recul de la ligne de rivage par les sociétés humaines a fait l'objet de recherches sur les pratiques sociales développées dans l'histoire autour d'un problème de nature (Bousquet et Miossec, 1990c ; Miossec et Cabanne, 1990 ; Meur, 1993 ; Meur-Ferrec, 1993 ; Miossec, 1993, 1994a, 1995, 1996 ; Meur *et al.*, 1994). Ces recherches associent l'étude des moyens de défense contre le recul du trait de côte (aspects techniques) et les processus réglementaires et législatifs qui dans le cadre d'organisations humaines (Etat, Services déconcentrés, Collectivités territoriales) permettent la réalisation des ouvrages de défense du trait de côte. Ce champ de recherches a fait l'objet d'importants travaux par Miossec qui a procédé à une « mise à plat du système français de protection côtière » et montré les étapes dans la construction du dispositif législatif permettant une véritable gestion de la nature littorale.

I) Aperçu sur les recherches actuelles relatives aux rapports entre les organisations humaines et l'évolution du trait de côte.

A) Présentation des recherches réalisées sur les côtes à wadden du littoral allemand de la Mer du Nord, du littoral du New-Jersey (Etats-Unis) et du littoral atlantique français.

Un premier ensemble de travaux concerne un milieu littoral bien individualisé du point de vue géomorphologique, les côtes à wadden et marais maritimes. Deux facteurs caractérisent ce type de littoral :

- le rôle essentiel de la marée dans son façonnement.
- l'histoire des conquêtes sur la mer dont ce littoral est l'objet et dont l'étude est fondamentale pour comprendre la formation des reliefs et l'évolution de ce milieu géographique profondément humanisé.

Pour les littoraux de la Mer du Nord méridionale, les principaux travaux sur le rôle des sociétés humaines dans la transformation du littoral de la Mer des Wadden sont rassemblés dans Hillen et Verhagen (1993). Elhers et Kunz (1993) présentent le cadre morphologique et les principaux facteurs morphogéniques du littoral de la Mer des Wadden. A l'extrémité septentrionale du littoral des Pays-Bas (au nord de Den Helder), l'augmentation de l'amplitude de la marée est la principale cause du changement de géomorphologie du littoral passant d'une dune bordière aux îles barrières de la Mer des Wadden. Dans un contexte d'élévation du niveau de la mer, les îles barrières reculent vers le continent ; les processus naturels responsables de cette évolution (érosion du cordon dunaire, processus de déflation et ouverture de caoudeyres, submersion du cordon dunaire) sont actuellement largement contrôlés par les sociétés humaines au moyen de techniques variées de protection. Deux études ont précisé les étapes de l'anthropisation sur le littoral allemand de la Mer des Wadden (Kamp et Wiedland, 1993 ; Kunz, 1993). D'après ces auteurs, les entreprises de poldérisation et la construction des premières digues datent du XIII^{ème} siècle, les derniers endiguements sont entrepris au milieu des années 1930. Ces travaux ont montré les étapes des conquêtes de terres sur la mer depuis le

XIII^{ème} siècle et l'évolution des techniques de protection de ces nouvelles terres conquises. Pendant plusieurs siècles, seule la technique de construction de digues a été utilisée ; une augmentation de leur hauteur et de la pente du versant exposé côté mer a cependant été observée. Au cours du XVIII^{ème} siècle, la première digue en enrochement a été implantée et dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, toutes les digues sont fixées par des enrochements (Kunz, 1993). De nouvelles techniques (perrés, épis, revêtements) ont permis un important développement des ouvrages de protection du trait de côte depuis le milieu du XX^{ème} siècle (Kunz, 1993). Moutzouris (1995) a aussi étudié les ouvrages de protection du trait de côte sur les îles barrières de Sylt, sur le littoral allemand de la Mer des Wadden.

Le littoral du New-Jersey, sur la côte orientale des Etats-Unis, constitue un exemple représentatif des transformations dans les rapports entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines. Ce littoral présente le paysage caractéristique de celui de la Mer des Wadden : des îles barrières, isolant des lagunes et des bras de mer, constituent la première ligne de défense de la plaine côtière américaine dont l'altitude est inférieure au niveau des marées hautes de vive-eau. Nordstrom (1994) a étudié le rôle des sociétés humaines dans l'évolution de ce littoral. D'après cet auteur, le littoral du New-Jersey présente la plus longue histoire dans le processus d'artificialisation et de stabilisation d'îles barrières sur le littoral des Etats-Unis.

Sur le littoral atlantique français, Verger (1968) a étudié les marais maritimes et wadden sur les littoraux de la Manche et de l'Atlantique associant aux méthodes classiques de la géomorphologie celles de l'histoire pour «démêler la part de la nature et celle de l'homme dans la genèse des reliefs et dans la formation de ce milieu géographique profondément humanisé». D'après Verger, la limite parfois incertaine entre la géographie physique et la géographie humaine s'estompe particulièrement dans ces milieux littoraux. Goeldner (1993) a étudié les étapes de la mise en valeur d'un petit marais estuarien bordant la Seine, le marais Vernier. L'humanisation du marais débute au XIII^{ème} siècle, par son drainage ; celui-ci est contemporain du mouvement de construction de digues sur le littoral de la Mer du Nord. Le façonnement du marais prend sa forme actuelle au XVII^{ème} siècle par la construction d'une digue dans la partie

centrale. Le marais alluvial n'est poldérisé qu'au XIX^{ème} siècle et perd alors son caractère maritime. La fin du XX^{ème} siècle marque un changement important dans la conception des sociétés humaines de l'aménagement de ce marais estuarien : à la seule utilisation économique du marais, qui est restée la perception sociale principale de ce milieu, se substitue une volonté de maintien des activités traditionnelles associée à la préservation de l'environnement d'une zone humide.

Verger (1993) a modélisé les conceptions successives de l'aménagement des côtes à wadden par les sociétés riveraines sur le littoral de la Mer du Nord méridionale, sur le littoral oriental de l'Angleterre et le littoral atlantique français. Cinq périodes sont distinguées par Verger :

- dès avant l'an mil, les premières constructions humaines apparaissent sous la forme de buttes dans la plaine maritime frisonne.

- dans la seconde moitié du Moyen Age (à partir du XIII^{ème} siècle), les premières digues sont construites pour délimiter les nouveaux territoires conquis sur la mer.

- au XVIII^{ème} siècle et au XIX^{ème} siècle, les endiguements se multiplient et les techniques de protection se diversifient pour artificialiser presque totalement le trait de côte.

- pendant la première moitié du XX^{ème} siècle, les activités économiques se diversifient sur ces littoraux dont l'évolution est maîtrisée par les sociétés humaines.

- à la fin du XX^{ème} siècle, la conception des sociétés humaines relative à l'aménagement des waddens est partagée entre un souci de protection écologique, patrimoniale et un développement économique de ces zones.

B) Présentation des recherches réalisées sur la côte occidentale du Cotentin et le littoral du Finistère (Bretagne).

Pinot (1989) a étudié l'évolution des côtes du Trégor et du Léon (Bretagne) depuis le XVIII^{ème} siècle en comparant des cartes à plusieurs époques. D'après ces travaux, les interventions humaines fragilisantes ne sont pas l'exclusivité de la fin du XX^{ème} siècle. Parmi

ces interventions anciennes, accélérant le recul du trait de côte et dont l'abandon a contribué à la stabilisation du littoral, les pratiques culturelles liées au pâturage, fragilisant la végétation des milieux dunaires. Une conclusion importante à propos de l'évolution pluriséculaire du trait de côte : «c'est la lenteur relative de l'évolution naturelle et l'importance de l'accélération constatée lorsqu'interviennent des exploitations ou des aménagements mal contrôlés».

Yoni *et al.* (1994) ont étudié les rythmes de l'artificialisation de la ligne de rivage, par la construction d'ouvrages de défense du trait de côte, sur le littoral du pays de Pagan (département du Finistère) depuis la fin du XVIII^{ème} siècle. Le rappel de leur étude est intéressant pour notre propos car elle concerne un cadre morphologique comparable à celui du littoral nord-est du Cotentin : «C'est une basse plate-forme en partie fossilisée par des limons et des sables dunaires flandriens. Il s'agit d'une côte contraposée où se développent de petites falaises entaillant les limons et les sables dunaires. Celles-ci servent d'unique protection à un arrière-pays relativement plat et peu élevé...limité vers le sud par une falaise morte entaillant le plateau du Léon». Sur les rapports entre le milieu littoral et les sociétés humaines, quatre périodes sont distinguées :

- la fin du XVIII^{ème} et le XIX^{ème} siècles sont marqués par la conquête de terres au détriment des zones humides littorales et la construction de digues.
- pendant la première moitié du XX^{ème} siècle, le milieu littoral est l'objet d'exploitations économiques multiples (agriculture, prélèvements de varech, extractions de sable).
- à partir de 1950, l'accélération et la généralisation de la construction d'ouvrages de défense du trait de côte sont liées au développement du tourisme littoral et à la volonté de protéger des résidences secondaires implantées à proximité du trait de côte.
- à partir des années 1980, une prise de conscience collective des conséquences de l'anthropisation du trait de côte est associée à l'émergence du Conservatoire du Littoral dans la gestion des milieux littoraux.

II) La gestion de la nature littorale en France : quelques réflexions basées sur les travaux antérieurs.

A) Présentation des principales orientations de la recherche française sur la gestion de la nature littorale.

L'étude de la gestion des milieux naturels littoraux a été réalisée à partir de trois types d'approche :

- une analyse de l'évolution du cadre juridique de la gestion du littoral (Miossec, 1990, 1993, 1994a, 1995, 1996 ; Cadieu, 1994 . Calderaro, 1994). Conséquence de la transformation du littoral de nature en littoral d'oekoumène, le découpage du littoral et du trait de côte ne résulte pas uniquement de la dynamique mésologique mais procède d'une définition administrative ; le littoral d'oekoumène est le plus souvent un «littoral d'institution» dont les limites sont déterminées par le dispositif législatif (Bousquet, 1990b).

- la présentation de l'organigramme politique de la gestion du littoral, les différents acteurs institutionnels ou privés, locaux ou nationaux concernés par cette gestion (Meur-Ferrec, 1993, 1995a, b ; Toulemont, 1994).

- une étude des interventions réalisées par les différents acteurs en matière de gestion des milieux naturels littoraux (Miossec, 1990 ; Paskoff, 1993, 1996).

Notre objectif n'est pas de présenter de façon exhaustive les travaux déjà réalisés sur le thème de la gestion du littoral. Nous avons choisi de rappeler les travaux de Miossec sur la gestion de la nature littorale en France ; ceux-ci constituent une synthèse sur le système français de protection côtière. Par ailleurs, nous rappelons les problèmes posés par la gestion actuelle des milieux dunaires littoraux en France.

B) La mise à plat du système français de lutte contre l'érosion côtière : les « quatre cercles de la protection côtière ».

1) Des textes de Colbert à l'Etat napoléonien : une conception militaire et «terrienne» de la défense du trait de côte.

Miossec (1993, 1994a, b, 1995, 1996) a analysé le jeu des acteurs engagés dans la lutte contre l'érosion côtière ; cette analyse est présentée sous la forme de «cercles de la protection côtière» (figure 5) caractérisant d'une manière synoptique le cheminement des décisions qui conduisent à la construction des ouvrages de défense du trait de côtes différents et à l'élaboration de politiques d'aménagement du littoral. Le premier cercle montre l'ancienneté du cadre réglementaire sur lequel repose les pratiques de défense du trait de côte : celui-ci s'inscrit dans le temps long des deux derniers siècles. D'après Giraud (1988), le texte fondamental de référence est l'article 33 de la loi du 16 septembre 1807 : «lorsqu'il s'agira de construire des digues à la mer ou contre les fleuves, rivières et torrents, navigables et non navigables, la nécessité en sera constatée par le gouvernement et la défense supportée par les propriétés protégées, dans la proportion de leur intérêt aux travaux, sauf les cas où le gouvernement croirait utile et juste d'accorder des secours sur les fonds publics» ; l'Etat n'intervient pas dans le financement des travaux de défense contre la mer. La loi du 21 juin 1865 portant création d'un droit des associations syndicales autorise une prise en charge des moyens financiers sous forme collective.

La vision du XIX^{ème} siècle est encore très «terrienne» puisque la défense des côtes n'est pas considérée de façon différente pour les «fleuves, rivières, torrents, navigables ou non navigables» (Bousquet et Miossec, 1990c). Ces pratiques s'inscrivent dans un espace d'intervention de l'Etat sur le littoral défini sur le plan juridique par des textes remontant au XVI^{ème} siècle (Edit de Moulins de février 1566 et Ordonnance royale de la marine d'août 1681). La conception des sociétés humaines quant à la défense du littoral repose sur une tradition militaire : le trait de côte est assimilé à une ligne de fortification dont la position doit rester immuable.

Il faut attendre les années 1970 pour autoriser, par la loi, des pratiques déjà très largement développées quant au mode de financement des opérations de défense du trait de côte ; la loi du 10 juillet 1973 et son décret d'application du 8 octobre 1974 ont permis l'intervention de collectivités locales en leur donnant la possibilité de devenir maître d'ouvrage. Traditionnellement, les travaux de défense du trait de côte sont financés à hauteur de 10 à 30% par l'Etat, 10 à 30% par le Département et 40 à 80% par la commune ou l'association syndicale. Par ailleurs, cette loi a implicitement désigné le niveau approprié d'appréhension des problèmes de défense du trait de côte : l'échelle communale (Miossec, 1990a).

2) Du trait de côte au littoral et de la défense à l'aménagement : le tournant politique des années 1970.

L'émergence d'une politique d'aménagement du littoral en France est contemporaine de la prise de conscience, au début des années 1970, des problèmes d'environnement et de la volonté manifestée par l'Etat d'aménager le territoire : le rapport Picard (1973) en définit les fondements : c'est le quatrième cercle de la protection côtière (figure 5). Miossec (1996) a rappelé les deux volets de cette politique :

- la construction d'un cadre réglementaire de la protection côtière dans lequel s'intègre, entre autre, les lois du 10 juillet 1976 sur la protection de la Nature et du 3 janvier 1986 (loi littoral). La loi littoral reconnaît le littoral comme «une entité géographique qui appelle une politique spécifique d'aménagement, de protection et de mise en valeur».

- la création du Conservatoire du Littoral par la loi du 10 juillet 1975. Pour faire échapper le milieu littoral à l'arbitrage effectué par l'Etat entre le développement économique et la protection écologique, il fallait le rendre inaliénable dans le cadre juridique d'une propriété publique : l'acquisition foncière des espaces naturels littoraux est la prérogative du Conservatoire du Littoral.

III) Présentation des sources historiques étudiées. Les principaux travaux antérieurs et l'état d'avancement des recherches actuelles sur les littoraux du Pas-de-Calais et du Cotentin.

A) Présentation des sources, travaux antérieurs et recherches actuelles sur le littoral du Pas-de-Calais.

1) Les travaux réalisés sur le littoral du Pas-de-Calais.

Des travaux antérieurs ont déjà exploité des sources historiques diverses pour l'étude de l'évolution du trait de côte dans ses rapports avec les interventions des sociétés humaines. Les quatre principaux travaux dont l'étude de sources historiques est la principale méthode pour analyser l'évolution de la ligne de rivage sont ceux de Demangeon (1905a) sur le littoral picard, Blanchard (1906) sur le littoral de la Flandre, Briquet (1930a, b) sur le littoral entre la baie de Somme et la frontière belge, et Boucheron (1986) sur la gestion des dunes du littoral du nord de la France. Les travaux postérieurs à celui de Briquet sur le littoral du Nord de la France n'ont pas complété ou apporté de données nouvelles pour l'étude de l'évolution du trait de côte. Seule la comparaison des diverses missions de photographies aériennes, réalisées par l'IGN sur le littoral, a permis de quantifier une évolution pluriannuelle du trait de côte pour la période postérieure à 1947 (Clique et Lepetit, 1986 ; Pinte, 1987 ; Augris *et al.*, 1990 ; Battiau-Queney *et al.*, 1995 ; Duborper, 1996).

Une nouvelle orientation, cependant, est adoptée dans les travaux de Joly (1995) et surtout de Lanoy-Ratel (1994, 1995, 1996). Les caractères et les conséquences de l'occupation allemande pendant la Seconde Guerre Mondiale (par exemple la construction du Mur de l'Atlantique) sont étudiés pour le littoral du Nord-Pas-de-Calais et donnent des éléments nouveaux pour comprendre l'influence des sociétés humaines dans la transformation des milieux dunaires. Ces travaux permettent par le dépouillement de nouvelles sources cartographiques et photographiques (photothèque de l'Université de Keele, archives de

Koblenz, cartes du Service Géographique des Armées) de préciser les rythmes de l'évolution du trait de côte.

Des recherches doctorales (Petit-Berghem, 1996) ont analysé l'évolution des relations entre les sociétés humaines et les forêts littorales, principalement la forêt située sur la Réserve Biologique domaniale de Merlimont (figures 4 et 6). Amorcé à la fin du XVIII^{ème} siècle, le boisement des garennes dunaires commence réellement à se développer au cours du XIX^{ème} siècle : l'objectif n'est pas uniquement de stabiliser les dunes mais de les rendre productive. Sur le littoral du Pas-de-Calais, au XVIII^{ème} siècle, l'anthropisation des milieux dunaires se manifeste par des travaux de fixation du sable (Baillon, 1791) à la charge des communautés littorales : «Jusqu'en 1830, les habitants de Neufchâtel, Cucq, Merlimont, Berck venaient chaque hiver dans les dunes pour regarnir d'oyats les brèches ouvertes par le vent» (Demangeon, 1905a). Par ailleurs, la garenne sert de support aux opérations militaires (construction de corps de garde ou de batterie). D'après Buire *et al.* (1963), jusqu'à la fin du XVIII^{ème} siècle, les dunes sont intégrées au Domaine Public et sont désignées sous le nom de «garennes du Roi». Les travaux de fixation des dunes sont réglementés par le décret du 14 décembre 1810 (modifié par le décret du 24 avril 1862) et sont une prérogative de l'administration des Eaux et Forêts. Cependant, les cordons dunaires situés à l'est de Sangatte ne sont pas concernés par cette réglementation : en effet, l'entretien de ces dunes, jouant un rôle de digue naturelle et protégeant d'une submersion potentielle la plaine maritime flamande, est confié au Service Maritime (par une décision interministérielle du 4 décembre 1863).

La seconde moitié du XIX^{ème} siècle est la grande période de boisement des dunes du Nord de la France. A partir de la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, l'anthropisation du milieu dunaire est généralisée dans l'espace et répond à des objectifs multiples (introduction d'espèces, opérations sylvicoles, pression cynégétique) : c'est la période de l'afforestation des milieux dunaires (création des grandes forêts littorales anthropiques, par exemple la forêt du Touquet-Paris-Plage) en liaison avec la politique de grands propriétaires fonciers. La seconde moitié du XX^{ème} siècle est marquée par une pression anthropique importante : par exemple les opérations de boisements réalisées par l'Office National des Forêts de 1976 à 1982 dans un but de rentabilité économique. Pour la période récente (années 1990), Petit-Berghem (1996) conclut au rôle

essentiel du jeu des pratiques humaines dans l'évolution des massifs dunaires et des forêts littorales qui leur sont associées. La politique actuelle des acteurs de la gestion des milieux dunaires a pour objectif un compromis entre la non-intervention (arrêt définitif du boisement des milieux arrière-dunaires) et l'intervention (maintien d'une bio-diversité).

2) Les sources utilisées pour le littoral du Pas-de-Calais.

Demangeon (1905b), rappelant l'intérêt de la recherche des sources historiques en géographie, a dressé un inventaire des cartes anciennes disponibles à la Bibliothèque Nationale, pour une étude de l'évolution du trait de côte. Briquet (1930a, b), dont nous avons présenté l'originalité des recherches en introduction, a exploité les principales sources cartographiques anciennes et souligné «le rôle de la méthode des sciences historiques dans l'étude de l'évolution du trait de côte». Trois catégories de documents historiques sont utilisées par Briquet (1930b) et sont susceptibles d'apporter des informations sur les rapports entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines :

- des documents cartographiques dressés à plusieurs époques, cartes anciennes (de Cassini, de la Favolière-1671, de la Bretonnière) et plans cadastraux élaborés pendant les années 1820.

- les actes de nature administrative concernant l'aliénation des territoires conquis sur la mer et la construction des digues intérieures délimitant les nouveaux polders.

- les rapports établis par les Ingénieurs des Ponts et Chaussés, responsables de la construction et de l'entretien des ouvrages de défense contre la mer implantés le long du trait de côte.

C'est cette dernière catégorie de documents historiques que nous avons dépouillée pour compléter et actualiser les travaux réalisés antérieurement (figure 7). Le point de départ de notre étude sur les rapports entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines est la seconde moitié du XIX^{ème} siècle. A partir de cette époque, sur des littoraux humanisés antérieurement (Deuxième partie), le recul de la ligne de rivage représente une menace pour les biens matériels et humains situés à proximité ; sur le littoral de la plaine maritime flamande ou sur les rives nord

des estuaires picards, l'intervention des sociétés humaines sur l'évolution du littoral se concentre le long du trait de côte. La principale forme de cette intervention est géotechnique ; elle se manifeste par l'artificialisation de la ligne de rivage pour tenter de s'opposer à cette évolution au moyen d'ouvrages de protection du trait de côte (Houthuys *et al.*, 1993). Un acteur institutionnel occupe un rôle essentiel dans ce processus : les Ponts et Chaussées Maritimes ou Service Maritime sous la tutelle du Ministère de l'Équipement ; cette administration est chargée de la conception, de la construction et de l'entretien des ouvrages de protection du trait de côte. Notre étude repose principalement sur le dépouillement exhaustif des archives de cette administration (figure 7) ; pour le littoral du Pas-de-Calais, celles-ci sont déposées au Service Maritime des Ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais (SMBC) dont le centre est situé à Boulogne-sur-Mer.

«Les archives sont l'ensemble des documents, quels que soient leur date, leur forme et leur support matériel, produit ou reçu par toute personne physique ou morale et par tout service ou organisme public ou privé, dans l'exercice de leur activité» (Chauleur, 1980) ; les archives du Service Maritime sont des archives publiques représentées par trois types de fond :

- le principal fond d'archives rassemble les rapports et les correspondances réalisés par les Ingénieurs des Travaux Publics de l'Etat, Ingénieurs d'Arrondissement ou Ingénieurs des Ponts et Chaussées à l'occasion de la construction des ouvrages de protection du trait de côte. Trois thèmes sont le plus souvent développés : les objectifs recherchés ou les conséquences envisagées de la construction des ouvrages sur l'évolution du trait de côte, les connaissances techniques nécessaires pour établir le dimensionnement de ces ouvrages et le coût des ouvrages et les modalités de leur financement. Certaines pièces comptables concernant le financement des ouvrages sont confidentielles et n'ont pas pu être consultées.

- un fond d'archives rassemble les correspondances établies entre les Ingénieurs des Services Maritimes et les administrations de l'Etat, les Etablissements Publics, les associations et les particuliers. Certaines pièces présentes dans ce fond sont de nature confidentielle (celles concernant les échanges avec les particuliers) et n'ont pas pu être consultées.

- un fond d'archives rassemble les études réalisées par les Ingénieurs ou les centres de recherches du Ministère de l'Équipement à l'occasion de programmes d'étude commandés sur le littoral.

Les informations issues du dépouillement de ces trois fonds d'archives permettent de construire une étude inédite des relations entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines depuis le moment, variable selon les lieux (de la fin du XVI^{ème} siècle à la seconde moitié du XIX^{ème} siècle), du déplacement géographique de l'intervention humaine sur le trait de côte.

Une seconde source d'archives publiques a été consultée pour compléter et recouper les informations issues des archives du Service Maritime : les archives des collectivités locales dont les archives municipales sont les plus riches (figure 7) ; la commune représente l'entité administrative de base et ses archives permettent de retrouver avec le plus grand recul possible (depuis la fin du XVII^{ème} siècle) le rôle des sociétés humaines dans la transformation du littoral et l'évolution du trait de côte. Les archives départementales du Pas-de-Calais centralisent aussi des documents transmis par les communes, les administrations publiques, les associations et les particuliers.

Des archives privées ont aussi été dépouillées ; ce sont celles des associations et des particuliers (figure 7). Les plus importantes d'entre elles sont :

- les archives des associations syndicales de défense contre la mer. La création de ces associations de propriétaires est contemporaine de l'institutionnalisation de la défense contre la mer à partir de la première moitié du XIX^{ème} siècle ; les plus importantes sont l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis, créée en 1818, dont le périmètre de compétence s'étend des falaises du Blanc-Nez à Gravelines et l'Association syndicale de protection de la rive nord de la baie de l'Authie, créée en 1925.

- les archives de la Société Géologique du Nord de la France dont l'ensemble des publications est déposé à la Bibliothèque centrale de l'Université des Sciences et Technologies de Lille.

- les archives personnelles de Monsieur Debray, Conducteur principal des Ponts et Chaussées et membre fondateur de la Société Géologique du Nord de la France, déposées à la Bibliothèque Municipale de Lille.

B) Présentation des sources, travaux antérieurs et recherches actuelles sur le littoral nord-est du Cotentin.

Deux catégories de sources historiques ont déjà été dépouillées pour l'étude de l'évolution du trait de côte du nord-est du Cotentin et des conceptions des sociétés humaines de cette évolution (figure 7) :

- la comparaison des plans cadastraux élaborés à un siècle et demi d'intervalle (années 1820-1850/années 1950-1970), dont les résultats sont rapportés ci-dessus, a été réalisée par Hirschberger et Orange (1983) et Hirschberger *et al.* (1988) pour les communes de Barfleur, Montfarville et Réville.

- une catégorie d'archives publiques a été dépouillée pour le Cotentin par Lantier (1989), les cahiers de doléances rédigés pendant la Révolution Française. Les doléances des communautés littorales des paroisses de Montfarville et de Réville sont présentées dans ce travail.

Pour l'étude des relations entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte appliquée au littoral du nord-est du Cotentin, les mêmes sources historiques ont été dépouillées. Parmi les archives publiques, deux fonds ont été consultés :

- les archives de la Subdivision littoral et études maritimes de l'Arrondissement maritime et opérationnel de Cherbourg ; elles apportent, comme celles du Service Maritime du Pas-de-Calais, le témoignage des interventions techniques sur le trait de côte.

- les archives des municipalités de Montfarville et de Réville. Les rapports des séances du conseil municipal de Barfleur ont déjà été exploités par Hirschberger *et al.* (1988).

Les archives privées consultées sont celles des groupements de propriétaires constitués en associations syndicales de défense contre la mer ; leur constitution est datée, comme sur le littoral du Pas-de-Calais, de la première moitié du XIX^{ème} siècle :

- l'Association syndicale de défense contre la mer de Saint-Vaast-la-Hougue et de Réville, créée en 1816.

- l'Association syndicale de défense contre la mer de Barfleur-Gatteville, créée en 1876 ; avec une originalité toutefois dans la constitution tardive (années 1980 et même 1990) de tels groupements sur le littoral de Réville : l'Association syndicale de défense contre la mer de Réville nord, créée en 1982 et de Jonville, créée en 1992.

**DEUXIEME PARTIE :
PRESENTATION DES
LITTORAUX ETUDIES.**

«Et c'est bien en effet de déluge qu'il s'agit. Pas de celui, mythique, qui engloutit le globe, pas même de n'importe quelle inondation locale dont le folklore de populations effarées a gardé la trace, mais de ces immémoriales marées hautes qui, au cours des siècles ont recouvert, puis laissé à nu, la côte de la Mer du Nord, du Cap-Gris-Nez à la Zélande. Les plus vieux de ces empiètements datent de bien avant l'homme. La longue ligne de dunes obliquant vers l'est s'est ensuite effondrée de nouveaux aux temps préhistoriques, puis vers la fin des temps romains. Quand on chemine dans la plaine qui va d'Arras à Ypres, puis s'allonge, ignorante de nos frontières vers Gand et vers Bruges, on a le sentiment d'avancer sur un fond dont la mer s'est retirée la veille, et où il se peut qu'elle revienne demain»

Marguerite Yourcenar, Archives du Nord.

CHAPITRE 3 : PRESENTATION DES LITTORAUX ETUDIÉS. De la mise en place du littoral actuel pendant l'Holocène aux premières interventions des sociétés humaines sur le littoral.

I) Le littoral de la plaine maritime flamande.

A) Les limites de l'étude et les caractères généraux du littoral actuel. Les principaux travaux antérieurs.

Entre les falaises du Cap Blanc-Nez et la frontière belge (figure 2), le littoral présente des caractères morphologiques communs : un cordon dunaire (dune bordière sous des formes et une extension qui varient), artificialisé sur une partie de son linéaire par des ouvrages de défense du trait de côte, est interrompu par des zones littorales urbanisées ou industrialisées. Ce cordon dunaire est précédé vers la mer par des plages faiblement déclives et de larges estrans (jusqu'à 1,5 km). Ce cordon dunaire isole et protège des influences marines une région de colmatage, en grande partie marin et holocène, dont l'altitude est inférieure aux marées hautes de vive-eau : la plaine maritime flamande *lato sensu*. (figure 8). Cette région de colmatage correspond, dans le Calaisis, à un marais contraire selon la terminologie proposée par Verger (1968).

Les travaux de Dubois (1924), Briquet (1930a), Sommé (1969, 1977, 1988a), Leplat et Sommé (1989) et Sommé et Antoine (1989) ont déterminé les conditions de l'évolution littorale holocène de la plaine maritime flamande, dont la première description géographique est donnée par Gosselet (1893) et Blanchard (1906) et la première étude géologique réalisée par Belpaire (1855).

Notre étude du littoral de la plaine maritime flamande¹ se limite à celui situé entre la falaise développée dans les formations pléistocènes de Sangatte qui prolonge les falaises du Cap Blanc-Nez et Oye-Plage (Pas-de-Calais) ; cette partie du littoral est à l'extrémité occidentale d'une vaste unité morphosédimentaire qui borde la façade continentale de la Mer du Nord (figure 9) dont la plaine maritime française est la partie méridionale (Sommé, 1977, 1988a ; Sommé et Antoine, 1989). Si nous avons concentré nos travaux sur le terrain, entre les limites indiquées ci-dessus (de Sangatte à Oye-Plage), les recherches menées en Belgique (Tavernier, 1947 ; Paepe, 1960 ; Lentacker, 1972) ou aux Pays-Bas (Beets *et al.*, 1992) pour la connaissance de l'évolution holocène de la plaine maritime de la Mer du Nord sont utilisées par comparaison quand elles complètent celles obtenues en France.

Deux synthèses sur les recherches concernant l'évolution du littoral de la plaine maritime de la Mer du Nord associent d'une part, les travaux sur les littoraux français et belges (Houthuys *et al.*, 1993), et d'autre part, ceux réalisés sur le littoral de la plaine maritime compris entre les falaises du Blanc-Nez et les Pays-Bas (Lahousse *et al.*, 1993). C'est dans la recherche de corrélations entre l'évolution des différentes parties de la plaine maritime de la Mer du Nord que se concentre l'essentiel des travaux actuels sur le Quaternaire de cette région littorale.

¹ La plaine maritime française de la Mer du Nord n'est, en fait, flamande que pour sa partie orientale, à l'est de l'Aa qui matérialise la vieille frontière servant de limite aux départements du Nord et du Pas-de-Calais (Sommé, 1988) ; dans notre texte, la plaine maritime flamande est considérée au sens large, incluant le Calaisis.

B) Les variations du niveau de la mer et l'évolution de la ligne de rivage pendant l'Holocène.

La fin de la dernière période froide pléistocène a été suivie à partir de 10000 B.P. d'une remontée du niveau de la mer qui s'est poursuivie pendant l'Holocène. La décélération de l'élévation du niveau de la mer lors de cette remontée glacio-eustatique à la fin du Boréal, après 6000 B.P., est d'après Houthuys *et al.* (1993) le principal facteur déclenchant pour la formation du cordon littoral (essentiellement sableux et parfois formé de galets) de la plaine maritime flamande. Selon Houthuys *et al.* (1993), la disponibilité en sédiments meubles déposés sur la plate-forme continentale exondée pendant la dernière période froide Pléistocène et la direction, à composante orientale dominante, du transit sédimentaire sur ce littoral ont contribué à la formation du cordon littoral.

Dans le cadre de la transgression postglaciaire holocène, se sont succédé des phases de submersion du cordon littoral, dont l'extension continentale a varié, et de sédimentation dont rend compte la zonation lithostratigraphique de la plaine maritime. D'après Sommé (1969, 1977, 1988a), Leplat et Sommé (1989), Sommé et Antoine (1989) et Houthuys *et al.* (1993), les sédiments holocènes (dépôts marins de la formation des Flandres) qui sont constitués de sable d'estran, de dépôts sablo-limoneux-argileux de wadden, incorporant des niveaux de tourbe, et des cordons littoraux sableux et/ou graveleux, sont subdivisés à la suite de Dubois (1924) en Assise de Calais avec à son sommet la Tourbe supérieure (dite de surface) et en Assise de Dunkerque (figure 10). Les dépôts de l'Assise de Calais se sont mis en place au cours de quatre phases transgressives, à la fin du Boréal, à l'Atlantique et au Subboréal (8000-4000 B.P.), appelées Calais I, II, III et IV.

A la fin de l'Atlantique, le cordon littoral occupait une position moins rectiligne que l'actuel (Houthuys *et al.*, 1993). Au sud de l'agglomération de Calais, le «banc des Pierrettes» (figure 11) constitue le principal témoin affleurant des dépôts marins de l'Assise de Calais correspondant aux stades successifs de construction du littoral de l'Atlantique (7500-5000 B.P.) (Leplat et Sommé, 1989) ; d'une longueur de 12 km entre Sangatte et le sud-est de Calais, il constitue un relief de 1 à 3 m au-dessus de la plaine maritime. C'est une flèche de

galets (dont beaucoup proviennent des falaises du Blanc-Nez), de graviers et de sable, avec une série de crochets (digitation du Virval), dont la racine a été tronquée à Sangatte par l'évolution du trait de côte (Dubois, 1924, 1926 ; Sommé, 1977, 1979, 1988a, b, Leplat et Sommé, 1989 ; Sommé et Antoine, 1989 ; Houthuys *et al.*, 1993). Le «banc des Pierrettes» se prolonge vers l'est par le cordon de Marck (figure 11) qui a marqué la limite littorale pendant une période prolongée ; la fin de l'activité marine est datée vers 2400 B.P. (Leplat et Sommé, 1989).

La transition Atlantique-Subboréal (environ 5000 B.P.) est attestée par le dépôt d'une tourbe. La diminution de l'influence marine et la généralisation du régime tourbeux sont des faits caractéristiques de la période subboréale (Sommé, 1988a ; Leplat et Sommé, 1989 ; Houthuys *et al.*, 1993), dont on connaît les manifestations tout au long du littoral régional (Wimereux-Pointe aux Oies : tourbe constituée entre 4700 B.P. et 3600 B.P., Munaut et Gilot, 1980). Le dépôt de la tourbe supérieure n'est que l'unité supérieure d'un complexe constitué par plusieurs couches de tourbes, séparées par des niveaux limono-argileux de wadden (Sommé, 1988a) ; ce complexe affleure dans le marais du sud-Calais (figure 11) qui n'a été atteint par les transgressions dunkerquiennes du Subatlantique que sous la forme de chenaux (Sommé, 1988a) et s'est formé entre 6500 et 3000 B.P. (Leplat et Sommé, 1989).

Le Subatlantique connaît le retour de l'influence marine et les dépôts de l'Assise de Dunkerque, constituant la majeure partie des sédiments superficiels de la plaine maritime, sont attribués à trois principales phases transgressives (Sommé, 1988a ; Leplat et Sommé, 1989 ; Houthuys *et al.*, 1993). Pendant la transgression de Dunkerque I (II^{ème} siècle av. J.C.-I^{er} siècle ap. J.C.), la majeure partie de la plaine maritime flamande est submergée (Houthuys *et al.*, 1993). A l'ouest de Calais, l'accumulation de nouveaux cordons sableux marque un changement dans l'orientation de la ligne de rivage à l'extrémité occidentale de la plaine maritime, passant de W-E à WSW-ENE ; c'est là une conséquence de l'érosion des falaises du cap Blanc-Nez (Sommé, 1979). Une occupation humaine importante est attestée pendant la régression romaine (Sommé, 1988a ; Houthuys *et al.*, 1993), interrompue par la transgression de Dunkerque II (IV^{ème}-VII^{ème} siècle a.p. J.C.) à laquelle est attribuée l'extension maximum de la sédimentation marine depuis le Subatlantique. Dans l'évolution du littoral de la plaine

maritime flamande pendant l'Holocène, c'est là une étape fondamentale : «la dernière manifestation naturelle de l'évolution» (Sommé, 1988a).

Une dune bordière se constitue pendant la régression carolingienne, du VIII^{ème} au X^{ème} siècle (Houthuys *et al.*, 1993) et les premières manifestations de l'humanisation de la plaine maritime dans sa partie littorale apparaissent sous la forme de digues intérieures anthropiques : c'est le point de départ de notre étude sur les relations entre les sociétés humaines et l'évolution du littoral. Néanmoins, comme le rappelle Sommé (1988a), c'est à l'échelle temporelle de l'Holocène, au moment où la mer, lors de la remontée glacioeustatique, atteint la région que doit être envisagée l'explication de l'évolution du littoral de la plaine maritime, pour comprendre le paysage littoral actuel. Aussi, la transgression postglaciaire holocène qui a constitué le point de départ de l'évolution littorale de la plaine maritime présentée ci-dessus n'est que la dernière manifestation d'une évolution cyclique qui a affecté aux interglaciaires antérieurs, dans des conditions comparables, un bassin dont la forme générale était acquise au Pléistocène moyen (Sommé, 1988a). La zone littorale que nous étudions dans le Calaisis incorpore le témoin le plus célèbre des dépôts marins pléistocènes interglaciaires : la plage fossile de Sangatte; une falaise marine pléistocène, falaise crayeuse comportant à son pied des dépôts marins fossilisés par des dépôts continentaux à faciès périglaciaires, est recoupée obliquement par la falaise actuelle (Briquet, 1905, 1906, 1923, 1930a ; Dubois, 1924 ; Sommé, 1969, 1976, 1977, 1988a, b). L'âge de cet ancien littoral a été attribué à un interglaciaire du Pléistocène moyen (Sommé, 1976, 1977, 1979, 1988a, b ; Antoine, 1989 ; Leplat et Sommé, 1989 ; Sommé et Antoine, 1989).

L'avancement des recherches sur l'évolution littorale holocène de la plaine maritime flamande a bénéficié des travaux liés à la construction du tunnel sous la Manche quittant en profondeur le littoral français au niveau de Sangatte ; c'est une originalité de l'espace littoral étudié dans ce travail et la raison du moindre avancement des recherches sur les autres terrains de notre étude sur les littoraux de la plaine maritime picarde ou du nord-est Cotentin.

C) L'humanisation de la plaine maritime et de son littoral du IX^{ème} siècle à la première moitié du XX^{ème} siècle ou la conquête de nouveaux territoires sur la mer.

1) La transgression de Dunkerque III et l'évolution littorale postérieure au VIII^{ème} siècle.

La régression marine est générale à la fin du VIII^{ème} siècle et l'évolution naturelle de la plaine maritime et de son littoral va se trouver modifiée par l'intervention des sociétés humaines (Blanchard, 1906 ; Dubois, 1928 ; Briquet, 1930 ; Sommé, 1977, 1988a). Les termes de l'influence humaine se mesurent surtout par la construction de digues à l'intérieur de la plaine maritime (Bruyelle, 1967) pour répondre à un double objectif :

- se défendre contre les risques de submersion par la mer ; «ce pays plat est aussi le bas-pays. Sur presque toute son étendue, la plaine serait recouverte par les marées hautes de vives eaux, sans l'obstacle des digues et dunes» (Blanchard, 1906).

- soustraire définitivement à l'influence marine des territoires conquis sur la mer, appelés selon les lieux, polders, salines ou hemmes.

Les polders sont progressivement aménagés à partir du IX^{ème} siècle. La transgression de Dunkerque III (XI^{ème} et XII^{ème} siècles) est limitée par l'édification antérieure des digues. La régression est alors générale à la fin du XII^{ème} siècle (Sommé, 1977, 1988a ; Houthuys *et al.*, 1993). Verger (1968) a étudié ce mouvement de renclôtures sur le littoral de la plaine maritime picarde, contemporain de celui entrepris sur la plaine maritime flamande. Les XI, XII et XIII^{èmes} siècles sont une grande période de conquête des terres sur la mer. D'après Verger (1968), la correspondance de ce mouvement sur le littoral avec les grandes phases de défrichements ne fait pas de doute : «Si les XI, XII et XIII^{èmes} siècles sont une grande époque de conquête sur la mer, ils ont aussi été la période par excellence des défrichements, des essarts, de l'extension générale des terroirs cultivés, sous l'action des seigneurs et des abbés». Les Salines d'Enna, possession de l'Abbaye de Clairmarais dès le XIV^{ème} siècle, sont poldérisées dès cette époque (Bruyelle, 1967). Cependant, la conquête des terres sur le littoral n'est qu'un aspect local de cette entreprise de défrichements qui s'exerça surtout ailleurs aux dépens des

forêts (Dubois, 1989). La seconde moitié du XVIII^{ème} siècle est la deuxième grande période de conquête de nouveaux territoires sur la mer, dont la construction de nombreuses digues est la manifestation dans cet espace littoral.

Comme point de départ pour l'étude des relations entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte, nous avons choisi le moment où l'intervention humaine se déplace géographiquement sur la ligne de rivage, pour s'y concentrer presque exclusivement à partir de la seconde moitié du XIX^{ème} siècle. Jusqu'à la fin du XVI^{ème} siècle, l'intervention humaine ne se situe pas sur le trait de côte mais à l'intérieur de la zone littorale où de nouveaux territoires sont soustraits à l'influence marine. Le front littoral constitue le premier rempart d'un système de défense, constitué de plusieurs digues intérieures et associant plusieurs lignes successives de défense contre les eaux marines et intérieures (figure 12).

2) L'aménagement des polders de la zone littorale actuelle et la fermeture des zones estuariennes au XVIII^{ème} siècle.

Le premier aspect de l'humanisation des polders de la zone littorale actuelle entre le cap Blanc-Nez et Gravelines est constitué par l'apparition d'un grand nombre de communes (paroisses) à partir du X^{ème} siècle (figure 8), (Blanchard, 1906) : Oye en 944 et, dans le Calaisis, toutes les communes actuelles (sauf celle des Attaques créée au XIX^{ème} siècle) existe au début du XIII^{ème} siècle (Sangatte au XI^{ème} siècle, citée par le chroniqueur Lambert d'Ardres, et Calais en 1180). La conquête de nouveaux territoires sur le littoral de la plaine maritime flamande a contribué à la fermeture des zones estuariennes, dont les havres naturels sont rejetés vers l'est par la dynamique d'accumulation. A l'intérieur de la zone littorale, les cordons de galets ont constitué des pouliers se développant vers l'est à la faveur du transit sédimentaire à composante dominante ouest-est. Par exemple, le développement du cordon littoral ralentit la progression du poulier des Barraques (figure 13) dont la rupture est à l'origine de la formation du havre de Calais et du port dès le XII^{ème} siècle (Briquet, 1930a).

La zone littorale entre Sangatte et Calais est progressivement fermée aux influences marines de la fin du XVI^{ème} siècle au début du XIX^{ème} siècle. Le cordon dunaire longitudinal est unique et culmine localement à plus de 15 m (NGF) ; il correspond à un ancien poulie dont la progression vers l'est a obturé l'estuaire de Calais après le XII^{ème} siècle (Sommé, 1977). Au droit du village de Sangatte une digue est construite le long du trait de côte en 1598 pour fermer un ancien pertuis. L'aménagement des Salines de Sangatte se fait aux rythmes de l'édification des digues (Blanchard, 1906 ; Briquet, 1930a ; Sommé, 1977) : digue Camyn et digue Royale de Sangatte à Nieulay au XV^{ème} siècle, digue Mouron en 1770, digue Taaf en 1773 et digue Bodart en 1811. C'est essentiellement par la construction de la digue Mouron que les Salines de Sangatte sont renclôses à la fin du XVIII^{ème} siècle (figures 11 et 12), (Blanchard, 1906 ; Briquet, 1930a ; Sommé, 1977).

De Calais à Dunkerque, les progrès de la côte depuis le Moyen Age sont marqués par une série d'alignements de cordons dunaires séparant les zones conquises sur la mer. Entre les Huttes d'Oye et Grand-Fort-Philippe, en avant de la digue Taaf construite en 1773 et précédant la digue Valencay construite en 1630, se sont élevés à une grande distance vers le large deux massifs dunaires appelés Gros Banc et Petit Banc (figures 14 et 15) ; en se développant, ces massifs ont isolé un polder : "la Mollière à Salades", témoin de la conquête de nouvelles terres sur la mer. Ce polder a été définitivement endigué en 1925 : c'est le Platier d'Oye (figure 2).

Deux portions du littoral de la plaine maritime flamande sont étudiées dans ce travail :

- le littoral de Sangatte (Photo 1) dont la singularité est de présenter une artificialisation de son trait de côte très précoce à la fin du XVI^{ème} siècle ; c'est la première tentative de stabilisation de la ligne de rivage sur le littoral de la plaine maritime flamande.

- le littoral du Platier d'Oye (Photo 2) dont la singularité est de représenter le dernier exemple d'endiguement, tardif, dans la première moitié du XX^{ème} siècle.

A l'ouest de Petit-Fort-Philippe (figure 15), le comblement de l'estuaire de l'Aa est achevé au XVIII^{ème} siècle ; le littoral actuel est formé du cordon dunaire moderne qui constitue le stade le

plus récent de l'obturation progressive de cet estuaire par la progression du poulier vers le NNE. Sur ce cordon s'appuie la digue la plus externe des polders conquis : digue Duvigneau construite en 1789.

D) L'étude de l'évolution de la ligne de rivage depuis le milieu du XVIII^{ème} siècle : bilan des travaux antérieurs et nouveaux résultats pour la période 1970-1996.

Les termes généraux de l'évolution du trait de côte entre le cap Blanc-Nez et Gravelines ont été précisés par plusieurs travaux (Ortlich, 1880 ; Rigaux, 1880 ; Blanchard, 1906 ; Dubois, 1926, 1928 ; Briquet, 1930 ; Bruyelle, 1967 ; Sommé, 1977, 1988a ; Clique et Lepetit, 1986 ; Augris *et al.*, 1990 ; Ferrière *et al.*, 1993 ; Houthuys *et al.*, 1993 ; Lahousse *et al.*, 1993 ; Clabaut, 1995 ; Lejeune, 1995 ; Duborper, 1996) dont les résultats sont de plus en plus précis pour ceux utilisant la comparaison des missions de photographies aériennes de l'IGN après 1947. Depuis Briquet (1930), la division du littoral de la plaine maritime flamande en trois secteurs (figure 17) caractérisés par un bilan d'érosion du cap Blanc-Nez à Calais, un bilan d'accumulation de Calais à Dunkerque et un bilan d'érosion de Dunkerque à la frontière belge n'a pas été modifiée par les travaux ultérieurs.

1) Le littoral des falaises du cap Blanc-Nez à Calais : une tendance à l'érosion et les premières interventions des sociétés humaines pour tenter de stabiliser l'évolution naturelle du trait de côte.

Entre les falaises du cap Blanc-Nez et Calais, le recul du trait de côte est prédominant. Ce recul est attesté depuis, au moins, le XII^{ème} siècle : Rigaux (1880) et Ortlich (1880) mentionnent l'existence de puits creusés dans la tourbe qui affleure sur l'estran, des vestiges d'une ancienne partie du village de Sangatte qui existait au XIII^{ème} siècle. Briquet (1930a) et Sommé (1977) soulignent aussi ce sens de l'évolution du trait de côte. Blanchard (1906) a souligné la singularité de cette portion de côte sur le littoral de la plaine maritime flamande : «C'est peut être avec certains polders de la Flandre zélandaise, l'endroit le plus menacé de la

côte flamande». La comparaison des plans cadastraux pour la partie du trait de côte au droit de la commune de Sangatte montre un recul de 1794 à 1924 (Briquet, 1930a), (figure 17). Pour la période postérieure à 1947, la comparaison des différentes missions de photographies aériennes de l'IGN a permis de quantifier sur ce secteur de côte l'évolution pluri-annuelle du trait de côte. Clique et Lepetit (1986), (figure 18), montrent pour la période 1947-1977 un recul du trait de côte de 50 m au droit des dunes de Fort Mahon (dune bordière de Sangatte) et une accrétion de 30 m au droit du village de Sangatte. Pour ce dernier secteur, c'est là un changement de l'évolution du trait de côte par rapport aux données présentées par Briquet (1930a). Pour la période 1975-1993, Duborper (1996) montre un recul du trait de côte compris entre 4 et 22 m des dunes de Fort Mahon à Calais (figure 19). De 1947 à 1993, la comparaison des photographies aériennes de l'IGN permet d'identifier la succession de deux portions du trait de côte entre les falaises du Blanc-Nez et Calais dont l'évolution pluri-annuelle traduit successivement une tendance à la stabilité au droit du village de Sangatte et à l'érosion des dunes de Fort Mahon à Blériot-Plage.

La tendance générale au recul du trait de côte, au moins avant 1947, s'est traduite par des réponses apportées par les sociétés humaines pour tenter de s'y opposer. D'après Blanchard (1906), «l'homme et la mer ont mis un égal acharnement à la résistance et à l'attaque» sur cette portion de côte ; «les progrès de la mer étaient dangereux, car Sangatte commandait l'entrée du bas-pays d'Ardres et de Guînes, cinq lieues de terres marécageuses, au pied de l'Artois, à peine situées au niveau moyen de la mer». La première réponse au recul du trait de côte sur ce littoral est précoce et date de la fin du XVI^{ème} siècle : en 1598, une digue longitudinale d'une longueur de 430 m est construite à l'extrémité occidentale du littoral de Sangatte (figure 20).

Cette intervention géotechnique sur le trait de côte de Sangatte, dès la fin du XVI^{ème} siècle, est une rupture fondamentale dans les relations élaborées depuis le IX^{ème} siècle entre les sociétés humaines et le littoral de la plaine maritime flamande. Avant l'implantation de cet ouvrage le long du trait de côte, l'intervention anthropique se concentre à l'intérieur de la zone littorale pour défendre la conquête des polders par la construction de digues intérieures : le trait de côte est inclus dans un système de défense des polders et constitue le premier rempart. La

construction de cette digue, à Sangatte, est le témoignage d'une évolution dans la conception qu'ont les sociétés humaines de l'évolution du littoral. C'est la première étape dans la recherche de la maîtrise géotechnique de l'évolution du trait de côte qui caractérise surtout le XIX^{ème} siècle et qui concerne l'ensemble du littoral de la plaine maritime de la Mer du Nord, des falaises du Blanc-Nez aux Pays-Bas (Houthuys *et al.*, 1993 ; Lahousse *et al.*, 1993). Le choix du littoral de Sangatte comme terrain de cette étude permet de montrer, depuis la fin du XVI^{ème} siècle, les transformations dans les conceptions des sociétés humaines par rapport à l'évolution du trait de côte, les différentes formes géotechniques de l'intervention humaine sur le trait de côte et leurs conséquences sur son évolution (Chapitres 6, 7 et 8).

2) Le littoral de Calais à Dunkerque : une tendance à la progradation depuis le XII^{ème} siècle interrompue localement par des reculs du trait de côte.

Le littoral de la plaine maritime flamande entre Calais et Dunkerque fait transition avec le précédent secteur de côte : il est caractérisé par une progradation du trait de côte, au moins depuis le Moyen-Age (Briquet, 1930a ; Sommé, 1977 ; Houthuys *et al.*, 1993 ; Lahousse *et al.*, 1993). Une série d'alignements de cordons dunaires, séparant des zones conquises sur la mer (salines, hemmes ou polders), marque d'une façon distincte les différentes positions du trait de côte depuis la fin du Moyen-Age. Depuis le XII^{ème} siècle, le trait de côte s'est avancé de 2 km vers le large sur le littoral de Gravelines (Dubois, 1926, 1928 ; Houthuys *et al.*, 1993 ; Lahousse *et al.*, 1993). Le dernier polder endigué, témoignant de cette progradation du trait de côte sur ce littoral, est situé à Oye-Plage et constitue le Platier d'Oye (figure 15). Néanmoins localement, entre Calais et Dunkerque, un recul du trait de côte a été observé :

- Dubois (1926) a montré «un recul local» du littoral à Loon-Plage, situé à l'est du Platier d'Oye (figure 8), aux XIV, XVI et XVIII^{èmes} siècles, dont il attribue l'origine à une modification des courants côtiers à la suite de la progradation du trait de côte de Oye-Plage.

- pour la période 1947-1977, Clique et Lepetit (1986) confirment, d'après la comparaison des photographies aériennes, la tendance à la progradation du trait de côte (de 25 à 120 m), (figure 18). Cependant, un recul de 25 m est observé sur le littoral du Platier d'Oye.

- pour la période 1976-1993, Duborper (1996) montre, en comparant la mission de photographies aériennes de l'IGN de 1976 avec un levé topographique du SMBC, un recul compris entre 26 m (à l'ouest) et 20 m (à l'est) sur le littoral du Platier d'Oye (figure 21).

Les dernières études sur l'évolution pluri-annuelle du trait de côte montrent donc pour la période postérieure à 1976 une tendance au recul du trait de côte sur certains secteurs du littoral compris entre Calais et Dunkerque.

Sur le littoral du Platier d'Oye, témoignage de l'une des dernières conquêtes de terres sur le littoral de la plaine maritime flamande, les sociétés humaines ont spatialisé ce nouveau territoire à partir de la fin des années 1960 (projet municipal de création d'une station balnéaire) par la construction à partir de 1969 d'un lotissement de 153 maisons individuelles (dit lotissement des Ecardines), (figures 21 et 22) ; c'est aussi sur le littoral de la plaine maritime flamande le dernier exemple d'une urbanisation d'un milieu dunaire. Cette urbanisation, localisée à proximité du trait de côte, intervient au moment où est observée une tendance au recul pluri-annuel de celui-ci (Duborper, 1996). En 1987, la création de la «Réserve naturelle» du Platier d'Oye (Décret 87-533 du 9 juillet 1987) marque un changement fondamental dans le processus d'aménagement de ce littoral.

L'ensemble de ces caractères et changements, qui ont affecté le littoral de Oye-Plage depuis la première moitié du XX^{ème} siècle, contribue à la singularité et à l'originalité de ce littoral étudié dans notre travail. Le choix du littoral du Platier d'Oye comme terrain d'investigation permet d'étudier les transformations dans l'influence et les conceptions des sociétés humaines par rapport à l'évolution du trait de côte sur un littoral dont la dynamique s'est inversée dans les années 1970.

II) Le littoral de la plaine maritime picarde.

A) Limites géographiques et caractères généraux.

Entre les anticlinaux de l'Artois, au nord, et du Bray, au sud, l'ensemble constitué par les basses vallées de la Somme, de l'Authie et de la Canche, orientées N 120°, forme une zone légèrement affaissée qui se termine par un marais littoral parallèle à la ligne de rivage : c'est la plaine maritime picarde (figure 23) ; une plaine humide, large de 1,5 à 2 km, dont l'altitude, voisine de 4 à 5 m NGF, est inférieure aux pleines mers de vive eau. La plaine maritime picarde se développe entre les falaises jurassiques du Boulonnais, au nord, et les falaises crétacées du Plateau picard, au sud. Elle est limitée dans sa partie orientale par une paléo-falaise située à la limite occidentale du plateau crayeux de l'Artois et, à son extrémité occidentale, par un système dunaire dédoublé en deux cordons de direction méridienne encadrant une dépression interdunaire (figure 24). Les trois principaux fleuves côtiers de la Somme, de l'Authie et de la Canche débouchent dans la Manche par des estuaires qui constituent des baies ouvertes étalant leur wadden sur le littoral de la plaine maritime (selon la terminologie utilisée par Verger, 1968).

B) La mise en place du littoral de la plaine maritime picarde. Comparaison avec le littoral de la plaine maritime flamande.

A l'intérieur de la plaine maritime picarde, l'essentiel de la sédimentation est constitué de dépôts holocènes, caractéristiques d'une région de colmatage. A la différence de la plaine maritime flamande, la formation de la plaine maritime picarde n'est pas encore parfaitement élucidée (Battiau-Queney, 1995 ; Battiau-Queney *et al.*, 1995). En raison de ce déséquilibre des travaux sur le Quaternaire entre ces deux régions de colmatage, Verger (1968) avait exclu de ses recherches sur les marais et waddens du littoral français, ceux du littoral de la plaine maritime flamande, s'arrêtant au littoral de la plaine maritime picarde. Des corrélations ne sont pas encore établies pour l'ensemble de cette unité morphosédimentaire entre la chronostratigraphie des

dépôts holocènes et l'évolution des systèmes dunaires en relation avec les variations du niveau de la mer, pour deux raisons principales :

- la connaissance des conditions de la mise en place de la zonation chronostratigraphique pendant le Quaternaire est inégale. Les travaux sur la genèse de la plaine maritime dans son ensemble (Lefèvre, 1979 ; Lefèvre *et al.*, 1980 ; Beun et Robert, 1985) sont peu nombreux et traitent le plus souvent d'une des trois parties géographiques de celle-ci. Les sondages déjà réalisés se concentrent essentiellement entre Onival et l'estuaire de la Somme (Broquet et Beun, 1980) et dans le Marquenterre, entre les estuaires de la Somme et de l'Authie (Ters *et al.*, 1980). Dans la partie nord de la plaine maritime picarde, les sondages sont moins nombreux que dans les secteurs mentionnés précédemment (Montaigne, 1972 ; Munaut et Gilot, 1977).

- ces travaux n'ont pas bénéficié des opportunités présentées lors de l'ouverture de chantiers associés à des travaux de Génie Civil importants (creusement du tunnel sous la Manche pour la plaine maritime de la Mer du Nord) dont est tributaire l'avancement des recherches sur le Quaternaire (Sommé, 1988a).

Battiau-Queney *et al.* (1995) ont présenté une synthèse des travaux antérieurs sur la formation de la plaine maritime picarde à laquelle nous empruntons les éléments exposés ci-après. La stratigraphie des dépôts holocènes proposée pour la plaine maritime flamande (Formation des Flandres subdivisée en Assise de Calais, Tourbe supérieure, Assise de Dunkerque) a été retrouvée localement au sud de l'estuaire de la Canche par Montaigne (1972). Dans les Bas Champs, la fin du Subboréal est marquée par une phase régressive, associée au dépôt d'une tourbe, vers 3000 B.P. (Beun et Robert, 1985), repérée aussi dans la stratigraphie des dépôts du Marquenterre (Montaigne, 1972). Munaut et Gilot (1977) ont étudié la rive nord de l'estuaire de la Canche (Pointe du Lornel) et établi que la transgression marine holocène a été interrompue par des phases d'arrêt de la sédimentation marine, marquées par le dépôt d'une tourbe. Ainsi, en baie de Canche, la dernière phase transgressive se place vers 2500 B.P.-2370 B.P. et les cordons dunaires se sont constitués pendant le Subatlantique vers 2300 B.P.-2100 B.P. La transgression subatlantique a aussi intéressé les Bas-Champs de Cayeux (au sud de l'estuaire de la Somme) après 2500 B.P. (Broquet et Beun, 1980).

C) Estuaires, marais maritimes et waddens : leur rôle dans l'évolution du littoral de la plaine maritime picarde.

Des travaux ont étudié l'évolution du littoral de la plaine maritime picarde à une autre échelle de temps que celle du Quaternaire, à laquelle se réfèrent ceux mentionnés ci-dessus. Trois orientations majeures caractérisent ces recherches sur l'évolution historique du littoral depuis le début du Moyen Age :

- des travaux concernent la géomorphologie du littoral. L'étude des systèmes dunaires et de leur évolution morphologique (Tricart, 1951 ; Battiau-Queney, 1995 ; Battiau-Queney *et al.*, 1995 ; Louche *et al.*, 1995), l'étude géomorphologique des estuaires picards (Verger, 1968 ; Despeyroux, 1985 ; Despeyroux et Chamley, 1986 ; Beauchamp, 1994) et l'étude des forêts littorales et de leurs transformations par les sociétés humaines (Petit-Berghem et Dubois, 1995 ; Petit-Berghem, 1996 ; Petit-Berghem et Matysiak, 1996).

- des travaux ont privilégié le choix d'une technique de recherche, la télédétection, pour l'étude de l'évolution des paysages littoraux de l'estuaire de la Canche (Picouet, 1993 ; Picouet et Kergomard, 1994).

- des travaux se sont intéressés aux relations entre la dynamique du littoral et les interventions anthropiques sur celle-ci ; en particulier sur le littoral des estuaires, l'étude du mouvement de "renclôtures" et des moyens de défense contre le recul du trait de côte présenté ci-après (Demangeon, 1905a ; Briquet, 1930a ; Renard-Payen, 1937 ; Briquet, 1938 ; Dallery, 1955 ; Verger, 1968 ; Lefèvre et Regrain, 1978 ; Dubreucq, 1990).

Nos travaux sur le littoral de la plaine maritime picarde s'intègrent dans cette dernière orientation de recherche. Briquet (1930a) rappelle une différence fondamentale entre les littoraux de la plaine maritime flamande et de la plaine maritime picarde : «A la différence de la plaine maritime flamande où les estuaires totalement colmatés ne jouent plus de rôle dans l'évolution de la ligne de rivage, les estuaires (de la plaine maritime picarde) se sont conservés jusqu'à aujourd'hui ; leur présence commande même le mécanisme des déplacements du rivage ;

l'étude de l'évolution de la ligne de rivage est là, au sens le plus adéquat, celle de l'évolution des estuaires». Ce sont les estuaires de l'Authie et de la Canche (figure 23) que nous étudions dans le cadre de l'orientation de recherche mentionnée précédemment.

Demangeon (1905a), Briquet (1930a), Tricart (1951), Verger (1968), Despeyroux (1985) et Clique et Lepetit (1986) ont précisé les modalités de l'évolution des systèmes estuariens de l'Authie et de la Canche, orientés WNW-ESE et présentant des caractères morphologiques comparables mais moins développés pour celui de la Canche : l'évolution pluri-séculaire des estuaires, dont le terme est le colmatage (en fonction du bilan sédimentaire), est marquée par le développement d'une dissymétrie dans le bilan érosion/sédimentation entre les deux rives septentrionale et méridionale, dont la conséquence est la migration des estuaires vers le nord. Sur la rive sud des estuaires, se développe une forme d'accumulation ou flèche sableuse à pointe libre, appelée poulrier, faisant face, sur la rive nord, à un littoral en érosion, appelé musoir, où les dunes sont taillées en falaise.

Définis par Verger (1968, 1995) comme des étendues basses faites d'alluvions récentes et situées à proximité des mers à marée et influencées par celle-ci, les marais maritimes sont bordés vers la mer par des franges amphibies, faites du même matériel sédimentaire. Ces marges dont le caractère fondamental est, à l'exception des chenaux qui les sillonnent, de couvrir et de découvrir au gré des marées, sont désignées par le terme de waddens. Les waddens sont formés de la succession de trois zones distinctes : la slikke (au-dessous des lasses de pleine mer) et le schorre (partie supérieure de la zone intertidale). Au débouché de l'Authie (figure 25), les Pointes de la Dune Blanche (ou de Routhiauville), au sud, et du Haut-Banc (musoir de l'estuaire), au nord, séparent un delta à l'ouest et des waddens internes à l'est. Pour l'étude des marais maritimes et des waddens de l'Authie, notre travail est limité, sur le terrain, à ceux de la Pointe du Haut-Banc ; nous avons fait le choix à l'intérieur des estuaires, des secteurs en érosion pour lesquels la dialectique sociétés humaines/évolution du trait de côte se réalise avec le plus d'intensité sur le long terme. Le débouché de la Canche (figure 25) présente un parallélisme avec celui de l'Authie : la Pointe du Touquet et le Banc du Pilori, au

sud, font face à la Pointe du Lornel (musoir de l'estuaire), au nord, séparant un delta et des waddens internes moins développés que dans l'estuaire de l'Authie.

D) L'anthropisation des estuaires de l'Authie et de la Canche : caractères depuis le Moyen Age et conséquences sur l'évolution du trait de côte.

L'inégal avancement des recherches pour la plaine maritime picarde, sur les relations entre l'évolution du littoral et les variations du niveau de la mer pendant l'Holocène, par rapport à la plaine maritime flamande, ne permet pas de dresser un tableau aussi détaillé de la mise en place des sociétés humaines sur les littoraux de l'Authie et de la Canche. Décrite par Demangeon (1905a), Briquet (1930 a, b) Tricart (1951), Verger (1968), Despeyroux (1985), Beauchamp (1994) et Battiau-Queney *et al.* (1995), l'évolution du littoral de la plaine maritime picarde est celle d'une côte en voie de «régularisation» par le mécanisme du colmatage des estuaires. Comme sur le littoral de la plaine maritime flamande, les progrès du colmatage à l'intérieur des estuaires sont marqués par la conquête de nouvelles terres sur la mer ; des digues intérieures jalonnent les étapes de cette conquête des marais maritimes. Privilégiant l'étude des modalités et des rythmes de l'humanisation des estuaires par rapport à la connaissance de leur fonctionnement hydrosédimentaire et des facteurs morphogéniques (marée, houle, vent) responsables de leur évolution, nos travaux se concentrent sur une zone géographique à l'intérieur des estuaires : les marais maritimes.

A l'intérieur et aux frontières de ces milieux, les facteurs anthropiques sont plus lourds de conséquences sur leur évolution que dans les waddens (où l'explication des formes est surtout fondée sur la connaissance de la dynamique actuelle). Et, d'après Verger (1968), «pour l'étude d'un littoral changeant aussi rapidement que celui des marais, les documents historiques fournissent des sources nombreuses» dont certaines ont déjà été utilisées pour comprendre les interactions entre les sociétés humaines et l'évolution des estuaires (Demangeon, 1905a ; Briquet, 1930a, b ; Verger, 1968).

1) La conquête des marais maritimes du Moyen Age au milieu du XIX^{ème} siècle.

D'après Verger (1968), sur le littoral de la plaine maritime picarde, la conquête de territoires sur le mer commence au Moyen-Age : «Depuis le Moyen-Age, les régressions et les transgressions marines n'apparaissent-elles plus liées, dans les marais de la façade Atlantique et de la Manche, aux variations du niveau de la mer, mais à l'histoire des sociétés humaines» et cette conquête s'est réalisée selon des rythmes propres à cette histoire. Comme sur le littoral de la plaine maritime flamande, le début du Moyen-Age marque la fin de l'évolution naturelle du littoral (Sommé, 1988a) ; la dynamique du littoral est en effet, après cette période, le résultat de l'interférence entre l'évolution naturelle et les interventions anthropiques. Ce sont aussi, comme dans le Calaisis, deux phases majeures de conquêtes de terres et d'endiguement des mollières (ou schorres) qui peuvent être distinguées ; les territoires conquis sont protégés par une digue, c'est la renclôture (Demangeon, 1905a) :

- du XII^{ème} au XIII^{ème} siècle, l'essor des polders est commun aux trois estuaires picards ; il est contemporain de celui qui se développe sur le littoral de la plaine maritime flamande et des défrichements de la période médiévale qui rythment cet essor (Bloch, 1931 ; Verger, 1968). Les endiguements (ou renclôtures) se multiplient dans le Marquenterre. Les plus grandes étendues de mollières rencloses se trouvent sur les rives sud des estuaires où la conquête de polders, délimitée par l'édification de digues, a accompagné la progradation du poulter dans le cadre de la migration naturelle des estuaires vers le nord.

Sur la rive sud de la baie de l'Authie, une très belle séquence de renclôtures a été reconstituée depuis le XII^{ème} siècle (Demangeon, 1905a ; Briquet, 1930 a, b ; Verger, 1968), (figure 26) ; la première digue remonte à la fin du XII^{ème} siècle (1163) : il s'agit de la Chaussée Duhamel établie pour protéger les mollières de Routhiauville, de Monchaux et de Quend.

- en relation avec le développement des idées économiques des physiocrates, la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle représente la seconde grande époque de la conquête des waddens sur le littoral de la plaine maritime picarde (Demangeon, 1905a ; Briquet, 1930 a, b ; Verger, 1968).

Cet essor des polders se développe entre 1625 et 1860 pour les Bas-Champs (au sud de l'estuaire de la Somme), entre 1737 et 1862 dans le Marquenterre et entre 1740 et 1778 sur la rive sud de l'estuaire de la Canche, à Trépiéd, Villiers et Hurtebise (Demangeon, 1905a). Sur la

rive nord de la baie de l'Authie (figure 27), la zone des renclôtures a une extension plus limitée que sur la rive sud (poulier) ; la zone conquise est étroite en superficie et comprise entre les communes de Groffliers, Waben et le Pas d'Authie (Briquet, 1930a, b). Les digues délimitant ces conquêtes sont construites entre 1731 et 1851. En 1731, entre Berck et Groffliers, des terres sont desséchées et endiguées pour servir de communaux (pâturages), des mollières sont endiguées à Waben en 1744 (Demangeon, 1905a). La «Basse mollière» Groffliers est endiguée en 1779 à la faveur d'un poulier secondaire (contre-poulier) qui se développe sur le musoir de la baie de l'Authie et favorise sa progradation vers le sud ; le terme de cette progradation est l'endiguement en 1851 de la "Grande mollière" de Groffliers d'une superficie de 11 ha, au sud du Royon de la Rocque (Demangeon, 1905a), (figure 28).

2) Du milieu du XIX^{ème} siècle à nos jours : la fin des renclôtures et le développement de l'intervention géotechnique des sociétés humaines dans l'évolution des rives nord des estuaires de l'Authie et de la Canche.

La conquête des marais maritimes et leur transformation en polder sur les estuaires de l'Authie et de la Canche constituent le trait principal du rôle des sociétés humaines dans l'évolution de la ligne de rivage de la plaine maritime picarde avant le milieu du XIX^{ème} siècle. La construction des digues isolant ces nouveaux polders accélère le colmatage des baies de l'Authie et de la Canche (Beauchamp, 1994). Cette conquête représente la réponse des sociétés humaines à la dynamique d'un littoral de progradation. C'est dans le développement de la station balnéaire du Touquet-Paris-Plage, sur la rive sud (poulier) de l'estuaire de la Canche, que cette réponse des sociétés humaines à une évolution naturelle a pris le plus d'ampleur et a trouvé des prolongements tardifs dans la première moitié du XX^{ème} siècle avec l'endiguement des mollières (schorres) de la rive gauche de la Canche, à l'aval d'Etaples, pour la création du champ de courses et de l'aéroport du Touquet (Picouet, 1993 ; Picouet et Kergomard, 1994).

Le deuxième élément de l'anthropisation des estuaires de l'Authie et de la Canche est la création des ports pour des raisons stratégiques et économiques, assurant le développement sur cette côte des activités halieutiques (Demangeon, 1905a) :

- Berck, port d'entrée, au débouché de l'ancien estuaire de l'Airon.
- Waben, port d'entrée, à l'intérieur de l'estuaire de l'Authie.
- Etaples, port d'entrée, à l'intérieur de l'estuaire de la Canche, associé à l'origine au port d'intérieur de Montreuil-sur-Mer.

L'évolution naturelle des estuaires aboutissant au colmatage sédimentaire condamne à terme le développement de ces ports en diminuant les possibilités de navigation à l'intérieur de l'estuaire. Ce déclin a déjà affecté les anciens ports de Montreuil-sur-Mer et de Waben ; le port de Berck est définitivement colmaté en 1779 (Demangeon, 1905a ; Briquet, 1930a, b). Seul le port d'Etaples connaît encore une activité maritime, certes limitée, mais au prix d'une intervention humaine permanente depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, dont les étapes et les modalités seront précisées ultérieurement (Chapitre 7).

Du XII^{ème} siècle à la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle, l'accroissement des polders des estuaires de l'Authie et de la Canche a eu, en fait, une double influence, ambivalente, sur les modalités et l'évolution de l'anthropisation du littoral :

- celui-ci a permis la conquête de nouveaux territoires, des polders soustraits définitivement à l'influence marine par la construction de digues.
- celui-ci a rendu de plus en plus difficile les conditions de navigation à l'intérieur des estuaires et à leur débouché en raison de la divagation des chenaux de l'Authie et de la Canche et de leur rapprochement des rives nord des estuaires.

Dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, la divagation des chenaux de l'Authie et de la Canche et leur rapprochement progressif du trait de côte des musoirs de ces estuaires ont constitué une menace sérieuse pour les territoires conquis sur la mer depuis le XII^{ème} siècle : c'est le point de départ d'une nouvelle relation entre l'évolution de la ligne de rivage et les sociétés humaines dont l'élément principal est l'intervention géotechnique. C'est, aussi, un changement géographique dans le lieu principal de l'anthropisation à l'intérieur des estuaires :

- avant le milieu du XIX^{ème} siècle, les influences des sociétés humaines sur l'évolution du trait de côte prennent le plus d'importance sur les rives sud des estuaires dans le cadre d'une dynamique naturelle de progradation.

- à partir du milieu du XIX^{ème} siècle, une translation s'opère en direction des rives nord des estuaires, dans le cadre d'une dynamique d'érosion. L'interférence entre des faits d'ordre humain que nous présentons dans ce travail et le recul du trait de côte sont les facteurs déclenchants des relations qui vont se développer entre les sociétés humaines et l'évolution du littoral au nord des estuaires de l'Authie et de la Canche.

Les rythmes de l'évolution du trait de côte et les transformations dans les conceptions des sociétés humaines sont liés par des interactions multiples : c'est leur étude que nous présentons dans ce travail. Notre travail est donc limitée géographiquement aux rives nord des estuaires de l'Authie (Pointe du Haut-Banc), (Photos 3 et 4), et de la Canche (Pointe du Lornel). Ce sont sur ces terrains que nous avons réalisé un travail de recherche des sources historiques et de dépouillement d'archives pour la période 1850-1996. Néanmoins, si l'étude de la spatialisation et de l'anthropisation des rives sud des estuaires n'est pas notre objet principal de recherche, des références à celles-ci sont indispensables en raison de l'interdépendance de l'évolution naturelle des deux rives des systèmes estuariens.

III) Le littoral de la côte nord-orientale du Cotentin, entre la Pointe de Néville et Saint-Vaast-La-Hougue (Département de la Manche).

A) Limites géographiques et caractères généraux. Les principaux travaux antérieurs.

La côte nord-orientale du Cotentin (appelée aussi côte du Val de Saire) représente un type de côte basse le long de laquelle prédominent les matériaux meubles (figure 29). Cependant, des caractères morphologiques se différencient de part et d'autre de la Pointe de Barfleur :

- à l'ouest, se succèdent, entre des écueils granitiques (la Pointe de Néville est la limite occidentale de notre terrain d'étude), de longues plages arquées séparées d'étangs sublittoraux (étang de Gattemare) par des cordons de sable et de galets.

- au sud-est, alternent caps et anses sur une côte basse et sinueuse, bordée de plages arquées, précédées d'une plature rocheuse granitique toujours très développée.

Ce littoral prolonge un bas plateau, le Val de Saire ou «Bas-pays», correspondant à une plateforme d'abrasion façonnée aux dépens du batholite granitique de Barfleur, limité au sud et à l'ouest par un escarpement de ligne de faille (escarpement de «La Pernelle» orienté N 140°) au pied duquel coule un petit fleuve côtier, la Saire, dont l'embouchure constitue la limite méridionale de notre terrain d'étude.

Les premières études géologiques du Nord-Cotentin ont été réalisées par Bonnissent (1870) et Bigot (1939) et la première étude géographique par Joly (1939). Une synthèse récente des travaux géographiques réalisés sur le littoral bas-normand est présentée par Hinschberger (1996). Parmi les travaux antérieurs, quatre orientations de recherches peuvent être distinguées :

- des études privilégiant l'approche géologique, associant l'étude du littoral à celle du massif granitique de Barfleur (Homménil, 1967, 1972 ; Graindor et Pareyn, 1969) et l'étude des formations superficielles sous-marines (Larsonneur, 1971).

- des études géomorphologiques associant la connaissance des facteurs de la dynamique littorale à celle du relief pour comprendre les modalités de l'évolution du trait de côte (Elhaï, 1958, 1963 ; Blémus, 1970 ; Bellesort et Migniot, 1986 ; Delahaye, 1988).

- des études géomorphologiques privilégiant la connaissance de l'évolution séculaire du trait de côte par la comparaison de documents historiques (plans cadastraux) ou de photographies aériennes (Hinsberger et Orange, 1983 ; Hinschberger *et al.*, 1988 ; Larssonneur et Levoy, 1990).

- des études géomorphologiques développant dans la connaissance du relief littoral celle des formations superficielles (une étude stratigraphique des formations meubles quaternaires situées en position littorale sur cette côte) pour établir une chronostratigraphie de la mise en place du modelé et des formations associées pendant le Quaternaire (Scuvée et Vérague, 1986, 1989) ; ces études bénéficient de l'apport de fouilles archéologiques réalisées sur ce littoral (Scuvée, 1969, 1973).

C'est à partir des résultats obtenus dans ces derniers travaux que nous présentons les conditions de la mise en place du littoral nord-oriental du Cotentin.

B) L'étude des formations meubles littorales du Val de Saire : chronostratigraphie et mise en place pendant le Quaternaire.

La plate-forme d'abrasion façonnée sur le massif granitique de Barfleur est fossilisée par des placages de limons éoliens déposés pendant la dernière période froide pléistocène (Hinschberger, 1996); des loess déposés pendant le Weichsélien III, appartenant à la couverture régionale de Basse Normandie (Scuvée et Vérague, 1986). Affleurant en position littorale, ces formations meubles quaternaires sont taillées en micro-falaises sur les caps et au fond des anses quand elles ne sont pas surmontées par un cordon dunaire (Photos 5 et 6). Les travaux de Scuvée et Vérague (1986, 1989) ont permis de proposer un modèle chronostratigraphique de la mise en place de ces formations quaternaires à partir de leur étude sur des coupes et des sondages réalisés le long de la côte orientale du Cotentin entre Barfleur et la Pointe de Saire (figure 30).

Déposés au-delà d'un vaste platier rocheux attribué à l'interglaciaire éémien, deux ensembles de coupes sont distingués de part et d'autre de l'anse de Landemer et traduisent deux histoires morphogéniques différentes. Au début de l'Atlantique, le ralentissement de l'élévation

1996). Enfin, les travaux de Delahaye (1988) ont montré, à partir de la comparaison des plans cadastraux, la stabilité du cordon dunaire isolant l'étang de Gattermare.

- Larsonneur et Levoy (1990) présentent dans le cadre de l'étude globale concernant la défense contre la mer, l'évolution du trait de côte du nord Cotentin. Ils ont étudié l'évolution du littoral entre l'anse de Landemer et la pointe de Saire en comparant les missions IGN de photographies aériennes de 1947, 1955, 1972, 1978 et 1982 à partir de 34 points de référence. «Entre 1947 et 1982, l'évolution constatée varie entre 0 et 30 m sur le secteur de côte étudié . L'érosion semble s'être accélérée et s'être généralisée depuis 1972. Entre 1947 et 1972 , le recul moyen annuel est de 0,15 à 0,20 m. Sur la période 1972-1982, le recul moyen annuel est de 0,75 m». Aussi, une différence géographique est observée, à grande échelle, dans l'importance du recul du trait de côte ; elle permet d'isoler des portions du trait de côte présentant une évolution homogène sur 35 ans : «sur la partie nord de la zone d'étude, entre le Moulard et l'Anse de Brêt en Bas, le recul sur 35 ans varie entre 7 et 17 m. De la Pointe de la Loge à l'Anse de la Mare, l'évolution du trait de côte est considérée comme stable sur la période 1947-1982. Plus au sud, dans l'Anse de la Mare, le recul est plus intense, entre 20 et 25 m sur 35 ans. Au niveau de la Pointe de Fouly, la côte est stable, alors que plus au sud, l'évolution est très différentielle dans l'espace, entre 0 et 30 m depuis 35 ans».

Cette étude de l'évolution du trait de côte de la Pointe du Moulard à la Pointe de Saire (commune de Réville) confirme les tendances de l'évolution observées pour les périodes antérieures (Hinschberger et Orange, 1983) : le recul est important face aux couloirs intertidaux précédés d'un platier rocheux granitique ; il est faible ou nul face aux caps granitiques.

D) Les caractères de l'humanisation du littoral nord-est du Cotentin.

- des études géomorphologiques privilégiant la connaissance de l'évolution séculaire du trait de côte par la comparaison de documents historiques (plans cadastraux) ou de photographies aériennes (Hinsberger et Orange, 1983 ; Hinschberger *et al.*, 1988 ; Larsonneur et Levoy, 1990).

- des études géomorphologiques développant dans la connaissance du relief littoral celle des formations superficielles (une étude stratigraphique des formations meubles quaternaires situées en position littorale sur cette côte) pour établir une chronostratigraphie de la mise en place du modelé et des formations associées pendant le Quaternaire (Scuvée et Vérague, 1986, 1989) ; ces études bénéficient de l'apport de fouilles archéologiques réalisées sur ce littoral (Scuvée, 1969, 1973).

C'est à partir des résultats obtenus dans ces derniers travaux que nous présentons les conditions de la mise en place du littoral nord-oriental du Cotentin.

B) L'étude des formations meubles littorales du Val de Saire : chronostratigraphie et mise en place pendant le Quaternaire.

La plate-forme d'abrasion façonnée sur le massif granitique de Barfleur est fossilisée par des placages de limons éoliens déposés pendant la dernière période froide pléistocène (Hinschberger, 1996); des loess déposés pendant le Weichsélien III, appartenant à la couverture régionale de Basse Normandie (Scuvée et Vérague, 1986). Affleurant en position littorale, ces formations meubles quaternaires sont taillées en micro-falaises sur les caps et au fond des anses quand elles ne sont pas surmontées par un cordon dunaire (Photos 5 et 6). Les travaux de Scuvée et Vérague (1986, 1989) ont permis de proposer un modèle chronostratigraphique de la mise en place de ces formations quaternaires à partir de leur étude sur des coupes et des sondages réalisés le long de la côte orientale du Cotentin entre Barfleur et la Pointe de Saire (figure 30).

Déposés au-delà d'un vaste platier rocheux attribué à l'interglaciaire éémien, deux ensembles de coupes sont distingués de part et d'autre de l'anse de Landemer et traduisent deux histoires morphogéniques différentes. Au début de l'Atlantique, le ralentissement de l'élévation

du niveau de la mer aboutit à la formation d'une micro-falaise dans les loess en place (déposés pendant le Weichselien III). Dès l'Atlantique, au nord de l'anse de Landemer, débute le colluvionnement du loess limono-sableux ; avant qu'il soit suffisamment important, une tange se dépose. Au sud de l'anse de Landemer, la mise en place d'une tourbe pendant le Subatlantique témoigne d'un colmatage général de cette portion de côte. Un cordon dunaire, vraisemblablement accroché au cap de Landemer se localisait sur le platier rocheux vers 500 m au large (Scuvée et Vérague, 1986) ; l'affleurement de la tourbe sur l'estran au devant des Rochers Dranguet témoigne de cette fermeture du littoral aux influences marines pendant le Subatlantique. De plus, on peut observer sur le bas-estran, à la surface d'une tange, des souches décomposées, issues de la constitution d'un milieu marécageux et humide (forêt fangeuse) en arrière de cet ancien cordon littoral. Le dépôt d'une tange au sommet de la tourbe témoigne d'une nouvelle incursion marine, après une période continentale, par rupture ou déplacement du cordon littoral. Les cordons dunaires actuels recouvrent indifféremment les loess ou les dépôts colluvionnés.

L'association entre les travaux archéologiques de Scuvée (1969, 1973) sur le littoral et des travaux géomorphologiques (Scuvée et Vérague, 1986, 1989) a permis de réaliser cette chronostratigraphie de la mise en place des formations quaternaires du littoral oriental du Cotentin. La découverte d'objets archéologiques et de la nécropole de Réville (cimetière mérovingien de la Pointe de la Loge) autorise l'établissement d'une date précise pour la mise en place des dunes sableuses sub-actuelles à partir du VI^{ème} siècle.

L'évolution du littoral moins avancée sur la côte nord, à l'ouest de la Pointe de Barfleur, laisse supposer que le type de paysage que l'on y observe aujourd'hui doit ressembler à celui qui se développait au Subatlantique en arrière de l'ancien cordon littoral sur la côte orientale : un cordon marécageux et d'anciennes tourbières subsistent en arrière du trait de côte. La fermeture complète du littoral nord est aussi récente puisqu'une embouchure est indiquée sur la carte d'Etat Major de 1844 pour l'étang de Gattemare (Elhai, 1963).

C) L'étude de l'évolution de la ligne de rivage depuis le milieu du XIX^{ème} siècle : apports de la comparaison des plans cadastraux et des photographies aériennes.

L'évolution du littoral nord-est du Cotentin, à l'échelle historique, entre la Pointe de Néville et l'embouchure de la Saire a déjà été étudiée et quantifiée à partir de deux sources différentes :

- Hinschberger et Orange (1983) et Hinschberger *et al.* (1988) ont estimé l'évolution du trait de côte en comparant les plans cadastraux de Gatteville, Barfleur, Montfarville et Réville établis sous la Restauration (respectivement en 1822, 1829) et les plans cadastraux, dits rénovés, établis respectivement en 1941, 1950, 1973 et 1970 (figure 31). Cette étude dont nous rapportons une partie des conclusions pour les communes de Montfarville et de Réville quantifie l'évolution du trait de côte sur environ 150 ans (figure 32).

Sur la côte orientale au sud de Barfleur, le recul a été plus important au nord qu'au sud de l'anse de Landemer et il ne concerne pas l'ensemble du trait de côte mais essentiellement les anses. Le recul le plus important concerne le littoral de Montfarville (100 m à la «Mare de Montfarville»). Les caps granitiques présentent une plus grande stabilité sur 150 ans. Le rythme du recul est aussi important au sud de Barfleur avec la mesure d'un recul de 80 m au sud du port. Sur le littoral de Gatteville, le recul de 20 m entre les deux promontoires rocheux de l'Eglise de Barfleur et de la «Masse» est moins important qu'au sud de Barfleur (Hinschberger *et al.*, 1988). Entre l'embouchure de la Saire et la pointe de Saire, il est constaté, au contraire, une avancée du trait de côte ; la terre a gagné sur la mer, 40 m sur une portion du trait de côte d'environ 500 m (Hinschberger et Orange, 1983). «Les petites anses qui ourlent le littoral entre les chicots granitiques, anciens écueils qui constituent autant de points d'ancrage fixes, se creusent peu à peu, reculant de quelques décimètres par an depuis un siècle et demi» (Hinschberger, 1996).

Soit, en fait, un littoral qui évolue selon le modèle des côtes dites contraposées défini par Guilcher (1954) avec "une irrégularisation du littoral par érosion différentielle marine exploitant la diversité lithologique très forte de la côte" (Hinschberger et Orange, 1983 ; Hinschberger,

1996). Enfin, les travaux de Delahaye (1988) ont montré, à partir de la comparaison des plans cadastraux, la stabilité du cordon dunaire isolant l'étang de Gattemare.

- Larsonneur et Levoy (1990) présentent dans le cadre de l'étude globale concernant la défense contre la mer, l'évolution du trait de côte du nord Cotentin. Ils ont étudié l'évolution du littoral entre l'anse de Landemer et la pointe de Saire en comparant les missions IGN de photographies aériennes de 1947, 1955, 1972, 1978 et 1982 à partir de 34 points de référence. «Entre 1947 et 1982, l'évolution constatée varie entre 0 et 30 m sur le secteur de côte étudié . L'érosion semble s'être accélérée et s'être généralisée depuis 1972. Entre 1947 et 1972 , le recul moyen annuel est de 0,15 à 0,20 m. Sur la période 1972-1982, le recul moyen annuel est de 0,75 m». Aussi, une différence géographique est observée, à grande échelle, dans l'importance du recul du trait de côte ; elle permet d'isoler des portions du trait de côte présentant une évolution homogène sur 35 ans : «sur la partie nord de la zone d'étude, entre le Moulard et l'Anse de Brêt en Bas, le recul sur 35 ans varie entre 7 et 17 m. De la Pointe de la Loge à l'Anse de la Mare, l'évolution du trait de côte est considérée comme stable sur la période 1947-1982. Plus au sud, dans l'Anse de la Mare, le recul est plus intense, entre 20 et 25 m sur 35 ans. Au niveau de la Pointe de Fouly, la côte est stable, alors que plus au sud, l'évolution est très différentielle dans l'espace, entre 0 et 30 m depuis 35 ans».

Cette étude de l'évolution du trait de côte de la Pointe du Moulard à la Pointe de Saire (commune de Réville) confirme les tendances de l'évolution observées pour les périodes antérieures (Hinschberger et Orange, 1983) : le recul est important face aux couloirs intertidaux précédés d'un platier rocheux granitique ; il est faible ou nul face aux caps granitiques.

D) Les caractères de l'humanisation du littoral nord-est du Cotentin.

La découverte d'une nécropole de 154 sépultures à l'emplacement de la Pointe de la Loge sur le littoral de Réville (Scuvée, 1973), datée du VI^{ème}-VII^{ème} siècle, témoigne d'une occupation humaine de ce littoral contemporaine de la formation de la barrière côtière actuelle.

Les trois principaux caractères de l'humanisation du littoral nord-est du Cotentin sont :

- l'exploitation des ressources marines (pêche, ostréiculture, conchyliculture).
- le développement des activités portuaires à vocation militaire ou économique.
- la mise en valeur agricole des terres situées à proximité du littoral et leur exploitation «jusque l'extrême limite de la laisse de haute mer» (Hinschberger, 1996).

Depuis le VII^{ème} siècle, ces trois caractères ont coexisté avec une plus ou moins grande importance selon les époques et les contextes politiques et économiques. Les sources historiques montrent, jusqu'à la fin du XVIII^{ème} siècle, la permanence de ces trois formes d'humanisation du littoral Nord-Cotentin.

1) Une perception précoce du rôle des influences humaines dans la dynamique du littoral.

Dans les cahiers de doléances du bailliage du Cotentin, rédigés sous la Révolution Française et étudiés par Lantier (1989), deux doléances témoignent des préoccupations des habitants de Montfarville et de Réville pour leur littoral :

«Nous avons, dans notre dite paroisse, au moins un tiers de la terre en campagne, le long du rivage qui (est) , tous les ans dévastée par les vents de la mer, ce qui la rend infructueuse» Paroisse de Montfarville (Lantier, 1989).

«Nous supplions Sa Majesté d'avoir égard que les flots de la mer submergent une grande partie des fonds de la paroisse, l'entourant au moins des deux-tiers, ce qui fait qu'on ne peut rien recueillir sur les objets qui sont submergés» Paroisse de Réville (Lantier, 1989).

A la fin du XVIII^{ème} siècle, c'est moins le recul du trait de côte qui inquiète les communautés littorales, que la submersion des terres situées en arrière lors des tempêtes. Ces deux doléances soulignent un caractère original et permanent du littoral entre la limite nord de Montfarville et la

pointe de Saire : des champs cultivés s'étendent jusqu'au trait de côte limité à un étroit cordon dunaire.

Dans deux doléances, les habitants des deux paroisses expliquent les submersions du littoral par l'exploitation du granite affleurant sur l'estran :

«Sa Majesté a permis de soutirer des pierres pour les travaux de Cherbourg (construction de la rade militaire), ce qui donne atteinte aux flots de la mer de détruire entièrement le rivage et submerger une partie de la dite campagne» Paroisse de Montfarville (Lantier, 1989).

«Le volage des sables (...) y fait autant de tort que toutes les pierres servant de défense aux flots de la mer, (qui) sont aujourd'hui arrachées et enlevées pour le service de Sa Majesté, ainsi que les carrières ouvertes dans le terrain, ce qui fait une perte considérable» Paroisse de Réville (Lantier, 1989).

L'extraction du granite sur le platier rocheux du littoral Nord-Cotentin est une activité permanente sur ce littoral dont les conséquences peuvent se manifester par l'accélération du recul du trait de côte. Hirschberger *et al.* (1988) ont aussi trouvé des références au danger que constituent les prélèvements de sable sur l'estran et l'extraction des blocs de granite dans les procès verbaux des séances du conseil municipal de Barfleur du 10 février 1850 et du 7 novembre 1856 ; la municipalité demande au Préfet de la Manche d'interdire l'exploitation du granite sur plusieurs secteurs du littoral.

2) L'institutionnalisation de la défense contre la mer au XIX^{ème} siècle et l'originalité du littoral de Réville sur la côte nord-orientale du Cotentin.

De la fin du XVIII^{ème} siècle à la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, les sources historiques font mention, déjà, de la sensibilité des populations littorales au recul du trait de côte et surtout aux risques de submersion amplifiés par les interventions humaines. C'est moins la stabilisation du trait de côte qui est recherchée que la protection des terres agricoles situées en arrière ; on essaie d'obtenir celle-ci par l'implantation de haies de tamaris le long du littoral dont il subsiste quelques lambeaux aujourd'hui. Cependant des tentatives de protection du trait de côte ont

probablement été engagées mais, objet d'initiatives individuelles, elles sont difficiles à étudier pour des périodes anciennes.

Le milieu du XIX^{ème} siècle marque aussi une rupture fondamentale dans les rapports élaborés entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines : des associations syndicales de défense contre la mer se constituent :

- l'Association syndicale de Saint-Vaast-la-Hougue-Réville-sud créée en 1816.
- l'Association syndicale de Barfleur-Gatteville créée en 1876.

Comme sur le littoral du Pas-de-Calais, à la même époque, l'intervention des sociétés humaines va se concentrer sur le trait de côte et se manifester par la construction d'ouvrages de protection. Aussi, à partir du milieu du XIX^{ème} siècle, les sources historiques consultées nous conduisent à différencier l'évolution du littoral de Montfarville de celle de Réville.

Par rapport à une évolution du trait de côte semblable, les deux communautés adoptent deux types opposés de comportements. Sur les 2 km de côte de la commune de Montfarville, les tentatives de protection du trait de côte contre le recul mesuré par Hirschberger et Orange (1983), quand elles ont existées, ont toujours été le fait d'initiatives individuelles de la part des propriétaires de terres agricoles en bordure de mer. Les choses sont très différentes pour la commune de Réville où la recherche de stabilisation du trait de côte s'est faite en plusieurs phases et conduisit à une plus grande extension spatiale des aménagements. Sur le littoral de Réville, les rapports élaborés entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines présentent une originalité : alors que sur la majeure partie des littoraux de la Manche (ou du Pas-de-Calais) et sur la côte nord-orientale, des associations syndicales de défense contre la mer se constituent au XIX^{ème} siècle, de tels groupements sont créés sur le littoral de Réville dans les années 1980 et 1990.

TROISIEME PARTIE :
LES MILIEUX DUNAIRES
DU PAS-DE-CALAIS ET
DU NORD-EST DE LA MANCHE :
ANALYSE A PLUSIEURS
ECHELLES SPATIO-TEMPORELLES.

CHAPITRE 4 : GEOMORPHOLOGIE ET BIOGEOGRAPHIE DES LITTORAUX DUNAIRES DU PAS-DE-CALAIS ET DE LA MANCHE ORIENTALE. Apports de l'étude de la végétation littorale à l'étude de la morphologie et de la dynamique des milieux dunaires.

Nous avons présenté dans le chapitre précédent les différents terrains de notre étude dans une perspective historique associant la mise en place des littoraux pendant le Quaternaire, en réponse à une dynamique naturelle, à celle de leur anthropisation à partir du Moyen Age, en réponse aux projets élaborés par les sociétés humaines.

Nous avons recherché les étapes de leur anthropisation. Deux moments importants dans le processus d'anthropisation de l'espace littoral se sont succédé depuis le XII^{ème} siècle :

- jusqu'au XVIII^{ème} siècle, à deux périodes distinctes (Deuxième partie), le littoral a fait l'objet d'entreprises de conquêtes de terres sur la mer et de mises en valeur de polders (littoral de la plaine maritime flamande et rives des estuaires de l'Authie et de la Canche) ou de mise en valeur des terres agricoles jusqu'à la limite du trait de côte (littoral nord-est du Cotentin).

- à partir du milieu du XIX^{ème} siècle, les ouvrages de défense se généralisent le long du trait de côte. Les sociétés humaines ont la volonté de protéger leurs conquêtes et de s'opposer au recul du trait de côte. Des ouvrages ont, certes, déjà été construits avant cette période mais un fait justifie cette rupture : l'institutionnalisation de la défense contre la mer marquée par la création de groupements de propriétaires (associations syndicales de défense contre la mer). Ces créations ont pour conséquence, sur l'ensemble des terrains de cette étude, l'extension des ouvrages de défense du trait de côte : la dynamique du littoral est le résultat de l'interférence entre l'évolution naturelle et les conséquences de l'implantation de ces ouvrages.

Néanmoins, si ces deux étapes de l'anthropisation de l'espace littoral sont communes à tous les terrains de cette étude, des différences de rythmes sont observées en fonction des caractères morphologiques et phytogéographiques des milieux dunaires, de l'évolution locale d'une portion du trait de côte et de projets ponctuels des sociétés humaines. Le processus d'anthropisation est subordonné aux caractères des milieux dunaires et à la dynamique naturelle. Deux exemples en témoignent :

- sur le littoral de Sangatte, à l'extrémité méridionale du littoral de la plaine maritime flamande, la construction d'ouvrages de protection du trait de côte a commencé à la fin du XVI^{ème} siècle dans le but de s'opposer aux submersions survenues pendant les tempêtes.

- sur la rive nord de la baie de l'Authie, le choix de l'implantation d'un hôpital de l'Assistance Publique de la ville de Paris en 1867 sur un littoral dont la dynamique naturelle se traduit par un recul du trait de côte (musoir de l'estuaire) a conditionné son artificialisation importante par des ouvrages de défense du trait de côte.

Depuis le Moyen Age, la dynamique des littoraux étudiés dans ce travail résulte de l'interférence entre l'évolution naturelle et les conséquences de l'anthropisation du milieu. Cette interférence nécessite la prise de conscience de la différence fondamentale entre d'une part, le temps des sociétés humaines correspondant à un «temps durée» et d'autre part, le temps du milieu naturel correspondant à un «temps réponse». Cette notion de «temps réponse» est issue des recherches de Sommé (1990) sur la conceptualisation de la notion d'enregistrement réponse des environnements sédimentaires correspondant à la définition des événements stratigraphiques dans le cadre d'une conception dynamique. En effet, le temps du milieu naturel est discontinu car les événements qui le composent sont hiérarchisés.

A cette perspective historique caractérisée par un emboîtement de deux échelles temporelles, le temps du milieu naturel et le temps des sociétés humaines, correspond un cadre spatial caractérisé par un emboîtement d'échelles spatiales ; la dynamique des littoraux dunaires présente une grande variabilité spatiale :

- sur une distance de plusieurs dizaines de kilomètres, celle-ci est conditionnée par les transferts sédimentaires entre les différentes unités morphologiques de l'avant-côte au haut de plage et les modalités d'action des processus hydrodynamiques et météorologiques en interaction avec la morphologie du littoral. Plusieurs types de dynamiques sont distinguées (accrétion et/ou érosion) et permettent de caractériser des formes littorales représentatives.

- sur des distances comprises entre un et une dizaine de kilomètres, la dynamique littorale peut présenter une grande variabilité spatiale en fonction de la succession de milieux dunaires plus ou moins anthropisés.

Cet emboîtement d'échelles spatio-temporelles rend complexe la compréhension des mécanismes de la dynamique des littoraux dunaires. Celle-ci est néanmoins indispensable pour ajuster au mieux les interventions humaines sur les milieux dunaires.

Nous présentons dans ce qui suit le travail réalisé sur les différents terrains du domaine d'étude. Nous avons adopté une approche naturaliste, descriptive et analytique, pour présenter les différents terrains étudiés : c'est une démarche résolument géographique, le paysage littoral est notre point de départ. Le travail réalisé sur le terrain permet une approche relativement à une grande échelle spatiale et rend compte de la complexité des structures et des évolutions dont elle témoigne. Dans nos investigations sur les terrains, deux aspects du milieu sont privilégiés : la morphologie et la végétation dunaire.

I) Une étude des relations entre la morphologie, la végétation et les interventions des sociétés humaines.

La présentation associée des caractères phytogéographiques et morphologiques des sites étudiés est réalisée à partir de deux types de support : les transects de végétation et la photographie. D'après Buller (1994), la photographie permet une approche systématique d'identification, de mesure et de compréhension. Nous avons utilisé ce support pour la présentation des caractères morphologiques actuels des terrains étudiés ; celui-ci est particulièrement adapté à la grande échelle de l'analyse et permet de mettre en évidence des tendances de l'évolution à partir d'observations diachroniques pendant la période de réalisation de notre travail de thèse. En complément des photographies au sol, nous avons utilisé quelques photographies aériennes : à une plus petite échelle, elles permettent d'obtenir une vue synoptique des terrains et par la comparaison des missions successives, la tendance de l'évolution des différentes composantes du paysage littoral depuis la fin des années 1940. L'étude des différentes missions de photographies aériennes réalisées depuis 1947 a déjà été entreprise par Battiau-Queney *et al.* (1995), Petit-Berghem et Dubois (1995), Petit-Berghem (1996) sur le littoral compris entre l'estuaire de la Canche et la baie de l'Authie.

A) Morphologie et végétation littorales du domaine d'étude.

Les littoraux étudiés dans ce travail ont pour élément commun leur caractère sédimentaire : ce sont des littoraux meubles. De nombreux travaux géomorphologiques ont déjà été consacrés aux milieux dunaires et ont permis d'établir une classification morphologique distinguant la dune bordière, la dune secondaire et la dune rémanente (Guilcher, 1954 ; Verger *et al.*, 1972 ; Pye, 1983 ; Blérard et Vergne, 1985 ; Carter, 1988, 1990 ; Paskoff, 1989, 1993a, 1994a ; Bird, 1990 ; Carter *et al.*, 1990a ; Nordstrom *et al.*, 1990 ; Robertson-Rintoul et Ritchie, 1990 ; Meur-Ferrec, 1993 ; Fauchois, 1994, 1995 ; Battiau-Queney, 1995 ; Battiau-Queney *et al.*, 1995). Cette distinction repose sur la prise en compte d'un double aspect : d'une part, la nature et l'intensité des échanges sédimentaires entre la plage et la dune, d'autre part, la position de la dune par rapport à l'estran.

D'un point de vue morphologique, les formes dunaires étudiées dans notre travail caractérisent trois types de milieux dunaires :

- une dune bordière, au sens strict, sur le littoral de la plaine maritime flamande. De Sangatte à Oye-Plage, un simple bourrelet dunaire se développe tout le long du littoral, interrompu par l'extension des infrastructures urbaines ou portuaires de Calais.

- un massif dunaire constitué par plusieurs unités morphologiques bien individualisées sur la rive nord de la baie de l'Authie : dune bordière résiduelle, dune secondaire, dépression interdunaire.

- une succession de petits caps et d'anses sur la côte nord-orientale du Cotentin le long de laquelle des cordons dunaires, très peu développés, sont encadrés par des micro-falaises taillées dans des formations meubles quaternaires affleurant en position littorale.

Un aspect morphologique important pour ces trois types de milieu dunaire est représenté par la présence ou non de dunes embryonnaires selon la terminologie de Carter (1988) : soit des dunes élémentaires, précédant sur le haut de plage les formes décrites précédemment, dont l'extension et les caractères de la couverture végétale traduisent une progradation du trait de côte. A l'intérieur de notre domaine d'étude, trois portions du trait de côte sont caractérisées par le

développement de dunes embryonnaires : la partie occidentale du littoral du Platier d'Oye, la partie centrale de la dune bordière de Sangatte et la Pointe de la Rochelle sur la rive nord de la baie de l'Authie.

Un facteur important de la différenciation des milieux dunaires étudiés est représenté par la couverture végétale ; les échanges sédimentaires entre l'estran, la plage et le milieu dunaire qui conditionnent l'évolution morphologique de la dune (Psuty, 1988) sont sous la triple dépendance des vagues, du vent et de la couverture végétale. La végétation des littoraux dunaires est traditionnellement présentée en relation avec les différentes formes se succédant de la plage vers l'arrière-dune : la répartition de la végétation correspond à une disposition circumlittorale ou à une zonation linéaire traduisant principalement l'évolution des conditions écologiques et climatiques en relation avec l'éloignement du milieu par rapport à la mer (figure 33). La nature de ces différentes ceintures de végétation est mentionnée dans de nombreux travaux sur la végétation littorale (Géhu, 1964 ; Géhu et Géhu-Franck, 1969, 1971, 1979 ; Géhu et Tüxen, 1971 ; Blérard et Vergne, 1985 ; Bournérias *et al.*, 1992 ; Hendoux, 1994 ; Paskoff, 1994b ; Petit-Berghem, 1996) : un transect réalisé du haut de plage vers l'arrière-dune permet d'identifier six groupements végétaux de la xérosère :

- la zone des laises de mer est occupée par une végétation éparse, halo-nitrophile, migratoire et thérophytique de la classe des *Cakiletea maritimae*. La principale association de ce groupement est représentée, sur notre domaine d'étude, par *Atriplicetum arenariae*. Le développement de *Atriplicetum arenariae* caractérise aussi l'exposition des plages à un déferlement important pendant les épisodes de tempêtes et la fréquence des épisodes de déflation/accumulation (par exemple sur le littoral de la plaine maritime flamande). L'espèce caractéristique, *Atriplex laciniatae*, est associée à deux espèces dominantes, *Cakile maritima* et *Salsola kali*. Par ailleurs, l'association *Honckenietum-Peploides* se développe sur des hauts de plage plats et peu sujets à la fréquence d'épisodes érosifs ou progradants : pour cette raison elle est absente des littoraux de notre domaine d'étude (*Honckenya peploides* est incorporée à l'*Agropyretum*).

- la zone des dunes embryonnaires est occupée par *Elymo-Agropyretum juncei* ou *Euphorbio-Agropyretum juncei*. L'association *Elymo-Agropyretum juncei*, caractéristique du peuplement du versant maritime de la dune bordière à la limite du haut de plage, est remplacée par l'association *Elymo-Ammophiletum arenariae* sur le versant maritime de la dune (c'est l'association qui supporte le mieux la fréquence des épisodes d'accumulation et d'érosion).

- la dune bordière est occupée par *Euphorbio-Ammophiletum arenariae* à *Ammophila arenaria* dominant accompagnée de *Euphorbia paralias*, *Calystegia soldanella* et *Eryngium maritimum*. Sur le littoral de la plaine maritime flamande, *Euphorbio-Ammophiletum* développée sur le versant continental de la dune bordière, plus chaud, succède à *Elymo-Ammophiletum* développée sur le versant maritime exposé aux vents de nord.

- la zone des dunes secondaires à pelouses rases est occupée par une végétation herbacée courte plus ou moins ouverte et associée à un tapis bryo-lichénique : *Euphorbio-Festucetum dumetori* précède *Tortuleto-Phleetum arenarii* dominée par *Tortula ruraliformis*, *Phleum arenarium*, *Sedum acre*. Cette zone correspond, en relation avec l'atténuation importante des contraintes écologiques dues à la proximité de la mer, au maximum de diversification floristique de la végétation dunaire. D'après Bonnot (1971), les bryophytes n'ont pas en milieu dunaire le rôle d'espèces pionnières qu'elles assurent dans de nombreux milieux naturels : les premières espèces de mousses apparaissent dans l'*Ammophiletum* le plus évolué, le plus lointain par rapport à la mer. Dans les stades plus tardifs de la végétation dunaire, le tapis de mousses gagne en extension, allant jusqu'à un recouvrement subtotal du substrat. L'inadaptation des bryophytes aux conditions de la dune jeune est particulièrement marquée vis à vis de deux facteurs du milieu : l'un est physique, le support est fluide, l'autre est d'ordre microclimatique, une sécheresse totale affecte les couches superficielles du substrat.

- la zone arrière-dunaire est occupée par une végétation arbustive représentée sur notre domaine d'étude par le *Sambuco-Hippophaetum rhamnoides* et dominée par les fourrés d'argousiers (*Hippophae rhamnoides*).

B) Evolution des conceptions scientifiques et présentation de la méthode utilisée pour l'étude de la végétation littorale : l'adaptation des méthodes de la phytosociologie à une étude de géomorphologie littorale.

L'étude de la végétation littorale, basée sur des relevés réalisés sur les terrains, est présentée principalement sous la forme de transects accompagnant les photographies au sol. Notre étude de la végétation littorale se limite d'un point de vue écologique à celle de la xérosère sur sable sec (où la nappe d'eau est douce) à l'exclusion des groupements hygrophiles des dépressions inter-dunaires (pannes) humides ou submersibles (hygrosère) et de la forêt littorale qui a déjà fait l'objet de recherches doctorales sur le littoral du Pas-de-Calais (Petit-Berghem et Dubois, 1995 ; Petit-Berghem, 1996 ; Petit-Berghem et Matysiak, 1996).

1) Evolution des concepts relatifs à l'étude scientifique de la végétation en milieu dunaire.

La zonation de la végétation dunaire en bandes successives, présentée précédemment, se rapporte à une double référence spatiale et conceptuelle :

- cette disposition en bandes est assez rarement observée dans les milieux dunaires où lui est substituée une intrication des différents groupements de végétation. Petit-Berghem (1996) a déjà critiqué le caractère très schématique de cette présentation : «La végétation littorale est azonale, atypique ; les groupements sont souvent liés à des situations particulières, parfois édaphiques (hydromorphie des sols) ou microtopographiques» (l'utilisation du terme de groupement pour désigner la végétation dunaire ne se réfère à aucune position particulière dans la hiérarchie phytosociologique). La reconnaissance de lignes zonées de végétation est possible relativement à une petite échelle spatiale ; par ailleurs, celle-ci correspond à une dynamique linéaire ou séquentielle de la végétation dunaire. La notion de dynamique linéaire fait référence au concept écologique de succession.

- l'étude des milieux dunaires a déterminé l'élaboration et le développement du concept de succession écologique (Clements, 1916, 1936 ; Drouin, 1994). Blondel (1979, 1986, 1995)

définit la succession comme «l'ensemble des processus par lesquels un écosystème naturellement ou artificiellement altéré ou détruit entreprend spontanément de se reconstituer pour retrouver un état qui soit en quelque sorte un fac-similé de son état initial». La succession primaire s'oppose à la succession secondaire qui exprime le processus de reconstitution de la végétation après destruction totale ou partielle d'une communauté végétale préexistante. Cette conception traditionnelle de la succession écologique met davantage l'accent sur la dimension temporelle plutôt que spatiale : la succession est assimilée à un processus de développement aboutissant aux stades terminaux de la succession appelés climax (Clements, 1916, 1936). Par ailleurs, une évolution est dite progressive quand elle se rapproche du climax et régressive dans le cas contraire.

La notion de dynamique linéaire est liée à la prise en compte de gradients écologiques. Géhu (1969) a souligné la superposition de plusieurs gradients liés à l'éloignement par rapport à la mer et à la diminution corrélative des conditions contraignantes et sélectives pour la végétation littorale. Trois facteurs ont un rôle sélectif sur la répartition de la végétation sur le littoral et provoquent une dynamique de type linéaire :

- la proximité de la mer se traduit par des apports de sel et de matières organiques, sous la forme d'accumulation en lignes ou «laisses de mer» dans la partie supérieure de l'estran, très sélectifs sur la nature de la colonisation végétale. Ceux-ci déterminent le développement d'une végétation de caractère halo-nitrophile. Les apports de matières organiques présentent de fortes variations entre le littoral nord-est du Cotentin où nous avons observé des «murets» de goémon (Photo n° 6) et le littoral du Pas-de-Calais où les apports sont plus réduits.

- les variations dans la nature (granulométrie) et le régime de la sédimentation induisent le développement de séquences particulières de végétation ; par exemple, sur le littoral nord du Cotentin, Géhu et Géhu-Franck (1985) ont mis en relation «la ségrégation longitudinale des végétations de hauts de plages avec l'existence d'une sédimentation différentielle» sous l'effet du courant de marée (flot) portant vers l'est (figure 34).

- l'évolution, de la plage vers l'arrière-dune, des conditions climatiques et édaphiques générales et stationnelles, caractérisées d'une manière générale par l'atténuation du vent et de la

mobilité du substrat, a pour conséquence un enrichissement floristique et le développement de formations arbustives.

Palierno et Renaud (1990) ont proposé, à partir de travaux réalisés sur le littoral vendéen, un découpage du système dunaire en bandes biogéocénétiques et biotomes : ce découpage traduit la dynamique linéaire de la végétation en milieu dunaire commandée par la diminution des contraintes écologiques en relation avec l'éloignement de la mer et l'organisation circumlittorale des différentes espèces. Les bandes biogéocénétiques correspondent à des milieux dunaire facilement identifiables sur le terrain par leurs caractères physiologiques et dont la succession correspond au passage de seuils physiologiques pour la colonisation végétale. Petit-Berghem (1996) a défini pour le système dunaire de Merlimont 8 bandes biogéocénétiques et 3 biotomes depuis la dune bordière jusqu'à la forêt arrière-littorale (figure 35).

La conception traditionnelle de succession écologique a été critiquée par la double prise en compte des dimensions temporelles et spatiales. En effet, si la définition d'une dynamique linéaire et de modèles de successions progressives ou régressives sont envisageables à l'échelle de l'ensemble d'un massif dunaire (Petit-Berghem, 1996), à plus grande échelle, «les relevés stationnels permettent de décrire des séquences de végétation qui définissent chacune un stade d'évolution qui s'inscrit dans un schéma évolutif non linéaire appelé à être remis en cause constamment par des phénomènes de seuils, de ruptures ou crises de nature différente, géomorphologique, climatique ou anthropique» (Petit-Berghem, 1996). Le télescopage des différentes ceintures de végétation, responsable d'une distribution en mosaïque, est provoqué par l'incursion de temporalités événementielles dans l'évolution du milieu dunaire. La notion de temporalité événementielle a été définie par Regnaud *et al.* (1993) : le milieu littoral n'est pas seulement un milieu d'interface au sens spatial du terme mais aussi au sens temporel, contact et enchevêtrement de périodicités différentes associées aux processus hydrodynamiques (marées, houles) et au développement du tourisme (Dewailly, 1985). Une évolution conceptuelle de la notion de succession écologique et de climax vers celle de régime de perturbation et de métaclimax a été développée par Blondel (1986, 1995) au travers de la notion de perturbation :

celle-ci est définie comme «un événement localisé et imprévisible qui endommage, déplace ou tue un ou plusieurs individus ou communautés créant une occasion de colonisation par de nouveaux organismes». Le régime de perturbation définit le cadre dans lequel se fait la dynamique de la végétation et l'existence de perturbations récurrentes mais spatio-temporellement imprévisibles produit une mosaïque d'unités de paysage à des stades variables de développement successional. Notre travail s'inscrit dans cette évolution conceptuelle : relativement à une grande échelle spatiale deux perturbations majeures interfèrent avec la dynamique linéaire du couvert végétal : les tempêtes (Chapitre 6) et les interventions anthropiques (Chapitres 7 et 8).

2) Présentation de la méthode d'étude de la végétation dunaire.

Dans l'étude de la végétation dunaire, trois aspects sont présentés :

- la composition floristique du couvert végétal à l'intérieur du milieu dunaire. Des relevés de végétation sont réalisés dans des milieux dunaires représentatifs d'un point de vue morphologique ; ceux-ci ne donnent pas un inventaire exhaustif des espèces rencontrées dans les différents milieux littoraux. Nous n'avons mentionné que les espèces (taxons structurants) dont la présence (ou l'absence) renseigne sur l'évolution morphologique du littoral et dont le caractère dominant donne la physionomie de la couverture végétale du milieu dunaire. Nous indiquons aussi le recouvrement du milieu dunaire par le couvert végétal : c'est un aspect déterminant de l'évolution morphologique. Ces deux aspects, composition floristique et recouvrement, se réfèrent à une grande échelle spatiale et sont donc associés à la présentation de la morphologie dunaire rencontrée sur le terrain.

- la reconnaissance des associations de végétation permet de définir la zonation de la végétation à l'intérieur des milieux dunaires. Cette définition se réfère au concept de «complexe de groupements végétaux» défini par Braun-Blanquet (1928) : ils sont l'expression des mosaïques du tapis végétal dans des cadres géographiques homogènes mais de dimensions variables.

Les deux aspects précédents caractérisent l'aspect analytique de notre étude de la végétation ; l'étape analytique du travail réalisé sur les terrains est rendue complexe en raison de l'intensité et de la diversité des faits dynamiques (Géhu et Tüxen, 1971) : nous déduisons de la zonation le cours de la succession caractérisée par une imbrication de séries progressives et régressives.

- la définition des ceintures de végétation obtenue à partir des deux démarches précédentes est comparée aux ceintures de végétation potentielle du milieu dunaire. La notion de végétation potentielle a été définie par Géhu (1979, 1980) : «exprimant aussi (comme la notion de climax) la végétation susceptible de se réaliser indépendamment de l'homme sur un sol donné et sous un climat déterminé, elle se situe à l'échelle généralement plus fine du site ou de la station» ...«sa définition est toujours phytosociologique (combinaisons statistiques d'ensembles floristiques) et pas seulement physiologique». Ce premier type de comparaison réalisée à grande échelle, permet de caractériser la dynamique du couvert végétal en relation avec l'évolution morphologique. Les ceintures de végétation des différents milieux dunaires sont comparées entre les différents terrains du domaine d'étude ; ce deuxième type de comparaison, à petite échelle, permet l'ébauche d'une approche chorologique des relations entre la végétation et la morphologie littorale.

Ces trois aspects, utilisés pour l'étude de la végétation dunaire, font référence à la phytosociologie. Nous n'avons pas adopté d'une manière stricte les méthodes de la phytosociologie : nos relevés floristiques ne sont pas systématiquement accompagnés d'un coefficient d'abondance-dominance et nous n'intégrons pas systématiquement l'approche synthétique de la phytosociologie par la réalisation de tableaux présentant les relevés de végétation comparés, classés et hiérarchisés ; mais notre approche correspond à la même démarche : une approche analytique, par l'identification des individus et la reconnaissance des associations de végétation en relation avec les conditions écologiques et morphologiques, est suivie d'une approche synthétique par la reconnaissance de la succession des unités de végétation traduisant un aspect statique (à grande échelle en relation avec l'état actuel du couvert végétal), dynamique (en relation avec l'évolution morphologique) et chorologique (à plus petite échelle, en relation avec l'évolution des conditions climatiques).

Cette double approche morphologique et phytogéographique représente donc une certaine originalité de notre travail : les méthodes de la phytosociologie, adaptées pour une étude géomorphologique, complètent la compréhension des aspects morphologiques et de la dynamique des milieux dunaires. La végétation des littoraux étudiés est analysée en montrant les rapports entre d'une part, la structure, la dynamique du couvert végétal et les contraintes écologiques des espèces et d'autre part, les formes dunaires et leurs évolutions. Une étude de la végétation dans le contexte spatial de la xérosère permet de préciser le comportement dynamique propre aux principales espèces (autoécologie) : sur le haut de plage et le versant maritime de la dune bordière, *Elymus arenarius* (c'est aussi le cas de *Agropyrum junceum* et *Ammophila arenaria*) adopte une stratégie de colonisation indépendante des autres espèces. Sur la dune secondaire, la fixation du substrat et la multiplication des contrastes édaphiques entraînent une certaine interdépendance dans les stratégies de colonisation des différentes espèces (synécologie).

C) Sur les relations entre les aspects morphologiques, phytogéographiques et anthropiques dans le processus d'évolution des littoraux dunaires.

1) Présentation des travaux antérieurs.

Les travaux de Maïti et Thomas (1975) et de Bressolier et Thomas (1977) ont précisé les modalités des interactions entre la végétation et le vent dans les dunes littorales : la modification de la distribution de la vitesse du vent au voisinage du sol est un des facteurs essentiels de l'action de contrôle exercée par le tapis végétal sur une dune littorale au cours des diverses phases de son édification et de son évolution ; des variations de la vitesse du vent sont observées en fonction du type de morphologie du front maritime de la dune bordière et de la couverture végétale associée (figure 36).

Hesp (1983) a montré l'influence dominante de la végétation dans la formation des dunes bordières sur le littoral australien : d'après cet auteur, la densité de la couverture végétale est

plus que sa composition floristique, le facteur déterminant : une augmentation du recouvrement produit un accroissement de la rugosité et une réduction corrélative de la vitesse du vent. Hesp (1989) conclut à une relation étroite entre la végétation et l'accumulation. Une étude plus récente de Arens (1996a, b) a montré, sur le littoral néerlandais, les différents types d'interactions entre le vent, le transport des sédiments de la plage vers la dune bordière et son évolution morphologique dans deux cadres phytogéographiques différents (figure 37) : les variations observées dans la vitesse du vent déterminent une alimentation potentielle du front maritime de la dune bordière conditionnée par la densité de la végétation. Ainsi, dans un contexte marqué par un transport des sédiments par saltation entre la plage et le versant maritime de la dune, deux situations sont observées :

- sur un versant non végétalisé, une vitesse du vent faible détermine un échange sédimentaire de la plage vers le pied de dune et de la partie sommitale du versant maritime vers le revers ; à l'inverse, une vitesse du vent élevée provoque une érosion du versant maritime et un transfert des sédiments sur le revers.

- sur un versant végétalisé, une vitesse du vent faible détermine uniquement un transport sédimentaire entre la plage et le pied de dune ; une vitesse de vent élevée provoque une accumulation au sommet du versant maritime sans perte sédimentaire sur l'ensemble du versant. Ces travaux montrent l'importance des variations du recouvrement de la surface dunaire par le couvert végétal dans l'évolution du bilan accrétion/érosion de la dune bordière.

La majeure partie des études géomorphologiques consacrées aux interactions entre la morphologie et la végétation dunaire considère cette dernière comme un facteur de pondération de l'évolution morphologique : celle-ci détermine, à partir des variations de sa densité, les potentialités de transferts sédimentaires entre la plage et la dune bordière sous l'influence du vent. Dans notre travail, la végétation dunaire est aussi considérée comme le bilan, à un moment donné, de l'évolution morphologique actuelle et passée : la physionomie actuelle du couvert végétal permet au travers de sa structure (zonation et mosaïque) et de sa dynamique (succession et perturbation) de déterminer un état morphologique actuel du milieu dunaire et une partie des états antérieurs.

Nous avons privilégié deux aspects du couvert végétal pour l'étude de la signification écodynamique du type de milieu dunaire : la physionomie et la localisation de l'*Ammophiletum*. Ces deux aspects traduisent une phase dynamique de l'*Ammophiletum* qui s'insère dans la succession de la végétation dunaire. Une phase dynamique initiale, typique, terminale peut s'intégrer dans des séquences primaires ou secondaires, progressives ou régressives. La différence entre un stade primaire et secondaire de l'*Ammophiletum* se traduit d'un point de vue physiologique par la coloration vert tendre du premier groupement correspondant à une forme jeune et vert grisâtre du second correspondant à une forme plus âgée. Par ailleurs, l'*Ammophiletum* secondaire présente une fréquence importante de formes de déchaussements provoquées par la formation de falaises sableuses et du développement corrélatif d'éboulements sur les parois dunaires. Dans les zones de remaniements éoliens intenses apparaissent divers stades de l'*Ammophiletum* secondaire que seule leur localisation distingue des *Ammophileta* primaires. Sur un littoral en accrétion, la succession des groupements végétaux débute par un *Ammophiletum* primaire ; une position sur le versant maritime permet de bénéficier d'apports nutritifs (azotés) et d'un certain ensablement. Le développement optimum de l'espèce caractéristique, *Ammophila arenaria*, s'effectue dans les zones où les apports de sable sont réguliers et importants (10 cm à 1,5 m par an) sans toutefois dépasser à chaque ensablement les 2/3 de la hauteur de l'appareil aérien (Barrère, 1989). Trois facteurs mésologiques sont limitant pour son développement :

- des apports de quelques centimètres de sable par an suffisent à la survie de l'espèce mais l'absence de ces apports entraîne son remplacement par d'autres espèces.
- la plante supporte mal le déchaussement qui peut provoquer sa mort.
- si la plante est très résistante aux conditions naturelles, la pression anthropique limite de façon spectaculaire sa croissance.

L'*Ammophiletum* secondaire correspond à une forme de colonisation de dune secondaire (dune parabolique) ou à une dégradation de l'*Ammophiletum* primaire dans un contexte de développement de formes d'érosion éolienne sur une dune bordière. Les formes plus âgées de l'*Ammophiletum* se caractérisent par la présence de *Festuca dumetorum* puis des mousses du *Totuleto-Plectum*. A partir du revers de la dune bordière se développe un groupement ouvert

dominé par *Festuca dumetorum* et *Euphorbia paralias*, association thermophile de l'*Euphorbio-Festucetum dumetori* qui apparaît comme un stade de dégradation de l'*Ammophiletum*.

2) Typologie des littoraux étudiés d'après la classification de Short et Hesp (1982) et de Carter (1988, 1990).

Nous avons choisi la classification de Hesp (1982, 1988) et Short et Hesp (1982) pour établir une typologie des milieux dunaires étudiés à partir du double aspect morphologique et phytogéographique. Ces auteurs ont réalisé une typologie des dunes bordières à partir des variations morphologiques (fréquence des formes d'érosion éolienne) et phytogéographiques (variations du taux de recouvrement de la dune par la végétation) observées sur la côte sud-est de l'Australie (figure 38). A l'origine, cette classification ne concerne que le cordon dunaire externe en contact avec la plage. Carter (1988, 1990) a modifié ce contexte et enrichi la typologie par son extension à la totalité système dunaire pour l'appliquer au littoral irlandais (figure 39). La classification des premiers auteurs est donc adaptée aux dunes bordières simples (par exemple, sur le littoral de la plaine maritime flamande), à bourrelet unique ; son adaptation réalisée par Carter permet d'associer à la dune bordière, les dunes secondaires et les formes de remaniements associées (par exemple, sur le littoral de la plaine maritime picarde).

Cinq stades morpho-phytologiques sont caractérisés à partir de la combinaison des stades définis par ces auteurs (figures 38 et 39) :

- Stade 1 (Hesp, 1982 ; Short et Hesp, 1982, 1988) ou Fa (Carter, 1988, 1990) : le profil de la dune bordière est calibré et plusieurs bourrelets dunaires se succèdent dans un contexte de progradation du littoral ; le recouvrement par la couverture végétale est compris entre 90 et 100%.

- Stade 2 ou Fb : le profil de la dune bordière est plus accidenté que précédemment ; le recouvrement est compris entre 75 et 90%. La différence avec le stade précédent se traduit surtout par la plus faible extension des groupements de végétation sur le haut de plage et le pied de la dune bordière.

- Stade 3 ou Fc : le profil de la dune bordière est plus évolué que dans les deux stades précédents ; des formes d'érosion éolienne (caoudeyres frontales) échancrent la partie externe du cordon dunaire où elles se développent à partir d'une falaise sableuse. Le recouvrement est compris entre 45 et 75%.

- Stade 4 ou Fd : les formes d'érosion éolienne se généralisent et augmentent d'amplitude (brèches, couloirs de déflation) le long de la dune bordière. Le recouvrement est compris entre 20 et 45%.

- Stade 5 ou Fe : de larges couloirs de déflation et d'importantes caoudeyres échancrent la dune bordière dont le profil est taillé en falaise. Le recouvrement est compris entre 5 et 20%.

Les caractères morphologiques et phytogéographiques des milieux dunaires étudiés dans notre travail déterminent une représentation de trois stades morfo-phytologiques :

- les stades n°1 et Fa sont respectivement représentés d'une part, sur la partie occidentale du cordon dunaire du Platier d'Oye et la partie centrale de la dune bordière de Sangatte et d'autre part, le massif dunaire de la Pointe de la Rochelle sur la rive nord de l'Authie. Ils correspondent à un stade de progradation du trait de côte associé à une dynamique linéaire progressive de la couverture végétale.

- le stade n°3 est représenté sur les portions orientales et centrales du cordon dunaire du Platier d'Oye. Il correspond à une érosion du trait de côte associée à une dynamique linéaire régressive de la couverture végétale.

- les stades n°4 et Fd sont représentés respectivement sur la partie orientale de la dune bordière de Sangatte et à la Pointe du Haut-Banc, sur la rive nord de la baie de l'Authie. Ils correspondent à un stade d'évolution avancé des formes dunaires (formes d'érosion éolienne).

Cette classification des milieux dunaires en fonction de leurs caractères morphologiques et phytogéographiques permet une approche à moyenne échelle de la diversité des stades d'évolution rencontrés à l'intérieur du domaine d'étude. Cependant, à plus grande échelle, la prise en compte des interventions humaines permet de relativiser le rôle des processus naturels dans la dynamique littorale.

3) Une étude des conséquences des interventions humaines sur la dynamique des milieux dunaires.

Les influences des sociétés humaines sur le milieu littoral sont aussi envisagées dans l'étude conjointe de la morphologie et de la végétation littorale. La structure et la succession de la végétation littorale peuvent être considérées comme le résultat d'une double influence : celle des processus météorologiques et hydrodynamiques en interaction avec la morphologie et celle des interventions des sociétés humaines sur le milieu dunaire. Les caractéristiques de la végétation des milieux dunaires résultent d'une double logique, spatiale, en relation avec les conditions morphologiques et écologiques, et temporelle, en relation avec l'histoire du milieu dunaire. L'anthropisation des littoraux étudiés, présentée dans le chapitre précédent, est corrélative d'une transformation des milieux dunaires. Nous analysons dans les chapitres 7 et 8 les interventions présentes ou passées des sociétés humaines sur le milieu dunaire. La prise en compte de l'influence des interventions humaines sur l'évolution des milieux dunaires permet d'intégrer une dimension temporelle aux classifications présentées précédemment. Par exemple, le stade n° 1 de la classification de Hesp (1982) et de Short et Hesp (1982, 1988) représenté à Sangatte est le bilan d'une évolution courte (trois années) provoquée par la réalisation d'un programme de protection et de restauration de la dune bordière. La démarche adoptée est comparable à celle présentée, par exemple, par Jacamon (1971) pour l'étude des incidences des travaux de fixation et de corrections des dunes sur le littoral de Gascogne.

Nous avons réalisé deux précédents travaux concernant l'étude conjointe des rapports entre la morphologie, la végétation littorale et les sociétés humaines sur une flèche littorale, l'Inch, du littoral sud-ouest de l'Irlande (Deboudt, 1995b) et sur la côte nord-orientale du Cotentin (Deboudt, 1991, 1995a) correspondant à un des terrains de notre travail de thèse ; les travaux réalisés sur ce littoral sont donc rappelés et complétés par de nouvelles observations.

II) Morphologie et végétation sur le littoral de la plaine maritime flamande entre Sangatte et Oye-Plage.

Les caractères morphologiques du cordon dunaire, de la plage et de la zone intertidale différencient le littoral de notre domaine d'étude de part et d'autre de Calais :

- entre Sangatte et Calais, le cordon dunaire se limite à une dune bordière simple qui se développe sur une longueur de 1,5 km. La hauteur de la crête est peu importante (altitude maximale de 15 m NGF) par rapport à la largeur (entre 100 et 250 m maximum). La zone intertidale possède une largeur comprise entre 400 et 600 m.

- de Calais à Dunkerque, le littoral se différencie du secteur précédent par plusieurs aspects : * deux complexes industrialo-portuaires (port et hoverport de Calais, port Est de Dunkerque) et une centrale nucléaire à Gravelines interrompent le développement du cordon dunaire ; le développement de ces infrastructures le long du littoral a des conséquences importantes sur les transferts sédimentaires «onshore» et «crossshore». Entre le débouché de l'Aa et Dunkerque, le littoral est exclusivement occupé par l'extension du port Est de Dunkerque.

* des plages très développées dont la largeur dépasse généralement 1000 m précèdent un système dunaire, constitué par la succession de plusieurs cordons dont la largeur atteint 750 m.

L'évolution du trait de côte et du profil des plages est très variable d'un endroit à l'autre du littoral : en témoigne la juxtaposition sur de courtes distances de secteurs en accrétion et de zones en fortes érosion (Deuxième partie).

De Sangatte à Oye-Plage, le littoral est caractérisé par une dune bordière dont la définition est rappelée par Paskoff (1994a) : «les nebkas buissonnantes qui se forment en arrière de l'estran peuvent se réunir. Leur coalescence donne alors naissance à une dune bordière, grossièrement parallèle au rivage, qui limite la plage du côté de la terre» ; le profil transversal de la dune bordière est à peu près symétrique. Nous avons étudié deux portions du littoral de la plaine maritime flamande entre Sangatte et Calais et à Oye-Plage ; le choix des terrains est déterminé par les modalités de l'anthropisation de l'espace littoral (Deuxième partie).

A) Typologie des unités morphologiques et des séquences phytogéographiques sur la dune bordière du Platier d'Oye.

La dune bordière du Platier d'Oye (Photo 2) se développe sur une longueur de 3 km ; elle est constituée d'un cordon dunaire simple, de faible hauteur (14 m NGF maximum), dont la largeur varie de 125 m, au centre, à 500 m aux extrémités. Sur une courte longueur de trait de côte, plusieurs unités morphologiques et phytogéographiques se succèdent (figure 40).

1) A l'ouest, un littoral progradant associé à une dynamique linéaire dominante de la végétation dunaire.

Dans la partie occidentale (secteur dit du «fer à cheval»), une flèche littorale se développe dans le prolongement de la dune vers l'ouest et ne permet la pénétration de la mer que pendant les marées hautes de vives eaux (Photos 7 et 8). Cette flèche littorale correspond à la succession de plusieurs bourrelets dunaires (Photo 7) de faible hauteur représentant un champ de dunes embryonnaires colonisé par un *Ammophiletum* primaire. L'association *Euphorbio-Ammophiletum* occupe le revers de la flèche littorale (Photo 8) et traduit une situation abritée (association thermophile). En arrière de la flèche littorale, la dune bordière est fixée par un *Ammophiletum* secondaire (recouvrement supérieur à 80%) avec *Ammophila arenaria* dominant la couverture végétale (*Euphorbio-Ammophiletum arenariae*).

Le revers de la dune bordière, fixé par la végétation, présente une imbrication de deux types d'espèces caractéristiques :

- *Ammophila arenaria*, *Euphorbia paralias* et faiblement représenté *Festuca rubra* caractérisent l'*Euphorbio-Ammophiletum arenariae*. La pelouse dunaire à fétuques en stade primaire (*Euphorbio-Festucetum dumetori*) est absente compte tenu de la faible extension de la dune bordière, de la mobilité du support sableux et du développement important de l'oyat.

- des fourrés d'argousiers à *Hippophae rhamnoides* sont dispersés en îlots à l'intérieur des peuplements d'*Ammophila arenaria* et marquent la transition entre l'*Euphorbio-Ammophiletum* et le *Sambuco-Hippophaetum rhamnoidis*.

L'arrière-dune est occupée par un fourré dunaire monospécifique correspondant au développement du *Sambuco-Hippophaetum*.

Les ceintures de végétation successives, observées dans la partie occidentale du Platier d'Oye, traduisent une dynamique linéaire prépondérante conditionnée par l'atténuation progressive des contraintes écologiques liées à la proximité de la mer. Le contexte morphologique, caractérisé par un faible développement de la dune bordière, a pour conséquence une pauvreté floristique des associations et une quasi absence des bryophytes ; l'*Euphorbio-Festucetum* et le *Tortuleto-Phleetum* ne sont pas observées dans ces milieux dunaires très exposés au vent et n'offrant pas de situation abritée. Le développement important des dunes embryonnaires traduit une tendance à la progradation de l'extrémité occidentale de la dune bordière du Platier d'Oye.

2) Au centre, un littoral en érosion sous la double commande des processus morphogéniques et de la pression anthropique.

La partie centrale de la dune bordière du Platier d'Oye présente des caractères morphologiques et phytogéographiques très différents de ceux observés à l'Ouest. D'un point de vue morphologique, le profil de la dune bordière est fréquemment échancré par des formes d'érosion éolienne : caoudeyres ou couloirs de déflation (Photo 9). Le versant maritime de la dune est taillé en falaise et présente des effondrements de la partie sommitale. Les caractères phytogéographiques observés témoignent de l'érosion importante de ce secteur de côte (Photo 10). La première ceinture de végétation est représentée par l'*Euphorbio-Ammophiletum arenariae* caractérisant un *Ammophiletum* secondaire. Son développement commence au sommet de la dune ; le front dunaire est dépourvu de végétation à l'exception de quelques touffes d'oyat.

L'absence des associations où domine l'*Agropyron junceum* (*Euphorbio-Agropyretum*) et d'un *Ammophiletum* primaire traduit l'importance de l'érosion dunaire. De plus, le recouvrement de la dune bordière par l'*Ammophiletum* est inférieur à 50% et ne permet pas une fixation du

support sableux ; son aire de développement est aussi beaucoup plus réduite que dans la partie occidentale. Le passage de l'*Ammophiletum* aux fourrés d'argousiers est brutal : le *Sambuco-Hippophaetum* succède, sans stade de transition, à l'*Ammophiletum*. Cette dernière ceinture de végétation est caractérisée par une grande pauvreté floristique de l'association dans laquelle domine l'espèce caractéristique : *Hippophae rhamnoides*.

Un stade plus avancé du passage brutal de l'*Euphorbio-Ammophiletum* au *Sambuco-Hippophaetum* est observé le long de la dune bordière. La première association, quand elle existe, est caractérisée par des touffes isolées d'*Ammophila arenaria* ; le substrat est mobile, non fixé par la couverture végétale. Dans la plupart des cas, *Ammophila arenaria* n'est pas l'espèce dominante et la séquence de végétation dunaire débute par le *Sambuco-Hippophaetum* caractérisé par la présence de *Hippophae rhamnoides* au sommet de la dune bordière. La présence de cette espèce, dès le revers maritime de la dune, en série secondaire, est la conséquence du recul important du trait de côte et de l'intensité des manifestations morphogéniques, marines et éoliennes, responsables du télescopage entre les espèces de plusieurs associations (Photo 10).

La partie centrale de la dune bordière du Platier d'Oye a enregistré, dans la physionomie de sa couverture végétale et dans sa morphologie, les conséquences de l'implantation au début des années 1970 du lotissement des Ecardines (Deuxième partie). La fréquentation importante du secteur dunaire aux abords des habitations est, pour une part, responsable de l'embroussaillage du milieu dunaire par la destruction de l'*Ammophiletum* sous l'effet du piétinement intensif (Photos 2 et 11).

A une dynamique linéaire dans le cadre d'un littoral progradant, observée dans la partie occidentale de la dune bordière succède, à une très courte distance, une prépondérance des processus morphogéniques et des interventions anthropiques traduites d'une part, par les manifestations des processus hydrodynamiques et météorologiques et d'autre part, par les modifications de la couverture végétale sous l'effet de la fréquentation, principalement au détriment de *Ammophila arenaria*.

3) A l'est, un littoral en érosion transformé par la pression cynégétique.

La partie orientale de la dune bordière du Platier d'Oye rassemble dans sa morphologie et sa couverture végétale des caractères propres aux deux milieux décrits précédemment (Photo 12). Des dunes embryonnaires se développent à l'extrémité du Platier d'Oye mais une flèche littorale ne s'individualise pas aussi distinctement qu'à l'Ouest. La morphologie dunaire caractérise, cependant, une tendance à la progradation du trait de côte. L'altitude maximale de la dune bordière est moins importante qu'à l'ouest, 6 à 7 mètres seulement. Le profil de la dune bordière est fréquemment échancré par des couloirs de déflation. Le versant maritime, dépourvu de couverture végétale, est taillé en falaise. Le revers continental est colonisé par un *Ammophiletum* secondaire dont le recouvrement est inférieur à 30%. L'association *Euporbio-Ammophiletum* se caractérise par une pauvreté floristique qui est la conséquence de l'uniformité de la morphologie dunaire et de l'amplitude modérée des dénivelés ; ceux-ci n'offrent pas de contrastes d'exposition suffisants et de situations d'abri par rapport à la mer et au vent. Les fourrés d'argousiers sont moins bien représentés que dans la partie occidentale : le creusement de mares de chasse occupe l'aire de développement de cette espèce.

La dynamique de cette portion de la dune bordière est le résultat de l'interférence entre des aspects linéaires liés aux gradients écologiques, l'évolution morphologique dominée par la dynamique éolienne et la pression anthropique au travers de la pression cynégétique.

B) Typologie des unités morphologiques et des séquences phytogéographiques sur la dune bordière de Sangatte.

La dune bordière de Sangatte (figure 41) se développe sur une longueur de 8 km entre la commune de Sangatte située à l'est des falaises du cap Blanc-Nez et le port de Calais (Photos 1 et 13). Elle est constituée, comme sur le littoral du Platier d'Oye, d'un simple cordon dunaire précédé d'un large estran sableux (de 500 à 800 m). Le sommet de la dune bordière a une altitude maximum de 19 m dans la partie orientale, à proximité de Blériot-Plage. Le

développement latéral de la dune est réduit avec une largeur maximum de 250 m à proximité du village de Sangatte.

Le contexte morphologique est très différent de celui observé à Oye-Plage : l'ensemble de la dune bordière est caractérisé par la fréquence de formes d'érosion éolienne de dimensions variables : siffle-vent, caoudeyres et couloirs de déflation échancrent le profil de la dune de Sangatte à Calais. Le point de départ de notre travail se situe au contact entre la digue de Sangatte et la dune bordière (Photo 14). Le prolongement de la digue, au début des années 1930, le long de la dune bordière, a favorisé le prolongement de l'urbanisation du trait de côte (Chapitre 7) : l'extrémité occidentale de la dune est occupée par des chalets dont l'installation a provoqué la création d'un parcellaire laniéré. Nous avons exclu de notre travail sur le terrain cette partie de la dune pour laquelle ce processus d'urbanisation non contrôlé a provoqué une complète artificialisation du milieu et de la végétation dunaire.

Nous avons divisé la dune bordière de Sangatte en trois secteurs morphologiques et phytogéographiques dont la délimitation repose sur l'examen de la morphologie et de la végétation dunaire associée (figure 41).

1) A l'ouest, une dune bordière stabilisée.

L'extrémité occidentale de la dune bordière présente, à la jonction avec la digue de Sangatte, des caractères morphologiques qui la distinguent sur une longueur d'environ 300 m du secteur morphologique considéré (Photo 14). Le profil du versant maritime est taillé en falaise et dépourvu de couverture végétale ; des éboulements de la partie sommitale sont visibles sur le front dunaire. Le revers de la dune est colonisé par un *Ammophiletum* secondaire dont l'extension se limite à la base du versant continental. L'arrière dune est colonisée par un fourré d'argousiers et de sureaux caractéristique de l'association *Sambuco-Hippophaetum* d'une grande pauvreté floristique. Les caractères phytogéographiques de ce milieu dunaire traduisent une dynamique marine et éolienne intense sur le versant maritime et une pression anthropique dans l'arrière-dune.

La majeure partie de la dune bordière de ce secteur morphologique présente des caractères différents de ceux observés au contact entre la digue et la dune bordière (Photos 15 et 16). L'action des processus morphogéniques se manifeste sur le front dunaire par l'occurrence des formes d'érosion éolienne sous la forme de caoudeyres et de couloirs de déflation orientés NNW/SSE ; l'ensemble de ces formes se développe au dépend de l'*Ammophiletum* dont le recouvrement est inférieur à 20%, voire nul. Néanmoins, la largeur importante de l'estran et de la plage permet le développement de séquences incorporant les ceintures de végétation halophile, migratoire et thérophytique des *Cakiletea maritima*. Nous avons observé les espèces caractéristiques de l'association du *Beto-Atriplicetum arenariae* sur les laisses de mer (*Cakile maritima*, *Salsola kali*, *Beta maritima*) ; leur développement est épars le long du trait de côte et temporaire. Les ceintures de végétation caractéristiques du développement des dunes embryonnaires (*Elymo-Agropyretum*, *Elymo-Ammophiletum*, *Euphorbio-Agropyretum*) sont totalement absentes : cette absence témoigne de l'érosion de cette portion du trait de côte. Quelques stations d'*Agropyron junceum* ont été observées à l'extrémité orientale de ce secteur morphologique au niveau des laisses de hautes mer et traduisent une phase de progradation du haut de plage (Photo 16).

Les caractères morphologiques et phytogéographiques de l'arrière-dune présentent aussi des variations par rapport à ceux observés à l'extrémité occidentale. La morphologie de l'arrière-dune est chaotique et caractérisée par le découpage du milieu dunaire au travers du prolongement des formes d'érosion éolienne initiées sur le versant maritime ou de la fréquence des chemins d'accès ouverts par les hommes dans la dune. L'influence humaine se traduit dans la structure et la composition du couvert végétal :

- à une formation fermée constituée d'un fourré d'argousiers du *Sambuco-Hippophaetum* succède une formation ouverte caractérisée par la grande extension de pelouses rases. Quelques îlots d'argousiers sont dispersés dans l'arrière-dune.

- les pelouses rases incorporent quelques espèces caractéristiques du *Tortulo-Phleetum* (*Tortula ruraliformis*, *Galium verum*) mais c'est la continentalisation qui domine la composition floristique du tapis bryophytique.

Dans ce type de dune bordière dont le développement transversal est réduit, il est difficile d'identifier des séquences de végétation qui se distinguent du point de vue physiognomique : à l'exception du versant maritime caractérisé par le développement d'un *Ammophiletum* dégradé (la présence de fétuques en témoigne, peut-être *Festuca dumetorum*), le revers de la dune bordière et l'arrière-dune présentent une imbrication d'espèces caractéristiques (*Ammophila arenaria*, *Tortula ruraliformis*, *Hippophae rhamnoides*) dans le cadre d'une structure en mosaïque.

Ce secteur de la dune bordière de Sangatte correspond au croisement de deux dynamiques prépondérantes : - les dynamiques marines et éoliennes sont dominantes sur le haut de plage et le versant maritime de la dune.

- la pression anthropique est dominante dans l'arrière-dune où sont installées, au contact de la plaine maritime, des exploitations agricoles.

Le fait marquant des observations réalisées précédemment est la succession, sur de courtes distances, de milieux dunaires dont les caractères morphologiques et phytogéographiques varient fortement. La dynamique linéaire n'est pas le modèle dominant dans ce type de milieu dunaire. Par ailleurs, la combinaison de plusieurs dynamiques se traduit par une mosaïque correspondant à une imbrication des différentes ceintures de végétation.

2) Un cas exemplaire de restauration d'une dune bordière.

La partie centrale de la dune bordière de Sangatte se distingue par deux aspects :

- un village vacances de la Caisse d'Allocations Familiales a été implanté dans l'arrière-dune au début des années 1970. La pression anthropique (fréquentation, piétinements) est donc plus importante sur ce secteur dont l'état de dégradation est très avancé (Photos 17-A et 17-B).

- un programme de protection et de restauration de la dune bordière de Sangatte a été entrepris, en 1993, par le Conservatoire du Littoral, propriétaire du milieu dunaire, et cette portion de la dune bordière a été choisie pour expérimenter de nouvelles méthodes de protection et de restauration.

Notre travail de thèse, commencé en 1993, permet de rendre compte de la transformation des milieux dunaires soumis à une intervention anthropique dominante. L'état initial de cette partie de la dune, observé avant les premiers travaux, est comparable à celui observé dans le secteur occidental adjacent. Néanmoins, les caractères morphologiques et phytogéographiques témoignent d'un état de dégradation beaucoup plus avancé. Du point de vue morphologique, de nombreuses brèches interrompent la continuité du front dunaire et la plupart d'entre elles constitue de larges couloirs, orientés NNE/SSW, se prolongeant du haut de plage à l'arrière-dune. La séquence phytogéographique débute avec un *Ammophiletum* secondaire d'une grande pauvreté floristique et dont le recouvrement est inférieur à 30%. L'arrière-dune est recouverte par une pelouse rase, riche en espèces continentales, sur laquelle sont dispersés quelques argousiers. L'état de la dune bordière de Sangatte, au début des années 1990, caractérise un milieu dunaire fortement anthropisé sous la double influence des dynamiques marines et éoliennes et des interventions anthropiques.

A partir des travaux phytosociologiques réalisés sur ce littoral par Hocquette (1927), de nos observations réalisées périodiquement pendant le temps des travaux de restauration et de l'état des milieux dunaires observés en 1996/1997, nous pouvons apprécier l'impact des travaux de restauration sur l'évolution des milieux dunaires. Hocquette, a réalisé dans les années 1920 une thèse de doctorat en Sciences Naturelles sur le littoral de la plaine maritime flamande (entre Sangatte et Nieuport). Géhu (1987) a rappelé le rôle pionnier de Hocquette dans le développement de la phytosociologie littorale : son travail «est un remarquable témoignage sur l'état et la nature des biotopes côtiers de la plaine flamande en 1927...ce travail est un instrument de premier choix pour établir le point zéro d'une zone côtière qui a été si bouleversée et altérée par l'homme au cours des dernières décennies».

Le travail de Hocquette (1927, 1931) consiste en l'analyse de la composition et de la structure des associations de végétation sur plusieurs transects du littoral de la plaine maritime flamande. Un transect réalisé sur la dune bordière de Sangatte (figure 42) montre la succession de quatre ceintures de végétation :

- *Agropyretum-Ammophiletum* sur le front maritime de la dune.

- *Ammophiletum* sur le revers continental. Hocquette remarque à partir d'observations réalisées en d'autres stations du littoral, l'uniformité de la composition floristique de l'association. Deux espèces caractéristiques sont toujours présentes : *Elymus arenarius* et *Calystegia soldanella*. Deux compagnes donnent à l'*Ammophiletum* un faciès particulier : *Salix repens*, au sommet de la dune, et *Hippophae rhamnoides*, au voisinage des pannes.

- association à *Tortula ruraliformis* et *Galium verum* (*Viola curtisii-Tortuletum ruraliformis*) sur la dune fixée, couverte par un tapis bryophytique.

- groupement continental de l'*Arrhenatheretum*.

D'après Hocquette (1927), l'établissement de nanophanérophytes (*Hippophae rhamnoides*) dans l'arrière-dune correspond à une évolution régressive de l'association à *Tortula ruraliformis*. Par ailleurs, il souligne qu'il est possible de ne pas rencontrer la succession normale décrite précédemment le long de la dune bordière de Sangatte mais une «intrication complète des trois associations».

La comparaison des observations réalisées par Hocquette avec celles réalisées avant les premiers travaux de restauration montre plusieurs types de changements dans la végétation dunaire :

- la dernière remarque ne caractérise plus une situation stationnelle mais le caractère phytogéographique dominant de l'ensemble du milieu dunaire. La séquence de végétation présentée par cet auteur, liée aux successions végétales, a été remplacée par une mosaïque d'associations.

- l'occurrence importante des formes d'érosion éolienne et les perturbations d'origine anthropique ont provoqué une destruction importante de la couverture végétale et un recouvrement inférieur à 30% du milieu dunaire.

- l'*Ammophiletum* s'est considérablement développé aux dépens des associations à *Agropyron junceum* et *Tortula ruraliformis*.

Le programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière de Sangatte est présenté et analysé dans le chapitre 8. Il intègre trois aspects principaux :

- une protection de la dune bordière par l'implantation d'ouvrages de défense du trait de côte sur l'estran, le haut de plage et le pied de dune ; l'objectif attendu est une accrétion du haut de plage.

- une restauration du profil de la dune bordière par un apport artificiel de sable et un reprofilage mécanique.

- une phytostabilisation de la dune à partir de plantations d'oyats réalisées sur le versant maritime et le revers continental de la dune.

Les photographies n° 18, 19, 20 et 21 montrent la transformation de la dune bordière entre mai 1994 et février 1997. L'aspect le plus visible de la transformation de la dune bordière est la végétalisation du versant maritime par *Ammophila arenaria* et un recouvrement presque total de la surface dunaire par la végétation. Un second aspect de l'impact des travaux concerne la diversification de la séquence de végétation en relation avec l'accrétion du haut de plage résultant de l'implantation des ouvrages de défense du trait de côte. Dès 1994, *Elymus arenarius* s'installe en pied de dune (Photo 22) ; en 1995, une ceinture de végétation colonise le haut de plage et le pied de la dune bordière dont le versant maritime est recouvert par un *Ammophiletum*.

Les différentes espèces présentes, *Elymus arenarius*, *Beta maritima*, *Cakile maritima* et *Atriplex laciniatae* caractérisent le développement d'une dune embryonnaire à *Elymo-Agrophyretum* (Photo 23). L'association à *Elymo-Ammophiletum* lui succède sur le versant maritime de la dune bordière. Ce développement de l'*Elymo-Agrophyretum* correspond à une dynamique linéaire progressive dans le cadre morphologique d'une progradation du littoral provoquée par des aménagements anthropiques (Photos 24 et 25). Géhu (1991) souligne la forte régression de cette association sur le littoral du Pas-de-Calais dont l'extension se limite aux zones en accrétion telles les pouliers d'estuaires ; son développement sur le littoral de Sangatte correspond à une évolution progressive. Néanmoins, sur le littoral de la plaine maritime flamande, la fréquence des vents forts et des cycles d'érosion/accumulation sur le haut de plage est responsable de la pauvreté floristique des associations.

L'objectif attendu par les gestionnaires, à savoir une accrétion du haut de plage, a dépassé les espérances : la dynamique sédimentaire, caractérisée par un important exhaussement

du haut de plage, a créé des conditions très sélectives pour la végétation dunaire. Les photographies n°, montrant le pied de la dune bordière en septembre 1996 et en février 1997, illustrent le changement de dynamique de la végétation : le même processus responsable de l'implantation de l'*Elymo-Agropyretum*, l'accrétion du haut de plage, est responsable de sa disparition. En février 1997, la progradation du haut de plage se réalise aux dépens de la colonisation de la dune bordière par la végétation : l'*Ammophiletum* recouvrant le versant maritime ne résiste pas à une accumulation de sable trop importante (Photos 26, 27 et 21).

Un même processus morphosédimentaire peut provoquer le passage d'une dynamique linéaire progressive à une évolution régressive dans le cas d'un dépassement de seuil écologique et montre l'importance de la prise en compte de ces seuils dans les projet de restauration de la dune bordière.

La phytostabilisation a aussi concerné le revers continental de la dune bordière : en février 1997, trois années après les premières plantations, le recouvrement de la surface dunaire est total mais il n'est pas associé à une diversification floristique de l'*Ammophiletum* (Photos 28-A et 28-B).

L'une des conséquences importantes de ce projet de restauration est la partition spatiale provoquée entre la dune bordière et l'arrière-dune non concernée par le programme expérimental. L'arrière-dune, occupée par une pelouse rase très dégradée et des fourrés d'argousiers sous la forme d'îlots, n'a pas fait l'objet de mesures de restauration.

3) A l'est, un stade avancé de dégradation de la dune bordière de Sangatte.

L'extrémité orientale de la dune bordière de Sangatte se distingue des secteurs précédents par trois aspects (Photos 29 et 30) :

- la hauteur de la dune bordière, plus élevée, a pour conséquence une plus grande amplitude des formes dunaires (Photo 31).

- la couverture végétale est marquée par une plus grande importance des phanérophytes.

- l'arrière-dune est urbanisée et le milieu dunaire se trouve en contact avec l'agglomération calaisienne (Blériot-Plage), (Photo 30).

Le versant maritime de la dune bordière est taillé en falaise sur toute la longueur du trait de côte (Photo 32) : son recul est attesté par la fréquence des éboulements de la partie sommitale. Aucune séquence de végétation n'est observée sur le haut de plage et le front dunaire est occupé par un *Ammophiletum* dégradé dont le recouvrement est inférieur à 20%. La tonalité morphologique est caractérisée par la fréquence des formes d'érosion éolienne de grande amplitude : caoudeyres et couloirs de déflation interrompent le développement de la dune (Photo 31). La zone arrière dunaire est fortement anthropisée ; une végétation continentale se substitue aux fourrés d'argousiers et une situation d'abri par rapport au vent permet le développement d'une strate arbustive. Par ailleurs, l'ensemble du milieu dunaire est recouvert de vestiges de la Seconde Guerre Mondiale (blockhaus) contribuant à la dégradation de la couverture végétale (Photo 32).

III) Morphologie et végétation sur le littoral de la rive nord de la baie de l'Authie.

Sur la rive nord de la baie de l'Authie, le contexte morphologique est différent de celui des littoraux de Oye-Plage et Sangatte : il correspond à un estuaire de plaine côtière (la plaine maritime picarde) dont nous avons présenté l'évolution séculaire dans le chapitre précédent. Le littoral de la plaine maritime picarde, orienté nord-sud, est exposé aux vents dominants et aux houles de secteur sud-ouest qui engendrent une dérive littorale et un transit sédimentaire dominant de direction sud-nord. Ce transit est responsable de la progradation des rives situées au sud des estuaires (pouliers) et du recul des rives nord (musoirs). Nous avons précisé dans la deuxième partie les raisons du choix de la rive nord de la baie de l'Authie comme terrain de notre travail. L'orientation du littoral de la plaine maritime picarde, par rapport aux vents dominants, permet un plus grand développement des systèmes dunaires que celui réalisé sur le littoral de la plaine maritime flamande : nous avons observé sur la rive nord de la baie de l'Authie une plus grande variété et une plus grande amplitude dans la morphologie des différents milieux dunaires.

L'étude de la morphologie et de la végétation dunaire, basée sur les observations réalisées sur le terrain, met en exergue deux aspects essentiels :

- sur un littoral correspondant à l'échelle de l'estuaire à un contexte morphosédimentaire d'érosion, se succèdent plusieurs portions du trait de côte dont les caractères morphologiques et phytogéographiques traduisent une tendance à l'érosion ou à la progradation du littoral.

- par rapport à la complexité des dynamiques observées sur les dunes bordières du littoral de la plaine maritime flamande, la plus grande extension du système dunaire sur la rive nord de la baie de l'Authie s'accompagne d'une importance de la dynamique linéaire. L'éloignement par rapport à la mer, les plus grands contrastes d'exposition par rapport au vent et la plus grande diversité morphologique permettent une plus grande individualisation des séquences classiques de végétation et une plus grande diversité floristique (Balcerek, 1996).

A l'intérieur du complexe dunaire de la Réserve Biologique Domaniale de Merlimont, situé au nord de Berck, Battiau-Queney (1995) et Battiau-Queney *et al.* (1995) ont analysé la morphologie de la dune bordière et des formes de remaniements éoliens situées en arrière :

- au niveau de la dune bordière s'observent les formes les plus actives ; la dune est entaillée par des couloirs de déflation transversaux, allongés dans le sens des vents dominants. Chaque couloir est associé du côté interne de la dune bordière à une langue sableuse d'accumulation appelée «pourrière» (terminologie picarde).

- en arrière du cordon dunaire externe, des formes de remaniements éoliens se développent et caractérisent différents stades d'évolution (de la caoudeyre à la dune parabolique). Petit-Berghem et Dubois (1995) et Petit-Berghem (1996) ont défini à l'intérieur de ce complexe dunaire un modèle de dynamique de la végétation concernant uniquement les espèces ligneuses : le premier domaine correspond à la végétation extra-forestière (fourrés dunaires dominés par l'argousier) ; une dynamique linéaire se traduit dans ce domaine par la fermeture progressive du couvert végétal et le passage progressif d'une formation unistrate à une formation pluristrate.

Il existe des similitudes entre les aspects morphologiques et biogéographiques observés d'une part, dans le complexe dunaire de Merlimont et d'autre part, sur le massif dunaire de la rive nord de la baie de l'Authie. Les formes dunaires rencontrées à Merlimont se retrouvent au sud de Berck. Néanmoins, compte tenu de la plus faible largeur du cordon dunaire, les formes de remaniements éoliens ne présentent pas un stade d'évolution aussi avancé que celui observé à Merlimont. Par ailleurs, une différence fondamentale entre les deux systèmes dunaires réside dans le contexte morphologique : sur la rive nord de la baie de l'Authie, le massif dunaire s'est développé dans un contexte de musoir associé à l'évolution de l'estuaire de l'Authie. Ce contexte d'estuaire a pour conséquence un rôle plus important des processus hydrodynamiques dans l'évolution du couple plage-dune bordière (Levoy, 1994 ; Anthony, 1996). De plus, le régime des échanges sédimentaires est différent et contribue sur une portion de la rive nord de la baie de l'Authie à une progradation du littoral associée à une dynamique linéaire progressive développée dans le cadre d'une séquence de végétation ; ce type de dynamique n'est pas observé sur le littoral de Merlimont ou limité à des stations s'intégrant dans une mosaïque de groupements.

En fonction des caractères morphologiques des milieux dunaires et des caractères phytogéographiques associés, nous avons divisé la rive nord de la baie de l'Authie en quatre secteurs (figure 43) :

- l'extrémité nord de la Pointe du Haut-Banc se distingue par l'importance de l'anthropisation des milieux dunaires ; nous avons montré dans la deuxième partie le rôle décisif de l'implantation d'un hôpital sur cette portion du trait de côte pour l'évolution ultérieure des rapports entre le littoral et les sociétés humaines.

- de la Pointe du Haut-Banc à la Pointe de la Rochelle, une augmentation de la largeur de l'estran est associée à celle de l'amplitude des formes dunaires ; dune bordière érodée (dont le profil est taillé en falaise) et langue sableuse d'accumulation caractérisent l'ambivalence de l'action des processus morphogéniques. Dans un contexte de musoir, le cordon dunaire externe est érodé par le déplacement vers le nord du chenal de l'Authie ; cette évolution morphologique est aussi associée à un contexte sédimentaire excédentaire constituant sur la zone intertidale une

zone d'apports potentiels pour le développement des échanges sédimentaires entre la plage et la zone arrière-dunaire sous l'action des vents dominants.

Le long de ces deux premières portions du trait de côte, le front dunaire est précédé d'un cordon d'engrochements situé sur le haut de plage ; cet ouvrage de protection longitudinale s'intègre à un système de défense du trait de côte dont nous étudions la mise en place dans le chapitre 6.

- à la Pointe du Haut-Banc, succède vers le sud, la Pointe de la Rochelle où se développent des milieux dunaires dont les caractères morphologiques et phytogéographiques témoignent d'une progradation du trait de côte. Les différentes ceintures de végétation observées sur le terrain traduisent l'importance du développement de la xérosère. Le développement d'un champ de dunes embryonnaires (selon la terminologie de Carter, 1988) correspond, relativement au contexte morphologique de l'évolution de l'estuaire de l'Authie, au développement d'un contre-poulier sur la rive nord.

- le sud du musoir est caractérisé par une situation de contact entre le système dunaire et les mollières de la baie de l'Authie (slikke). Ce type de contact se manifeste par le développement à l'intérieur du milieu dunaire de ceintures de végétation dont les caractéristiques traduisent l'absence d'apports sédimentaires en provenance de la plage ou de la zone intertidale.

A) L'extrémité septentrionale de la Pointe du Haut-Banc : des milieux dunaires anthropisés au contact de la station de Berck-Plage.

Au nord de la Pointe du Haut-Banc (Photos 3 et 33), les milieux dunaires de la rive nord de la baie de l'Authie débutent par une dune bordière résiduelle : le dispositif d'ouvrages de défense du trait de côte et particulièrement le cordon d'engrochements situé sur le haut de plage ont isolé la dune bordière de la plage et de l'estran. Le front dunaire, peu élevé, est colonisé par un *Ammophiletum* secondaire d'une grande pauvreté floristique. La morphologie dunaire interne est héritée : d'anciennes formes d'érosion éolienne, caoudeyres et couloirs de déflations, sont fixées par une formation semi-fermée dans laquelle domine *Hippophae rhamnoides* (association du *Sambuco-Hippophaetum*). Localement, dans l'arrière-dune, des reprises

d'érosion éolienne déterminent une évolution régressive de l'*Hippophaetum* et une colonisation du substrat par *Ammophila arenaria*.

Le développement urbain de la station balnéaire de Berck au nord de la baie de l'Authie (Photo 3) a déterminé une situation de contact entre d'une part, un milieu urbanisé et touristique et d'autre part, les milieux dunaires associés au musoir de l'estuaire. Cette situation géographique a eu une conséquence directe sur le massif dunaire de la Pointe du Haut-Banc : la création d'un terrain de camping. La présence de cette infrastructure s'est traduit par une surfréquentation des milieux dunaires les plus septentrionaux : de nombreux chemins ont été ouverts à l'intérieur du milieu dunaire provoquant un déchaussement de la végétation et une reprise de la déflation responsables de l'évolution régressive de l'*Hippophaetum* mentionnée précédemment. Par ailleurs, la majeure partie de ces milieux a été acquise par le Conservatoire du Littoral sur la rive nord de la baie de l'Authie. Cette situation juridique a entraîné deux conséquences pour les milieux dunaires :

- des tentatives de restauration, représentées principalement par des plantations d'oyats, ont été réalisées sur le front dunaire ; celles-ci ont eu un résultat décevant compte tenu de l'état relictuel des formes dunaires.

- l'aménagement d'un circuit promenade à l'intérieur du milieu dunaire dans le but de contrôler sa fréquentation et de limiter les conséquences d'une surfréquentation.

Les aspects morphologiques et phytogéographiques observés à la limite septentrionale de la rive nord de la baie de l'Authie caractérisent des milieux dunaires rémanents. La pression anthropique présente un caractère ambivalent : elle se manifeste d'une part, par une volonté de protection du trait de côte et de restauration des milieux dunaires et d'autre part, par une surfréquentation.

B) Un système dunaire dont la morphologie et la végétation sont déterminées par la dynamique éolienne.

Le dispositif morphologique de la partie sud de la Pointe du Haut-Banc (Photos 34 et 35) est différent de celui rencontré au nord par deux aspects principaux : une augmentation de l'altitude des formes et du stock sédimentaire a pour conséquence une plus grande amplitude dans leur développement et une activité actuelle des formes dunaires. Un cordon d'encrochements précède, comme dans la partie nord, le front dunaire (Photos 35 et 36-A). L'implantation de ce cordon d'encrochements n'a pas, comme au nord, pour unique objectif de protéger le trait de côte contre les houles de tempête : il permet de canaliser le chenal de l'Authie en l'empêchant de se rapprocher du front de dune et de le faire reculer. Néanmoins, les conséquences de cette implantation pour l'évolution du trait de côte ont un caractère ambivalent : le chenal de l'Authie est, certes, canalisé et ne vient pas saper le bas de dune mais le cordon d'encrochements représente un obstacle pour les échanges sédimentaires entre la zone intertidale, la plage et la dune sous l'action des processus hydrodynamiques. Le système dunaire ne peut donc être assimilé à une dune bordière au sens strict mais à une dune bordière résiduelle dont l'évolution est commandée par la dynamique éolienne.

La dune bordière résiduelle a une hauteur maximum de 33 m. Le front dunaire externe est caractérisé par une falaise sableuse dont la base ne présente pas d'encoches traduisant un sapement par les vagues (Photo 36-B). Par ailleurs, nous n'avons observé aucune trace récente de laisses de haute mer sur le haut de plage situé entre le pied de dune et le cordon d'encrochements. La base du front dunaire externe est atteinte par la mer pendant les marées hautes de vives eaux associées aux tempêtes. L'évolution du front dunaire externe est conditionnée par la dynamique éolienne : des glissements rotationnels sont observés sur la paroi dunaire et correspondent à un effondrement de la partie sommitale. Le vent érode la partie supérieure du front dunaire révélant la stratification dunaire et favorise les processus gravitaires (glissements par paquets).

La morphologie de la dune bordière résiduelle est dominée par des formes d'érosion éolienne. De larges couloirs de déflation, orientés SW/NE, dans l'axe des vents dominants, interrompent

la continuité du front dunaire (Photos 37 et 38). De part et d'autre des couloirs de déflation, les parois dunaires sont façonnées par la corrasion éolienne et sont couvertes d'un *Ammophiletum* secondaire dont le recouvrement est inférieur à 10%. A l'extérieur des couloirs de déflation, la séquence de végétation débute par une formation ouverte dominée par deux espèces (Photo 38) : *Ammophila arenaria* et *Euphorbia paralias* ; celle-ci correspond à l'*Euphorbieto-Ammophiletum* appauvrie par la fréquence des cycles de érosion/accumulation. A l'intérieur du couloir de déflation, les premières séquences de végétation associées aux laisses de haute mer sont absentes : c'est la conséquence de l'influence peu importante de la dynamique marine dans l'évolution du trait de côte. La première ceinture de végétation est dominée par *Agropyron junceum* et correspond à des bourrelets dunaires colonisés par une formation fermée. Cette morphologie correspond à des dunes néoformées (Guilcher, 1954 ; Meur-Ferrec, 1993). Battiau-Queney (1995) et Battiau-Queney *et al.* (1995) ont observé à l'entrée de la plupart des couloirs de déflation échancrant la partie sud de la dune bordière de Merlimont la néoformation de dunes. Ces dunes néoformées sur la rive nord de la baie de l'Authie correspondent au développement de l'*Elymo-Agropyretum* en stade primaire. En arrière des dunes néoformées, les couloirs de déflation sont occupés par une mosaïque de groupements végétaux : en effet, à l'intérieur des couloirs de déflation, des séquences particulières de végétation se développent à l'intérieur d'une même bande biogéocénétique, non pas en fonction d'une dynamique linéaire commandée par l'éloignement par rapport à la mer, mais en fonction des interactions, réalisées à grande échelle, entre la morphologie dunaire et la dynamique éolienne.

La couverture végétale à l'intérieur du couloir de déflation est marquée par l'emboîtement de deux associations : *Euphorbio-Ammophiletum* et *Sambuco-Hippophaetum*. L'*Ammophiletum*, dont le recouvrement est faible, correspond à des formes âgées caractérisées par la présence de *Festuca dumetorum* et la fréquence de formes de déchaussements. L'*Hippophaetum* est caractérisé par deux espèces principales : l'argousier et le sureau noir. Néanmoins la fréquence des épisodes de déflation/accumulation entraîne une évolution régressive de cette association vers l'*Ammophiletum*. En arrière du couloir de déflation, la diminution de la dynamique éolienne et la fixation du substrat permettent le développement d'une végétation arbustive et

sous arbustive dominée par *Hippophae rhamnoides* et *Ligustrum vulgare* ; l'étude de cette dernière séquence dépasse le cadre de notre thèse.

Au sud de la Pointe du Haut-Banc, deux types d'évolution morphologique se succèdent sur une courte portion du trait de côte : une dune bordière active précède, sur l'extrémité méridionale de la rive nord de la baie de l'Authie, un littoral en voie de progradation constituant, à l'échelle de la baie, un contre-poulier : la Pointe de la Rochelle.

C) La succession de deux unités morphologiques à la Pointe de la Rochelle : une dune bordière active et un contre-poulier.

Le changement d'orientation et la non artificialisation du trait de côte au sud de la Pointe du Haut-Banc s'accompagnent d'un changement dans la morphologie du front dunaire : les formes d'érosion éolienne se terminent sur le revers interne de la dune par des langues sableuses associées à un talus d'envahissement (Photo 39). Ce caractère morphologique témoigne de la plus grande activité des formes dunaires. Par ailleurs, les formes de l'*Ammophiletum* correspondent à un stade primaire et à une formation très ouverte ; la majeure partie des surfaces n'est recouverte par aucune couverture végétale. En arrière de ces langues sableuses, des plantations de résineux (pin laricio), réalisées à la fin des années 1970, sont vouées à un dépérissement rapide (Photos 39 et 40). Dans sa thèse sur les forêts littorales du Nord de la France, Petit-Berghem (1996) souligne ce déséquilibre créé par la situation d'interface entre un milieu ouvert et un milieu forestier en l'absence du manteau et de l'ourlet pré-forestier. La distance relativement courte entre le front dunaire et la pinède ne permet pas le développement de séquences de végétation bien individualisées. Dans une situation normale, les variations latérales des processus morphogéniques et écophysologiques sont responsables des changements progressifs dans la structure et la composition des formations végétales. Ces modifications sont la traduction d'un gradient géographique matérialisé par les limites fondamentales du biotome de l'arbre et de l'écotone de la forêt. Réaliser des plantations de

résineux en retrait de la dune bordière et en deçà du biotome de l'arbre est un aménagement voué à l'échec (Petit-Berghem, 1996).

A un *Ammophiletum* primaire dont la pauvreté floristique et le faible recouvrement témoignent de la sévérité des conditions climatiques et de la fréquence des cycles de déflation/accumulation succède une intrication entre l'*Ammophiletum*, l'*Hippophaetum* et une pelouse dunaire à mousses. La diminution des apports sableux permet une fixation du substrat et le développement des fourrés d'argousiers (Photo 40). Par ailleurs, cette stabilité du substrat et les conditions relatives d'abri offertes par la proximité de la pinède permettent le développement d'un tapis bryophytique. Les espèces caractéristiques sont : *Tortula ruraliformis*, *Festuca rubra* et *Sedum acre*. Le faciès ouvert et la pauvreté floristique de la pelouse dunaire correspondent à un stade primaire, peu évolué et sujet à une évolution rapide par embroussaillage (extension du fourré d'argousiers) ou ensablement (progression de la langue sableuse).

A la Pointe de la Rochelle, correspondant à l'extrémité méridionale de la rive nord de la baie de l'Authie, la dune bordière résiduelle, caractérisée par un *Ammophiletum* secondaire et une évolution vers l'embroussaillage par la présence d'*Hippophae rhamnoides* en position littorale, est précédée de plusieurs bourrelets dunaires représentant un littoral en voie de progradation (Photos 41-A et 41-B). La morphologie et les séquences de végétation observées sur cette portion du trait de côte la singularisent sur l'ensemble du littoral Nord-Pas-de-Calais : d'une manière générale, l'érosion du trait de côte empêche le développement des premières ceintures de végétation ; sur cette portion du trait de côte, une progradation du littoral, *a priori* anormale compte tenu du contexte morphosédimentaire à l'échelle de l'estuaire (situation de musoir), permet le grand développement de la végétation des laisses de mer et des dunes embryonnaires à l'intérieur d'un véritable champ (Photo 41-B). Du nord au sud, deux types d'avant-dunes précèdent le front dunaire :

- une avant-dune de grande extension transversale et constituée de plusieurs bourrelets sableux colonisés par un *Ammophiletum* primaire correspondant à l'*Elymeto-Ammophiletum arenariae* ; les espèces de cette association supportent le mieux la fréquence des cycles de

déflation/accumulation. L'apport de sable en quantité trop importante ne permet pas une fixation totale de la couverture sédimentaire par la végétation.

- une avant-dune dont l'extension est plus limitée mais pour laquelle une plus faible alimentation en sable autorise une plus grande diversification floristique avec en particulier la présence, rare, de *Honckeya peploïdes* qui ne supporte pas un trop fort ensablement.

L'ensemble de ces dunes embryonnaires est précédé d'une ceinture de végétation correspondant à l'*Atriplicetum arenariae* (*Beta maritima*, *Cakile maritima*, *Elymus arenarius*). A ce champ de dunes embryonnaires succède au niveau de la dune bordière, l'*Euphorbio-Ammophiletum* caractérisée par un *Ammophiletum* primaire et d'importants peuplements d'*Euphorbia paralias*.

D) De la dune bordière aux mollières de la baie de l'Authie : conséquences de la progression des marais maritimes sur l'évolution morphologique et phytogéographique des milieux dunaires.

La partie méridionale de la rive nord de la baie de l'Authie présente une situation de contact entre la dune bordière résiduelle et les marais maritimes de l'estuaire de l'Authie (Photos 42-A et 42-B). La progression des marais maritimes sur la rive nord de la baie de l'Authie (Verger, 1968) a été présentée dans le chapitre 1. Les milieux dunaires présentent des caractères très originaux :

- le profil dunaire externe, de faible hauteur, est taillé en falaise mais la couverture arbustive et la présence de *Hippophae rhamnoides* en position littorale traduisent un éloignement par rapport à la mer (Photo 42-A).

- le revers interne de la dune est colonisé par une formation fermée de *Sambuco-Hippophaetum* (recouvrement supérieur à 90%).

- au contraire de tous les autres milieux dunaires étudiés dans notre travail, *Ammophila arenaria* n'est pas présente : la végétation psammophile est limitée à des peuplements, denses, de *Euphorbia paralias* sur le haut de plage, en contact avec la laisse de haute mer (Photo 42-B). L'absence de *Ammophila arenaria* de la couverture végétale traduit l'absence d'apports de sable et d'échanges sédimentaires entre la plage et le milieu dunaire.

En contact avec la plage, la haute slikke marque le développement des mollières de la baie de l'Authie. La végétation des marais maritimes de l'estuaire de l'Authie et des mollières de Berck sur la rive nord a fait l'objet de plusieurs travaux (Molliard, 1903 ; Hocquette *et al.*, 1965 ; Watez et Foucault, 1982 ; Foucault et Watez, 1984). La description de la végétation de la haute slikke est cependant facilitée par le faible nombre des espèces adaptées aux conditions écologiques. D'un point de vue physiognomique, le tapis végétal de la haute slikke en contact avec la dune bordière résiduelle est dominé par deux espèces : *Salicornia europaea* et *Suaeda maritima*. La problématique de notre travail n'inclut pas l'étude de la végétation des marais maritimes ; en particulier, nous n'abordons pas la question de la limite inférieure des halophytes.

IV) Morphologie et végétation sur la côte nord-orientale du Cotentin.

Par suite des aménagements successifs présentés dans la deuxième partie, se succèdent sur le littoral nord-oriental du Cotentin des secteurs du trait de côte protégés ou non par des ouvrages de défense. Nous présentons ci-après les principaux caractères morphologiques et phytogéographiques du cordon littoral sur les secteurs encore dépourvus d'ouvrages de protection. Deux sites sont choisis (figure 44) :

- le littoral de Jonville à l'ouest de la digue,
- l'Anse de Montfarville et la Pointe Maigret, secteur représentatif du littoral de Montfarville .

Sur un littoral où le trait de côte est artificialisé sur sa majeure partie, la connaissance de l'état du cordon littoral sur ces sites est fondamentale ; c'est un état des lieux qui permet de mieux apprécier les conséquences de l'évolution du littoral.

A) Le littoral de Jonville (commune de Réville) : caractères morphologiques et phytogéographiques d'un littoral progradant.

Le littoral de Jonville, entre l'embouchure de la Saire et le chemin d'accès à la plage, est un secteur non encore artificialisé. A l'ouest du chemin, les propriétaires de résidences secondaires ont protégé l'extrémité de leur terrain par des enrochements ou des ouvrages divers. Sur la portion de côte considérée, subsiste un cordon dunaire étroit. Le développement d'espèces ligneuses à proximité de l'estran traduit en effet la situation climatique abritée de ce littoral par rapport aux vents dominants (Photo 43). Deux micro-milieus dunaires se succèdent :

- entre la digue et le chemin d'accès à l'estran, le cordon littoral présente une micro-zonation dunaire caractérisant un stade de colonisation primaire (Photo 43). La dune noire moussue à *Tortula ruraliformis* située à l'intérieur de ce cordon est dans un état relictuel ; d'après le relevé phytosociologique (Géhu et Dubois, 1991, communication orale), le *Tortuletum* compte seulement 15 espèces de l'association caractéristique, qui en contient 40 à 50.

D'après les travaux de Géhu et Foucault (1978), une zonation caractéristique des milieux dunaires dans cette station ne traduit pas sa stabilité ; les groupements dunaires à *Tortula* correspondent en effet aux sites d'arrière-dune les moins stabilisés.

- à l'embouchure de la Saire, nous avons observé un autre type de zonation de la végétation (Photo 44). L'érosion du contre poulie se traduit par un profil dunaire taillé en micro-falaise et, par l'absence corrélative des ceintures à *Beto-Atriplicetum* et à *Agropyrum junceum*..

Au sommet de cette micro-falaise, la ceinture à *Ammophila arenaria* du schéma chorologique théorique de la végétation dunaire est dégradée et en voie de rudéralisation. Les espèces rudérales et nitrophiles résultantes de cet appauvrissement sont *Sonchus oleraceus*, *Lagurus ovatus* et *Senecio vulgaris*. Vers l'intérieur se développe une prairie à chiendent (*Agropyrum repens*) marquant la transition avec un milieu saumâtre colonisé par un pré-salé à troscart (*Plantago maritima*, *Triglochin maritima*).

Entre ces deux derniers milieux, se développent des peuplements à *Halimione portulacoïdes* et des touffes denses de *Suaeda vera* ; cette dernière espèce méditerranéo-atlantique, formant une fruticée basse, est en limite d'abondance ; sa présence confirme la situation relativement abritée de cette côte.

B) Le littoral oriental du Cotentin : caractères morphologiques et phytogéographiques d'un littoral en érosion.

A la Mare de Montfarville, l'état du trait de côte est le résultat du recul mesuré par les travaux de Hirschberger et Orange (1983), soit un recul de 100 m en 150 ans (figure 32). Le cordon littoral est constitué par l'affleurement de formations limono-sableuses taillées en micro-falaises (Photos 6 et 45-A). Ces formations sont colonisées par une végétation présentant les caractères énoncés précédemment mais d'une façon plus accusée : une friche littorale nitrophile associe *Avatera arborea* à de nombreuses espèces rudérales (Photo 45-B).

Au sud de cette anse (cap de la pointe de la Loge), on observe à l'arrière d'affleurements granitiques et au pied de la micro-falaise des peuplements à *Halimione portulacoïdes* et une haie de tamaris se développe à son sommet (Photo 5). La végétation littorale traduit dans ce milieu la relative stabilité du trait de côte.

C) Structure et dynamique des milieux dunaires de la côte nord-orientale du Cotentin.

L'étude du cordon littoral sur ces secteurs non aménagés, illustre la remarque de Verger (1968) : "une étroite dépendance unit l'évolution morphologique et la dynamique végétale, les formes de relief et les aspects botaniques".

Ces observations réalisées sur le terrain en 1990-1991 ont été répétées en 1993-1994. Sur le court terme, plusieurs tendances apparaissent pour l'évolution de ces milieux :

- aux différentes ceintures de végétation observées en 1991, se substitue une mosaïque dans la répartition des espèces. Au recul du trait de côte est associé un repli des premières

ceintures de végétation vers l'intérieur. La distribution des groupements végétaux ne correspond plus au schéma chorologique classique.

- le recouvrement des principales espèces a diminué, passant de 80 % à 40-50%.
- la composition des associations s'est aussi modifiée dans le sens d'une rudéralisation et de l'incorporation d'espèces continentales.
- on constate une réduction de la superficie occupée par les dunes végétalisées.

Mais les aménagements successifs ont produit un autre type de paysage sur ce littoral, reflet de la volonté des sociétés littorales de stabiliser le trait de côte. Se succèdent le long du trait de côte, des défenses de type longitudinal (traverses de chemin de fer et enrochements) et des lambeaux du cordon dunaire. Une description antérieure du cordon littoral permet de mesurer l'ampleur des transformations du paysage littoral à l'est. Elhai (1963) décrit par exemple en ces termes la Pointe de Saire : «la pointe triangulaire de la Saire est constituée par un cordon sableux surmonté de dunes dont l'altitude s'élève jusqu'à 4-5 mètres à l'extrémité (...) Les dunes de sable sont aujourd'hui fixées.» De ces dunes il ne reste que des lambeaux.

Conclusion du chapitre 4.

Notre étude géomorphologique des milieux dunaires sur les littoraux du Pas-de-Calais et du nord-est de la Manche ne peut être assimilée à une étude «traditionnelle» associant, d'une manière systématique et relativement à une échelle spatiale moyenne ou petite, l'analyse des formes dunaires (approche morphologique) à des critères d'investigation quantitatifs (approche sédimentologique). Nous avons sélectionné des portions du trait de côte en fonction de leur intérêt par rapport à une problématique privilégiant les aspects anthropiques dans la transformation des milieux dunaires ; cette approche se réfère à une grande échelle spatiale. Par ailleurs, compte tenu de l'échelle spatiale de référence, nous accordons une place importante dans l'analyse morphologique à l'étude de la couverture végétale. L'étude combinée des aspects morphologiques, phytogéographiques et anthropiques permet d'appréhender la combinaison des dynamiques qui conditionnent l'évolution du littoral.

Dans le chapitre suivant, les différents milieux dunaires sont appréhendés dans un cadre spatial élargi : la connaissance des principaux éléments du système morphogénique et du fonctionnement sédimentaire des littoraux étudiés est fondamentale pour comprendre leur évolution. Cependant, les éléments présentés dans le chapitre suivant ne reposent pas sur des travaux personnels et l'intégration des terrains étudiés dans un contexte morphosédimentaire procède d'une démarche empirique.

CHAPITRE 5 : PRESENTATION DU CADRE MORPHODYNAMIQUE ET MORPHOSEDIMENTAIRE DES LITTORAUX DU DOMAINE D'ETUDE.

La problématique de notre thèse n'impose pas une étude approfondie des facteurs hydrodynamiques et météorologiques et de leur rôle dans la dynamique des littoraux étudiés. Nous avons privilégié la recherche des interactions entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte à partir d'une double approche naturaliste et historique. L'objectif de ce travail n'est pas de mieux comprendre les modalités de l'évolution de la zone littorale, du plateau continental à la dune bordière, sous l'influence combinée des facteurs hydrodynamiques et météorologiques. Depuis les premières étapes de l'anthropisation des littoraux, les progrès de cette connaissance n'ont pas accompagné les relations élaborées entre les sociétés humaines et la dynamique du littoral. Nous nous plaçons dans cette perspective : l'anthropisation du littoral, depuis le Moyen Age, n'est pas liée à une connaissance précise des modalités de la dynamique littorale ; la construction des ouvrages de défense du trait de côte, par exemple, se réfère le plus souvent à une connaissance théorique de l'impact de ces ouvrages sur l'évolution littorale ; c'est l'expérience qui alimente les connaissances et optimise les conduites des hommes en charge de la protection du trait de côte.

Les études récentes de Corbau (1995), sur le littoral dunkerquois, et de Levoy (1994), sur la côte ouest du Cotentin, qui rendent compte de la dynamique hydrosédimentaire des plages, ne doivent pas faire oublier un aspect essentiel de la dynamique des littoraux étudiés dans ce travail : les sociétés humaines représentées par les acteurs institutionnels en charge de la gestion de l'évolution du littoral sont intervenues sur les littoraux en ignorant tout des résultats de ces travaux. Des pratiques se sont développées, une tradition de l'intervention aussi. Notre étude se situe à la charnière entre ces deux situations : une très longue anthropisation du littoral dont les pratiques sont dictées par l'expérience, la tradition et le développement, à partir des années 1990, de recherches sur le fonctionnement hydrosédimentaire des plages.

Nous présentons dans ce qui suit une réflexion sur les concepts relatifs à l'étude de la dynamique du littoral.

I) Les conditions hydrodynamiques, météorologiques et la dynamique sédimentaire des littoraux du Pas-de-Calais et du nord-est Cotentin.

L'évolution d'une côte basse meuble se traduit soit par une érosion, soit par une accrétion du littoral. Les facteurs qui déterminent cette évolution sont nombreux (Guilcher, 1954 ; Zenkovich, 1967 ; Carter, 1988, 1990 ; Klijn, 1990 ; Paskoff, 1993, 1994a, b ; Anthony, 1996). Trois ensembles de facteurs se distinguent en fonction de l'échelle spatio-temporelle à laquelle ils s'intègrent (figure 45) : les sources sédimentaires, les facteurs hydrodynamiques (marée, houle) et les facteurs météorologiques (principalement le vent).

A) Les sources sédimentaires sur les côtes basses meubles de la Mer du Nord et de la Manche orientale : le rôle de la plate-forme continentale.

Les sédiments littoraux sont, par le volume disponible et la nature des transferts, les principaux facteurs de l'évolution littorale. L'expression morphologique de leur circulation à l'intérieur du système littoral se traduit soit par une côte d'accumulation, soit par une côte en érosion. D'après Carter (1988), deux sources sédimentaires sont distinguées :

- une source primaire constituée par les apports fournis à partir de la plate-forme continentale (c'est une source aréolaire possible pour l'ensemble des littoraux étudiés à partir de bancs pré-littoraux) et à partir de l'érosion des côtes à falaise (littoral du Pas-de-Calais) ou des côtes basses rocheuses (littoral du nord-est Cotentin).

- une source secondaire est représentée par les apports fluviaux, éoliens et anthropiques, généralement ponctuels.

Pour les littoraux étudiés dans ce travail, c'est la plate-forme continentale qui constitue la source principale des sédiments. La morphologie sous-marine au large du littoral Nord-Pas-de-Calais est constituée de deux unités :

- le substratum rocheux, d'âge Jurassique supérieur à Eocène supérieur (Boilot et Lefort, 1974), est constitué de formations sédimentaires dans lesquelles les sables ont un rôle important (Sommé, 1977).

- une couverture sédimentaire meuble sus-jacente constituée de cailloutis, à la base, et de bancs sableux de taille comprise entre 3 et 70 km.

La morphologie et la dynamique de ces édifices sableux pré-littoraux ont fait l'objet de recherches importantes de la part de l'équipe du Professeur Chamley sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais (Clabaut, 1988 ; Dewez, 1988 ; Dewez *et al.*, 1989 ; Augris *et al.*, 1990 ; Beck *et al.*, 1991 ; Vicaire, 1991 ; Lahousse *et al.*, 1993 ; Corbau, 1995).

Une dissymétrie a été observée entre le littoral de part et d'autre du Cap Gris-Nez (figure 46) : au sud, en Manche orientale, trois bancs se succèdent du large vers la côte, le Vergoyer, la Bassure de Bas et le Battur (Dewez, 1988) ; à l'est, en Mer du Nord, 13 bancs sont orientés WSW-ENE, parallèlement au trait de côte et dans la direction des courants de marée résultants, et constituent la partie méridionale du complexe des Bancs de Flandre qui se prolonge sur le littoral belge (Vicaire, 1991 ; Lahousse, 1993). Deux bancs sableux pré-littoraux concernent notre terrain d'étude, entre Sangatte et Oye-Plage : les ridens de la Rade et de Calais.

Les caractéristiques sédimentologiques de la zone pré-littorale du nord-est Cotentin ont été étudiées par Homménil (1967) et Larsonneur (1971). Un banc sableux pré-littoral (Banc de Barfleur), orienté SE-NW, est situé au nord de l'anse de Gattermare. La partie immergée du massif granitique de Barfleur est recouverte d'une couverture sédimentaire. Mais le facteur important de la morphologie de la zone intertidale et infralittorale est le grand développement du platier rocheux granitique, surtout sur la côte orientale.

Les processus hydrodynamiques déterminent les modalités de transferts des sédiments dans la zone littorale et la succession de secteurs littoraux en érosion ou en accrétion. Deux facteurs jouent un rôle essentiel dans la dynamique littorale : la marée et la houle.

B) Des conditions marégraphiques caractéristiques des plages macrotidales.

1) Variations géographiques de la marée sur les littoraux étudiés.

Pour tous les littoraux étudiés dans ce travail, la marée est de type semi diurne (deux marées hautes et deux marées basses par jour) et le marnage (différence entre le niveau de la pleine mer et de la basse mer d'un même cycle semi-diurne), supérieur à 4 m sur l'ensemble des littoraux étudiés, caractérise un régime macrotidal. La marée a une double conséquence sur les processus hydrodynamiques littoraux : par son amplitude, elle détermine la position du déferlement dans la zone intertidale et par les courants de marée, associés à l'oscillation verticale du niveau de la mer, un transit sédimentaire. Les caractéristiques de la marée sont présentées, pour les trois secteurs littoraux étudiés, sur les figures 47, 48 et 49.

2) Le rôle des courants de marée dans les transports sédimentaires.

Sur le littoral du Pas-de-Calais, le changement d'orientation du trait de côte, passant d'une direction nord-sud, de la baie de l'Authie au Cap Gris-Nez, à une direction WSW-ENE, de Sangatte à la frontière belge, a pour conséquence une modification du régime hydrodynamique et en particulier un changement dans l'orientation des courants de marée (Dewez *et al.*, 1989 ; Augris *et al.*, 1990 ; Beck *et al.*, 1991). Le marnage décroît du sud vers le nord-est : pour un coefficient de 95, il passe de 9 m à Merlimont à 5 m à Dunkerque (figures 50 et 51). Le courant de flot, dominant, porte vers le nord sur la façade orientale et vers le nord-est sur la façade nord (figure 52).

Les travaux de géologie sédimentaire marine sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais ont permis de préciser les modalités du transit sédimentaire, confondu avec le transit tidal, dans la zone du large où l'influence de la houle n'est pas prise en compte. Sur la façade occidentale du littoral régional, la direction des courants de marée est SW-NE au sud de Boulogne-sur-Mer et détermine un transit sédimentaire dans le même sens de la Manche vers la Mer du Nord (figure 52). D'après Augris *et al.* (1990), les observations réalisées sur le «Battur» montrent un transit

sédimentaire dirigé vers le nord-est entre Berck et Hardelot. Les modalités du transit sédimentaire le long du trait de côte, dans la zone d'influence dominante des houles en relation avec la diminution de la profondeur, sont précisées ci-dessous. Sur la façade septentrionale, la direction des courants de marée est WSW-ENE et détermine un transit sédimentaire dans le même sens (figure 52).

Sur le littoral nord-est du Cotentin, un changement d'orientation du littoral, passant d'une direction WSW-ENE à l'ouest de la Pointe de Barfleur à NNE-SSW au sud se traduit, comme sur le littoral du Pas-de-Calais, par un changement dans l'orientation des courants de marée (figure 53). Le courant de flot, portant vers l'est, est dominant à l'ouest de la Pointe de Barfleur et détermine un transit tidal (et sédimentaire au large) dans le même sens (figure 53). Sur la côte orientale, abritée de l'onde de flot progressant vers la Manche orientale, le courant de jusant, portant vers le nord, nord-est est dominant (figure) et détermine un transit sédimentaire du sud vers le nord (figure 53). Le marnage augmente, pour un coefficient de 95, de 5 m à Cherbourg à 8 m à Barfleur.

D'après les observations de Levoy (1994) sur la côte ouest du Cotentin, deux échelles spatiales doivent être distinguées pour analyser le rôle des courants de marée sur les transports sédimentaires :

- le long d'une portion du trait de côte de quelques kilomètres, les courants de marée ne déterminent pas un transport sédimentaire important. Les caractéristiques courantologiques du domaine intertidal sont relativement homogènes et la topographie locale (bancs sableux, platier) conditionne la circulation des eaux marines au moment du remplissage et de la vidange des plages ; la vitesse des courants ne peut entraîner de sédiments.

Le long du littoral du Nord-Pas-de-Calais, la présence des nombreux chenaux de vidanges des bâches sur les vastes espaces intertidaux crée des conditions locales très variables sur une portion du trait de côte de quelques kilomètres et autorise le transport des sédiments sous l'action des courants de marée.

- au large, le rôle de la circulation générale de la marée est prépondérant. La géométrie de la côte à une échelle régionale, conditionne le déplacement de la masse d'eau et des transports sédimentaires sont observés.

C) Les caractéristiques de la houle et son rôle dans les transports sédimentaires.

1) Les interactions entre la marée et la houle : détermination de zones d'action dominante respectives.

La houle est un processus hydrodynamique fondamental dont l'influence sur les modalités du transit sédimentaire devient prédominante, par rapport aux courants de marée, à proximité du trait de côte (figure 54). Larssonneur (1971) a déterminé le long de la côte orientale du Cotentin, au nord de la Baie des Veys, les zones respectives d'action dominante des houles et des courants de marée à partir de l'analyse des caractéristiques de la couverture sédimentaire dans la zone pré-littorale et a montré le rôle prépondérant de la houle à proximité du trait de côte : une zone d'énergie minimum, située vers -6 m, -9 m (appelée limite d'action dominante des houles) sépare le domaine du large soumis aux courants de marée du domaine côtier soumis à l'action dominante des houles (figure 55).

Augris *et al.* (1990) ont aussi, sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais, déterminé à partir de l'analyse de la couverture sédimentaire la limite entre la zone du large et la zone côtière : sur le littoral occidental, cette limite se situe à une profondeur de 7 à 8 m (par rapport au zéro bathymétrique) entre les estuaires de la Canche et de l'Authie ; sur le littoral septentrional, cette limite correspond d'est en ouest au pied du Banc à la Ligne, à la dépression entre les Ridens de la Rade et le talus littoral et à l'isobathe - 10 m entre Calais et Dunkerque (figure 46). L'étude du rôle des houles dans le transit sédimentaire le long du trait de côte n'a pas fait l'objet de recherches aussi importantes que celles concernant les courants de marée dans la zone pré-littorale (cf. ci-dessus). Les principaux travaux concernant l'étude des facteurs hydrodynamiques sur les littoraux étudiés présentent les mesures de houle réalisées au large de

Dunkerque, Boulogne-sur-Mer, Le Touquet et Barfleur ainsi que le traitement statistique des enregistrements (figures 56, 57, 58 et 59). Sur l'ensemble des littoraux étudiés dans ce travail, les caractéristiques de la houle ont été mesurées dans les années 1960-1970.

La majeure partie des travaux réalisés sur les relations entre les processus hydrodynamiques et les transports sédimentaires concerne la zone pré-littorale pour laquelle le rôle des courants de marée est prédominant (Clabaut, 1988 ; Dewez, 1988 ; Vicaire, 1991). Sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais, des mesures courantologiques effectuées sur l'ensemble des bancs sableux pré-littoraux ont permis de préciser la direction du transit sédimentaire tidal au large. La connaissance du transit sédimentaire le long du trait de côte, dans la zone d'action dominante des houles, est encore limitée géographiquement sur le littoral septentrional, à la baie de Wissant (Clabaut, 1988) et au littoral Est dunkerquois (Corbau, 1995), et sur le littoral occidental, au trait de côte compris entre Wimereux et Boulogne-sur-Mer (Augris *et al.*, 1990). Par ailleurs, le rôle des houles dans les transports sédimentaires se réalisant le long du trait de côte est le plus souvent apprécié à partir de mesures de la houle au large.

2) Le rôle des houles dans le transport côtier longitudinal : principaux résultats des travaux réalisés sur la côte ouest du Cotentin et le littoral dunkerquois.

Levoy (1994) et Corbau (1995) ont précisé le rôle des houles dans les transports sédimentaires le long du trait de côte, respectivement sur le littoral occidental du Cotentin et le littoral Est dunkerquois. Les travaux de Levoy (1994) sur la côte ouest du Cotentin ont précisé les conditions d'une étude quantitative des mouvements de sédiments sur les plages : celle-ci nécessite une connaissance des caractéristiques de la houle au large et à l'approche de la côte à partir de mesures *in situ* et de travaux de modélisation. Levoy (1994) a aussi précisé les conditions de l'étude de la propagation de la houle du large vers la côte ; plusieurs facteurs sont susceptibles de la modifier :

- la bathymétrie locale engendre des phénomènes de réfraction et de diffraction à des échelles très locales qu'il est difficile d'apprécier. Sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais, la morphologie de l'avant côte, caractérisée par la présence de bancs sableux, amortit très

efficacement les houles provenant des secteurs nord-ouest (sur le littoral de la plaine maritime flamande) et ouest (sur le littoral de la plaine maritime picarde). Sur le littoral du nord-est Cotentin, l'extension du platier rocheux granitique atténue l'énergie des houles de secteur NE.

- la marée contrôle fortement l'amplitude des houles à proximité de la côte en provoquant un amortissement plus ou moins important en fonction de la hauteur d'eau. Les estrans ne subissent pas la totalité du cycle marégraphique compte tenu de leur altitude, toujours par définition, au-dessus du zéro hydrographique. La propagation de la houle se fait d'autant mieux que le niveau marégraphique est élevé. La marée provoque aussi une modification de la direction de propagation des houles d'autant plus importante que l'estran est large et de faible pente (Levoy et Larsonneur, 1994).

- le tracé du trait de côte influence, en fonction de l'angle d'incidence des crêtes de houles par rapport à son orientation, le sens et l'intensité du courant de dérive littorale et le transit sédimentaire associé. L'observation des crêtes de houle à la côte met en évidence, à partir de plans de vagues, des zones de concentration et de dissipation de l'énergie des houles.

Les variations dans les caractéristiques de la houle permettent de différencier, en fonction de l'importance du fetch et de la dissipation de son énergie à l'approche du littoral, différents types de côtes : d'après la classification de Carter (1990), les littoraux étudiés dans ce travail correspondent à des houles de moyenne (littoral du Pas-de-Calais) à forte énergie (littoral du nord-est Cotentin). La propagation de la houle subit à l'approche du trait de côte des modifications de sa trajectoire. Une réfraction est provoquée par la diminution de la profondeur des fonds marins, accompagnée, quand l'angle d'incidence de sa direction de propagation est oblique par rapport au trait de côte, d'un courant de dérive littorale ; ce courant détermine un transit sédimentaire parallèle au trait de côte. La diminution de la profondeur provoque aussi un déferlement de la houle responsable d'une mise en mouvement des sédiments. Lorsque la tranche d'eau est peu importante sur les moyennes et hautes plages, les courants de marée n'ont pas la compétence pour transporter les sédiments sableux ; seules les houles peuvent provoquer un transit sédimentaire sous l'action du déferlement.

Plusieurs types de déferlement sont observés en fonction de la pente de la plage (Anthony, 1995). Carter (1988) définit un indice de déferlement (hauteur de la vague/profondeur des fonds marins) en relation avec la pente de la plage, d'après la classification de Camfield (1966) et Galvin (1968) (figures 60 et 61). Deux types de déferlement sont le plus souvent rencontrés au cours du cycle tidal sur les plages macrotidales auxquelles s'intègre notre domaine d'étude (Wright *et al.*, 1982) :

- le déferlement déversant ou glissant (*spilling breaker*) se produit sur une plage à faible pente (basse et moyenne plage), comprise entre 1 et 2°. Il est accompagné d'une dissipation de l'énergie sur une longue distance et d'un mouvement laminaire.

- le déferlement plongeant (*plunging breaker*) se produit sur une plage à forte pente (haut de plage), comprise entre 5 et 10°. Il est accompagné d'une dissipation de l'énergie sur une courte distance et d'un mouvement turbulent ; ce type de déferlement s'observe en période de pleine mer et en marée de vive eau.

Un changement de direction de la houle à l'approche de la côte est aussi observé par la réflexion provoquée à la rencontre d'obstacles le long du trait de côte (ouvrages de défense type digue) ou de bancs sableux pré-littoraux sub-émergeants. Ce phénomène de réfraction s'accompagne d'une distribution différentielle de l'énergie de la houle le long du trait de côte : concentration sur les caps et dispersion dans les baies.

3) Directions de propagation et statistiques des houles sur les littoraux du Nord-Pas-de-Calais et du Nord-Est Cotentin.

Sur le littoral de la plaine maritime flamande, les houles les plus fréquentes sont au large de secteur NNE-N et SSW-WSW (Bonfile et Allen, 1967 ; Clique et Lepetit, 1986), (figure 62). La propagation de la houle est cependant modifiée à l'approche du trait de côte, compte tenu de sa réfraction sur les bancs sableux pré-littoraux (le même phénomène est observé sur le littoral de la plaine maritime picarde) qui ont aussi un rôle dans la dissipation d'une partie de son énergie avant d'atteindre le rivage : à partir d'observations réalisées au large de Dunkerque (figure 56), du large vers la côte, on constate une diminution de la hauteur de la houle annuelle,

soit une différence de 1,7 m et 2,7 m entre des mesures effectuées à 6 km du trait de côte et en arrière des premiers bancs pré-littoraux, et une augmentation des périodes de calme ; on constate aussi une décroissance de la hauteur significative (H_s) du large vers la côte : au large, 50% des houles ont une H_s comprise entre 0,15 et 0,71 m, entre l'avant-port ouest et le Banc du Snow, 50% des houles ont une H_s comprise entre 0,25 et 0,4 m et entre l'avant port-Est et le Banc du Break, 70% des houles ont une H_s comprise entre 0,15 et 0,35 m. Par ailleurs, pour les trois stations d'enregistrement, les houles courtes sont dominantes (de 7 à 8 s) mais on observe à l'approche de la côte un renforcement des houles courtes au détriment des houles longues (de plus de 10 s) passant de 15% des agitations au large à moins de 8%. L'analyse des corrélations entre la hauteur et la période maximale renforce les précédentes observations : il apparaît une nette prédominance des houles comprises entre 0,25 et 1,2 m de période comprise entre 5 et 8 s. Au large du littoral de Calais, trois houlographes ont été implantés à 22,4 km, 14,25 km et 3 km du trait de côte (figure 57). Au deux premières stations, 55% des agitations ont une H_s comprise entre 0,2 et 0,8 m (65% au NE de Calais). On observe aussi du large vers la côte une même fréquence des périodes des agitations avec une prédominance des houles de période comprise entre 6 et 9 s. L'analyse de la corrélation entre les hauteurs et périodes significatives de la houle renforce les précédentes observations : une nette prédominance des houles de hauteur comprise entre 0,4 et 1 m de période comprise entre 4 et 6 s. A 3 km du trait de côte, au nord-est de Calais, la fréquence de la hauteur des houles significatives reste unimodale avec un mode principal compris entre 0,4 et 0,8 m. Le spectre des périodes maximales se concentrent sur celles comprises entre 7 et 8 s.

Sur le littoral de la plaine maritime picarde, d'après les observations faites au large du Touquet (Clique et Lepetit, 1986 ; Despeyroux, 1985), les houles les plus fréquentes sont de secteur SW à W (figure 62) et leur période moyenne est comprise entre 3 et 5 s. Deux houlographes ont été implantés à une distance de 14,4 km et 1,6 km du trait de côte, respectivement à l'ouest du Cap d'Alprech et à l'ouest de Boulogne-sur-Mer (figure 58). A la première station, correspond pour la fréquence des hauteurs maximales, une classe dominante comprise entre 0,8 et 1,7 m représentant 50% des observations. La fréquence des périodes

maximales présente une distribution bi-modale avec deux modes représentant chacun 20% des observations entre 8 et 9 s et entre 10 et 12 s. A la deuxième station, on constate une atténuation des houles marquée par une classe dominante des houles maximales comprises entre 0,25 et 1,2 m représentant 75% des observations et un seul mode dominant pour les périodes maximales comprises entre 7 et 8 s.

Sur le littoral nord-est du Cotentin, d'après les observations réalisées au large de Barfleur (Bellesort et Migniot, 1986), les houles les plus fréquentes de secteur W (figure 62) ont une période moyenne comprise entre 7 et 9 s. A partir des enregistrements réalisés à la Pointe de Barfleur (figure 59), on observe une classe dominante des hauteurs maximales comprise entre 0,25 et 0,8 m (80% des observations correspondent à des houles de hauteur inférieure à 0,8 m). Une très faible bi-modalité est constatée sur la répartition des périodes maximales : un mode principal autour de 7 et 9 s et un mode secondaire entre 10 et 12 s. Ces mesures de houles ne permettent pas de définir les modalités du transit sédimentaire le long du trait de côte résultant de l'action combinée de la houle et des courants de marée.

4) Analyse de l'influence de la houle sur la dynamique du littoral (évolution du trait de côte et transports sédimentaires dans la zone côtière) : l'exemple des conditions de la propagation de la houle à l'approche de la rive nord de la baie de l'Authie.

Les analyses concernant la houle et son rôle dans la dynamique des littoraux étudiés dans ce travail sont généralement limitées à la présentation d'un traitement statistique des enregistrements réalisés ponctuellement au large du littoral. Des travaux plus complets, comme ceux de Levoy (1994) et Corbau (1995), dont l'intérêt réside dans la mise en oeuvre de moyens suffisants pour effectuer des enregistrements dans le temps de la réalisation des études sur la dynamique hydrosédimentaire des plages, sont encore relativement rares sur le littoral français. Les modalités d'intervention de la houle dans la zone de déferlement et leurs conséquences sur les transports sédimentaires et l'évolution du trait de côte, présentées ci-dessus, démontrent

l'intérêt d'une étude, non réalisée sur les littoraux considérés dans ce travail, des conditions de la propagation de la houle du large vers le littoral.

Au large du littoral du Nord-Pas-de-Calais, les travaux réalisés sur le plateau continental ont permis de préciser les modalités du transit sédimentaire dans une zone sous l'action dominante des courants de marée et dont la couverture sédimentaire est constituée par des bancs de sable (Augris *et al.*, 1990). Les modalités du transit sédimentaire le long du littoral, dans une zone soumise à l'action dominante des houles, ne sont pas encore clairement établies. Cette absence de recherche est une limite sérieuse aux travaux géomorphologiques réalisés sur le littoral du Pas-de-Calais (les travaux de Corbau comblent, en partie, cette lacune sur le littoral de la plaine maritime flamande). Sur ce littoral, dont une partie est étudiée dans notre travail, la dynamique des rives nord de la baie de l'Authie et de l'estuaire de la Canche est connue à l'échelle du système estuarien : le trait de côte est orienté nord-sud et est exposé aux houles de secteur ouest ; «en direction du SW, le fetch est infini» (Battiau-Queney *et al.*, 1995). Battiau-Queney *et al.* (1995) rappellent les modalités de l'évolution des estuaires sous l'action des houles dominantes de provenance W-SW : «ces houles engendrent une dérive littorale dominante dirigée du sud vers le nord : c'est la direction principale du transit sédimentaire le long de la côte, responsable, en particulier, de l'engraissement et de la progradation des pouliers» (rive sud des estuaires) et de l'érosion et du recul des musoirs (rive nord des estuaires). Cependant, à plus grande échelle, et ne considérant que l'évolution des rives nord des estuaires, l'action des houles et leur propagation du large vers la côte sont influencées par la bathymétrie locale et le tracé du trait de côte (Levoy, 1994) : «Pour bien comprendre l'action des houles de SW sur le littoral entre Canche et Authie, il faudrait disposer d'un plan de vagues, tenant compte de la bathymétrie locale. A notre connaissance, ce travail reste à faire.» (Battiau-Queney *et al.*, 1995).

Dans le cadre d'une étude commandée par le Syndicat Intercommunal de la Basse Vallée de l'Authie (SIBVA) sur la recherche de solutions à l'évolution de la rive nord de la baie de l'Authie, à laquelle nous avons été associés pour la partie géomorphologique, les conditions de

la propagation de la houle du large vers la côte ont été précisées sur cette portion du trait de côte (Bielfeld, 1997), (figure 63). Deux logiciels diffusés par les Services Techniques de la Navigation Maritime et des Transmissions de l'Équipement (S.T.N.M.T.E.), VAG et BATHYCAD, ont été utilisés pour cette étude afin de réaliser des plans de vagues.

Les conditions hydrodynamiques en baie d'Authie sont caractérisées par des courants de marée importants et la morphologie sous-marine, par des fonds peu importants (30 m au maximum). La marée influence aussi la propagation de la houle sur le littoral par l'intermédiaire de la hauteur d'eau : des conditions marégraphiques maximales de propagation (marée haute de vive-eau) ont été choisies et correspondent à une cote de + 9,3 m (par rapport au zéro bathymétrique). Les conditions de propagation de la houle ont été recherchées pour les houles dominantes, de provenance W à SW et à l'approche de la rive nord de la baie de l'Authie entre la Pointe du Haut-Banc et la Pointe de la Rochelle. Trois directions de propagation ont été choisies : W (N270°), WSW (N247,5°) et SW (N225°) pour des houles de périodes courtes, entre 6 et 8 s. La bathymétrie au large de la baie a été extraite de la carte du S.H.O.M., «Abords de la baie de la Somme au Phare de Berck», datée de 1988. Les travaux de Bielfeld ont été complétés ceux réalisés antérieurement par Bonnefile et Allen (1967) sur la propagation de la houle dans la baie de l'Authie. Au large de la baie de l'Authie, la bathymétrie est caractérisée par trois éléments :

- une pente douce des fonds marins (1,5 ‰).
 - la présence d'un banc de sable pré-littoral sur le plateau continental, le Battur, orienté SW-NE, qui peut avoir une influence sur la propagation des houles de secteur ouest.
 - le poulcier de la baie de l'Authie situé en rive sud est progradant vers le nord et son altitude maximale de + 9 m (cote marine) provoque un amortissement des houles de secteur sud.
- L'analyse des plans de vagues traduisant la propagation de la houle montre plusieurs tendances (figures 64 à 69) :

- les houles de secteur SW et WSW sont déviées vers le secteur W, surtout pour une période de 8 s.
- les houles de secteur W ne sont pas déviées.

L'analyse des plans de vagues traduisant la propagation de la houle depuis une dizaine de km au large vers la côte montre une tendance principale : deux directions de propagation sont distinguées à l'approche de la côte, une partie de la houle s'oriente au NE et se dirige vers la Pointe du Haut-Banc (ce phénomène est une des raisons de l'érosion de cette portion du trait de côte), une autre partie est déviée vers l'ouest et se dirige vers le secteur SE où se développe la Pointe de la Rochelle. Nous observons aussi, une absence de déviation de la propagation des houles de provenance SW sur la rive sud de la baie (incidence oblique) : c'est une raison essentielle de la progradation du poulier de la baie de l'Authie (Pointe de Routhiauville), l'incidence oblique de la houle crée des conditions favorables à un transit sédimentaire vers le nord. Par ailleurs, au niveau de la Pointe de la Rochelle, il est constaté une divergence des orthogonales de houle, dont le rôle est déterminant dans la formation du contre-poulier. Sur la rive nord de la baie de l'Authie, la houle réfractée vers le NE est responsable du recul de la côte ; par ailleurs, l'autre partie de la houle réfractée vers le SE est responsable de l'érosion du cordon dunaire. Toutefois, la houle réfractée vers le SE possède alors une direction oblique par rapport au trait de côte et provoque un transit sédimentaire dans cette direction vers la Pointe de la Rochelle dont elle entretient la progradation. En période de marée haute de vive-eau, ce transit littoral vers la Pointe de la Rochelle est accentué par le courant de flot. Sur une très courte distance, la réfraction de la houle à l'approche du trait de côte a des conséquences opposées en terme d'évolution sédimentaire : érosion de la Pointe du Haut-Banc et progradation de la Pointe de la Rochelle.

D) Le rôle des conditions météorologiques sur la dynamique littorale.

Un facteur météorologique joue un rôle essentiel dans la dynamique des côtes basses meubles : le vent. Corbau (1995) a rappelé les deux modalités principales de l'intervention du vent dans la dynamique littorale :

- il exerce une influence sur la circulation des eaux marines et particulièrement génère, au large, la houle. La connaissance de la distance entre la zone de génération de la houle au large et le littoral (le fetch) est fondamentale : les houles dont le fetch est le plus important auront le plus

d'influence sur la dynamique littorale (Pinot, 1991 ; Anthony, 1996). Pour le littoral du Nord-Pas-de-Calais, à l'est du Cap-Gris-Nez, les houles en provenance du nord et du nord-est possèdent le fetch le plus long ; au sud du Cap-Gris-Nez, ce sont les houles en provenance du sud-ouest (Battiau-Queney *et al.*, 1995). Pour le littoral nord-est du Cotentin, les houles dont le fetch est le plus important proviennent du secteur nord-est.

Les vents forts, dans le cadre de régime de tempête, provoquent des surcotes par rapport au marées prédites. Nous étudions dans le chapitre suivant le rôle des tempêtes dans la dynamique littorale.

- il exerce une influence directe sur les transports sédimentaires (déflation) à partir des zones émergées et provoque la création sur le littoral de zones d'accumulation et d'érosion.

1) Caractéristiques du régime des vents : directions dominantes et conséquences sur le régime des houles.

Sur le littoral de la plaine maritime flamande, la fréquence des directions de vent sur une période annuelle (figure 70) et une période normale (30 ans), (figure 71), montre deux directions principales : une nette dominance des vents de secteur SSW-SW et un mode secondaire pour les vents de secteur N-NE (d'après la rose des vents du sémaphore de Dunkerque, 1980-1994). Les vents dominants donnent donc naissance à des houles courtes (ce constat est confirmé par les statistiques de la houle au large de Dunkerque analysées ci-dessus).

Sur le littoral de la plaine maritime picarde (figures 73 et 74), deux directions sont dominantes : SW et NE. Les vents dominants de secteur SW correspondent au secteur pour lequel les houles possèdent le fetch le plus long : la fréquence des houles longues est donc plus importante sur le littoral au sud du Gris-Nez qu'à l'est.

2) Le régime des tempêtes de 1985 à 1995 : analyse climatologique.

L'étude du régime des tempêtes n'a pas encore fait l'objet de travaux pour les littoraux étudiés dans ce travail. Dans le cadre d'une étude climatologique, Paul (1991, 1994) a étudié les

situations synoptiques associées aux événements de tempêtes ayant affecté la région Nord-Pas-de-Calais depuis le début des années 1970 ; il a aussi précisé et critiqué les conditions d'enregistrement des données de vent pour les sémaphores de ce domaine d'étude. Néanmoins, seules les vitesses de vent sont considérées dans ce travail. Nous avons complété les travaux de Paul par une analyse statistique des données enregistrées par les sémaphores sur les littoraux étudiés dans ce travail pour la période 1985-1995. Trois sémaphores enregistrent les données des tempêtes sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais : Dunkerque, Boulogne-sur-Mer et le Touquet (figures 75-A, 76-A et 76-B) ; une station automatique a été implantée sur l'aéroport de Calais-Marck en 1992 (figure 75-B). Nous avons présenté la même analyse pour la période 1992-1997 ; trois traitements statistiques ont été réalisés :

- une analyse de la fréquence des tempêtes à partir du nombre de jours de tempêtes annuelles (les tempêtes correspondent à des vents de vitesse supérieure à 28 m/s).
- une analyse de la fréquence des directions de tempête (réalisation d'une rose des tempêtes).
- un inventaire exhaustif des tempêtes pour chaque sémaphore.

L'analyse comparée de la fréquence des tempêtes pour les quatre sémaphores (figure 77) permet d'individualiser la station de Boulogne-sur-Mer : on constate une plus grande fréquence des tempêtes sur le littoral de la plaine maritime picarde de 1985 à 1995. Sur l'ensemble de la période considérée on constate aussi une grande variabilité interannuelle : l'année 1990 est exceptionnelle par le nombre de tempêtes le plus élevé pour toutes les stations et pour la période considérée mais on n'observe pas d'augmentation de la fréquence des tempêtes de 1985 à 1995. A Dunkerque et Boulogne-sur-Mer, les tempêtes ont une direction dominante de secteur W-SW.

II) L'évolution des concepts relatifs à l'étude de la dynamique du littoral en géomorphologie.

A) Les différentes échelles spatio-temporelles de la dynamique littorale : approches déductives et inductives.

Trois approches ont été successivement et/ou conjointement adoptées en géomorphologie littorale depuis une vingtaine d'années pour apprécier les modalités de la dynamique des littoraux dunaires. Leur intégration ou sinon leur prise en considération est un impératif pour entreprendre une étude de géomorphologie littorale :

- une approche de géomorphologie «traditionnelle» qui développe une connaissance de la dynamique par la confrontation du «terrain» avec les processus hydrodynamiques et météorologiques. Les caractères de la morphologie et de la végétation dunaire sont inventoriés et hiérarchisés : l'approche est analytique. Une analyse régressive du milieu est entreprise par l'étude comparée de documents cartographiques et de photographies aériennes. La cartographie rend compte de l'analyse conjointe de la morphologie et de la dynamique des milieux observés sur le terrain (carte écodynamique). Par exemple, les travaux de Blérard et Vergne (1985), Barrère (1995), Battiau-Queney *et al.* (1995), et Deboudt (1995) adoptent cette démarche.

- une approche de morpho-sédimentologie qui développe une connaissance de la dynamique littorale par la recherche des modalités d'intervention des processus hydrodynamiques en relation avec les transferts sédimentaires entre la zone du large et la zone côtière. Ce type d'approche repose sur des mesures directes des paramètres hydrodynamiques et des transits sédimentaires, réalisées *in situ*, aussi bien au large de la côte que sur l'estran, à partir d'une instrumentation importante : marégraphe, courantomètre, houlographe, pièges à sédiments, traceurs radioactifs. Les travaux de Augris *et al.* (1990), Vicaire (1991), Levoy (1994) et Corbau (1995) adoptent cette démarche qui se distingue de la précédente par la plus grande numérisation des observations dont Guilcher (1991) soulignait, au début des années 1990, la faible diffusion dans la recherche française en géomorphologie littorale.

- une approche de géomorphologie et d'aménagement qui développe une connaissance de la dynamique du littoral en relation avec une prise en compte des projets anthropiques qui sont susceptibles de modifier l'évolution naturelle. L'investigation géomorphologique du terrain est associée à celle de la mise à plat des interventions des acteurs institutionnels en charge de la gestion du littoral. L'étude des pratiques de lutte contre le recul du trait de côte, de ses évolutions dans le temps et de ses conséquences sur le milieu est l'aspect principal de cette démarche très largement développée par Miossec (1993, 1994a, b, 1995).

Dans le cadre de ces trois démarches possibles pour l'étude de la géomorphologie et de la dynamique d'une côte basse meuble, la connaissance des modalités de la circulation sédimentaire et du budget sédimentaire, dont les manifestations se traduisent dans la cinématique du trait de côte, est un préalable indispensable (rarement constaté par les gestionnaires). La majeure partie des études morphodynamiques réalisées ces vingt dernières années se réfère à l'échelle de l'instantané et de l'événement, selon la terminologie de Cowell et Thom (1994) : relativement à ces deux échelles spatio-temporelles, les processus sont étudiés séparément dans la cadre d'une approche dite déductive (Stive *et al.*, 1990 ; Carter et Woodroffe, 1994 ; Cowell et Thom, 1994) :

- une échelle spatiale de l'ordre de la centaine de mètres et une échelle temporelle intégrant des paramètres dont les fluctuations sont comprises entre l'événement de tempête et la saison. Relativement à cette grande échelle, les fluctuations observées dans l'évolution du trait de côte sous l'influence des facteurs hydrodynamiques ou météorologiques ont des répercussions très faibles sur l'évolution, à long terme, du littoral. Les projets anthropiques de contrôle de la cinématique du trait de côte (par exemple, le dimensionnement des ouvrages de défense) se réfèrent à cette échelle.

- une échelle spatiale de l'ordre du kilomètre et une échelle temporelle intégrant des paramètres dont les variations sont annuelles. C'est l'échelle à considérer pour apprécier les impacts des ouvrages de défense du trait de côte sur la dynamique littorale.

A une échelle spatiale de l'ordre de la dizaine de kilomètres et une échelle temporelle de l'ordre de la dizaine d'années, il est défini un concept nouveau de la dynamique du littoral : «large scale

coastal evolution» (Carter, 1988 ; Stive *et al.*, 1990 ; Carter et Woodroffe, 1994). Cette échelle est adaptée pour la prévision des modalités de l'aménagement de la zone côtière.

La définition d'une approche inductive pour l'étude de la dynamique des côtes basses meubles a été formulée à partir des recherches réalisées sur le littoral néerlandais : plusieurs portions du trait de côte ou cellules, de plusieurs kilomètres de longueurs, ont été distinguées le long du littoral des Pays-Bas (figure 78). A l'intérieur de chaque cellule sédimentaire, le profil moyen du littoral (de la dune au plateau continental), les conditions hydrodynamiques et le transit sédimentaire présentent de faibles variations à une échelle pluri-annuelle. Les interruptions le long du trait de côte représentées par une embouchure d'estuaire, une infrastructure portuaire ou un cap rocheux sont des limites de cellules. A l'intérieur de chaque cellule, trois unités se succèdent de la côte vers le large : la zone littorale, la zone pré-littorale et le plateau continental. Le long du trait de côte, deux types de cellules sédimentaires se succèdent en fonction de leur localisation sur des littoraux interrompus ou non par des estuaires.

B) La dynamique du littoral considérée dans le cadre de cellules sédimentaires.

Carter (1988) et Sherman et Bauer (1993) ont souligné l'importance du concept de cellule sédimentaire pour la connaissance du budget sédimentaire de portions du trait de côte dont l'évolution est dépendante ou indépendante des portions adjacentes et pour lesquelles le terme de cette évolution, positif ou négatif, se traduit par une accrétion ou une érosion du trait de côte. Stapor et May (1983), Bray (1992, 1994a, b) et Bray *et al.* (1995) ont précisé le concept de cellule sédimentaire et les modalités de son application pour l'étude de la dynamique littorale. L'évolution du littoral est, dans ce type d'étude, considérée dans un cadre morphosédimentaire : l'évolution du trait de côte est associée à des transferts de sédiments, des apports ou des pertes sédimentaires. A partir de la détermination des limites entre ces transferts sédimentaires, sont identifiés le long du littoral des cellules ou compartiments sédimentaires. Les sources, réservoirs et mécanismes de transferts sédimentaires sont étudiés pour proposer une interprétation géomorphologique de l'évolution à long terme du littoral. La présentation et la quantification des termes du budget sédimentaire sont la dernière étape du travail.

Les cellules sédimentaires ou compartiments sédimentaires sont des portions du trait de côte «indépendantes les unes des autres et caractérisées par un transport sédimentaire le long de la côte qui se fait en général dans une direction dominante» (Paskoff, 1994c).

Carter (1988) a défini deux types de limites :

- les limites fixes correspondant à des éléments morphologiques (les caps, les bancs sableux pré-littoraux, les baies et les embouchures) qui exercent un contrôle majeur sur les modalités de la réfraction et réduisent le transport sédimentaire par la dérive littorale.

- les limites mobiles, dont la localisation est plus difficile à déterminer, correspondent à un changement dans l'énergie de la houle à l'approche du littoral.

La délimitation des cellules ou compartiments sédimentaires le long d'un littoral est le préalable indispensable à toute tentative de contrôle de l'évolution du trait de côte associée à une maîtrise de celle des parties adjacentes.

Une application du concept de cellule sédimentaire, pour définir le cadre morphodynamique adapté à l'aménagement de la zone côtière a été réalisée sur la côte sud-est de l'Angleterre (Bray *et al.*, 1995 ; Bray et Hooke, 1995), (figure 79), et la côte ouest du Cotentin (Levoy, 1994), (figure 80). Sur le littoral des Comtés du Dorset et de l'Hampshire (figure 79), une classification morphologique des types de littoraux a permis de distinguer des formes dites «indépendantes» représentant une source sédimentaire potentielle (falaise en recul) et des formes dites «dépendantes» représentant des réservoirs sédimentaires ou des zones d'atterrissement (embouchures d'estuaires, cordons dunaires, cordons de galets) ; chacune de ces catégories de formes peut être soit active, si elle est restée ouverte à des échanges sédimentaires, soit inactive dans le cas contraire. Les cellules sédimentaires ont été délimitées le long du littoral (figure 79) ; elles représentent le cadre morphodynamique et morphosédimentaire de référence auquel se réfèrent les pratiques de gestion de la zone côtière. La mise en évidence des limites de ces cellules a provoqué la création d'organisations institutionnelles avec lesquelles leurs limites de compétences et d'intervention coïncident. Sur la côte ouest du Cotentin, Levoy (1994) et Levoy et Larssonneur (1994) ont précisé le fonctionnement hydro-sédimentaire qui s'inscrit dans le cadre de cellules sédimentaires entre le cap de Carteret et Granville (figure 80) :

- deux compartiments sédimentaires ont été individualisés entre le Cap de Carteret et le havre de Lessay et entre Créances et le Roc de Granville.

- la frontière du compartiment nord est ouverte à une alimentation à partir de la plage d'Hatainville ; la frontière entre le compartiment nord et sud, située au nord de Pirou, est due, pour partie, à un changement dans l'orientation du tracé du trait de côte. Au sud du cap de Granville, la dérive littorale est moins organisée compte tenu de la décroissance de l'énergie de la houle et de la complexité bathymétrique qui déterminent un changement de régime sédimentaire et l'apparition de mouvements sédimentaires sud-nord. En fonction du degré d'exposition aux houles dominantes et de la bathymétrie de l'avant-côte, huit cellules de circulation secondaire ont été identifiées (figure 80). Hirschberger (1996) souligne l'apport principal des travaux de Levoy et Larsonneur (1994) : ils mettent en évidence une dérive résultante nord-sud ; d'après Hirschberger, «cette dominance de la dérive résultante nord-sud est en conformité avec les vieilles lois de Lewis et de Schou (cité par Guilcher, 1954) : entre les deux houles obliques pouvant générer des dérives, celles du NW, à fréquence égale, sont à l'évidence plus efficaces que celles du SW, à cause de leur fetch plus important.

C) Application du concept de cellule sédimentaire au littoral du Nord-Pas-de-Calais et à la côte nord-orientale du Cotentin.

Nous avons déterminé à partir des travaux antérieurs sur la circulation longitudinale, peu nombreux sur les littoraux du Nord-Pas-de-Calais (Corbau, 1995) et du nord-est Cotentin, les cadres morphodynamiques et morphosédimentaires de nos terrains d'étude. La première étape de ce travail consiste en la détermination, dans le cadre d'une démarche empirique, des limites des cellules ou compartiments sédimentaires (définis précédemment) le long du littoral.

La problématique et les méthodes de recherche adoptées dans notre travail ne permettent pas de déterminer de manière rigoureuse ces limites et *a fortiori* la circulation longitudinale intra-cellulaire ; le déplacement des sédiments peut être analysé et quantifié à partir de traceurs radioactifs et fluorescents. Une thèse, commencée en 1994, a déjà pour objet principal «la

détermination et la cartographie des cellules morphosédimentaires sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais» (Sipka, 1997) : des moyens techniques adaptés doivent permettre d'obtenir des résultats comparables à ceux obtenus par Levoy (1994) et Bray *et al.* (1994, 1995).

Notre détermination des cellules sédimentaires, de leurs limites et de la circulation longitudinale associée sur les littoraux étudiés dans ce travail repose sur la prise en compte de quatre facteurs et représente des hypothèses :

- le changement dans le tracé et l'orientation du trait de côte.
- le type de morphologie littorale (falaise, cordon dunaire, estuaire).
- la présence d'un platier rocheux recouvrant tout ou partie de la zone intertidale.
- la morphologie sous-marine (présence de bancs sableux sur la plate-forme continentale, affleurement du substratum).

Les travaux de Everts *et al.* (1983) sur la côte orientale des Etats-Unis, soulignent que l'évolution de la côte peut être fortement liée à des conditions locales telles que la proximité d'embouchures d'estuaires, la présence de bancs sableux sur la côte ou un changement de l'orientation générale du littoral.

Sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais (figures 81 et 82), le changement de l'orientation du tracé du trait de côte de part et d'autre du Cap Gris-Nez détermine un changement de régime hydro-sédimentaire : la résultante du transit tidal, au large, est sud-nord sur la façade occidentale et ouest-est sur la façade septentrionale. Le Cap Gris-Nez constitue une frontière majeure pour la dérive littorale dont l'orientation est de composante sud-nord, au sud, et de composante ouest-est, à l'est. Ce cap représente une frontière très peu perméable compte tenu de l'importance des affleurements du substratum dans la zone intertidale : barres rocheuses, dalles de grès ou nappes de blocs recouvrent l'estran du Cap Gris-Nez (Vangilve, 1996). Le Cap Gris-Nez constitue par l'importance des platiers et des fonds rocheux intertidaux et sous-marins et le changement dans le tracé du trait de côte une frontière majeure de compartiment sédimentaire. A l'Est du Cap-Gris-Nez (figure 81), le Cap Blanc-Nez limite un premier compartiment sédimentaire (n°1) sur la façade septentrionale (entre les Caps Gris-Nez et Blanc-Nez) : la Baie de Wissant. Ce compartiment sédimentaire est limité au sud-ouest et au nord-est

par deux «caps» (le cap Blanc-Nez n'est pas un cap au sens morphologique) constituant des limites fixes pour la circulation sédimentaire.

A l'intérieur de ce compartiment, des cellules secondaires sont déterminées en fonction des changements dans le tracé du trait de côte, de part et d'autre de Wissant (passage d'une direction WSW-ENE à une direction SW-NE), et la morphologie sous-marine ; celle ci présente une variation de part et d'autre de Wissant : entre le Cap Gris-Nez et Wissant (figure 81), un banc sableux de type «banner bank» (Augris *et al.*, 1990), le Banc à la Ligne, occupe la zone pré-littorale et détermine un amortissement et une réfraction des houles incidentes dont le rôle dans la dynamique sédimentaire est limité aux conditions hydrodynamiques de tempête. Augris *et al.* (1990) ont montré, par des expériences à partir de traceurs radioactifs, le rôle marginal des courants de marée dans le transport sédimentaire sur cette portion du trait de côte en arrière du Banc à la Ligne. Par ailleurs, la résultante du transport sédimentaire orientée vers le NE et donc parallèle à ce secteur ne détermine pas un transport sédimentaire important. De Wissant au Cap Blanc-Nez, le changement dans le tracé du trait de côte, oblique par rapport à la résultante du transit sédimentaire, et la morphologie sous-marine permettent un transport sédimentaire sous l'action des courants de marée par charriage et des houles incidentes par suspension (Clabaut, 1988 ; Augris *et al.*, 1990). Entre le Cap Blanc-Nez et l'avant-port de Calais (figure 81), un second compartiment sédimentaire (n°2) est limité par deux frontières fixes : la limite du Cap Blanc-Nez est déterminée par des affleurements rocheux sur la zone intertidale et le développement de massifs rocheux submergés (massif rocheux des Quénocs et du Rouge-Riden) qui forment, sur la plate-forme continentale, une barrière fixe au transit tidal dominant vers le NE (Augris *et al.*, 1990 ; Vicaire, 1991) : à l'est du Cap Blanc-Nez, le jusant devient prépondérant et détermine une cellule sédimentaire secondaire (figures 82 et 81).

Mais les observations de Vicaire (1991) ont montré que cette inversion est limitée à la zone d'influence du massif rocheux : à partir de Sangatte, le courant de flot redevient dominant (figure 82). Le changement de l'orientation du tracé du trait de côte passant d'une direction SW-NE à WSW-ENE et le transit tidal dirigé vers l'est déterminent une cellule sédimentaire secondaire entre Sangatte et l'avant-port de Calais. L'avant-port de Calais représente une limite de compartiment sédimentaire définie par la rupture dans la continuité du trait de côte et la

présence de bancs sableux sur la plate forme continentale. A partir de Calais, la plate-forme continentale est occupée par des bancs sableux représentant l'unité supérieure de la couverture sédimentaire meuble (Augris *et al.*, 1990 ; Vicaire, 1991 ; Lahousse *et al.*, 1993 ; Corbau, 1995). Treize bancs sableux sont situés sur la plate-forme continentale de Calais à la frontière belge ; leur développement se prolonge au delà jusqu'au littoral néerlandais pour constituer le complexe des Bancs de Flandre (Lahousse *et al.*, 1993). Ces bancs sableux, de Calais à Mariakerke (sur le littoral belge), ont une direction dominante WSW-ENE, sub-parallèle au tracé du trait de côte et sont orientés dans la direction dominante du transit sédimentaire tidal vers le nord-est. Les travaux de Vicaire (1991) et de Corbau (1995) ont montré les relations étroites entre l'évolution morphosédimentaire des bancs sableux et celle du trait de côte et le rôle prédominant des courants de marée dans le transit des sédiments vers le nord-est. A l'intérieur de ce compartiment sédimentaire (n°3) limité à l'ouest par l'avant-port de Calais et à l'est par l'avant-port Est de Dunkerque, les infrastructures portuaires de Dunkerque, et en particulier la construction des jetées du port-Est de Dunkerque et des jetées de l'ancien estuaire de l'Aa, représentent des limites fixes de cellules sédimentaires par le blocage provoqué dans le transport longitudinal et la création de zones d'atterrissement en amont et d'érosion en aval.

Le littoral du Cap Gris-Nez à la frontière belge est exposé au flux de nord mais les houles observées le long du littoral sont modestes : la morphologie de la plate forme continentale, caractérisée par la présence de bancs sableux, dont certains sont sub-affleurant, atténue les houles incidentes de direction nord, nord-est. Une modélisation de la circulation dominante sur le littoral dunkerquois (Corbau, 1995) a montré l'importance du climat hydrodynamique et météorologique pour déterminer les modalités de la dynamique sédimentaire sous l'action des houles (figure 83) :

- en période de beau temps, la circulation sédimentaire est dominée par l'action des courants de marée («les courants de marée, notamment le courant de flot, paraissent gouverner l'évolution des fonds marins, l'action des vagues permanentes étant limitée»).

- en régime de tempête, associé à une marée de pleine mer de vive-eau, elle est dominée par l'action des houles incidentes (houle frontale dominante de secteur NW à NE).

D'après les travaux de Vicaire (1991) et de Corbau (1995) sur la circulation sédimentaire entre le Cap Gris-Nez et la frontière belge, la morphologie du plateau continental et la présence de plusieurs bancs sableux amortissent l'action des houles incidentes.

Au sud du Cap Gris-Nez (figure 84), nous avons distingué deux types de limites de compartiments sédimentaires :

- les falaises (Pointe aux Oies, Cap d'Alprech) limitent deux compartiments sédimentaires au nord de Boulogne-sur-Mer. La morphologie du plateau continental et de la zone intertidale (affleurement rocheux) limite la circulation longitudinale. Elles constituent des frontières relativement imperméables (d'un degré moindre que le Cap Gris-Nez, car elles ne sont plus associées à un changement dans le tracé du trait de côte).

- les estuaires représentent des entités morphologiques essentielles sur la façade occidentale. A l'intérieur de notre domaine d'étude, les estuaires de la Canche et de l'Authie sont des zones de stockage sédimentaire. La circulation sédimentaire longitudinale présente des inversions locales à l'intérieur des estuaires déterminées par les changements dans le tracé du trait de côte et donc dans son exposition aux houles incidentes (cf. sur la rive nord de la baie de l'Authie).

Au sud du Cap d'Alprech (figure 84), le littoral conserve une orientation dominante nord-sud ; les estuaires interrompent la continuité du trait de côte dont la morphologie est constituée par deux cordons dunaires séparant une dépression inter-dunaire. Il n'existe pas sur cette portion du littoral de limite imperméable à la circulation sédimentaire longitudinale : seuls les ouvrages de défense contre la mer peuvent la limiter ponctuellement (par exemple au sud de Berck). Néanmoins, des cellules secondaires que nous n'avons pas représentées doivent segmenter la circulation longitudinale au sud du Cap d'Alprech : d'après Carter (1988), la structure d'un littoral, dont l'orientation est régulière et influencée par une réfraction significative de la houle, est composée de plusieurs petites cellules éphémères séparées par des limites mobiles. En effet, à l'intérieur d'une cellule dont les limites sont stables, des cellules éphémères peuvent être associées à des phénomènes de contre-dérive ; ces phénomènes sont à l'origine de démaigrissement local et temporaire d'une plage.

Sur la côte nord-orientale du Cotentin (figure 85), la Pointe de Barfleur représente une frontière majeure de compartiment sédimentaire déterminée par un changement dans l'orientation du trait de côte et dans le régime hydrosédimentaire : la résultante du transit tidal au large est orientée de l'ouest vers l'est (courant de flot dominant), à l'ouest de la Pointe de Barfleur et du sud vers le nord (courant de jusant dominant), au sud de la Pointe de Barfleur. A l'ouest de la Pointe de Barfleur (figure 85), d'après Larsonneur (1971), «il n'y a pas de transit préférentiel des matériaux...la présence de barres rocheuses isolant les plages interdit les déplacements (de sédiments) sur de longues distances, par conséquent les échanges. Les installations portuaires de Cherbourg s'ajoutent au cloisonnement naturel de la côte». Larsonneur (1971) reconnaît sur le littoral nord du Cotentin, à l'ouest de la Pointe de Barfleur, une succession de cellules sédimentaires associées aux anses (zones de divergence) et limitées par les caps rocheux (zones de convergence). Au sud de la Pointe de Barfleur (figure 85), la circulation longitudinale est limitée par le développement du platier rocheux granitique dans la zone intertidale qui contribue au cloisonnement du littoral. Sur la côte nord-orientale du Cotentin, le grand développement des platiers constitue une limitation importante à la circulation des sédiments entre l'espace subtidal et le domaine intertidal. Les équilibres sédimentaires sur ces secteurs de côte sont conditionnés par la circulation des sables parallèlement à la côte (Levoy, 1994). La Pointe de Saire (figure 85) constitue une limite de compartiment sédimentaire (qui se prolonge jusqu'à la baie des Veys) relativement perméable et déterminée par un brusque changement dans l'orientation du trait de côte associé au débouché de la Saire.

**QUATRIEME PARTIE : ETUDE
DE L'AMENAGEMENT
ET DE LA GESTION
DES LITTORAUX
DU PAS-DE-CALAIS ET
DU NORD-EST DE LA MANCHE
AUX XIX ET XX^{EMES} SIECLES.**

«Il y a au premier abord, quelque paradoxe dans l'idée qu'un géographe, s'isolant de la nature, aille s'enfermer dans un dépôt d'archives... En réalité, il n'y a pas d'incompatibilité entre le travail géographique et les recherches d'archives ; il est possible d'étudier grâce aux archives, les transformations du milieu physique que l'homme a vues s'accomplir et l'évolution du milieu humain dans ses rapports avec la nature»
(Demangeon, 1905a)

CHAPITRE 6 : ETUDE DU ROLE DES TEMPETES DANS LES RAPPORTS ENTRE LES SOCIETES HUMAINES ET L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE.

En 1990, un programme de recherche est conduit dans le cadre d'une coopération transfrontalière sur le littoral compris entre Dunkerque (France) et La Panne (Belgique). Bryche *et al.* (1993) et Clabaut et Malherbe (1994) ont présenté les principaux objectifs de ces recherches. Un événement est à l'origine du projet : les tempêtes des 27 et 28 février 1990 qui ont provoqué une érosion importante des plages sur les deux littoraux français et belge. Sur cette portion du littoral de la plaine maritime flamande orientée WSW-ENE, les tempêtes sont considérées comme le processus principal de l'érosion du littoral associant un recul rapide du trait de côte, un abaissement important du niveau de l'estran et des dommages aux ouvrages de défense du trait de côte. La tempête de 1990 est replacée dans une succession de tempêtes qui ont provoqué les mêmes effets dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle.

Sur le littoral français, sont rappelées à la mémoire des gestionnaires, les tempêtes des 1^{er} février 1953, 1973-1974, 1983 et 1987 ; sur le littoral belge, les tempêtes de 1976, janvier 1978 et la tempête de 1990. De part et d'autre de la frontière, des réponses ont été apportées par les sociétés humaines pour tenter de s'opposer à cette évolution déterminée par la fréquence des tempêtes. Sur le littoral français (Malo-les-Bains), deux brise-lames sont construits en 1978 ; en 1988, un nouveau brise-lames est construit, associé à des rechargements artificiels de la plage. L'histoire de la défense du trait de côte est plus ancienne et plus riche sur le littoral belge : construction d'un perré de 1949 à 1966, construction de 6 épis en 1956, redistribution de sable

sur la plage depuis 10 ans, des pièges à sédiments pour intercepter les déplacements éoliens du sable....

Un article de presse du 10 décembre 1996 donne un point de vue critique à la suite d'un premier exposé des conclusions de l'étude transfrontalière (annexe 1). Nous avons retenu une phrase de cet article : «La période de l'étude a été un peu courte...pendant ce temps, nous n'avons pas eu une terrible tempête... Question d'étudier les conséquences des tempêtes en grandeur nature».

En effet, si les tempêtes sont souvent citées par les géomorphologues ou les gestionnaires comme le processus responsable de l'érosion du littoral, peu de travaux sur le littoral français ont étudié les conséquences des tempêtes sur la dynamique du littoral. Dans les recherches dont l'objectif est de comprendre la place des tempêtes dans la dynamique du littoral, deux orientations peuvent être distinguées :

- un premier ensemble de travaux étudie le rôle des tempêtes sur les transferts sédimentaires qui déterminent le sens de l'évolution du littoral (De Moor, 1988, 1993 ; Levoy, 1989, 1994 ; Verhagen, 1989 ; Corbau, 1995).

- des travaux étudient les tempêtes dans leurs rapports avec les sociétés humaines sur le littoral ; trois thèmes sont alors développés et se différencient en fonction des sources utilisées :

- * à partir du dépouillement d'archives montrant les différentes stratégies développées par les sociétés humaines face aux dommages provoqués par les tempêtes, des travaux déterminent la place des tempêtes dans le géosystème littoral (Bousquet et Miossec, 1991a ; Deboudt et Battiau-Queney, 1991),

- * à partir du traitement statistique des données météo-marégraphiques, l'évolution de la fréquence des tempêtes est étudiée pour tenter de déterminer le rôle respectif de l'évolution climatique et des actions anthropiques dans l'accroissement observé des submersions de tempête sur le littoral (Levoy, 1989, 1990 ; Costa, 1995 ; Bruzzi, 1996),

- * à partir de l'étude comparée des caractères du paysage littoral avant et après la tempête, des auteurs déterminent le rôle respectif des processus naturels et anthropiques dans l'évolution du littoral (Carter, 1988 ; Bodéré *et al.*, 1994 ; Nordstrom, 1994 ; Morel, 1995 ; Nordstrom et Jackson, 1995).

Nous associons dans ce travail ces trois approches pour développer les trois thèmes mentionnés précédemment et tenter d'approfondir la connaissance du rôle des tempêtes dans ses rapports avec la morphogénèse, la dynamique du littoral et les sociétés humaines.

I) Présentation de la problématique et des sources utilisées.

A) La tempête, événement météorologique considéré comme un processus morphogénique sur le littoral.

Dans notre travail, l'étude du système morphogénique et des processus responsables de la dynamique des littoraux de la Mer du Nord et de la Manche orientale est présentée dans ce qui précède à partir des travaux antérieurs (Chapitre 4). Nous n'apportons pas d'éléments nouveaux pour expliquer les modalités de la dynamique des littoraux étudiés. Cependant, le choix d'une problématique associant l'étude historique de l'anthropisation du littoral à celle des transformations dans la morphologie et la phytogéographie du littoral a mis en exergue un facteur essentiel de la dynamique des littoraux étudiés dans ce travail : les tempêtes.

Les sources historiques et les archives dépouillées pour établir les transformations dans les rapports entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte recèlent de nombreuses références aux tempêtes et accordent à cet événement météorologique une place plus importante qu'aux autres facteurs de la dynamique du littoral. L'étude des tempêtes s'intègre alors dans notre problématique et nous a amené à analyser l'intégration de ce phénomène météorologique exceptionnel dans le système des relations élaborées entre les sociétés humaines, le milieu littoral et l'évolution du trait de côte.

L'étude des tempêtes considérées comme facteur de la dynamique littorale présente un double aspect :

- une analyse des conditions nécessaires à une manifestation morphogénique de ce phénomène météorologique sur le littoral.

- une analyse des rythmes de l'évolution du trait de côte dont les tendances sur le long terme (à l'échelle pluri-annuelle) ont été présentées dans la deuxième partie.

L'originalité de notre étude sur les tempêtes tient aux sources consultées : traditionnellement, l'étude des tempêtes, considérées comme facteur de la dynamique littorale, est basée sur le dépouillement de séries climatologiques (par exemple Costa, 1995). Dans ce type d'étude, la tempête est, en premier lieu, définie en fonction de critères climatiques (vitesse du vent) et l'inventaire des tempêtes est élaboré à partir des données de vent recueillies auprès des sémaphores situés le long du littoral. Ce type d'étude est cependant limité par la faible représentativité spatio-temporelle des données climatiques (Costa, 1995).

B) L'intérêt des sources historiques et des archives pour l'étude des relations entre les tempêtes, les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte.

Notre définition de la tempête n'est pas basée sur des données climatiques ; toutes les tempêtes météorologiques qui se manifestent sur un littoral ne sont pas retenues dans notre travail. La tempête météorologique ne présente en effet qu'une potentialité morphogénique qui se réalise seulement dans un certain contexte que nous précisons ci-dessous. Dans ce travail, le dépouillement des archives du Service Maritime des ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais, pour le littoral du Pas-de-Calais, et de la Subdivision Maritime de l'Equipement de Cherbourg, pour la côte nord-orientale du Cotentin, permet d'effectuer une sélection dans la série climatologique des tempêtes ayant affecté les littoraux considérés : les tempêtes qui ont donné lieu à la rédaction d'un rapport par l'Ingénieur responsable de la gestion du Domaine Public Maritime sont toutes associées à un recul rapide du trait de côte, une submersion du littoral, des manifestations morphogéniques dans les milieux dunaires et des dommages aux ouvrages de défense du trait de côte.

L'analyse des rapports des Services Maritimes consacrés aux tempêtes permet alors d'établir un inventaire des tempêtes littorales que l'on peut véritablement qualifier de morphogéniques. Les rapports des Ingénieurs des Services Maritimes relatifs à une «tempête

morphogénique» (par opposition à la tempête météorologique) se réfèrent à quatre sujets différents :

- le rappel des conditions météo-océanographiques de la tempête.
- un inventaire exhaustif des dommages causés par la tempête, principalement aux ouvrages de défense du trait de côte. Par ailleurs, pour les tempêtes antérieures aux années 1950, les dommages causés au milieu dunaires, situés à proximité des ouvrages, sont mentionnés.
- les moyens techniques à mettre en oeuvre pour réparer les dommages causés et protéger le trait de côte contre les effets d'une future tempête.
- le coût des dommages causés, le coût des moyens à envisager pour retrouver une situation équivalente à l'état du littoral antérieur à la tempête et le coût des protections nécessaires pour prévenir les effets d'une future tempête.

Une partie importante des rapports est toujours consacrée à la recherche d'un montage financier et d'un partage du coût de la reconstruction et de la prévention entre les différentes organisations concernées par la gestion du littoral.

C) Une étude appliquée au littoral de Sangatte.

Nous avons choisi, comme terrain d'étude des tempêtes, le littoral de Sangatte (figure 2). Sur le littoral du Pas-de-Calais, le rivage de Sangatte a été très précocement anthropisé : dès la fin du XVI^{ème} siècle, les sociétés humaines construisent une digue pour tenter de contrôler l'évolution du trait de côte et protéger le territoire des Wateringues des submersions de tempêtes. Le dépouillement exhaustif des archives permet donc sur ce littoral :

- de préciser, à partir de l'inventaire des «tempêtes morphogéniques», les rythmes de l'évolution du trait de côte depuis la fin du XVIII^{ème} siècle. Avant cette période, les sources historiques (chroniques) donnent des informations lacunaires.
- d'analyser les caractéristiques de ces tempêtes et le contexte nécessaire à une action morphogénique.

Les renseignements sont cependant inégaux suivant les tempêtes, plus complets et plus précis pour les événements météorologiques postérieurs à 1900. Blanchard (1905, 1906) a déjà établi la succession des tempêtes ayant entraîné une submersion et des dégâts sur la digue de Sangatte depuis sa construction en 1598 : «L'homme et la mer ont mis un égal acharnement à la résistance et à l'attaque...c'est la digue de Pénélope». L'étude du rôle des tempêtes dans leurs rapports constitués entre les sociétés humaines et la dynamique du littoral contribue au développement de notre problématique. Cette étude comporte trois orientations principales :

- la recherche de la relation entre l'occurrence des tempêtes et les étapes de l'artificialisation du trait de côte.
- l'étude de l'évolution des choix techniques et politiques adoptés par les sociétés humaines en réponse aux tempêtes.
- par le biais du coût financier que représentent les dommages provoqués par les tempêtes, celui des travaux consécutifs à ces événements et de l'engagement respectif des différents acteurs institutionnels dans ces financements, l'étude des évolutions dans la gestion du littoral.

Partant d'un phénomène météorologique exceptionnel, considéré comme un processus morphogénique de première importance dans la dynamique littorale, nous intégrons la tempête dans le système des relations élaborées dans l'histoire entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte.

II) Les tempêtes et la dynamique des littoraux dunaires anthropisés : du phénomène météorologique au processus morphogénique.

L'étude du système morphogénique s'appliquant sur le littoral est fondamentale pour comprendre les modalités de son évolution. Quatre types d'agents composent ce système et se réfèrent à trois échelles temporelles distinctes :

- les processus hydrodynamiques dont l'intensité a pu varier en fonction des variations du niveau de la mer qui s'inscrivent sur le long terme (séculaire à pluri-séculaire).

- la marée dont les manifestations se traduisent par des courants littoraux et des variations d'amplitude déterminant la largeur de la zone intertidale.

- la houle et les vagues, dont les paramètres dépendent du vent, du fetch et de la configuration du rivage.

- le vent.

Ces trois derniers processus hydrodynamiques et météorologiques interviennent dans l'évolution à moyen terme (annuelle, pluri-annuelle) du littoral.

La problématique adoptée dans notre travail n'intègre pas l'étude détaillée du rôle respectif de ces différents processus dans la dynamique du littoral ; nous avons néanmoins rappelé précédemment (Chapitre 4) leurs caractéristiques pour décrire le cadre dynamique des littoraux étudiés. Ces différents processus ont aussi une action ambivalente sur l'évolution du littoral : ils peuvent contribuer à l'érosion ou à l'accrétion du littoral suivant leur intensité, leur fréquence et leur direction par rapport au littoral. Les modalités d'intervention de ces différents processus déterminent des transferts sédimentaires, dont le résultat se traduit par un budget sédimentaire ; la position actuelle du littoral est le résultat d'un équilibre dynamique entre des déplacements de sédiments qui se traduit soit par une érosion, soit par une accrétion.

Aux processus mentionnés ci-dessus, qui se manifestent à une échelle spatio-temporelle moyenne ou longue, s'ajoutent des processus exceptionnels dont les effets se traduisent sur le court terme. Les tempêtes sont un de ces processus de faible fréquence et de forte intensité qui s'accompagnent d'une morphogénèse intense sur le littoral. Relativement à ces processus, une interrogation fondamentale consiste en la connaissance de leur rôle respectif dans la dynamique du littoral. Pour expliquer la tendance actuelle à l'extension des secteurs littoraux en érosion, de nombreux géomorphologues font référence à l'élévation contemporaine du niveau de la mer et à l'accroissement de la fréquence et de l'intensité des tempêtes (Carter, 1988 ; Houthuys *et al.*, 1993 ; Miossec, 1994a ; Paskoff, 1994a, c, 1995 ; Costa, 1995 ; Yoni, 1997).

Notre étude a pour objectif de préciser le rôle des tempêtes dans l'évolution du littoral relativement à deux échelles temporelles :

- sur le long terme de l'évolution du littoral. Les tendances de cette évolution séculaire et pluri-annuelle ont été présentées dans la deuxième partie. Quel est le rôle des tempêtes dans cette évolution ?

- sur le court terme, celui de la période d'occurrence de la tempête sur le littoral.

A) Les relations entre le phénomène météorologique et la morphogénèse.

La définition météorologique de la tempête est fondée sur la notion de régime de tempête définie par Trzpit (1977, 1990, 1996). Associer la tempête au dépassement d'un seuil dans la vitesse et la force estimée du vent (par exemple, une vitesse du vent supérieure à 100 km/h ou à la force 10 de l'échelle anémométrique de Beaufort) est insuffisant pour apprécier la complexité du phénomène météorologique. La tempête s'intègre dans un type de temps où l'instabilité poussée à son paroxysme dérive d'un régime de circulation atmosphérique fortement perturbé. D'après Trzpit (1977, 1990, 1996), les tempêtes résultent de la conjonction de trois processus étroitement liés par un rapport de causalité :

- des vents violents (une vitesse supérieure à 100 km/h),
- une mer démontée mesurée par la hauteur des vagues (9 à 12 m) et l'importance du fetch (la longueur de la course du vent qui donne naissance aux vagues),
- une chute brutale de la pression atmosphérique.

Deux éléments sont aussi nécessaires pour caractériser le régime de tempête : sa trajectoire et sa durée. Il n'est pas observé de corrélation systématique entre l'occurrence d'une tempête, définie comme précédemment, et une action morphogénique sur un littoral. En effet, toutes les tempêtes inventoriées à partir des séries climatologiques n'ont pas de conséquences morphogéniques nettes sur les littoraux où elles se produisent. D'après l'inventaire des tempêtes réalisé par Paul (1991, 1994), les tempêtes de l'hiver 1990 n'ont pas eu, par exemple, de conséquences morphogéniques sur le littoral de Sangatte. Wissocq (1992) a analysé les tempêtes de l'hiver 1989-1990 et leurs conséquences sur la morphologie du littoral du cap Blanc-Nez. D'après cet auteur, les tempêtes de décembre 1989 et janvier 1990 n'ont pas eu d'influence sur la morphologie littorale en raison de leur association avec un faible coefficient de marée. Seule la

tempête du 28 février 1990, associé à un fort coefficient (108), a provoqué des dommages importants le long du trait de côte.

L'étude comparée de trois tempêtes ayant provoqué des dommages sur le littoral nord-est du Cotentin (recul rapide du trait de côte, submersion du cordon dunaire, dommages aux ouvrages de défense du trait de côte) permet de définir les conditions météorologiques et océanographiques qui déterminent une manifestation morphogénique de la tempête sur le littoral (Deboudt et Battiau-Queney, 1991). Nous avons choisi les trois tempêtes suivantes (figure 86) :

- les tempêtes des 10, 11, 12 et 13 janvier 1978.
- les tempêtes des 30, 31 décembre 1978 et du 1 janvier 1979.
- les tempêtes des 19 et 20 mars 1980.

Le choix de ces tempêtes est le résultat du dépouillement des archives de la Subdivision «Littoral et Etudes Maritimes» de la Direction Départementale de l'Équipement de Cherbourg. Les caractéristiques et les dommages provoqués par ces tempêtes sont présentés sur la figure 86. D'après les rapports des Ingénieurs, plusieurs éléments sont à retenir :

- si la violence des vents manifestée par des rafales constitue une condition nécessaire à une action morphogénique de la tempête, c'est néanmoins la direction du vent par rapport au trait de côte pendant la tempête qui est fondamentale (de secteur nord-est pour la côte nord orientale du Cotentin). Les tempêtes de l'hiver 1990, de secteur nord-ouest, n'ont alors pas causé de dommages importants sur ce littoral.

- la force du vent détermine une surcote (la cote de la marée observée est supérieure à celle de la marée prévue) qui peut engendrer une submersion quand celle-ci se produit en pleine mer de vive-eau de fort coefficient (supérieur à 100). L'importance de la surcote dépend aussi de la longueur du fetch.

La conjonction entre un phénomène météorologique et des phénomènes océanographiques est le facteur déclenchant de la morphogénèse. Costa (1995) a, de la même façon, montré la conjonction de ces phénomènes météo-océanographiques pour les tempêtes ayant engendré des inondations catastrophiques dans la ville de Mers les Bains (figure 87). Néanmoins, comme le souligne Costa (1995), il serait réducteur d'établir une corrélation simple entre la tempête et ses effets morphogéniques par cette seule conjonction. Les caractéristiques lithologiques et

topographiques du littoral déterminent, en premier lieu, leur sensibilité au risque potentiel que représente cette conjonction réalisée pendant une tempête. Les types de littoraux étudiés dans notre travail sont particulièrement sensibles aux tempêtes : ce sont des littoraux meubles dont les terrains situés en arrière du ou des cordons dunaires ont une altitude inférieure au niveau des plus hautes mers de vive-eau et correspondant à d'anciens polders (à l'exception de la côte nord-orientale du Cotentin).

Considérée comme un risque climatique, les conséquences morphogéniques de la tempête sont subordonnées à la configuration du milieu et de l'espace littoral. Guilcher (1954) et Escourrou (1978) soulignent qu'il faut tout d'abord considérer la configuration du littoral dans l'analyse des effets du vent sur le littoral. Les caractéristiques morphosédimentaires des plages sont tout aussi déterminantes pour expliquer l'importance de la morphogénèse et des dommages causés au milieu littoral par une tempête. Un exemple montre que les effets des tempêtes sont pondérés par l'état du profil sédimentaire des plages dont les caractères dépendent des conditions météo-océanographiques qui précèdent la tempête. Homménil et Larssonneur (1963) analysent les effets des tempêtes du premier semestre 1962 sur les côtes bas-normandes (figure 88). Une tempête survenue les 7 et 8 mars 1962 a entraîné sur le littoral de la commune de Jonville un recul du trait de côte d'une quinzaine de mètres et mis à nu, par un démaigrissement du bas de l'estran, des sépultures anciennes sur le littoral de la commune de Réville. Cette tempête se produisit lors des marées d'équinoxes avec de forts coefficients (115, 116). Cependant, la morphogénèse manifestée pendant cette tempête a été amplifiée par l'action de vents forts qui ont soufflé du 21 au 28 février avec des marées de faibles coefficients (41 à 86), entraînant un démaigrissement important de l'estran qui favorisa son érosion ultérieure. Du 18 au 22 mars 1962, d'importants dégâts ont été enregistrés sur la côte orientale du Cotentin. Or, les vents soufflant pendant cette période ont une vitesse peu élevée (pas supérieure à 13 m/s à Barfleur pour un vent d'est) et les coefficients de marée sont également peu élevés (65 à 89) : soit des conditions météo-océanographiques sensiblement identiques à celles de fin février qui n'avaient pas provoqué de tels dommages. C'est la faible hauteur du cordon dunaire et le démaigrissement des plages occasionné par la tempête des 7 et 8 mars 1962 qui ont amplifié les effets de la tempête du 18 au 22 mars.

Costa (1995) souligne aussi l'importance de la prise en compte des caractéristiques morphosédimentaires des plages (le volume et la forme du cordon de galets) pour expliquer l'ampleur de la morphogénèse et des submersions qui sont associées à certaines tempêtes sur le littoral des villes côtières de Haute Normandie et de Picardie : «En effet, les houles liées aux périodes météorologiquement agitées qui précèdent systématiquement les inondations de tempête, modifient la répartition longitudinale et transversale des cordons de galets. Ainsi, l'étalement en haut estran ou la concentration dans un secteur de la plage du cordon de galets par la houle a pour conséquence un abaissement du profil de plage, permettant à la houle de déferler plus près du trait de côte, de submerger les ouvrages de défense longitudinaux et d'inonder les zones basses».

B) Les conséquences des tempêtes sur la morphologie et la dynamique du littoral.

Les tempêtes littorales dont les caractéristiques météorologiques et les relations avec les autres processus hydrodynamiques et le milieu littoral déterminent un changement morphogénétique sont, d'après Carter (1988), le facteur principal de la dynamique des littoraux meubles. La conjonction réalisée pendant les tempêtes entre des vents forts, une instabilité atmosphérique, des vagues de hauteur élevée et de fetch important et une surcote est de nature à provoquer plus de changements sur un littoral que pendant une longue période sans tempête majeure. L'analyse des effets géomorphologiques des tempêtes présente donc un intérêt fondamental pour la compréhension des mécanismes de l'évolution du trait de côte et de la transformation des milieux dunaires pendant une période de morphogénèse intense.

Les études géomorphologiques consacrées au rôle des tempêtes dans la dynamique littorale sont encore peu nombreuses sur le littoral français au regard du rôle essentiel de ce processus. Levoy et Flageollet (1986) analysent dans un article précurseur les effets géomorphologiques de la tempête du 23 novembre 1984 sur l'évolution des milieux littoraux sableux de la côte ouest du Cotentin. Le régime de tempête est caractérisé par :

- des vents violents (supérieur à 130 km/h le 23 à Granville), de direction S-SW.
- une chute brutale de la pression atmosphérique à 987 hPa.

- une période de vive-eau (coefficient de 103).

Cette tempête a provoqué une morphogénèse intense sur le littoral présentant trois aspects différents :

- une érosion dunaire localement spectaculaire associée à un recul rapide du trait de côte.
- un abaissement considérable du profil des plages.
- une pénétration des eaux marines à l'intérieur des zones basses en arrière du trait de côte après une destruction totale de la dune.

D'après ces auteurs, l'érosion des dunes pendant une tempête confère à celles-ci deux types de profils transversaux :

- un talus raide, plus ou moins élevé face à la mer, légèrement concave, sans végétation.

La dune attaquée à la base est en cours d'érosion. Des paquets de dune s'effondrent après fissuration de la crête.

- un talus court à sommet très plan. Des paquets basculent vers la mer, le sommet étant colonisé par la végétation, la résistance aux assauts de la mer est meilleure mais ces dunes sont déjà le résultat d'une forte érosion.

Relativement à une plus grande échelle spatiale, Carter (1988) et Carter et Woodroffe (1994) ont précisé les effets des tempêtes sur la morphologie des plages et du cordon dunaire. Sur la plage, la tempête provoque des variations importantes du profil sédimentaire et une redistribution des sédiments entre le haut de plage, l'estran et l'avant-côte (figure 89). Carter précise surtout les seuils morphologiques limitant les effets de la tempête sur le cordon dunaire. Les formes et l'intensité de l'érosion du versant littoral exposé à la tempête dépendent :

- du volume des sédiments disponibles avant la tempête ; un haut de plage dont le volume de sable est important limite l'érosion marine sur le pied de dune et les éboulements corrélatifs du versant dunaire littoral
- de la hauteur du cordon dunaire ; de celle-ci dépend l'extension de la submersion.
- du degré de recouvrement du versant littoral par une végétation fixatrice ; celle-ci retarde l'érosion du versant maritime de la dune.

Enfin, les effets de la tempête ne sont pas homogènes sur l'ensemble du littoral. La tempête exploite, en premier lieu, les zones de faiblesse du cordon dunaire et en particulier aggrave

l'amplitude des formes de déflation éolienne antérieures à celle-ci. Levoy (1989) souligne enfin, que l'action érosive des tempêtes est avant tout cumulative.

Un dernier facteur, fondamental, doit être pris en compte pour apprécier les effets géomorphologiques des tempêtes sur un littoral : les relations entre ce moment paroxysmique de la morphogénèse et le littoral anthropisé. C'est là une situation commune à tous les littoraux étudiés dans ce travail ; les sociétés humaines ont profondément transformé la nature littorale et la tempête affronte le long du trait de côte des remparts qui freinent son efficacité morphogénique. Ce sont des ouvrages de défense divers dont la mise en place a accompagné l'anthropisation du littoral. L'étude des relations entre les tempêtes, les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte s'intègre dans la problématique de notre travail. L'analyse des sources historiques et des archives présentées dans le chapitre 2 a permis de proposer un développement important sur ce sujet encore peu étudié en France.

III) Etude des rapports entre les tempêtes, les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte : apport des archives et application au littoral de Sangatte.

A) Etude de la fréquence des tempêtes sur le littoral de Sangatte depuis la fin du XVI^{ème} siècle.

Les archives du Service Maritime des Ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais nous ont permis dans un premier temps de préciser les étapes de l'anthropisation du littoral de Sangatte depuis la fin du XVI^{ème} siècle au travers de la mise en place des ouvrages de défense du trait de côte. Nous avons aussi établi à partir de ces archives un inventaire exhaustif des tempêtes ayant provoqué des dommages à ces ouvrages ou à la dune bordière de Sangatte pour la période des XVII, XVIII, XIX et XX^{èmes} siècles (figures 90 et 91). La période de temps considérée dans ce travail n'a jamais été envisagée, à notre connaissance, pour l'étude de la fréquence des tempêtes sur un littoral.

Traditionnellement, des références ponctuelles sont faites à d'anciennes tempêtes à partir de la consultation d'archives mais celles-ci sont de caractère anecdotiques et ne sont pas intégrées

dans l'évolution à long terme du trait de côte et ces archives ne constituent pas la source principale d'acquisition des données sur les tempêtes. Les études de géomorphologie sur le rôle des tempêtes dans la morphogénèse et la dynamique du littoral font référence, en général, à des séries climatologiques d'une période normale (1960-1990). Cependant, les données disponibles pour caractériser l'occurrence des tempêtes associées à une action géomorphologique sur le littoral de Sangatte sont de valeur inégale suivant les années : les caractères météoro-océanographiques sont inexistantes avant la seconde moitié du XIX^{ème} siècle (figure 90). Néanmoins, cet inventaire permet d'apprécier la fréquence des tempêtes (figure 92) ayant provoqué un recul du trait de côte, une érosion de la dune bordière et une submersion du village de Sangatte ou de la plaine maritime flamande et des dommages aux ouvrages de défense du trait de côte (digue de Sangatte, épis).

L'observation des figures 90, 91 et 92 montre l'évolution du nombre de jours de tempête depuis 1600 : 5 jours de tempêtes de 1600 à 1700, 21 jours de 1700 à 1800, 11 jours de 1800 à 1900 et 19 jours de 1900 à 1990. Ces observations appellent une remarque : les XVIII^{èmes} et XX^{èmes} siècles sont marqués par une augmentation de la fréquence des tempêtes. La durée des tempêtes est aussi plus importante après 1900 avec quatre années où le nombre de tempête est supérieur ou égal à trois jours : 1921, 1953, 1977 et 1990. Cette analyse de la fréquence des tempêtes sur le littoral de Sangatte depuis 1600 ne présente pas les défauts des études classiques sur la fréquence des tempêtes dans lesquelles les tempêtes retenues sont celles dont la vitesse du vent est supérieure à un seuil de 100 km/h. Néanmoins, la limite de notre étude de la fréquence des tempêtes est marquée par la différence dans la nature des données historiques avant et après 1882.

Costa (1995) a réalisé ce type d'étude à partir du relevé exhaustif quotidien des vents supérieurs ou égaux à 100 km/h de janvier 1962 à décembre 1991 enregistrés par le sémaphore de Boulogne-sur-Mer (figure 93). Cette analyse statistique montre d'après Costa «une légère tendance à l'accentuation du nombre des coups de vent depuis 1974», elle souligne aussi que l'année riche en tempêtes de 1990 influence nettement cette tendance. En conclusion de cette étude statistique sur les tempêtes, il écrit : «Finalement dans l'état actuel de nos connaissances,

de par la faible fiabilité et représentativité spatio-temporelle des données météo-marégraphiques analysées, il apparaît difficile de tirer des conclusions précises et définitives concernant une éventuelle élévation du niveau marin ou une modification climatique». Levoy (1989) a appliqué le même type d'étude, à la côte ouest du Cotentin. Nous rapportons sa conclusion relative à l'étude de la fréquence des tempêtes : «Souvent mentionnées comme une cause naturelle d'accélération de l'érosion des côtes, les variations de la fréquence des tempêtes ont été analysées à partir des données météorologiques locales. La définition empirique de la tempête appliquée à la côte occidentale du département de la Manche est basée sur des seuils minima d'action conjuguée de la marée, de la houle et du vent, qui provoquent un recul du littoral. Dans l'état actuel de nos recherches, à partir de 22 années d'observations marégraphiques et météorologiques réalisées au sémaphore de Granville, il est impossible de conclure à une augmentation de la fréquence des tempêtes» (figure 94).

La méthodologie et les sources que nous avons utilisées pour étudier la fréquence des tempêtes sur le littoral de Sangatte permettent un approfondissement des connaissances actuelles :

- la représentativité spatiale est acquise ; les tempêtes dont il est question dans notre étude répondent à une analyse multicritère et non plus seulement à la vitesse du vent ; elles représentent un événement morphogénique et se réfèrent au milieu littoral.

- la représentativité temporelle est plus importante ; les archives du Service Maritime ont une histoire plus longue que celle des relevés des sémaphores (les vitesses du vent sont relevées au sémaphore de Boulogne-sur-Mer depuis 1957).

Et surtout, la tempête est envisagée dans ses rapports avec les sociétés humaines qui en ont gardé la mémoire quand celle-ci a représenté un risque pour le milieu.

B) Les caractéristiques des tempêtes ayant provoqué des dommages sur le littoral de Sangatte depuis 1882.

D'après notre analyse des archives du Service Maritime, les caractéristiques des tempêtes sont précisées dans les rapports des Ingénieurs à partir de la tempête du 19 février 1882 (figure 90). Pour toutes ces tempêtes, les caractéristiques météo-marégraphiques n'ont pas changé : une conjonction entre des vents forts de secteur NW-WNW déterminant une surcote et un fort coefficient de marée. L'étude de deux tempêtes, celles de 1921 et de 1953, permet de préciser le rôle de ces événements dans la morphogénèse et le contexte météo-océanographique nécessaire à leur efficacité.

1) Les tempêtes de l'hiver 1921.

Dubois (1922) a déjà étudié les caractéristiques des tempêtes de l'hiver 1921 et leurs effets géomorphologiques. Nous présentons ci-après les termes de cette étude qui n'a pas eu, depuis sa parution, d'équivalent sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais. Nous avons complété l'analyse de Dubois par les renseignements fournis par les Ingénieurs du Service Maritime dans les rapports relatifs à ces tempêtes. Les caractéristiques du trait de côte sont rappelées : entre Sangatte et Calais, se succèdent une digue de 905 m de longueur à partir de l'extrémité occidentale du village de Sangatte et une dune bordière dont la largeur ne dépasse pas 20 m, précédant vers Calais des dunes d'accumulation en arrière du cordon dunaire.

Les tempêtes de l'hiver 1921 consistent en la succession de 3 épisodes de tempêtes :

- la tempête du 1^{er} novembre 1921 (vents violents de secteur WNW conjugués à un coefficient de marée de 104). La dune bordière recule de 2 à 12 m sur une longueur du trait de côte de 600 m. C'est la partie de la dune bordière située à l'extrémité orientale de la digue de Sangatte qui enregistre le recul le plus important. Il est aussi constaté un abaissement important du niveau de l'estran par rapport à celui antérieur à la tempête, soit une différence de 1,5 m.

- pendant la seconde quinzaine de novembre 1921, de forts coups de vent de NE engraisent le pied de dune et contribuent à son exhaussement de plus de 1 m.

- la tempête du 17 au 18 décembre 1921 (vents violents de secteur WNW conjugués à un coefficient de marée de 101). Les protections provisoires de la dune, implantées après la tempête du 1^{er} novembre, sont détruites. Un transfert important de sédiments s'effectue au détriment du haut de plage, au droit de la digue de Sangatte et de la partie occidentale de la dune bordière, au profit de la partie orientale.

- la tempête du 31 décembre au 1^{er} janvier 1921 (vents violents de secteur WNW conjugués à un coefficient de marée plus faible que précédemment, 95). Toutes les protections provisoires sont détruites ; la dune bordière recule de 10 m sur une longueur de 500 m, les galets présents sur l'estran sont emportés par la mer et deux brèches importantes sont ouvertes dans la digue de Sangatte.

Fin janvier les conséquences des tempêtes de novembre et décembre 1921 se traduisent par :

- un abaissement considérable du niveau de l'estran au droit de la digue et de la dune bordière de Sangatte.

- un important recul du trait de côte à la jonction entre la digue de Sangatte et la dune bordière.

- la fréquence des brèches découpant l'ensemble de la dune bordière dont la hauteur a considérablement diminué.

2) La tempête de 1953.

L'année 1953 est restée célèbre en Europe du Nord-Ouest dans la mémoire collective pour les conditions spectaculaires et les conséquences catastrophiques de la tempête des 31 janvier, 1^{er} et 2 février 1953. Bien que nous ne considérons que les conséquences de cette tempête sur le littoral de Sangatte, nous devons rappeler que le terrible flot de la Saint-Ignatiau, jamais égalé auparavant, eut sur le littoral de la Zélande (Pays-Bas) des conséquences tragiques : 1772 morts, 70 000 sinistrés et 133 000 ha de terres cultivables submergées par les flots (Trzpit, 1990, 1996). Trzpit (1990) a rappelé la conjonction des facteurs conjoncturels (météo-océanographiques) réalisée pendant cette tempête :

- des vents très violents ; le vent souffla plusieurs heures avec des vitesses de 102 à 133 km/h sur tout le littoral des Pays-Bas.

- un flot de tempête d'une hauteur inégalée, 3,85 m NAP à Hoek von Holland dont la période de retour dépasse 5 siècles.

- l'établissement d'un régime perturbé à composante NW, accompagné d'un gradient de pression de très forte pente barométrique (975 hPa/1030 hPa) pendant 48 heures, détermine des vents violents et un afflux d'eau sur le littoral néerlandais au terme d'un fetch de plus de 1500 km.

A cela s'ajoutent les conditions géographiques propres au littoral des Pays-Bas dont l'altitude est inférieure au niveau des hautes mers de vive-eau.

Comme le littoral néerlandais et l'ensemble du littoral de la plaine maritime de la Mer du Nord, le littoral de Sangatte a subi les effets des tempêtes des 31 janvier, 1^{er} et 2 février 1953. Les conséquences de ces tempêtes n'ont certes pas l'ampleur de celles ayant affecté le littoral des Pays-Bas mais elles sont exceptionnelles pour le littoral de Sangatte. Le régime de tempête a duré pendant trois jours ; des vents violents de secteur NW conjugués à un fort coefficient de marée ont déterminé une surcote de 1,5 m à Calais. Les dommages provoqués par cette tempête ont été importants sur le littoral de la plaine maritime flamande ; sur le littoral de Sangatte, les dégâts suivants ont été observés :

- la digue de Sangatte a été endommagée par l'ouverture de nombreuses brèches et la mise à nu des fondations de la digue, suite à un démaigrissement important de l'estran.

- la dune bordière a été rompue sur une trentaine de mètres, immédiatement à l'est de la digue de Sangatte ; 15 hectares de terres agricoles ont alors été submergés et le pied de la dune bordière a reculé de 5 à 13 m sur toute la longueur de la dune soit 1,6 km (figure 95).

C) Etude de l'évolution des réponses apportées par les sociétés humaines aux dommages causés par les tempêtes sur le littoral.

«Il est facile de constater qu'à Réville la mer gagne sur le terre ; chaque année aux grandes marées du printemps et de l'automne quand le vent souffle avec violence, elle en arrache des lambeaux...D'une extrémité à l'autre, la côte est basse, sans autre défense que les rochers formant les pointes du Houguet, de Fouly. Pour être lente, l'oeuvre de la mer n'en est pas moins terrible...Quand dans les tempêtes de vent d'est, le sable balayé de la grève laisse le fond nu, on aperçoit en face le Houguet, au Homet ou à Sly, des restes de troncs d'arbres, qui ont poussé là jadis dans ce terrain aujourd'hui englouti"» (Bacon, 1895).

Ce texte montre qu'à la fin du XIX^{ème} siècle, sur la côte nord-orientale du Cotentin, les sociétés humaines sont déjà sensibles au rôle des tempêtes dans le recul du trait de côte. Nous avons montré précédemment que les tempêtes représentent pour le milieu littoral des moments de crise morphogénique. L'épisode de tempête terminé, les sociétés humaines ont développé des réactions variées suivant les époques et les lieux. Nous étudions, dans un premier temps, l'évolution des rapports entre les tempêtes et les sociétés humaines sur le littoral de Sangatte. A partir des rapports rédigés par les Ingénieurs du Service Maritime, nous analysons les réactions et les réponses apportées par les services techniques de l'Etat postérieurement aux tempêtes.

1) La tempête du 7 janvier 1905 : une relation entre les Wateringues, l'Association syndicale des digues et dunes du Calais et l'Armée.

L'Ingénieur des Ponts et Chaussées de l'arrondissement maritime de Calais présente, dans un rapport du 14 janvier 1905, les conséquences de la tempête du 7 janvier sur le littoral de Sangatte. L'exposé se concentre sur deux aspects :

- le rappel des responsabilités juridiques des différents acteurs institutionnels concernés par la protection du littoral et la réparation des dommages causés par la tempête. Sur le littoral de Sangatte, deux associations syndicales de défense contre la mer, l'Association syndicale des

digues et dunes du Calais et l'Association syndicale de la Saline Mouron, sont chargées, respectivement, de l'entretien de la digue de Sangatte et de la dune bordière de Sangatte. L'Etat et le département contribuent chacun pour un tiers aux dépenses consécutives aux événements exceptionnels.

- le rappel des dommages causés par la tempête ; «La digue de Sangatte a été entamée en plusieurs endroits (ouverture de brèches) et à l'extrémité est de la digue, la dune a été rongée sur 5 à 6 mètres de profondeur. Sur une grande partie de leur longueur, la dune de Sangatte et les dunes du Fort Lapin (Fort Mahon) ont été tellement entamées qu'elles ne présentent plus en crête, qu'une épaisseur insignifiante, souvent inférieure à un mètre, en tous cas, insuffisante pour résister à l'action de fortes vagues en marée de vive-eau».

La comparaison de ce rapport avec la délibération de la Commission syndicale des digues et dunes du Calais en date du 14 janvier 1905 montre une divergence de réaction vis à vis de la tempête :

- la commission syndicale souhaite la construction d'une digue tout le long du littoral entre Sangatte et Calais, pour protéger efficacement et d'une façon durable le territoire des Wateringues et la modification de la loi de 1807 pour mettre à la charge exclusive de l'Etat l'entretien des ouvrages de défense contre la mer.

- l'Ingénieur des Ponts et Chaussées propose au contraire «pour le moment de prendre des mesures de protection qui ne présentent pas un caractère définitif, mais qui ont l'avantage de pouvoir être réalisées immédiatement». Il ne s'oppose pas au principe du prolongement de la digue de Sangatte vers Calais mais le coût de cette opération (4 à 5 millions de francs) est jugé prohibitif et nécessiterait des travaux trop longs. Les communautés littorales demandent une réponse immédiate aux dommages causés par la tempête. Le rapport montre aussi le désintéret de la commission syndicale pour la dune bordière pour laquelle aucune subvention n'a été demandée.

Deux rapports de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées montrent un autre type de réaction des populations postérieurement à la tempête de janvier : les mesures de prévention contre une future tempête ne consistent pas seulement en la réparation ou la construction de nouveaux ouvrages de défense contre la mer. Des mesures de sécurité sont préconisées et consistent en

une surveillance du littoral de Sangatte par deux agents du Service Maritime «pour provoquer immédiatement l'exécution de toutes les mesures nécessaires à la protection du pays et d'en informer d'urgence l'Ingénieur des faits qui pourraient justifier l'envoi de secours». L'Ingénieur préconise aussi la présence d'un préposé de la Municipalité de Sangatte sur les digues et dunes au moment des fortes marées «pour se rendre compte des dégâts qui peuvent être causés au cordon littoral» (rapport du 16 février 1905). Des mesures «d'extrême urgence» sont aussi envisagées pour organiser les secours dans le cas où une tempête provoquerait une inondation de la commune de Sangatte. Ces mesures consistent en l'intervention des militaires du régiment d'artillerie et d'infanterie de la 1^{ère} Région militaire pour assurer la sécurité des personnes et la lutte contre l'inondation. Le rapport de l'Ingénieur du Service Maritime, en date du 1 mars 1905, concernant ces mesures, est présenté en annexe (n°2). Les réactions des populations, en réponse aux dommages causés par la tempête du 7 janvier 1905, montrent donc la prise de conscience collective du risque climatique. La conception dominante face aux conséquences de la tempête sur le littoral est celle de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis : il est, en fait, moins question du littoral que des cinq premières sections de Wateringues du département du Pas-de-Calais protégées du risque d'inondation par la digue et la dune bordière de Sangatte.

Les rapports des Ingénieurs du Service Maritime ne prennent pas en compte les rapports entre la tempête et la dynamique du littoral : en témoignent les mesures préconisées en mars 1905 (annexe 3) ; celles-ci traduisent une acceptation de l'évolution naturelle du littoral avec laquelle les communautés littorales doivent finalement essayer de composer.

2) Les tempêtes de novembre et décembre 1921 : vers une protection du trait de côte qui prend en compte la mobilité sédimentaire du littoral.

Les tempêtes de l'hiver 1921 diffèrent de la tempête de janvier 1905 par la durée : en 1905 le régime de tempête ne s'est manifesté qu'une seule journée, alors qu'en 1921 trois

tempêtes successives (1 novembre, 17-18 décembre, 31 décembre) affectent le littoral de Sangatte.

La comparaison des réactions respectives de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis et des Ingénieurs du Service Maritime montre des permanences :

- comme en 1905, des travaux de première urgence ont été entrepris pour réparer les dommages causés par la tempête du 1^{er} novembre. Mais ceux-ci ont été détruits par les deux tempêtes postérieures.

- la réaction de l'Ingénieur est la même qu'en 1905 ; en réponse aux dommages causés par les trois tempêtes, des travaux provisoires et immédiats sont préconisés et le recours à l'Armée est demandé pour la réalisation des travaux.

Néanmoins, nous observons des évolutions importantes dans la perception des conséquences de la tempête par les sociétés humaines :

- en premier lieu, une attitude nouvelle du Service Maritime mise en exergue par le rapport de l'Ingénieur en Chef en date du 7 janvier 1922, dont nous présentons un extrait sur la figure . Ce texte révèle une prise de conscience des modalités de la dynamique du littoral et des moyens techniques nécessaires à mettre en oeuvre pour tenter de la contrôler : l'association entre une défense longitudinale du trait de côte (prolongement de la digue de Sangatte) et une défense transversale sous la forme d'épis, dans le but de favoriser une accrétion de l'estran. Des épis avaient déjà été implantés au XVI^{ème} siècle sous la domination anglaise ; les méthodes préconisées par les ingénieurs du Service Maritime reposent sur l'expérimentation.

- en second lieu, une évolution à la fois du Service Maritime et de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis concernant l'espace géographique mis en relation avec la tempête : il n'est plus question des Wateringues mais du littoral et particulièrement de la dune bordière de Sangatte.

La tempête a provoqué des dommages importants sur le cordon dunaire de Sangatte : recul de la dune de 8 à 12 m, diminution de la hauteur du cordon dunaire, ouverture de brèches mettant en communication la plage avec la plaine maritime et démaigrissement de la plage. L'Ingénieur du Service Maritime et la commission syndicale préconisent donc le prolongement de la digue de Sangatte tout le long de la dune bordière. En raison du coût important des

travaux, il est aussi demandé un changement dans la répartition habituelle des dépenses pour la réalisation de travaux exceptionnels de défense contre la mer. Suite à la décision du Ministre des Travaux Publics (janvier 1922) de ne pas accorder la subvention demandée par l'Association syndicale des digues et dunes, celle-ci n'est pas en mesure d'entreprendre la construction de la digue longitudinale : le Conseil d'administration de l'association syndicale démissionne.

La disparition de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis entre janvier et décembre 1922 permet au Service Maritime de développer leur projet de construction d'épis sur le littoral de Sangatte. En avril 1922, un épi est construit sur le littoral de Sangatte ; dans le même temps, le Ministère des Travaux Publics diffère le financement de la digue longitudinale en raison de la construction des épis dont le coût est moindre.

Les effets des tempêtes de l'hiver 1921 ont donc entraîné une évolution des rapports entre les acteurs de la défense du trait de côte et son évolution dans le sens d'une prise de conscience des modalités de cette dernière et des rapports entre l'évolution de la dune et de l'estran. La construction d'épis sur l'estran de Sangatte, à partir de 1922, est le point de départ de la recherche d'une maîtrise de l'évolution du trait de côte et d'une lutte contre les tempêtes qui prenne en compte la mobilité sédimentaire du littoral.

3) La tempête de décembre 1925.

Un rapport de l'Ingénieur en chef du Service Maritime en date du 4 décembre 1925 souligne l'efficacité des quatre épis construits depuis 1922 au droit de la digue de Sangatte et l'état alarmant du haut de plage sur les parties de la digue non précédées d'épis ; il préconise l'extension de ce type de protection transversale tout le long de la digue de Sangatte mais rappelle l'opinion de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis, dont la préférence est à la prolongation de la digue.

Les tempêtes de décembre 1925 ont provoqué les mêmes effets que les tempêtes précédentes :

- ouverture de brèches dans la digue, démaigrissement de l'estran.
- des éboulements importants du versant littoral du cordon dunaire de Sangatte.

Les mêmes réponses ont été apportées : appel à l'Armée pour réaliser des travaux de réparation provisoires dans l'urgence. Ces tempêtes ont conduit le Service Maritime à prolonger le système des épis (2 épis en 1926 au droit de la digue, 2 épis en 1927 au droit de la dune bordière).

4) La tempête des 31 janvier, 1^{er} et 2 février 1953 : les conséquences de l'intervention des sociétés humaines dans l'impact des tempêtes sur le littoral.

Les tempêtes de 1953 présentent une certaine singularité dans la succession des tempêtes qui, depuis le début du XX^{ème} siècle, ont provoqué des dommages sur le littoral de Sangatte. En premier lieu, les manifestations morphogéniques (recul du trait de côte, submersion de la dune bordière) et les dommages aux ouvrages de défense du trait de côte n'ont jamais été aussi importants (figure 96). En second lieu, les réactions des sociétés humaines, suite aux conséquences des tempêtes, diffèrent de toutes celles développées précédemment.

En effet, la tempête n'est plus considérée comme le seul processus responsable de cette évolution rapide du trait de côte et des dommages causés : le rôle des sociétés humaines est désormais pris en compte et associé au régime de tempête pour rendre compte des conséquences de ces événements sur le littoral et son évolution (figure 96). Le dépouillement des archives du Service Maritime, pour la période antérieure à l'année 1953, fait apparaître les conséquences importantes de la période 1939-1945 sur l'évolution du littoral de Sangatte. L'occupation de la zone littorale par l'Armée allemande pendant la Seconde Guerre Mondiale a profondément transformé les caractères des milieux dunaires littoraux. L'Ingénieur du Service Maritime de Calais rappelle, dans un rapport daté du 6 février 1952, les dommages causés par l'Armée d'Occupation sur le littoral de Sangatte :

-sur la portion du trait de côte dont la gestion est confiée à l'Association syndicale des digues et dune du Calaisis, ils ont fragilisé la digue de Sangatte et ont consisté en :

* l'enlèvement des pieux constituant les épis au droit de la digue de Sangatte ; les épis ont alors perdu leur efficacité quant à l'engraissement de l'estran.

* la destruction totale des épis à l'extrémité est de la digue.

- sur la portion du trait de côte dont la gestion est confiée à l'Association syndicale de la Saline Mouron, les dommages causés ont fragilisé la dune bordière et consistaient en :

- * des extractions de sable à l'intérieur du cordon dunaire pour la construction d'ouvrages fortifiés.

- * l'ouverture de brèches au travers du cordon dunaire pour permettre aux véhicules militaires d'accéder à l'estran,

- * la destruction des fascines de protection installés sur le versant maritime de la dune bordière (particulièrement à l'extrémité est de la digue de Sangatte).

- * la destruction des plantations d'oyats réalisées avant la guerre et de la végétation en place.

Par ailleurs, il est constaté par comparaison de la dune bordière entre 1939 et 1950 :

- que sur une longueur de 350 m immédiatement à l'est de la digue de Sangatte, la dune a reculé de 20 m en moyenne depuis 1939,

- que la dune bordière présente une hauteur et une largeur insuffisante sur une longueur de 1800 m à partir de l'extrémité est de la digue de Sangatte.

Pour rétablir une situation équivalente à celle de 1939, avec une dune bordière protégeant efficacement la plaine maritime des submersions de tempêtes, l'Ingénieur du Service Maritime s'inspire de l'expérience acquise les années précédentes pour protéger le littoral de Sangatte et préconise la construction de 11 épis sur l'estran précédant la dune bordière. Néanmoins, ces travaux de protection du trait de côte, destinés à diminuer les conséquences des dommages causés par l'Occupation de guerre sur le littoral de Sangatte, n'ont pu être commencés faute de moyens financiers. Le rôle de la tempête de 1953 dans l'ampleur des dommages provoqués sur le littoral de Sangatte doit alors être réévalué en tenant compte des conséquences de l'Occupation de guerre et de la non-restauration de la dune bordière après la guerre (figure 96). L'Ingénieur du Service Maritime souligne cet état de fait dans un rapport en date du 18 juin 1953 : «La tempête des 31 janvier, 1^{er} et 2 février 1953 a battu des ouvrages extrêmement vulnérables, par suite de l'impossibilité financière dans laquelle les associations syndicales de défense contre la mer se sont trouvées de pouvoir faire procéder à la réparation

des dommages causés par les faits de guerre. De nombreuses brèches ont été creusées par la mer qui a inondé les terres agricoles en plusieurs endroits. Il est indiscutable que, malgré la violence des éléments atmosphériques, de tels faits ne se seraient pas produits si les ouvrages de défense avaient été reconstitués normalement. Il convient en effet d'observer que les brèches ont toutes été creusées aux points les plus affaiblis par les événements de la guerre».

Comme toutes les tempêtes qui ont affecté le littoral de Sangatte dans la première moitié du XX^{ème} siècle, celle de 1953 est l'événement morphogénique qui a entraîné une réponse des sociétés humaines en terme de protection du trait de côte : les ouvrages de défense de la dune bordière de Fort Mahon, préconisés en 1952, sont construits en 1954.

D) Conclusion partielle : les trois cadres de l'intégration de la tempête dans l'espace et le milieu littoral (figure 97).

Dans l'analyse précédente des relations entre la tempête, les sociétés humaines et la dynamique du littoral, nous avons privilégié un milieu géographique, le littoral de Sangatte, et un cadre temporel, le première moitié du XX^{ème} siècle.

En conclusion de cette étude, plusieurs remarques peuvent être apportées :

- la tempête est un processus déterminant de l'évolution du littoral de nature et du littoral d'oekoumène, selon la terminologie de Bousquet (1990b). La tempête représente un moment de morphogénèse rapide sur le littoral ; les héritages morphologiques de la tempête sont importants pour les milieux dunaires.

- la tempête représente aussi un moment décisif de l'histoire de l'anthropisation du littoral dont la mise en place des ouvrages de défense du trait de côte est l'élément principal.

Pour le littoral de Sangatte, les figures 97 et 98 présentent les rapports entre la fréquence des tempêtes depuis 1598 et, respectivement, l'évolution de la construction des ouvrages longitudinaux (figure 98) et l'évolution du nombre d'épis construits (figure 99).

Trois périodes peuvent être distinguées :

- de 1598 à 1863, la fréquence des tempêtes n'a aucune incidence sur l'anthropisation du littoral et aucune tentative n'est entreprise pour tenter de s'opposer à ce processus.

- à partir de 1863, les tempêtes sont corrélées avec la construction d'ouvrages de défense du trait de côte ; la tempête de 1921 marque le point de départ de la construction d'épis dont la multiplication est étroitement liée à l'occurrence des tempêtes.

Dans la majeure partie des ouvrages consacrés au littoral et publiés entre 1850 et les années 1930 (Bortier, 1876 ; Rutot, 1897 ; Blanchard, 1905, 1906 ; Briquet, 1930), le rôle des tempêtes dans la dynamique littorale est mis en exergue : les conséquences des tempêtes sont, en effet, dramatiques sur un littoral humanisé où des conquêtes sur la mer ont été réalisées depuis le Moyen Age (Deuxième partie). Dès 1876, Bortier souligne le rôle des tempêtes dans l'évolution du littoral de la Flandre entre le IX^{ème} et le XIX^{ème} siècle. Cet auteur répertorie toutes les tempêtes ayant provoqué une submersion du cordon dunaire qui se développe de La Panne à Knocke. Il conclut cet inventaire par ce texte :

«Si nous voulons lutter avec succès contre les violentes tempêtes qui se déchaînent sur nos côtes et empêcher les flots impétueux de s'étendre jusqu'aux portes de Bruges ! Si nous voulons que les villes d'Ostende, Blankenberghe, Nieuport, Dixmude, Furnes et toute la vallée du Furnes-Ambacht ne disparaissent pas un jour ! Consolidons nos côtes en établissant de nombreux brise-lames ; facilitons sur la plage la formation d'un plan incliné où vienne s'amortir la vague envahissante ; comblons les échancrures des dunes que la mer creuse et ronge sans relâche ; fixons les dunes par d'épaisses plantations de joncs maritimes et de bois de tremble ; organisons un service régulier et permanent de garde-côtes ; détruisons les garennes dans les dunes ; reconstituons et renforçons les digues établies en contrebas des dunes, digues construites par des mains et que l'on a livrées aux mains d'impitoyables niveleurs, alors que les dangers de submersion sont plus imminents que jamais, alors qu'il s'agit de prévenir une catastrophe peut-être prochaine"» (Bortier, 1876, p.15).

La conclusion de cet auteur résume le principe de la conception des sociétés humaines sur leur rapport avec les tempêtes et la dynamique du littoral dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle : c'est le début d'une volonté de contrôler, par des moyens techniques variés, l'évolution du trait

de côte pour protéger un littoral humanisé des dommages provoqués par les tempêtes : «La destinée du rivage est entre les mains de ses habitants» (Blanchard, 1906).

Bousquet et Miossec (1991) ont analysé les archives se rapportant à la dune de la Garenne (Saint-Gilles, Vendée) et au cordon sableux de Brétignolles (La Parée, Vendée). Ils ont montré l'évolution dans l'attitude des riverains face aux effets des tempêtes sur ces deux secteurs littoraux entre 1897 et 1930. La sociétisation du phénomène météorologique, provoquée par la volonté de s'en défendre, a pour conséquence l'institutionnalisation de la tempête dans le cadre des interventions des services techniques de l'Etat (Service Maritime). Des travaux sont réalisés sur le court terme et des projets de travaux plus importants sont envisagés en fonction des financements disponibles.

Les conséquences de ces rapports constitués entre la tempête et les sociétés humaines sont présentées par Bousquet et Miossec (1991) :

- le trait de côte est fixé par la construction d'ouvrages de défense du trait de côte ; les sociétés humaines l'assimilent à une limite de propriété.

- le trait de côte est fixé dans l'espace en fonction de l'héritage morphologique de la tempête ; «on pérennise un état de crise dans le site» (Bousquet et Miossec, 1991).

- les conséquences de l'intervention ne sont pas envisagées sur l'évolution du littoral protégé et sur les secteurs adjacents.

La conclusion de Bousquet et Miossec est fondamentale : «les pratiques ainsi définies montrent que l'appréciation de l'évolution après une tempête se fait dans le cadre de l'oekoumène et de son histoire et jamais dans celui de la nature et de sa durée». L'étude des relations entre les tempêtes, les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte sur le littoral de Sangatte, de 1863 aux années 1950, présentée précédemment et réalisée à partir du dépouillement des archives conduit aux mêmes conclusions avec cependant des nuances, s'agissant de la prise de conscience et de la prise en compte de l'évolution naturelle du littoral. A partir des années 1920, les Ingénieurs du Service Maritime prennent en compte les relations entre les modalités d'intervention des facteurs hydrodynamiques et les variations dans le profil sédimentaire de la plage et de l'estran : c'est le début de l'expérimentation des épis.

Néanmoins, jusqu'à la fin des années 1950, l'analyse des archives concernant le littoral de Sangatte met en exergue deux tendances qui sont déjà signalées par Bousquet et Miossec (1991) :

- la comparaison entre la fréquence des tempêtes et l'extension de l'artificialisation de la ligne de rivage montre une corrélation des deux phénomènes.

- les considérations relatives au coût des dommages causés et à la détermination du partage des dépenses entre les différents acteurs concernés par la construction des ouvrages de défense du trait de côte occupent la place principale dans les préoccupations des sociétés humaines après un épisode de tempête.

A partir du début des années 1970, les tempêtes n'ont plus, sur le littoral de Sangatte, de conséquences sur l'artificialisation de la ligne de rivage : les rapports entre les tempêtes et les sociétés humaines ont changé depuis la création, en 1975, du Conservatoire du Littoral et l'acquisition d'une partie de la dune bordière en 1979 par cet Etablissement Public. Le milieu des années 1970 représente une coupure fondamentale dans les rapports entretenus entre les tempêtes, les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte.

L'analyse des archives a orienté notre étude des relations entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte.

Nous proposons d'étudier cette évolution des conceptions des sociétés humaines en relation avec les formes de l'artificialisation de la ligne de rivage à Sangatte et sur l'ensemble des terrains de notre travail. Nous avons montré, précédemment, le rôle des tempêtes dans cette évolution à partir de l'exemple de Sangatte ; ce rôle est récurrent dans le temps et dans l'espace des littoraux de la Mer du Nord et de la Manche orientale.

Conclusion du chapitre 6 : Sur les rapports entre les tempêtes, les sociétés humaines et la dynamique du littoral : orientation des recherches actuelles et nouvelles perspectives.

La place des tempêtes dans la dynamique des littoraux dunaires : un emboîtement d'échelles spatio-temporelles.

Nous avons fait dans ce travail sur les tempêtes le choix délibéré d'une source de recherches occupant traditionnellement une place marginale dans les études de géomorphologie littorale consacrées à la place des tempêtes dans la dynamique du littoral : les archives. Par ce choix, nous plaçons le phénomène météorologique à l'interface entre le milieu littoral et les sociétés humaines. Les archives se rapportent à un espace littoral limité spatialement : les observations se rapportant à la commune de Sangatte ne peuvent être généralisées à d'autres littoraux. C'est relativement à une grande échelle spatiale, sur des portions limitées du littoral, que doit être apprécié le rôle des tempêtes dans la dynamique littorale.

Les tempêtes se rapportent au court terme météorologique et représentent des moments de crise dans l'évolution du littoral sur le long terme (pluri-séculaire) : une crise morphogénique responsable de changements rapides dans la morphologie et les transferts sédimentaires, une crise dans les relations entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte correspondant à une intensification des interventions humaines dans la dynamique du littoral. Cette notion de crise, provoquant des changements rapides et importants à l'intérieur du milieu naturel, a déjà été définie par Dubois (1989) à propos des forêts du Nord de la France («crise forestière provoquant un changement de sylvosystème anthropique»).

Dans notre travail, l'échelle spatiale de référence ne change pas : nous étudions les milieux dunaires à grande échelle, sur le terrain, pour rendre compte de la morphologie et de la phytogéographie (chapitre 3). Relativement à cette échelle géographique et partant des paysages dunaires anthropisés actuels, nous réalisons une analyse régressive en distinguant le poids des crises, telles les épisodes de tempêtes (Chapitre 6), des tendances sur le long terme et des permanences dans les rapports entre les sociétés humaines et la dynamique du littoral (Chapitres 7 et 8).

L'étude des tempêtes, basée sur l'analyse de fonds d'archives, se réfère donc à une échelle spatio-temporelle bien déterminée. Les recherches antérieures concernant la place des tempêtes dans la dynamique du littoral se différencient par les sources et donc par l'échelle spatio-temporelle de référence. Les principaux travaux concernant les tempêtes dans le champ disciplinaire de la géomorphologie littorale utilisent comme source d'investigation les séries climatologiques : les tempêtes météorologiques sont inventoriées à partir des relevés de vent effectués par les sémaphores. Les enregistrements de la vitesse du vent de la Météorologie Nationale sont relativement récents (à partir des années 1950). Les tempêtes se rapportent toujours au court terme météorologique mais sont considérées par rapport à une évolution du littoral à moyen terme (pluri-annuelle).

Enfin, les tempêtes se rapportent à l'espace littoral concerné par l'implantation du sémaphore et, en définitive, la représentativité spatio-temporelle des événements météorologiques répertoriés à partir de ces sources est relativement faible. Nous avons cité précédemment les travaux de Levoy (1989) et de Costa (1995) utilisant des sources climatologiques. Les limites imposées par la nature des sources ne permettent pas de répondre d'une manière satisfaisante à la question maintes fois posée par les géomorphologues Miossec (1994a) et Paskoff (1994a, b) : peut-on observer une recrudescence actuelle de la fréquence des tempêtes sur le littoral ?

Néanmoins, les travaux sur les tempêtes réalisés dans le cadre d'étude sur l'évolution et le fonctionnement hydrosédimentaire du littoral soulignent le rôle essentiel de ces événements :

- Corbau (1995) a étudié l'évolution morphologique du littoral de Malo-les-Bains de 1884 à 1993 à partir de six profils topographiques. L'intervalle de temps entre les profils est irrégulier : 1884, 1953, 1964, puis un à plusieurs profils par an jusque 1993. Corbau a montré à partir de l'analyse des profils topographiques que l'érosion de l'estran observée pendant les périodes de tempête (celles de l'hiver 1963-1964, de l'hiver 1972, de février 1974, de février 1977 et de février 1993) est généralement suivie et compensée par un engraissement. Les modifications provoquées par la tempête sur le profil sédimentaire des plages sont généralement compensées après une période variable dominée par des conditions météo-marégraphiques

moyennes. Sur le rôle des tempêtes dans la dynamique du littoral, Corbau conclut à la réversibilité des conséquences morphogéniques de ces événements.

- les études de Elhers et Kunz (1993) confirment cette différence entre les conséquences importantes des tempêtes sur l'évolution à court terme du littoral et l'évolution sur le long terme et une restauration du profil de la plage après un démaigrissement consécutif à une tempête.

- les travaux de Levoy (1994) analysent plus en détail le rôle des tempêtes dans les variations du profil des plages et de l'estran : «le rôle des tempêtes apparaît important pour expliquer une circulation «cross-shore» des sédiments». Levoy a analysé, à partir d'une modélisation, sur la côte ouest du Cotentin, la circulation sédimentaire sur l'avant-côte et les estrans sous l'interaction houle-courant de marée au cours d'un cycle hydrodynamique de tempête. Au cours d'un cycle de tempête, les transports sédimentaires sont plus intenses. Plusieurs conditions hydrodynamiques ont été considérées :

- pour des houles de faible amplitude et de longue période, le transport tidal est dominant dans la zone côtière. Sur les plages, les transports sédimentaires sont très faibles.

- pour des houles courtes (période de 5 s) et de forte amplitude, les transports sédimentaires sont orientés nettement vers le large. L'action des courants de marée est effacée dans la zone intertidale. Au large, l'action des courants de marée s'associe à celle des houles pour engendrer d'importants transports sédimentaires.

Sur la totalité d'un cycle de tempêtes, les courants de marée considérés (coefficient de 80) influencent peu les échanges sédimentaires côtiers. Le rôle des houles est donc déterminant, provoquant des transports intenses pour des agitations de courte période. L'évolution transversale d'une plage peut donc être très importante au cours d'une tempête mais, d'après Levoy (1994), les mouvements sédimentaires apparaissent très locaux. Ces déplacements de sédiments consécutifs aux tempêtes s'opposent au transit latéral, à plus long terme, induisant des secteurs de côtes en accrétion au détriment d'autres zones à l'amont-dérive, en érosion (Deuxième partie).

C'est donc relativement à une grande échelle spatiale et sur le court terme météorologique que doivent s'apprécier les effets des tempêtes sur les transferts de sédiments.

Ces observations sur les relations entre les tempêtes et la dynamique sédimentaire sont essentielles pour comprendre les conséquences des interventions humaines dans le cadre du contrôle de l'évolution du trait de côte au moyen d'ouvrages de défense. Si les effets des tempêtes sur la dynamique littorale ne sont pas irréversibles, l'étude précédente sur les relations entre les tempêtes, les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte à Sangatte montre cependant que les changements introduits par les communautés littorales dans la dynamique sont, sur le long terme, irréversibles.

Sur les littoraux dunaires anthropisés, l'impact des tempêtes est toujours considéré par les sociétés humaines sur le court terme et, les réponses apportées par celles-ci postérieurement aux manifestations morphogéniques des tempêtes ne prennent pas en compte cette évolution naturelle du littoral qui doit être considérée relativement à plusieurs échelles spatio-temporelles. Il est donc nécessaire de développer la connaissance des changements provoqués par les sociétés humaines après les épisodes de tempêtes, comme sur le littoral de Sangatte. En effet, De Wolf *et al.* (1993) ont étudié l'évolution morphologique du littoral belge entre 1983 et 1992 et d'après leur étude, l'évolution morphologique du littoral belge doit être appréhendée à partir des interférences entre l'évolution naturelle et les interventions humaines. Les interventions humaines sur le trait de côte ne permettent pas d'apprécier isolément la part de l'évolution naturelle. C'est une limite importante aux études ne considérant pas l'influence des interventions humaines dans la dynamique littorale.

Par ailleurs, sur le littoral des Pays-Bas, l'observation de la cinématique du trait de côte sur plus d'un siècle a montré que les successions de plage en accrétion et en érosion se propageaient, comme une vague, le long du littoral (Verhagen, 1989). Concernant respectivement l'évolution du littoral belge et de l'ouest du Cotentin, De Moor (1988) et Levoy (1994) confirment cette tendance. Ce type d'évolution naturelle des littoraux dunaires est une limite importante aux tentatives de contrôle de la dynamique du littoral par les sociétés humaines, fixant artificiellement l'héritage morphologique des tempêtes dont on sait qu'il ne représente pas une tendance de l'évolution du littoral à long terme. Nordstrom (1994) et Nordstrom et Jackson (1995) ont, par leurs récents travaux, renouvelé la problématique de

l'étude des relations entre les tempêtes, les sociétés humaines et la géomorphologie du littoral. Ces auteurs ont proposé l'étude comparée de plusieurs tempêtes pour montrer les rôles respectifs des processus naturels et anthropiques dans la dynamique du littoral. Sur le littoral très urbanisé du New-Jersey (côte orientale des Etats-Unis), le rôle des sociétés humaines est considéré comme prépondérant, dans la mesure de leur aptitude à transformer plus rapidement que les processus naturels les caractères morphologiques et phytogéographiques du littoral.

Sur le littoral français, trois études récentes (Bodéré *et al.*, 1994 ; Costa, 1995 ; Morel, 1995) ont analysé le rôle des actions anthropiques dans la plus grande fréquence des tempêtes (souvent évoquée par les géomorphologues) et l'importance grandissante des dommages causés. Bodéré *et al.* (1994) ont étudié les effets de la tempête des 16 et 17 décembre 1989 sur le littoral sud du Pays Bigouden (Bretagne). Ce littoral est une côte basse à anses importantes au fond desquelles se développent des cordons dunaires étroits ; des carrières ont été ouvertes sur le revers de certains cordons et une début d'urbanisation a été constaté. Pendant la tempête de décembre 1989, plusieurs brèches ont été ouvertes dans les cordons permettant une submersion des terres : «tout à fait normalement, c'est le secteur côtier le plus affecté par l'ouverture de carrière qui a cédé le plus nettement. De façon manifeste, les principaux problèmes surgissent là où il y a eu fragilisation préalable des cordons littoraux. Une certaine permanence dans la localisation des principales brèches en est la conséquence directe».

Costa (1995) rappelle les éléments de l'anthropisation du littoral de la Haute-Normandie depuis le milieu du XIX^{ème} siècle :

- l'urbanisation du littoral et le changement de la vocation économique des terrains, en relation avec le développement du tourisme, ont accru la valeur des biens potentiellement menacés de submersion.

- la perturbation du budget sédimentaire sur le littoral provoquée par les extractions de galets et la construction d'ouvrages de défense du trait de côte : «Finalement, l'homme a modifié la répartition, le volume et la dynamique des cordons de galets protecteurs. Cette perturbation anthropique du budget sédimentaire des plages normano-picardes semble être l'élément explicatif majeur de l'augmentation depuis 25 ans, de la fréquence des submersions de tempêtes.

Morel (1995) a étudié l'impact des actions anthropiques sur les cordons de galets : «les actions menées sur ces milieux ont eu des impacts susceptibles de provoquer, ou tout au moins d'accélérer des phénomènes d'érosion. Les tempêtes, les marées de vive-eau ne font que révéler des dysfonctionnements hérités des pressions anthropiques». Cet auteur aboutit aux mêmes conclusions que Costa (1995) : les prélèvements de matériaux sur les cordons de galets et la perturbation corrélative du budget sédimentaire de la plage renforcent l'action morphogénique des tempêtes qui profitent alors des points de faiblesse le long du trait de côte.

Ces trois études montrent le rôle crucial des sociétés humaines dans la localisation des manifestations morphogéniques des tempêtes sur le littoral. Nous avons montré le même phénomène pour la tempête de 1953 sur le littoral de Sangatte. Les solutions envisagées pour protéger le littoral contre les submersions de tempêtes doivent tenir compte de cette double contrainte spatio-temporelle :

- prendre en compte les dégradations du milieu littoral provoquées par son humanisation sur le long terme ; les méthodes de protection mises en oeuvre après une tempête doivent se concentrer sur les principaux points de faiblesse du littoral.

- prendre en compte l'interférence entre l'évolution du trait de côte après une tempête et celle sur le long terme.

L'héritage morphologique de la tempête n'est pas inclus *a priori* dans la tendance de l'évolution à long terme du littoral mais il peut néanmoins l'affecter, et ce d'une manière irréversible, par le biais des formes et de l'intensité des actions anthropiques consécutives à la tempête.

CHAPITRE 7 : LES ETAPES DE LA MISE EN PLACE DES OUVRAGES DE DEFENSE DU TRAIT DE COTE ET L'EVOLUTION DES CONCEPTIONS DES SOCIETES HUMAINES PAR RAPPORT A LA GESTION DU LITTORAL DE LA SECONDE MOITIE DU XVII^{EME} SIECLE AUX ANNEES 1980.

Dans une perspective historique, le service des «Pons et Chaussées maritimes» ou Service Maritime occupe une place fondamentale dans l'ensemble des acteurs institutionnels concernés par l'évolution du trait de côte. Le choix de cette administration permet l'étude des relations élaborées avec la nature littorale, sur un temps relativement long, depuis la fin du XVI^{ème} siècle : c'est à partir du dépouillement exhaustif des archives de cette administration, représentée sur le littoral du Pas-de-Calais par le Service Maritime des ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais, que nous avons élaboré cette étude.

Le dépouillement des archives permet de développer deux types de sujets concernant les rapports entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte :

- en premier lieu, la construction des ouvrages de défense du trait de côte est la manifestation géographique de l'intervention des sociétés humaines dans son évolution ; c'est l'aspect visible dans le paysage littoral de l'intervention des sociétés humaines sur la nature littorale. Nous avons précisé les étapes de leur mise en place, les objectifs attendus de leur implantation et les conséquences de ces ouvrages sur l'évolution du trait de côte.

- en second lieu, les ouvrages de défense du trait de côte sont le produit de conceptions techniques ou politiques qui se sont succédé depuis la fin du XVI^{ème} siècle. Celles-ci relèvent de l'humanisation de la nature littorale et se rapportent à l'espace.

La construction des ouvrages de défense le long du trait de côte répond aux manifestations de la morphogénèse menaçant les implantations humaines : l'espace littoral est alors considéré comme un oekoumène. L'histoire de la digue de Sangatte, relatée dans les archives du Service Maritime ou d'après les sources historiques consultées à la bibliothèque municipale de Calais ou aux Archives Départementales du Pas-de-Calais, est étroitement liée à celle des événements météorologiques exceptionnels, les tempêtes, qui l'ont endommagé, à

plusieurs reprises depuis sa construction en 1598 (Chapitre 6). Notre étude historique présente alors un double intérêt :

- déterminer le rôle des sociétés humaines dans l'évolution du trait de côte.
- préciser les rythmes de l'évolution du trait de côte à travers les manifestations des tempêtes (facteur prépondérant de la morphogénèse sur le littoral) pour lesquelles les ouvrages implantés le long du trait de côte (dont la digue de Sangatte) sont un moyen de défense.

Pour la clarté de l'exposé, nous avons dissocié ces deux aspects des archives relatifs à la connaissance des rapports entre les organisations humaines et l'évolution du trait de côte. Le rôle des tempêtes est présenté dans le chapitre précédent (Chapitre 6) ; les tempêtes sont l'exemple d'une interaction constante dans l'histoire entre les manifestations de la morphogénèse sur le littoral et les réponses apportées par les sociétés humaines pour tenter de s'en protéger.

Le paysage de la défense côtière est le résultat de la succession des conceptions des sociétés humaines sur l'évolution du trait de côte. Le point de départ de cette étude reste néanmoins le milieu littoral tel que nous l'avons analysé dans les chapitres précédents. Notre perspective a pour référence le temps, mais aussi l'espace littoral, dont la diversité de paysages et d'évolutions se traduit par des relations de nature et de rythmes différents suivant les secteurs considérés.

I) La plus longue histoire de défense du trait de côte dans le Pas-de-Calais : le littoral de Sangatte.

Notre étude des transformations du littoral de Sangatte par les sociétés humaines depuis la fin du XVI^{ème} siècle est présentée de façon synoptique sur la figure 100.

A) La digue de Sangatte ou la digue de Pénélope : un rôle déterminant pour la défense des Wateringues de 1598 à 1921.

1) La protection du littoral : un enjeu pour la défense des Wateringues du Pas-de-Calais.

La localisation du littoral de Sangatte à l'extrémité occidentale du littoral de la plaine maritime flamande explique, en partie, la longue histoire de tentatives, toujours répétées par les communautés littorales, pour lutter contre le recul du trait de côte et les submersions depuis la fin du XVI^{ème} siècle (Deuxième partie). La digue de Sangatte est le premier exemple, sur le littoral du Pas-de-Calais, d'une intervention humaine sur le trait de côte dont l'objectif est de contrôler artificiellement son évolution naturelle.

L'existence de la digue de Sangatte est mentionnée par Blanchard (1906) et Briquet (1930) : construite en 1598 au droit du village de Sangatte sur un linéaire de 430 m, la digue de Sangatte est un ouvrage de type longitudinal. Le recul important de la côte sur cette partie du littoral de la plaine maritime flamande et le risque potentiel de submersion expliquent son implantation précoce (Deuxième partie). D'après Blanchard (1906), «les progrès de la mer étaient dangereux, car Sangatte commandait l'entrée du bas pays d'Ardres et de Guînes, cinq lieues de terres marécageuses au pied de l'Artois, à peine situées au niveau moyen de la mer. Il fallait que la côte fut fixée à cet endroit : la fameuse digue de Sangatte, qui apparaît à la fin du XVI^{ème} siècle, et dont l'entretien dispendieux rappelle celui de la grande digue de Westkapelle, en Walcheren». Ce texte de Blanchard met l'accent sur un fait essentiel concernant le littoral de Sangatte : les cordons dunaires ou les ouvrages de défense implantés le long du trait de côte ont un rôle de digue naturelle pour protéger la plaine maritime flamande contre le risque potentiel de submersion. Sur le littoral de Sangatte, comme sur tout le littoral de la plaine maritime flamande, la lutte contre la mer est aussi une lutte contre les eaux continentales :

«Entre l'extrémité des falaises du Blanc-Nez et Calais, se trouve donc la partie du littoral de la plaine maritime flamande la plus menacée et c'est précisément en arrière de cette partie de la côte que se trouvent les terres les plus basses» (Blanchard, 1906).

A l'ouest de Calais, la plaine maritime flamande est protégée du risque de submersion par les polders de Sangatte et de Nieulay, territoires conquis sur la mer depuis la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle (Deuxième partie). Trois lignes de défense protègent les terres potentiellement submersibles de la plaine maritime flamande :

- la digue de Sangatte, d'une longueur totale de 2350 m et la dune bordière de Sangatte constituent la première ligne de défense.

- la digue Camyn qui s'enracine au pied des hauteurs des Noires-Mottes et rejoint la dune bordière à l'extrémité orientale de la digue de Sangatte ; la digue Royale qui s'allonge de la digue Camyn au Fort Nieulay et la digue Mouron , constituent la seconde ligne de défense.

- la route nationale 1 constitue la troisième ligne de défense.

Parmi tous ces obstacles, naturels ou anthropiques, à la submersion par les eaux marines, la digue de Sangatte est le principal élément du dispositif de défense du territoire des Wateringues contre une submersion potentielle. Dans ce contexte, la protection du littoral assure, en fait, celle du territoire des cinq premières sections des Wateringues du Pas-de-Calais.

En arrière de ces polders se situe le territoire des Wateringues pour lequel ces lignes de défense en position littorale assurent une protection contre le risque de submersion. D'après Devot (1851), les Wateringues ont d'abord désigné l'ensemble des travaux destinés à soutenir l'assèchement des terres situées au-dessous des niveaux de marées hautes de vive-eau et à maintenir les propriétés rurales dans leur état de culture et de production ; cette dénomination a été ensuite appliquée aux administrations chargées de les diriger et aux arrondissements territoriaux de ces travaux. Jusqu'en 1789, le Pouvoir Royal s'était réservé l'initiative et la direction des travaux de dessèchement par l'intermédiaire de ses agents, l'Intendant de Picardie, le Directeur des Ouvrages de la Marine et les Ingénieurs Militaires, et au moyen d'impôts. Le décret du 28 mai 1809 organise l'administration des Wateringues dans le Pas-de-Calais : les propriétaires fonciers prennent part à la direction, à l'exécution et au financement des travaux.

De la fin du XVI^{ème} siècle au début du XIX^{ème} siècle, la protection du trait de côte dont la manifestation géographique est représentée par la digue de Sangatte, est un des aspects de la gestion des travaux de dessèchement dans le territoire des Wateringues (figures 100 et 102).

2) La création de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis : la prise en charge collective de la protection du territoire des Wateringues.

La digue de Sangatte (appelée «Grande digue»), construite en 1598, est constituée par un simple remblai de terre recouvert de gazon et protège le trait de côte sur une longueur de 430 m (figure 101). Détruite à plusieurs reprises lors d'épisodes de tempêtes (Chapitre 6), différents modes de revêtement (corroi d'argile, charpente, fascinages et enrochements) sont successivement préconisés pour la protection du talus externe de l'ouvrage. En 1828, un nouveau revêtement est adopté sur une longueur de 420 m à partir de l'extrémité occidentale de l'ouvrage (revêtement de pierres sèches posé sur un lit de galets superposé à une couche de glaise). En 1864, ce nouveau revêtement est prolongé sur une longueur de 530 m et constitue la «Nouvelle digue» de Sangatte (figure 101). La digue de Sangatte a constitué le seul ouvrage de défense du trait de côte, sur une longueur de 970 m, pendant plus de deux siècles.

La pérennité de l'ouvrage, soumis à une morphogénèse intense en période tempête (Chapitre 6), est conditionnée par son entretien : les communautés littorales supportant cette charge financière ont évolué depuis sa construction. L'analyse de cette évolution témoigne des transformations dans les relations entre les sociétés humaines et le milieu littoral (figure 102). D'après Lefebvre (1766), jusqu'en 1721, les charges d'entretien de la digue de Sangatte sont supportées par le Pouvoir Royal. En effet, le littoral est assimilé à une ligne de défense contre la mer protégeant le territoire des Wateringues. L'espace littoral est aussi assimilé à une frontière politique : l'entretien des ouvrages la protégeant relève de l'autorité militaire. En 1728, un arrêt du Conseil d'Etat du Roi (19 juin) met pour la première fois à la charge des propriétaires fonciers, intéressés par la protection assurée par la digue, sans exceptions ni privilèges, une partie des dépenses d'entretien : 1/3 des dépenses reste à la charge de la Monarchie, 1/3 à la charge des 24 villages du gouvernement du Calaisis et 1/3 à la charge des propriétaires et

habitants du gouvernement d'Ardres (20 communes), des pays de Brédénardre (4 communes), de l'Angle (4 communes) et de Ruminghem (1 commune). Soient 2/3 des dépenses d'entretien de la digue sont supportés par les propriétaires fonciers de 53 communes situées dans la plaine maritime flamande. Cette répartition spatiale a pour référence le découpage territorial des Wateringues. A partir de 1728, deux conceptions s'opposent quant à la protection des Wateringues à partir du littoral de Sangatte (figure 102) :

- le Maire et les échevins de Calais souhaitent abandonner l'entretien de la digue et reporter la défense de l'arrière-pays sur les digues intérieures :

«Au mois de janvier 1764, la mer fit à la digue plusieurs arrachements qui ne lui laissaient plus qu'une faible épaisseur, elle ravina les dunes de Sangatte et ce fut par ces dunes qu'elle envahit le polder qu'on proposa d'abandonner en se bornant à fortifier la digue Camyn. Mais c'eût été livrer aux flots l'église, 100 maisons, huit fermes et de riches exploitations ; et l'on n'eût fait que reculer un peu le champ de bataille où il faut combattre la mer.»

Mémorial du dépôt de la guerre, Tome I, 1802-1803.

- le Directeur des fortifications, représentant l'autorité militaire, souhaite, au contraire, prolonger la digue de Sangatte le long du trait de côte, jusqu'à Calais.

En 1808, face à d'importantes dépenses de réparation consécutives aux dommages provoqués par les tempêtes, le Conseil Général des Ponts et Chaussées, consulté pour le financement des travaux, n'autorise les services de l'Etat qu'à réaliser des travaux provisoires et demande au Préfet, conformément aux dispositions de la loi du 16 septembre 1807, de constituer une association syndicale de propriétaires ; l'arrêté préfectoral du 12 août 1808 en organise la constitution :

«Art. 1 : Il sera formé un syndicat entre les propriétaires intéressés à l'entretien de la digue de Sangatte. Ils seront chargés de proposer un règlement d'administration publique pour fixer le genre et l'étendue des contributions pour subvenir aux dépenses tant de réparations actuelles que de l'entretien annuel.»

La commission syndicale propose à l'administration une distinction dans l'imposition des communes en fonction de leur intérêt dans la protection assurée par la digue.

L'Ordonnance royale du 15 juillet 1818 constitue et organise définitivement le Syndicat des digues et dunes du Calaisis : la création de ce syndicat représentant une association syndicale de défense contre la mer selon la loi du 16 septembre 1807 est contemporaine de celle de la Commission syndicale des Wateringues (28 mai 1809). Par ailleurs, la composition de la commission de ce syndicat témoigne du principal objectif attribué à la protection du trait de côte et de la subordination de l'espace littoral au territoire des Wateringues : les membres de la commission de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis sont choisis parmi les membres de la commission syndicale des Wateringues.

Le règlement du syndicat des digues et dunes du Calaisis distingue deux classes de digues et dunes en fonction de l'époque de leur formation ou de leur construction ; les prérogatives du syndicat concernent l'entretien des digues de première classe : à l'est de Calais, la digue de Sangatte entre les falaises du Blanc-Nez et la digue Camyn.

A partir de 1818, toutes les dépenses ordinaires d'entretien de la digue sont à la charge de l'association syndicale ; cependant, dans les cas de réparations exceptionnelles consécutives aux épisodes de tempêtes, le département du Pas-de-Calais et l'Etat participent aux dépenses. Les revenus du syndicat proviennent de l'imposition des propriétés bâties et non bâties des cinq premières sections de Wateringues du Pas-de-Calais en fonction de leur éloignement par rapport au trait de côte : l'imposition est, par exemple, maximale pour les propriétés de la quatrième section de Wateringues située à proximité du trait de côte.

Pour l'entretien des digues dites de seconde classe (sur note domaine d'étude, la dune bordière de Sangatte), la charge financière doit être supportée par les propriétaires des salines (polders) pour lesquels elles ont été créées (article 29). Par ailleurs, selon l'article 31, ces propriétaires doivent former une société particulière : l'Association syndicale de la Saline Mouron est constituée au début du XX^{ème} siècle et sa création est contemporaine de la prise en compte de l'état de dégradation et de l'évolution de la dune bordière. La création d'une association syndicale pour la défense de la dune bordière de Sangatte montre la conception dominante des commissions de Wateringues sur la gestion de l'évolution du trait de côte ; ces commissions refusent de financer la restauration ou la protection d'un milieu dunaire.

Face aux nombreuses dépenses de réparations de la digue de Sangatte, la Commission de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis a très vite affirmé sa volonté d'abandonner cette ligne de défense trop coûteuse et de faire reposer la défense des Wateringues sur les digues intérieures. Cependant, le Service Maritime a imposé la conservation de la digue de Sangatte : à partir de 1863, un projet de prolongement est envisagé pour protéger la dune bordière située à l'est de la digue. Le projet de prolongement de la digue de Sangatte vers l'est, au droit de la dune bordière, ne marque pas une inflexion dans la conception des rapports entre le littoral et les organisations humaines. Toujours justifié par la nécessaire protection des Wateringues, le prolongement de la digue doit assurer la protection du bas-pays :

«A l'Est de la digue, il y a danger public : la mer trouve devant elle une chaîne de dunes de très faible épaisseur, derrière laquelle s'étend une plaine basse (1,5 à 2 m) au-dessous du niveau des hautes mers, ouvrant sur les marais de Coquelles, Frethun ...Or, dans le courant de l'hiver 1962, 1963, la dune a perdu plus du tiers de son épaisseur, qui en certains endroits est réduite à 8 mètres au plus. Il suffirait donc aujourd'hui de quelques grandes marées avec gros vents de l'Ouest à l'Est en passant par le Nord, pour raser ce qui n'est plus à vrai dire qu'un bourrelet. La mer, alors, s'élançant à haute mer dans les rues d'en bas de Sangatte, s'ouvrirait un passage jusque dans les champs qui l'avoisinent»

Rapport de Monsieur l'Ingénieur Leblanc, Service Maritime de Calais, 14 août 1863.

Les travaux de prolongement de la digue de Sangatte vers l'est sont exécutés de 1865 à 1867 et financés pour 1/3 respectivement par l'Etat, le Conseil Général du Pas-de-Calais et le Syndicat ; la «Nouvelle digue» de Sangatte prolonge la «Grande digue» sur une longueur de 530 m.

De 1598 à 1921, le littoral est considéré par les sociétés humaines dans une relation de dépendance avec les terres basses des Wateringues (figures 100 et 102). La digue de Sangatte est, selon le propos de Blanchard (1905, 1906), la digue de Pénélope : la protection du trait de côte est assurée sans aucune considération de la dynamique littorale ; les fondations de l'ouvrage longitudinal sont continuellement mises à nu par le démaigrissement du haut de plage. Par ailleurs, cette solidarité spatiale entre le trait de côte et le territoire des Wateringues permet le financement des travaux de défense contre la mer.

B) L'extension des ouvrages de défense transversaux : une prise de conscience de la dynamique sédimentaire et l'affirmation de la conception des Ingénieurs du Service Maritime.

1) Les débuts de la prise en compte de la dynamique sédimentaire : la mise en place d'un système d'épis à partir des années 1920.

La prise en compte par les communautés littorales, au début du XX^{ème} siècle, de la différence de nature morphologique et d'évolution, entre la partie du trait de côte artificialisée par la construction de la digue de Sangatte et la dune bordière, s'est déjà traduite d'une manière réglementaire : l'arrêté préfectoral du 4 octobre 1904 institue la création de l'Association syndicale de défense contre la mer de la Saline Mouron, par application de l'article 31 du règlement de l'Ordonnance royale portant création du Syndicat des digues et dunes du Calaisis (figure 102). Ce syndicat a pour charge la protection de la dune bordière de Sangatte qui s'étend sur une longueur de 3,2 km entre la digue Camyn et Blériot. De 1864 aux années 1920, l'abaissement du niveau de l'estran fragilise les fondations de la «Grande digue» et de la «Nouvelle digue» (partie prolongée de 1865 à 1867) : les projets de restauration de l'association syndicale consistent à reconstruire le perré et déposer à son pied un banc de galets.

La succession de trois épisodes de tempêtes à la fin de l'année 1921 (1 novembre 1921, 18-20 décembre 1921, 31 décembre 1921) a fragilisé la dune bordière de Sangatte (Chapitre 6) et provoqué la mise en place d'un nouveau système de protection du trait de côte. L'association syndicale soumet au Service Maritime un projet de prolongement de la digue : «les Ingénieurs ont alors préconisé la construction d'épis destinés à briser les courants littoraux et à les éloigner vers le large, de manière à annihiler leurs effets et à les rendre moins violents» (Rapport de Monsieur l'Ingénieur Girette, 17 novembre 1928). Une décision du 1^{er} août 1922 ajourne la construction de la digue en béton. La construction des épis, correspondant à une défense de type transversale destinée à favoriser une accrétion du haut de plage et de l'estran, repose sur le principe de l'expérimentation : un premier épi (n°6), d'une longueur de 65 mètres, est implanté en 1922 perpendiculairement à la dune, au point de jonction de celle-ci avec la digue de Sangatte

(figures 100 et 101). Le choix de cet emplacement correspond à la portion du trait de côte la plus fragilisée par les tempêtes de novembre et décembre 1921. Cet épi a favorisé rapidement l'exhaussement de l'estran qui s'interrompt à partir d'une distance de 150 à 200 m vers l'est.

Un second projet de construction de deux épis est approuvé le 21 novembre 1922 : pour provoquer une accrétion du haut de plage au droit de la dune bordière, les deux épis, n°7 et n°8, d'une longueur de 75 m, sont respectivement implantés à une distance de 165 et 285 m à l'est de l'épi n°6.

En mars 1924, l'association syndicale soumet un projet de construction d'une digue longitudinale en béton ; les Ingénieurs n'approuvent pas ce projet et demandent, au contraire, le prolongement du système de défenses transversales : un quatrième épi (n°9) d'une longueur de 75 mètres, est implanté à une distance de 105 m à l'est du précédent.

A partir de 1925 et compte tenu de l'efficacité des épis implantés au droit de la dune bordière, deux épis sont construits au droit de la digue de Sangatte (n°2 et n°3) et prolongent le système de défense de la dune bordière.

De 1922 à 1925, un changement de conception des Ingénieurs du Service Maritime, motivé par une double prise en compte des mécanismes de la dynamique littorale et sédimentaire, et du coût des ouvrages de défense du trait de côte, permet le développement d'un nouveau mode de protection du littoral de Sangatte (figures 100, 101 et 102). Cependant, le développement des ouvrages de protection transversaux ne correspond pas à la conception du Syndicat des digues et dunes souhaitant une extension de la digue de Sangatte jusque Calais. A partir de 1928, la portion de la dune bordière faisant suite à la digue longitudinale présente un état de dégradation jugé alarmant par le Service Maritime : deux nouveaux épis sont construits (n°10 et n°11) en 1928. Un projet de prolongement de la digue de Sangatte jusque la digue Camyn et de construction de 7 épis est réalisé de 1930 à 1931.

Après une longue période (depuis la fin du XVI^{ème} siècle) marquée par la protection du trait de côte au moyen d'une digue longitudinale, du début des années 1920 au début des années 1930, la mise en place conjointe d'une batterie d'épis et le prolongement de la digue montre un

changement dans la conception de l'évolution du littoral et de son contrôle : à une volonté de fixer le trait de côte succède une volonté de modifier la dynamique sédimentaire. Ce changement de conception est contemporain d'un changement géographique du lieu privilégié de l'intervention humaine sur le littoral : avant les années 1920, les interventions humaines sont localisées le long du littoral urbanisé ; à partir des années 1920, elles se concentrent le long de la dune bordière (figure 102).

Cette prise en compte de la différence de l'évolution entre un littoral urbanisé et un littoral dunaire s'est traduite dès le début du XX^{ème} siècle, d'une manière réglementaire, par la création de l'Association syndicale de la Saline Mouron. D'après les rapports des Ingénieurs du Service Maritime, les activités de l'Association syndicale de la Saline Mouron ont essentiellement consisté, jusqu'aux années 1920, en des tentatives de végétalisation du profil dunaire au moyen de plantations d'oyats. Cependant, en l'absence de travaux destinés à favoriser l'accrétion du haut de plage et la restauration des formes d'érosion éolienne par un apport artificiel de sable, celles-ci ont échoué.

2) Une intervention humaine ambivalente sur l'évolution de la dune bordière : d'une volonté de contrôler son évolution aux conséquences de l'Occupation de Guerre.

Au début des années 1930, le système de défense du trait de côte et du territoire des Wateringues situé en arrière est constitué :

- d'une digue longitudinale continue sur une longueur de trait de côte de 2,4 kilomètres entre l'extrémité orientale des falaises du Blanc-Nez et la dune bordière de Fort Mahon en contact avec la digue Camyn.

- d'une batterie de 15 épis dont le dernier a été implanté à environ 500 mètres à l'ouest de la digue Camyn.

Les rapports des Ingénieurs du Service Maritime et les comptes-rendus des réunions du syndicat de la Saline Mouron soulignent l'érosion de la dune au point de jonction avec la digue. En mars 1939, des travaux de restauration de la dune bordière sont prévus : le Syndicat de la Saline Mouron envisage l'implantation de 10 épis au droit de la dune et le Syndicat des digues et

dunes, de poursuivre la batterie d'épis jusque la digue Camyn. Les circonstances politiques ont stoppé ces projets : nous avons étudié dans le chapitre précédent les conséquences de l'Occupation Allemande sur l'évolution des milieux de la dune bordière (construction de blockhaus, ouverture de brèches, destruction de la végétation). Par ailleurs, Buire *et al.* ont analysé les conséquences des interventions réalisées sur le littoral du Pas-de-Calais pendant la Seconde Guerre Mondiale : «L'exécution du Mur de l'Atlantique et d'ouvrages de défense a détruit ce qui pouvait retenir le sol fixé et bouleversé la topographie des terrains en créant des couloirs dans lesquels les vents dominants du sud-ouest se sont engouffrés en provoquant des mouvements de sable considérables. D'autre part, les travaux d'entretien nécessaires n'ont pu être effectués de 1940 à 1944 en raison de l'interdiction de pénétrer dans la région littorale». En 1954, le Syndicat de la Saline Mouron entreprend la construction d'une batterie de 11 épis, financée par l'indemnité de dommages de guerre (figure 101).

3) 1950-1980 : le désengagement financier des acteurs institutionnels dans la protection du trait de côte.

La partie de la dune bordière située en arrière du trait de côte protégée par la digue construite dans les années 1930-1931 est louée au Syndicat des digues et dunes du Calaisis. Le syndicat a procédé à la sous-location des zones dunaires comprises entre la digue et les propriétés privées à environ 150 particuliers dans un triple objectif :

- fixer et favoriser la végétation dunaire.
- contrôler la fréquentation du milieu dunaire.
- se procurer des ressources pour l'entretien de la digue (70% des ressources du syndicat provenaient de ces locations).

Dans les années 1950, des chalets ont été construits sur la dune immédiatement en arrière de la digue. Cependant, par application de la loi du 28 novembre 1963, les zones dunaires de la commune de Sangatte, dépendant du Domaine privé de l'Etat, sont incorporées au Domaine Public Maritime en 1976 (Arrêté préfectoral du 15 janvier 1976). Cette même année, 157 parcelles sont incorporées au Domaine Public Maritime de l'Etat (73 sont situées

dans la partie agglomérée de Sangatte et 84 dans la zone dunaire). A l'expiration, du bail de location de la zone dunaire, en 1983, le syndicat perd les recettes de la sous-location des chalets. La construction des «chalets de Sangatte», à l'extrémité orientale de la dune bordière de Sangatte protégée par la digue, traduit un échec de la politique du syndicat concernant la protection et la restauration du milieu dunaire. De la fin des années 1950 à la fin des années 1980 : le désengagement de l'Etat dans le financement de la protection du trait de côte (Victor, 1994a) a pour conséquence une exploitation économique des milieux dunaires.

II) Du caractère ambivalent de l'anthropisation sur la rive nord de la baie de l'Authie (milieu du XIX^{ème} siècle) à la généralisation des ouvrages de protection du trait de côte.

Notre étude des transformations du littoral de la rive nord de la baie de l'Authie par les sociétés humaines depuis le milieu du XIX^{ème} siècle est présentée de façon synoptique sur la figure 103.

A) Du choix de l'implantation d'un hôpital sur le littoral à la mise en place d'ouvrages de protection du trait de côte.

Sur la rive nord de la baie de l'Authie (ou musoir), l'évolution du trait de côte dans le cadre de l'évolution de l'estuaire est caractérisée par une érosion : celle-ci menace les conquêtes réalisées sur la mer pendant la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle. Les divagations du chenal de l'Authie et son déplacement vers la rive nord font l'objet de tentatives de contrôle : dès 1862, la mollière de Groffliers, située au sud du musoir, est fréquemment submergée par la mer ; son propriétaire, Monsieur Barrois, construit à ses frais, en 1868, une digue submersible pour maintenir éloigner le chenal de l'Authie et préserver sa renclôture (Verger, 1968 ; Rapports des Ingénieurs du Service Maritime). Par ailleurs, l'Assistance Publique de la Seine choisit en 1867-1869, le site de la rive nord de l'Authie et la Pointe du Haut-Banc pour l'implantation d'un hôpital maritime. L'implantation de cet hôpital est contemporaine du développement de la

ville de Berck sur la zone littorale située au nord de la Pointe du Haut-Banc. Dès l'hiver 1872, des épisodes de tempêtes menacent la pérennité de l'installation : «A Berck, la menace est plus pressante pour le vaste hôpital de la ville de Paris, bâti sur un point du rivage où l'air est plus salubre mais la vague plus violente car c'est aussi le musoir d'un estuaire» (Briquet, 1930). L'hôpital maritime entreprend des travaux de protection du trait de côte :

- construction de perrés le long du trait de côte précédant la zone d'implantation de l'hôpital.

- construction de 1875 à 1880 de 4 épis sur l'estran de la Pointe du Haut Banc.

Le Service Maritime implante un épi principal (n°16/17) et des épis secondaires au droit de l'hôpital. Dans le même temps, la digue «Barrois» est prolongée, par le Service Maritime, de 400 m à 1700 m de 1873 à 1877 et de 2100 m à 3600 m de 1879 à 1884 : soit une longueur totale de 3,6 km. D'après les rapports des Ingénieurs, l'efficacité de cette digue s'est traduite dans la protection du cordon dunaire et par un exhaussement de l'estran mais cette efficacité n'a été que temporaire en l'absence d'entretien de l'ouvrage à partir de 1884. En effet, en 1884, le Conseil de surveillance de l'hôpital maritime, jugeant la situation définitivement améliorée, décide l'arrêt de l'entretien des ouvrages de protection du trait de côte à l'exception des perrés longitudinaux (Fosseyeux, 1911). Devant l'opposition des Ingénieurs du Service Maritime, une étude est demandée à l'Ingénieur hydrographe en chef, Bouquet de la Grye : «c'est à distance qu'il faut défendre l'hôpital et le moyen le plus efficace et le plus économique, consistera dans la réfection des épis construits sur la plage de 1875 à 1880».

A la demande du Conseil Municipal de Berck en 1912, le Service Maritime propose en 1913 deux solutions pour limiter le recul du cordon dunaire :

- l'extension des épis pour favoriser l'accrétion de l'estran.

- le rehaussement de la digue «Barrois» sur une longueur de 1800 m.

Néanmoins, en 1915, la situation est jugée alarmante (Courtier, 1919) :

- «le cordon dunaire, qui commence au phare et, seul, protège la ville de Berck dans sa partie sud n'a plus actuellement en certains endroits, qu'une largeur de 40 m environ alors qu'il y a une dizaine d'années sa largeur était de 130 m.

- l'estran et la plage entre l'hôpital de l'Assistance Publique et le Phare, se sont abaissés de 2 mètres environ depuis 7 à 8 ans.

- le lit de l'Authie passe au voisinage de la Pointe du Haut-Banc et à 200 m du cordon dunaire.

- la digue submersible est recouverte de sable en raison de l'avancée vers le nord de la Pointe de Rhoutiauville».

Au sortir de la Première Guerre Mondiale, l'hôpital Maritime est menacé de ruine imminente. La ville de Berck est opposée à la construction d'ouvrages de défense du trait de côte à la Pointe du Haut-Banc (l'entretien des ouvrages est prévu à la charge de la commune). Le Ministre des Travaux Publics demande au Préfet du Pas-de-Calais, le 6 septembre 1919, de former une association syndicale de défense contre la mer rassemblant les propriétaires concernés ou, à défaut de consentement, un syndicat forcé par application de la loi du 16 septembre 1807. Au début des années 1920, la situation reste bloquée : l'hôpital maritime entreprend à ses frais (à hauteur de 50%, l'Etat participant aux travaux pour moitié) la réparation des ouvrages et la construction de nouveaux épis au droit de la Pointe du Haut-Banc. De 1920 à 1925, l'hôpital prolonge la construction des épis sur la portion du trait de côte concernée par son implantation : 3 épis en fascinages (n°1, n°2 et n°3) de grande longueur, 5 petits épis (n°a-e) et un perré de 200 m de longueur (figure 104).

Un rapport de l'Ingénieur hydrographe Volmat décrit la situation de la rive nord en avril 1922 :

« a) la laisse de haute mer : le cordon de dunes s'amincit du Phare jusqu'au point A (figure 104). Depuis 25 ans, la dune a reculé de 113 m.

b) l'estran : un programme de construction de 6 épis est en cours depuis 1920. Néanmoins, sur l'intervention de l'Assistance Publique qui finance une partie des travaux, les épis n°5 et n°6 n'ont pas été construits compte tenu de leur éloignement de la portion du trait de côte où est implanté l'hôpital. En remplacement, cinq épis intercalaires (a-e) de plus petite longueur sont implantés entre les quatre principaux épis.

c) la progradation vers le nord de la rive sud de la baie de l'Authie a pour conséquence l'ensablement de la digue «Barrois».

d) la Course : le comblement de l'estran situé entre la plage de Berck et l'Authie a déterminé la confusion de son lit avec celui de l'Authie de 1915 à 1920.»

De plus, en 1923, la navigation est encore pratiquée dans la baie de l'Authie par des marins pêcheurs dont le nombre ne cesse de diminuer depuis le début du siècle compte tenu des difficultés de la navigation dues au comblement de la baie et les divagations du chenal de l'Authie. D'après Volmat (1923), la défense contre le risque potentiel de submersion de la partie de la plaine maritime picarde située entre la ville de Berck et l'embouchure de l'Authie et comprenant l'hôpital maritime de l'Assistance Publique de la ville de Paris et des terrains appartenant aux communes de Berck, Groffliers, Verton, Waben, Rang du Fliers, soit environ 1300 ha, repose sur un cordon dunaire étroit et peu élevé : le programme de construction d'ouvrages de défense du trait de côte ne concerne cependant que la partie du littoral située au droit de l'hôpital.

B) Comparaison des rapports entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines sur les littoraux de Sangatte et de la baie de l'Authie.

Au début des années 1920, la défense du trait de côte sur la rive nord de la baie de l'Authie est assurée par la combinaison de structures longitudinales (perrés) et transversales (épis). L'implantation des épis dans les années 1920 est contemporaine de l'expérimentation de ce type d'ouvrage sur le littoral de Sangatte. Cependant, le contexte réglementaire et les conceptions des rapports entre l'évolution de littoral et les organisations humaines sont très différents entre les deux littoraux.

Dans un même contexte dynamique (recul du trait de côte) et morphologique (le cordon dunaire protège des terres basses récemment conquises sur la mer), les stratégies spatiales de défense du littoral sont différentes :

- à Sangatte, la mise en place des ouvrages s'effectue dans le cadre réglementaire d'associations syndicales de défense contre la mer ; de plus, le principal enjeu de la défense du trait de côte réside dans la protection du territoire des Wateringues contre la submersion marine.

- sur la rive nord de la baie de l'Authie, la mise en place des ouvrages doit répondre à la protection de l'hôpital maritime ; elle est principalement financée par l'Assistance Publique de la ville de Paris et donc circonscrite à la Pointe du Haut-Banc. De plus, à la différence du littoral de Sangatte, la défense du trait de côte doit répondre à plusieurs enjeux : la protection contre le risque de submersion du cordon dunaire des terres basses de la plaine maritime picarde, la défense de l'hôpital maritime et la préservation de conditions de navigation satisfaisante dans le chenal de l'Authie pour le maintien de l'activité des pêcheurs.

Jusqu'aux années 1920, les ouvrages de défense du trait de côte implantés sur la rive nord de la baie de l'Authie ont pour caractéristique de défendre des intérêts particuliers :

- la construction des perrés et des épis est limitée à la portion du trait de côte entre l'hôpital et l'épi n°4.

- la digue submersible construite à l'origine pour défendre la propriété d'un particulier ne peut permettre une protection à long terme de la rive nord contre les divagations de l'Authie compte tenu de son ensablement provoqué par la progradation de la rive sud de l'Authie (Pointe de Routhiauville). En 1921, le syndicat professionnel des patrons et marins pêcheurs de Berck demande la transformation de la digue «Barrois» en digue insubmersible et son prolongement pour assurer la pérennité de conditions satisfaisantes de navigation.

Cependant, la protection du trait de côte sur la rive nord de la baie de l'Authie présente deux aspects antagonistes en fonction des intérêts à défendre : la protection contre la submersion marine du cordon dunaire nécessite une accrétion de l'estran à partir du développement du système d'épis mais celle-ci s'oppose au maintien de la navigation.

C) L'institutionnalisation de la défense contre la mer : la protection du trait de côte au service de celle des terres basses de la plaine maritime picarde.

Suite à la demande du Préfet en 1919, demandant la constitution d'une association syndicale de défense contre la mer, les acteurs concernés par la protection du trait de côte ne parviennent pas à s'accorder sur le financement des travaux à réaliser : le décret du 1^{er} décembre

1925 institue la création d'un syndicat forcé dont le périmètre définitif est établi en 1928 et comprend les territoires des communes de Berck, Groffliers, Waben, Conchil-Le-Temple, Verton, Rang-du-Fliers. Ce syndicat est transformé en association syndicale autorisée par l'arrêté préfectoral du 17 avril 1935. A partir de 1928, l'association syndicale de défense contre la mer se substitue à l'hôpital maritime pour le financement des travaux de défense contre la mer sur la rive nord de la baie de l'Authie. De 1925 à 1944, l'association syndicale a réussi à financer l'entretien des ouvrages de défense du trait de côte à partir de l'imposition des propriétaires intéressés et de subventions de la ville de Berck et du département du Pas-de-Calais.

L'occupation militaire du littoral pendant la Seconde Guerre Mondiale fragilise les ouvrages de protection du trait de côte. En 1955, les procédures extraordinaires de financement des travaux de défense contre la mer (dommages de guerre) n'ont pas suffi à la remise en état du système de défense de la rive nord de la baie de l'Authie. Du milieu des années 1950 au milieu des années 1970, la protection du trait de côte sur la rive nord de la baie de l'Authie a consisté en la prolongation vers le sud des ouvrages déjà expérimentés au droit de l'hôpital maritime (figure 105) :

- l'épi n°16/17 (ou n°4) est réparé en 1969 ; l'implantation des épis est prolongée sur le littoral de la Pointe du Haut-Banc.

- une digue submersible est construite en 1975.

- à partir de 1984, une digue en enrochement est implantée sur le pied de dune entre la Pointe du Haut Banc et la Pointe de la Rochelle.

En 1989, des travaux de protection du pied de dune sur la rive nord de la baie de l'Authie sont réalisés par le Service Maritime ; ces travaux de protection du trait de côte ont été associés à une tentative de restauration des milieux dunaires (plantations d'oyats et pose de ganivelles). Les organisations humaines concernées par le financement des travaux sont celles qui existaient déjà à la fin des années 1920 : l'Association syndicale de défense contre la mer de la rive droite de la baie de l'Authie a été transformée au début des années 1980 en Syndicat intercommunal de la Basse Vallée de l'Authie ; l'Etat intervient par l'intermédiaire de ses

services déconcentrés : Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt, Service Maritime.

Un changement notable dans les acteurs de la politique de défense du littoral est marqué par la participation du Conservatoire du Littoral, propriétaire des milieux dunaires de la rive nord (119 ha) depuis 1988. En 1989-1991, les travaux ont consisté en la protection d'un linéaire de 1650 m à partir de la Pointe du Haut-Banc au moyen de perrés en enrochements posés sur le pied de dune.

En 1994, une évaluation de l'impact de ces ouvrages est réalisée, à la demande du syndicat intercommunal par le Service Maritime ; deux évolutions ont été constatées :

- un abaissement de la digue en enrochement sur le haut de plage. Les enrochements situés au sommet ont été déplacés (la cote de sommet est passée entre 1989 et 1994 de 11,5 m à 10,70 m). Cet abaissement des enrochements a été accompagné d'une évacuation des remblais sableux. Sur l'origine de cet échec, l'Ingénieur du Service Maritime émet quelques hypothèses :

«- l'ouvrage n'était pas suffisamment massif eu égard à l'exposition importante de la partie du littoral qu'il était censé protéger.

- les enrochements le constituant n'étaient pas assez homogènes.

- l'ouvrage n'avait pas une cote assez élevée au sommet.

- la pente de l'ouvrage était trop forte sur son côté interne.

- aucune défense du pied de l'ouvrage n'avait été prévue.»

L'inefficacité des ouvrages linéaires en enrochements implantés de 1989 à 1990 s'est traduite par un recul important du trait de côte entre 1989 et 1994 : soit un recul moyen de 20 m.

D) Sur l'évolution des rapports entre l'évolution du littoral et les sociétés humaines : comparaison des rives nord de la baie de l'Authie et de l'estuaire de la Canche.

A la suite de Briquet (1930a, b) et Despeyroux (1985), Picouet (1993) et Picouet et Kergomard (1994) ont rappelé les modalités de l'évolution morphologique de l'estuaire de la Canche : «situé au nord de la plaine maritime picarde, l'estuaire de la Canche coupe, en rive

nord, un ensemble dunaire transgressif sur le flanc sud de l'anticlinal du Boulonnais et en rive sud, une vaste étendue de mollières rencloses bordée du côté de la mer par les dunes du Touquet». L'évolution de l'estuaire de la Canche est marquée, comme celle de la baie de l'Authie, par la progradation du poulier en rive sud et l'érosion du musoir en rive nord. Néanmoins, si le contexte morphologique et son évolution sont semblables, les modalités de l'anthropisation des deux rives de l'estuaire de la Canche le différencient fortement de la baie de l'Authie (figure 106). Sur la rive nord de l'estuaire de la Canche, aucune implantation humaine n'est comparable à celle de l'hôpital maritime sur la rive nord de la baie de l'Authie. Par ailleurs, la rive sud de l'estuaire de la Canche est marquée par le développement urbain de la ville du Touquet ; Briquet (1930b) souligne cet aspect singulier sur le littoral de la plaine maritime picarde : «C'est dans le développement du Touquet-Paris-Plage que l'accroissement du rivage a joué le rôle le plus remarquable sur les modalités et les rythmes de l'anthropisation du littoral». Enfin, l'extension du port d'Etaples à l'intérieur de l'estuaire de la Canche n'a pas son équivalent à l'intérieur de la baie de l'Authie.

Nous avons présenté dans la deuxième partie la succession des caractères de l'intervention humaine à l'intérieur de l'estuaire de la Canche résultant des conséquences ambivalentes de la progradation des pouliers :

- les travaux concernent depuis le XI^{ème} siècle, la conquête de terres aux dépens de la mer ; les mollières de la rive sud de la Canche ont été endiguées. Cité par Picouet (1993), le dernier exemple important de conquête de polder date de 1924 et concerne l'endiguement des mollières sur la rive sud de l'estuaire en aval.

- à partir du XIX^{ème} siècle, les principales interventions humaines sur l'évolution de l'estuaire de la Canche concernent la maîtrise des conditions de navigation, rendues plus difficiles par les divagations du chenal en raison de la progradation du poulier et du comblement de l'estuaire.

Sur la rive nord de la baie de l'Authie, les tentatives de maîtrise des divagations du chenal de l'Authie ont eu principalement pour objectif la défense du trait de côte de la Pointe du Haut-Banc et la protection de l'hôpital Maritime (figure 106). Le rapport de l'Ingénieur

hydrographe Volmat (1923) souligne les difficultés des conditions de navigation dans la baie de l'Authie mais le coût des travaux nécessaires au maintien de conditions satisfaisantes est trop élevé compte tenu de l'importance déclinante de cette activité économique dans la première moitié du XX^{ème} siècle. A l'inverse, alors que sur la rive nord de la baie de l'Authie la construction de digue submersible se limite en 1868 à celle de la digue «Barrois» (prolongée à deux reprises), à l'intérieur de l'estuaire de la Canche, la maîtrise des divagations de la Canche est un objectif prioritaire dès la première moitié du XIX^{ème} siècle. De 1838 à 1870, une digue submersible d'une longueur totale de 3685 m est implantée sur la rive sud et de 1882 à 1901, de 4114 m est implantée sur la rive nord. Des travaux de dragages du chenal et de constructions supplémentaires de digues submersibles à l'intérieur de l'estuaire sont réalisés de 1953 à 1962.

III) L'évolution des rapports entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines sur la côte nord-orientale du Cotentin.

Notre étude des transformations des relations entre les sociétés humaines, le milieu et l'évolution du littoral, depuis la fin du XVIII^{ème} siècle, sur la côte nord-orientale du Cotentin est présentée de façon synoptique sur la figure 107.

A) L'institutionnalisation de la défense contre la mer sur la côte nord-orientale du Cotentin au XIX^{ème} siècle.

Sur le littoral nord-Cotentin, de Gatteville à Barfleur, et sur la côte orientale, au sud de l'embouchure de la Saire, le paysage de la défense côtière est constitué de digues longitudinales protégeant d'une submersion potentielle des terres basses dont l'altitude est inférieure au niveau des hautes mers de vive-eau. L'artificialisation de la ligne de rivage sur ces portions du littoral est contemporaine de l'institutionnalisation de la défense contre la mer au sein d'associations syndicales forcées ou autorisées de défense contre la mer pendant la première et la seconde moitié du XIX^{ème} siècle.

Entre le port de Saint-Vaast-la-Hougue, au sud, et l'embouchure de la Saire, au nord, une digue longitudinale implantée sur le trait de côte protège une zone de terres basses de 4480 ha dont l'altitude comprise entre 2 et 4 m est inférieure au niveau des marées hautes de vive-eau. Ces terres sont partagées entre les communes de Saint-Vaast, Quettehou, Anneville-en-Saire, La Pernelle et Réville. Cet ouvrage assure, comme la digue de Sangatte sur le littoral de la plaine maritime flamande, une protection contre le risque de submersion par la mer des terres basses. C'est l'Association syndicale de défense contre la mer de Saint-Vaast-Réville qui a assuré la construction, entre 1871 et 1886, et l'entretien de cet ouvrage ; ce groupement de propriétaires a été créé par l'Ordonnance royale du 23 décembre 1816 et est régi par les mêmes dispositions que les Associations syndicales de défense contre la mer créées sur le littoral du Pas-de-Calais au XIX^{ème} siècle.

Du port de Barfleur à la Pointe du Crabec, l'extraction du granite sur le platier et le recul du trait de côte ont fragilisé cette portion du littoral et rendu nécessaire sa protection contre un risque potentiel de submersion des terres basses situées en arrière, sur les communes de Barfleur et de Gatteville. Des digues longitudinales ont été construites le long du trait de côte ; elles sont entretenues par l'Association syndicale de défense contre la mer de Barfleur-Gatteville, créée par l'Ordonnance royale du 15 juin 1876. L'évolution du périmètre de compétence de cette organisation reflète celle des rapports entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte dont les conséquences se mesurent dans la probabilité plus importante d'une submersion des terres situées à basse altitude en arrière du littoral. Depuis sa création jusqu'aux années 1980, les objectifs de l'Association n'ont pas changé : assurer la construction et l'entretien d'ouvrages de défense du trait de côte sur le littoral de l'Anse de «La Grande Grève», située au nord de Barfleur ; à l'origine le périmètre syndical, rassemblant les propriétaires intéressés par une contribution financière au fonctionnement de l'Association, présentait une superficie de 18 ha et englobait en fait les terrains potentiellement submersibles de Barfleur et de Gatteville et donc directement concernés par la construction et l'entretien des ouvrages de défense du trait de côte. Par arrêté préfectoral du 7 avril 1930, ce périmètre syndical est modifié et étendu à 29 ha, englobant alors la majeure partie de la commune de Barfleur. La limite de la nouvelle zone incluse dans le périmètre de contribution de l'Association

syndicale de défense contre la mer ne correspond plus à celle des terres potentiellement submersibles ; c'est la manifestation d'une volonté de faire participer financièrement l'ensemble de la communauté aux travaux de défense contre la mer. En 1970, l'Association syndicale demande une nouvelle extension du périmètre pour englober la totalité de la superficie communale ; celle-ci n'est pas accordée.

Sur la côte nord-orientale du Cotentin, une première forme de relations s'est donc élaborée, au XIX^{ème} siècle, entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines, sous la forme d'Associations syndicales de défense contre la mer. Leur création est contemporaine de celles du littoral du Pas-de-Calais et témoignent du désengagement de l'Etat dans le subventionnement des travaux de défense contre la mer ; ceux-ci sont désormais, pour partie, à la charge des propriétaires directement intéressés par la protection du trait de côte. Néanmoins, sur la côte orientale du Cotentin, les littoraux de Montfarville et de Réville sont restés à l'écart de ce mouvement développé au XIX^{ème} siècle. Celui-ci est survenu beaucoup plus tardivement et singularise alors les relations élaborées sur cette portion de côte entre l'évolution de la ligne de rivage et les sociétés humaines.

B) Le littoral de Réville-Jonville : des premiers aménagements aux conflits d'usage des années 1990.

1) Les premiers aménagements sur le littoral de Jonville et la perception de changements dans le paysage littoral.

La commune de Réville compte 5 km de littoral sur la côte orientale et 2 km entre l'embouchure et la pointe de Saire (ce secteur est appelé plage de Jonville). Sur le littoral de Jonville, deux aménagements ont eu, d'après les sources historiques (Bacon, 1895), des conséquences importantes pour son évolution :

- en 1848, la mise en place de portes à flot sur le pont de Saire situé à l'embouchure permet de prévenir les risques de submersion pour les terres agricoles.

- pendant la séance du conseil municipal de Réville du 8 août 1875, fut décidée la construction d'une jetée sur ce littoral.

Bacon (1895) souligne les conséquences de ce dernier aménagement :

"La construction de la jetée de Jonville a amené l'ensablement complet de ce petit port de pêche. Tous les sables provenant des grèves, depuis Fouly, viennent s'y entasser peu à peu depuis 18 ans. Sur un kilomètre de longueur, la côte s'ensable encore et la mer y perd du terrain... ; ne craignant plus ces empiétements si redoutables sur les autres points de la côte, quelques amateurs de la vie maritime sont déjà venus élever des chalets."

Sur ce littoral abrité des houles les plus fortes et des tempêtes de secteur est, cet aménagement a contribué à la différence d'évolution du trait de côte entre le secteur de Jonville et la côte orientale. Il marque aussi le début de l'urbanisation du littoral de Jonville : des résidences secondaires cossues de Jonville aux terres agricoles de la côte orientale. Les riverains adoptent des attitudes différentes par rapport à l'évolution du littoral. Nous distinguons donc dans ce qui suit le littoral oriental de Réville du littoral de Jonville.

2) De l'émergence d'une volonté collective pour la défense du littoral à son institutionnalisation.

D'après les archives de la D.D.E., le conseil municipal de Réville demande en 1970 aux services maritimes de Cherbourg, l'étude d'un programme de défense contre la mer pour le littoral de la commune. Seul le littoral oriental est considéré dans cette étude, car exposé aux tempêtes de secteurs nord et nord-est et donc potentiellement instable (Deboudt et Battiau-Queney, 1991).

D'après ce document, une protection de tous les secteurs menacés nécessiterait la construction d'ouvrages défensifs sur 3700 m du littoral. C'est cependant la valeur du patrimoine à protéger qui détermine l'ampleur des moyens techniques et financiers mobilisés. Avec un coût moyen de 2000 francs le mètre linéaire, cette protection s'élève à 7 400 000 francs et, la valeur des terres agricoles est estimée à 1 500 000 francs. Compte tenu de ces coûts respectifs et des possibilités financières de la commune, la défense complète du littoral n'est pas envisagée. Seuls trois

secteurs sont retenus, l'Anse du Hommet, l'Anse de la Mare et la Pointe de Saire. Sur ce dernier secteur, la construction d'une digue en 1976 répond au besoin de protection du nouveau terrain de camping municipal.

A partir du début des années 1970, l'action humaine s'intègre donc dans une démarche collective pour tenter de stabiliser le littoral oriental. Une étape est franchie au début des années 1980 avec l'institutionnalisation de la défense contre la mer.

En 1982, les propriétaires de terres agricoles sur le littoral oriental de Réville se regroupent au sein d'une association syndicale de défense contre la mer (Association Syndicale de Réville Nord) dont le périmètre est compris entre la limite nord et la pointe de Fouly. Cette association englobe en 1989 le périmètre compris entre la pointe de Fouly et la Pointe de Saire et prend le nom d'Association Syndicale de Réville Est. Le but annoncé est de parvenir à stabiliser le littoral et de prévenir les risques de submersion pour les terrains bâtis et non bâtis. Cette association entreprend à partir de 1986 des constructions d'ouvrages sur la majeure partie du littoral ; c'est là une étape importante dans la transformation du paysage littoral dont nous présentons les modalités en seconde partie.

La création d'une association syndicale de défense contre la mer correspond à une prise de conscience collective du recul du trait de côte et à la volonté collective d'y répondre d'une manière rationnelle et homogène par la mise en commun de moyens financiers et techniques. Néanmoins, cette prise de conscience est contemporaine d'une mutation dans la fonction économique des terrains situés en bordure de mer.

La consultation du Plan d'occupation des sols (P.O.S.) communal appelle une remarque : plus de 100 propriétaires se partagent les terres situées sur les 5 km de côte. Ces multiples parcelles laniérées (figure 108) sont l'héritage de l'exploitation du varech à des fins de fumure des terres agricoles au XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècle. Seuls étaient autorisés à prélever du varech sur l'estran les propriétaires de terrains sur le littoral. Nous pensons que ce morcellement parcellaire auquel sont associés plusieurs choix par rapport à la protection ou non du littoral, explique la création tardive d'une association syndicale de défense contre la mer. Et c'est là une

originalité du littoral étudié ; sur le littoral de la Manche, ces associations apparaissent généralement dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle.

Au cours des années 1970 et surtout 1980, les exploitations agricoles du Val de Saire traversent une crise économique ; le tourisme peut offrir aux exploitants un complément de revenu. A l'extrémité des parcelles, les propriétaires installent des caravanes, des «mobilhomes», voire des chalets. Vigarié (1987) souligne les problèmes juridiques posés par ces installations touristiques sur des terrains ruraux classés non constructibles par le P.O.S.. Celles-ci sont en infraction avec la loi littoral de 1986 et les maires ne disposent pas de moyens dissuasifs pour la faire respecter. En 1989, la municipalité de Réville interdit les divisions de propriétés foncières sur le littoral ; en effet cet essor du tourisme a encouragé les propriétaires de parcelles importantes à les diviser par souci de rentabilité. Le développement de ce tourisme littoral a modifié la valeur économique des terrains en bordure du littoral. La stabilisation du trait de côte devient alors un enjeu économique pour la collectivité. A la différence de Réville, la commune de Montfarville est peu concernée par ces installations "sauvages".

3) Les conséquences de la perception d'un changement dans la dynamique du littoral de Jonville.

Les travaux de Hinschberger et Orange (1983) ont montré l'avancée du trait de côte à Jonville. Un changement dans cette évolution, perceptible dans le paysage littoral actuel (Deboudt, 1991), s'est accompagné plus tardivement d'une réponse des propriétaires de résidences secondaires dont l'extrémité de la parcelle est menacée par le recul.

Une association syndicale de défense contre la mer est créée en 1992. Les problèmes posés sont ici très différents de ceux évoqués sur le littoral oriental : une vingtaine de propriétaires seulement sont concernées et le littoral est urbanisé. La valeur économique du patrimoine menacé fait présager la mise à disposition de moyens financiers et la construction d'ouvrages plus importants qu'à l'est.

4) L'émergence de conflits dans la gestion du littoral de Réville.

En novembre 1994, un Conseil de rivage Manche et Mer du Nord a réuni les représentants de communes littorales, à l'initiative du Conservatoire du Littoral et des Rivages Lacustres. La municipalité de Réville a montré la volonté de lutter contre les implantations touristiques situées sur son littoral oriental et a demandé l'étude du classement du littoral de la commune en zone de préemption par le Conservatoire. Le respect de la loi littorale de 1986, la promotion du tourisme, la lutte contre le recul du trait de côte et la volonté de préserver le paysage littoral, sont des impératifs difficiles à mettre en oeuvre au niveau communal ; pour les concilier, l'incorporation du littoral communal dans l'espace juridique du Conservatoire du littoral est considérée comme la seule réponse.

Conclusion du chapitre 7 : Bilan de quatre siècles de rapports entre les organisations humaines et l'évolution du trait de côte sur le littoral du Pas-de-Calais et de la Manche.

A l'intérieur du vaste thème des relations entre le littoral et les sociétés humaines, nous avons tenté de répondre à plusieurs interrogations concernant principalement les réponses successives apportées par les communautés littorales à l'évolution du trait de côte. Nous avons choisi l'étude de littoraux dont l'évolution morphologique se traduit, depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, par un recul du trait de côte.

Un élément de différenciation spatiale est représenté par le contexte morphologique :

- à Sangatte, la morphologie du littoral caractérise une dune bordière constituée d'un simple bourrelet.
- au sud de Berck, la rive nord de la baie de l'Authie correspond au musoir de l'estuaire.
- sur la côte nord-orientale du Cotentin, une succession de caps et d'anses correspond à une côte contraposée.

A l'intérieur de ces trois contextes morphologiques, les changements observés, depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, entre d'une part l'évolution du trait de côte et d'autre part les caractères et les rythmes de l'anthropisation du littoral, traduisent des évolutions très différentes :

- dans le processus de mise en place des ouvrages de défense du trait de côte.
- dans la participation des acteurs institutionnels à ce processus.
- dans les conceptions des communautés littorales relatives à la gestion du milieu littoral.

Nous présentons dans les figures 109, 110 et 112 un aperçu synoptique de ces changements pour les trois terrains étudiés. Sur le littoral de Sangatte (figure 109), les relations élaborées entre les sociétés humaines et le littoral se singularisent par leur ancienneté avec la mise en place d'une digue dès la fin du XVI^{ème} siècle. Par ailleurs, ces relations traduisent une conception «terrienne» ou continentale de la dynamique du littoral : en effet, pendant plus de trois siècles (1598-1922), l'anthropisation du littoral est réalisée par référence au cadre géographique du territoire des Wateringues. La création en 1818 de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis dont les statuts, la composition et le mode de fonctionnement sont calqués sur ceux des commissions syndicales de Wateringues correspond à l'institutionnalisation de cette conception. A partir du début des années 1920, une nouvelle conception s'affirme : par l'implantation d'ouvrages transversaux sur l'estran de Sangatte, les Ingénieurs du Service Maritime intègrent l'évolution du trait de côte dans une conception «maritime» de la dynamique du littoral.

Les pratiques de gestion de la dune bordière de Sangatte, développées dans les années 1990, traduisent une ambivalence dans les modalités de l'anthropisation du littoral : les techniques de protection du trait de côte mises en oeuvre par les Ingénieurs du Service Maritime représentent une continuité par rapport à la conception développée dans les années 1920. Par ailleurs, l'intégration de la dune bordière dans le patrimoine foncier du Conservatoire du Littoral a permis d'associer à la protection du trait de côte, la restauration de la dune bordière. Néanmoins, la conception présentée par le Conservatoire du Littoral sur les relations entre les sociétés humaines et le littoral s'inscrit dans la conception «terrienne» développée dès le XVI^{ème} siècle : en effet, la justification économique des investissements engagés dans le programme

expérimental de protection et de restauration de la dune bordière de Sangatte repose sur la défense du territoire des Wateringues assurée par celle-ci. Les avancées scientifiques réalisées dans la connaissance de l'évolution morphosédimentaire du littoral (celle-ci se réalise dans le cadre de cellules sédimentaires) n'ont pas encore eu de prolongements dans les politiques de gestion du littoral engagées par les acteurs institutionnels concernés.

Sur la rive nord de la baie de l'Authie (figure 110), l'intervention des sociétés humaines dans l'évolution du trait de côte se traduit par la mise en place d'ouvrages statiques à partir du milieu du XIX^{ème} siècle.

Deux conceptions relatives à l'anthropisation du littoral se sont succédé :

- du milieu du XIX^{ème} siècle à la fin des années 1920, l'anthropisation du littoral a pour objectif la défense d'intérêts particuliers. L'implantation d'ouvrages de défense du trait de côte se concentre :

- au nord de la Pointe du Haut-Banc, pour la défense de l'hôpital maritime de l'Assistance Publique de la ville de Paris.

- au sud de la Pointe de la Rochelle, par la construction d'une digue submersible pour maîtriser les divagations du chenal de l'Authie et les conditions de navigation ; l'enjeu est ici la préservation des intérêts des pêcheurs.

- de la fin des années 1920 aux années 1990, l'anthropisation du littoral a pour objectif la défense des terres potentiellement submersibles de la plaine maritime picarde situées en arrière du cordon dunaire. La création en 1925 de l'Association syndicale de défense contre la mer de la rive nord de la baie de l'Authie correspond à l'émergence de cette conception proche de celle développée sur le littoral de Sangatte au début du XIX^{ème} siècle.

La comparaison de l'évolution spatio-temporelle de l'anthropisation entre les estuaires de l'Authie et de la Canche (figure 106) témoigne du rôle fondamental des objectifs recherchés par les communautés littorales dans les modalités de l'anthropisation du système estuarien. L'insertion des sociétés humaines sur les rives de l'estuaire de la Canche a provoqué l'émergence, dès le milieu du XIX^{ème} siècle, d'une conception «maritime» de la dynamique du

littoral. La maîtrise des conditions de navigation à l'intérieur du chenal de la Canche et l'accès au port d'Etaples ont représenté le principal objectif de la mise en place des ouvrages de défense du trait de côte. L'aménagement d'un port de plaisance au Touquet, sur la rive sud de l'estuaire, a renforcé cette conception. Par ailleurs, à l'inverse de la situation observée sur la rive nord de la baie de l'Authie, la mise en place d'ouvrages de protection du trait de côte sur la rive nord de l'estuaire de la Canche a seulement commencé au début des années 1980. Les années 1980 et 1990 sont marquées par le rehaussement de la digue submersible en rive droite. L'enjeu des aménagements réalisés à l'intérieur de l'estuaire de la Canche dans les années 1990 réside dans la conciliation d'intérêts multiples et contradictoires (figure 111) :

- maintenir les conditions d'accès au port d'Etaples et de navigation dans le chenal.
- protéger le musoir de l'estuaire (par la construction d'épis).
- maintenir le plan d'eau de la Canche et ralentir le comblement de l'estuaire.
- maintenir l'accès au port du Touquet situé sur la rive sud.

Sur la côte nord-orientale du Cotentin (figure 112), la succession de quatre périodes marque l'évolution des relations entre le littoral et les sociétés humaines :

- de la fin du XVIII^{ème} siècle à la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, le littoral est perçu comme une ressource pour l'activité économique (prélèvement du varech à des fins agricoles, exploitation du granite) et il se développe une simple prise de conscience des conséquences de cette exploitation pour l'évolution du littoral.

- dans la première moitié du XX^{ème} siècle, la prospérité de l'agriculture du Val de Saire fait "oublier" le recul du trait de côte. L'implantation de résidences secondaires sur le littoral de Jonville est contemporaine des premiers aménagements qui ont engendré un changement dans la perception de la dynamique de ce littoral.

- au début des années 1970, les terres agricoles situées en bordure du littoral oriental changent de fonction économique avec l'émergence du tourisme littoral dans des structures d'habitat précaire. La valeur économique des terrains change aussi et se développe une volonté de stabiliser le trait de côte. Cette mutation ne concerne pas la commune de Montfarville.

- à partir des années 1980, la volonté de stabiliser le littoral s'institutionnalise au sein d'associations syndicales de défense contre la mer. Des changements irréversibles se manifestent dans le paysage littoral.

CHAPITRE 8 : LA GESTION DE LA NATURE LITTORALE DANS LES ANNEES 1990 SUR LES LITTORAUX DE SANGATTE ET DE OYE-PLAGE.

I) Le programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière de Fort-Mahon.

Les chapitres précédents (Chapitres 6 et 7) ont montré les transformations dans les relations entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte sur le littoral de Sangatte. L'évolution de la politique française concernant l'aménagement du littoral et la création du Conservatoire du Littoral ont pour conséquence l'acquisition d'une partie de la dune bordière de Sangatte par cet organisme en 1979. Nous avons souligné cette rupture dans le chapitre 6 ; deux tendances ont anticipé ce changement dès la fin des années 1960 :

- l'arrêt de l'anthropisation et de la construction d'ouvrages de défense le long du trait de côte.
- les tempêtes ne sont plus l'événement déclenchant une accélération de l'anthropisation du littoral.

Le début des années 1990 marque un autre changement sur le littoral de Sangatte représenté par la mise en oeuvre d'un programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière de Sangatte (ou de Fort-Mahon). Ce programme est, en fait, une nouvelle étape dans le processus d'anthropisation du littoral commencé au XII^{ème} siècle (Deuxième partie) et marqué par la mise en place d'ouvrages de défense du trait de côte à partir de la fin du XVI^{ème} siècle (Chapitre 7). Nous étudions en premier lieu les raisons de ce changement et les conditions de l'élaboration du programme expérimental ; cette étude permet de comprendre la philosophie de protection des littoraux du Conservatoire du Littoral et de montrer le rôle respectif des acteurs institutionnels dans la gestion du littoral du Pas-de-Calais.

La présentation du programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière de Fort-Mahon constitue un apport aux recherches sur les méthodes nouvelles de défense des littoraux dunaires en recul ; Bellesort (1994) a déjà réalisé une étude sur les méthodes nouvelles de protection des littoraux. L'originalité et le caractère inédit des recherches

réalisées dans le cadre de l'élaboration et de la mise en oeuvre de ce programme résident dans l'étude des relations entre les ouvrages de défense du trait de côte, les processus morphogéniques et les variations dans les transferts sédimentaires. D'après Nordstrom (1994), la plupart des travaux sur la défense du trait de côte par la construction d'ouvrages concerne l'étude de leur dimensionnement pour parvenir aux objectifs recherchés en terme de contrôle de la dynamique sédimentaire ; peu de travaux concernent les effets des ouvrages après leur implantation. Nous contribuons au développement de cette orientation de recherche par l'étude, depuis la mise en place des ouvrages, de leurs conséquences sur la transformation de la dune bordière, de la plage et de l'estran.

Nous avons réalisé cette partie de l'étude en collaboration avec M. François Victor et M. Eric Lejeune, Ingénieurs des Travaux Publics de l'Etat, responsables de la Subdivision environnement et eaux du littoral du SMBC, respectivement jusqu'en 1995 et de 1995 à 1997 ; les profils topographiques ont été réalisés sur le littoral avec Monsieur Patrick Blamangin, responsable de la cellule topographie du SMBC.

A) Un changement dans la conception et le traitement du recul du trait de côte sur le littoral de Sangatte (1980-1993).

Nous présentons dans ce qui suit la chronologie des événements qui rendent compte du processus de mise en oeuvre du programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière de Fort-Mahon. Cette analyse est basée sur le dépouillement des archives du Service Maritime et du Conservatoire du Littoral.

1) Du Maire au Service Maritime : une absence d'intervention sur l'état et la dynamique de la dune bordière commandée par la prise en compte des risques et du potentiel de financement.

Le Maire de Sangatte, dans une correspondance adressée au Ministre de l'Environnement en date du 12 août 1980, souligne l'aggravation constante de l'état de la dune bordière et, compte tenu de son rôle de protection contre le risque de submersion de la plaine maritime, demande le prolongement du système d'épis interrompu 400 m à l'ouest de la dune bordière de Fort-Mahon.

L'Ingénieur du Service Maritime présente dans un rapport en date du 9 octobre 1980, une analyse de l'état du cordon dunaire à partir de laquelle nous avons extrait plusieurs observations : - la dune bordière, constituée d'un seul cordon dunaire, a une épaisseur de 30 m et une hauteur de 10 m ; la plaine maritime flamande située en arrière se trouve à une altitude inférieure à la cote des hautes mers de vive-eau.

- le recul du trait de côte est modéré depuis les trente-cinq dernières années et les phases de recul important et rapide sont associées aux tempêtes de l'année 1953 et de l'hiver 1977-1978 ; «ce recul est aujourd'hui partiellement comblé par la formation d'un banc de galets en avant du pied de dune».

- la fréquentation importante du cordon dunaire, en raison de la proximité d'un village de vacances et de l'agglomération de Calais, est, selon l'Ingénieur, un facteur essentiel de la dégradation de la dune provoquée par des éboulements du versant littoral et la circulation de moto.

A partir de ce constat et tenant compte de l'évolution naturelle de la dune bordière et du coût du prolongement du système d'épis (évalué à 1,5 millions de francs), la construction d'ouvrages de défense du trait de côte n'est pas envisagée ; «la rupture du cordon dunaire n'est pas sérieusement envisageable et ne pourrait entraîner qu'une submersion pendant quelques heures d'une zone non habitée et non cultivée». Par ailleurs, une opération de défense du trait de côte de la dune bordière de Fort-Mahon devrait être précédée, d'après l'Ingénieur, d'une

étude de son impact éventuel sur les changements sédimentaires pour les plages de Blériot et de Calais, situées à son extrémité orientale.

Au début des années 1980, l'Ingénieur du Service Maritime ne juge pas préoccupant l'état et l'évolution de la dune bordière de Sangatte ; pour apprécier la situation présente et la relativiser il intègre le milieu dunaire dans une évolution sur le long terme. Au même moment, le Conservatoire du Littoral acquiert une partie de la dune bordière de Fort-Mahon : c'est le début d'un changement dans les rapports entre les acteurs institutionnels et l'évolution de la ligne de rivage sur cette portion du littoral de Sangatte.

2) De la digue de Sangatte au programme expérimental de protection de la dune bordière de Fort-Mahon et de l'Association syndicale de la Saline Mouron au Conservatoire du Littoral.

Nous avons étudié précédemment les étapes de l'anthropisation du littoral de Sangatte (Chapitre 7). Sur ce littoral, les rapports entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte doivent être envisagés sur le long terme. L'anthropisation du littoral commence à la fin du XVI^{ème} siècle ; la construction du système de défense du trait de côte a commencé en 1598 à l'extrémité occidentale du littoral de la plaine maritime flamande pour s'interrompre sur l'estran de la dune bordière. De la fin du XVI^{ème} siècle au début des années 1990, le rythme de l'anthropisation est donné par la fréquence des tempêtes (Chapitre 6). Le choix des méthodes de protection du trait de côte et le financement des ouvrages concernent les mêmes acteurs institutionnels, peu nombreux : l'Etat ou le Service Maritime, le Département à partir de la fin du XVIII^{ème} siècle, l'Association syndicale de défense contre la mer de la Saline Mouron à partir de 1904 et la mairie (Chapitre 7).

Le cadre réglementaire qui organise le processus de défense contre la mer repose sur des textes peu nombreux et anciens :

- l'article 33 de la loi du 16 septembre 1807 ; «lorsqu'il s'agira de construire des digues à la mer ou contre les fleuves, rivières, torrents, navigables ou non navigables, la nécessité en sera constatée par le gouvernement et la dépense supportée par les propriétés protégées dans la proportion de leurs intérêts aux travaux, sauf les cas où le gouvernement croirait utile et juste d'accorder des secours sur les fonds publics».

- la loi du 21 juin 1865 portant création d'un droit des associations syndicales autorise la prise en charge de la maîtrise d'ouvrage et la collecte des moyens financiers sous forme collective.

C'est le premier cercle de la protection côtière défini par Miossec (1990a, 1993, 1994a, 1995) qui «s'est construit dans le temps long des deux derniers siècles» (Chapitre 1). La mise en oeuvre d'un programme expérimental de protection de la dune bordière de Fort-Mahon, au début des années 1990, correspond à la poursuite d'une histoire commencée quatre siècles auparavant, mais dans un contexte politique et avec des acteurs institutionnels différents. Ce changement est contemporain de l'émergence d'une nouvelle conception de la gestion du littoral ; il est consécutif à la création du Conservatoire du Littoral, nouveau propriétaire des dunes de Fort-Mahon en 1979 et au développement d'une philosophie de protection côtière différente de celle des Ingénieurs du Service Maritime.

B) Le processus de mise en oeuvre du programme expérimental par le Conservatoire du Littoral.

1) La philosophie de protection des littoraux dunaires du Conservatoire du Littoral et ses aménagements.

La philosophie du Conservatoire du Littoral est de considérer les fluctuations de la côte comme un phénomène naturel qu'il faut laisser évoluer. La création du Conservatoire du Littoral par la loi du 10 juillet 1975 est contemporaine, à partir du milieu des années 1970, du

développement par l'Etat d'une politique prenant en considération le littoral et son aménagement. Miossec (1993, 1994a, 1995, 1996) a étudié les conditions de la création de cet Etablissement Public de l'Etat : c'est le premier acte politique concret qui a suivi la publication du rapport Picard en 1971, «la création du Conservatoire du Littoral manifeste la volonté de mener une politique foncière de sauvegarde de l'espace littoral, de respect des sites naturels et de l'équilibre écologique». Legrand et Lacoste (1995) soulignent l'évolution dans la conception de cette mission depuis vingt ans en fonction de l'évolution du cadre législatif et des enjeux : «l'intervention du Conservatoire est actuellement moins sollicitée pour interdire la réalisation d'un projet que pour permettre de le faire, de prendre les mesures indispensables de nature à restaurer ou garantir la pérennité de ces espaces». En définitive, la mission du Conservatoire consiste à assurer la pérennité des espaces acquis ; si l'acquisition foncière permet de rendre juridiquement définitive la protection d'un littoral, l'efficacité de l'action repose sur une phase de remise en état du terrain.

Paskoff (1995) a analysé l'action du Conservatoire du Littoral confronté au problème de l'érosion marine et souligne les exceptions à une politique générale de non résistance à l'érosion marine. Des travaux de défense contre la mer peuvent être réalisés sur deux types de littoraux :

- les marais et waddens, conquis sur la mer, pour lesquels l'entretien et le renforcement des digues de renclôtures permettent la conservation d'un patrimoine historique.

- les cordons dunaires protégeant des zones naturelles arrière littorales ou urbanisées.

La dune bordière de Sangatte représente ce dernier type de littoraux. Par ailleurs, le cordon dunaire de Oye-Plage et les dunes de la rive nord de la baie de l'Authie correspondent au même type de littoral. Pour ces littoraux où le cordon dunaire protège d'un risque potentiel de submersion une zone arrière littorale, dont la valeur économique des biens menacés est importante, la mise en oeuvre d'une protection du trait de côte dépasse les intérêts du Conservatoire.

2) Du Conservatoire du Littoral au bureau d'étude et du Service Maritime à l'expert scientifique : les acteurs et l'exposé des différentes solutions de protection côtière.

a) Les acteurs de la construction du projet.

En mai 1991, le Conservatoire du Littoral, propriétaire d'une partie de la dune bordière de Fort-Mahon, souhaite une intervention pour prévenir le risque de submersion du cordon dunaire et «envisage de traiter ce problème à la manière hollandaise» (reprofilage du cordon dunaire, protection du pied de dune par une digue en rondins, contrôle de la circulation des promeneurs) ; le coût de ce projet est évalué entre 4 et 5 millions de francs. La digue en rondin de bois, déjà expérimentée sur le littoral du Marquenterre, a résisté aux tempêtes de l'hiver 1990 ; l'exposition aux houles n'est, toutefois, pas similaire sur le littoral de Sangatte.

Le Conservatoire demande une étude diagnostique de l'état de la dune à un bureau d'étude (Cabinet J. Duval) et mobilise, par étape, l'ensemble des acteurs institutionnels susceptibles de participer au financement des travaux (Mairie, Conseil Général, Conseil Régional, Service Maritime). L'étude réalisée par le bureau d'étude Duval est présentée en mairie de Sangatte le 18 septembre 1991 ; un compte rendu de l'exposé de J. Duval est présenté sur la figure .

Dans cette étude, trois secteurs sont distingués sur la dune bordière en fonction des caractères morphologiques et phytogéographiques ; nous observons un gradient ouest-est dans l'instabilité du cordon dunaire :

- un secteur ouest, d'une longueur de 1160 m, considéré comme peu dégradé compte tenu du recouvrement par une importante végétation arbustive du versant continental de la dune.

- un secteur central, d'une longueur de 820 m, correspondant à une zone de transition et marqué par l'implantation du village vacances en arrière du cordon dunaire.

- un secteur est, d'une longueur de 850 m, considéré comme le secteur le plus dégradé compte tenu des éboulements du versant littoral, du faible recouvrement par la végétation et de la fréquence importante des formes d'érosion éolienne.

Le rappel des conclusions de ce rapport est essentiel : «En février 1953, une succession de violentes tempêtes a entraîné une rupture de la dune et l'inondation de l'arrière-pays, dans ce secteur. Vu l'état de dégradation du bourrelet dunaire, notamment dans le secteur est, une telle situation pourrait se reproduire, du fait du contexte climatique actuel. La dune de Sangatte constitue une zone à haut risque, face à l'invasion marine et cette invasion se produira sur une zone arrière littorale riche d'activités et d'urbanisation.»

Suite à ses conclusions, Duval (1991) propose un projet de réhabilitation totale de la dune bordière par «l'établissement d'une véritable dune-digue». Cinq aspects composent ce projet de «réhabilitation» dont le coût est estimé à 13 millions de francs :

- la démolition des blockhaus.
- le reprofilage du cordon dunaire «afin de mettre en place une masse de sable, suffisante et homogène, capable de résister aux fortes tempêtes.
- la stabilisation de ces sables par des plantations d'oyats.
- la protection du versant littoral de la dune bordière par la mise en place d'une digue en rondins (protection contre la mer) et la clôture du site (limitation de la fréquentation).
- la construction de platelages pour assurer une communication entre la plaine maritime et la plage.

Les bases du programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière de Fort-Mahon sont définies. De la volonté de réaliser un aménagement des dunes de Fort-Mahon, par le Conservatoire du Littoral, à l'intervention d'un bureau d'étude pour justifier par un contenu «scientifique» de sa nécessité, la troisième étape du processus de mise en oeuvre du projet consiste en la recherche de partenaires institutionnels pour contribuer à son financement. C'est en fait l'objet principal de la réunion du 18 septembre 1991.

Par rapport à ce projet, l'Ingénieur du Service Maritime émet un avis critique et trois réserves :

- «l'érosion du cordon dunaire résulte en partie d'un déficit sédimentaire côtier» ; la mise en place d'un ouvrage longitudinal sur le pied de dune risque de stopper les échanges de

sédiments entre la dune et l'estran, de provoquer le démaigrissement de l'estran et de déstabiliser l'ouvrage. L'Ingénieur envisage un rechargement artificiel de la plage en sédiments à partir des produits de dragages prélevés dans la passe du nouveau port de Calais.

- il pose la question de la tenue de l'ouvrage pendant un épisode de tempête associé à une marée haute de vive-eau.

- il demande l'expérimentation du projet sur une partie du trait de côte pour juger de son efficacité.

En mars 1993, une expertise du projet est demandée à un scientifique, le Professeur Paskoff. Elle est réalisée à partir du rapport Duval et d'une visite sur le terrain. Plusieurs remarques sont alors formulées sur les caractères géomorphologiques de la dune bordière et le projet du Conservatoire (Paskoff, 1993b) :

- la fréquence des formes d'érosion éolienne est une condition potentielle à la submersion de l'arrière-pays ; le déficit sédimentaire de ce secteur de côte est souligné. L'enjeu du projet est mis en exergue : «Il est clair qu'une restauration réussie du bourrelet littoral de Fort-Mahon implique nécessairement une intervention sur la plage à laquelle il est lié car les deux éléments morphologiques sont étroitement associés dans leur évolution par des échanges sédimentaires».

- Paskoff rappelle les raisons du choix de l'implantation d'une digue en rondins sur le pied de dune. Substitué au classique enrochement, cet ouvrage présente une plus grande valeur paysagère et s'intègre dans la politique du Conservatoire du Littoral concernant la protection côtière. Il repose sur l'expérimentation réussie d'un ouvrage du même type sur le littoral du Marquenterre.

- Paskoff émet des réserves sur le choix de la digue en rondins : «elle n'exclut pas totalement les effets négatifs sur le couple plage-dune qu'ont habituellement les enrochements et elle n'offre pas la protection qu'assurent ces derniers contre une submersion, à l'occasion d'une onde de tempête, des terres basses situées en arrière».

- d'après Paskoff, «la seule solution véritable au problème d'attaque du bourrelet dunaire par la mer réside dans une alimentation artificielle de la plage en sable. Cette méthode

d'intervention est d'abord efficace car elle fait disparaître la cause première de la dégradation du bourrelet dunaire par les vagues, en l'occurrence le déficit sédimentaire de la plage. Elle offre en outre l'avantage, en se bornant à assister le jeu normal des processus dynamiques, de ne pas modifier l'environnement par l'implantation d'ouvrages, donc de conserver le paysage à l'état de nature».

En conclusion de l'expertise scientifique, le Professeur Paskoff suggère la réalisation d'une étude sur l'évaluation des dégâts matériels consécutifs à une submersion de tempête pour justifier du coût de la méthode de rechargement artificiel de la plage.

b) Le choix d'une méthode expérimentale de protection côtière en adéquation avec les financements disponibles.

Trois solutions sont envisagées pour protéger et restaurer la dune bordière de Fort Mahon :

- l'application des techniques de protection du trait de côte déjà expérimentées dans le passé, soit le prolongement de la combinaison associant une digue longitudinale et des épis ; le coût de ce type de protection est évalué à 500 millions de francs et 1 millions de francs pour l'entretien annuel.

- un rechargement artificiel de la plage en sédiments (méthode proposée par Paskoff) ; le coût de cette solution est évalué à 35 millions de francs, avec un renouvellement tous les 10 ans.

- l'expérimentation d'une digue en rondins posée à la base du versant littoral de la dune bordière en association avec des épis et un ouvrage longitudinal de haut de plage ; cette combinaison de techniques, en partie expérimentale, est évaluée à 13 millions de francs.

Le choix final de la méthode de protection mise en oeuvre pour protéger et restaurer la dune bordière résulte des disponibilités financières des différents partenaires institutionnels engagés dans ce projet (figure 113) et correspond à la dernière solution technique proposée. L'engagement financier des différents acteurs est définitivement acquis à partir de l'obtention

par le Conservatoire du Littoral d'un soutien de la Communauté européenne au projet (accordé le 1^{er} juin 1992, au titre du projet NORSPA¹-comité de gestion Life).

Une première phase de construction des ouvrages est commencée à la fin de l'année 1993 sur une portion de la dune bordière pour évaluer leur efficacité (Photo 46) ; le coût de cette première phase expérimentale s'élève à 4 millions de francs. La phase expérimentale du projet de protection et de restauration de la dune bordière comprend trois types d'intervention :

1) la mise en place d'ouvrages de protection du trait de côte sur une longueur de 800 m. L'objectif est le même que celui recherché lors de la construction de la digue et des épis sur la partie occidentale du littoral de Sangatte ; implanter un ouvrage de haute plage pour limiter le recul du trait de côte en s'opposant à l'action du déferlement dans le profil et aux attaques frontales de la houle et, construire des épis pour intercepter une partie des sédiments déplacés parallèlement au trait de côte par la dérive littorale. La combinaison de ces deux types d'ouvrages doit favoriser l'engraissement de la plage et limiter les conséquences morphogéniques des tempêtes. Trois épis, d'une longueur de 100 m, ont été implantés sur ce secteur en continuité avec les épis construits en 1954 (Chapitre 7).

La conception de défense côtière du Conservatoire du Littoral et le soutien financier accordé par la Communauté européenne dans le cadre du programme NORSPA imposent le choix de techniques de protection côtière s'intégrant le mieux possible dans le paysage dunaire et relevant de l'expérimentation. Pour répondre à ces deux impératifs, deux ouvrages ont été implantés en combinaison avec les trois épis :

- un digue en rondins de bois est mise en place à la base du versant littoral de la dune bordière sur une longueur de 200 m et posée sur un géotextile (Photo 47).

- un ouvrage expérimental est implanté sur le haut de plage, à environ une distance de 10 m du pied de la dune bordière et sur une longueur de 200 m. Il est composé de deux rangées de pieux de bois espacés d'un mètre (Photo 48). L'objectif recherché par la construction de cet

¹ Le programme NORSPA a pour objet l'octroi de soutiens financiers par la Communauté européenne, en vue de l'amélioration et de la protection de l'environnement des zones côtières et des eaux côtières de l'Océan Atlantique et ce, intervenant pour : des projets de démonstration, des expériences pilotes, des missions d'assistance technique, des mesures destinées à améliorer la qualité et la surveillance du milieu concerné.

ouvrage est l'interception d'une partie des sédiments transportés par le jet de rive, perpendiculairement au trait de côte.

2) des travaux sur la dune bordière dont l'objectif est une transformation du profil transversal pour créer des conditions susceptibles de s'opposer à une submersion de tempête. Ces travaux consistent en un rechargement artificiel de la dune en sable (comblement des formes de déflation éolienne) et un reprofilage de la dune. Une phytostabilisation de la dune bordière est assurée par des plantations d'oyats. Les vestiges de la Seconde Guerre Mondiale sont détruits à l'intérieur du périmètre de l'expérimentation.

3) un contrôle de la fréquentation du site par le public ; celui-ci est assuré par la construction d'un platelage (un accès direct entre l'arrière-dune et la plage) et la pose de clôtures-ganivelles dont l'objectif est de fermer le cordon dunaire à une fréquentation anarchique.

Ces trois aspects du programme expérimental ont été conjointement mis en oeuvre pendant l'hiver 1993-1994. Nous avons collaboré à l'étude engagée par le Service Maritime pour apprécier le comportement de ces ouvrages et leur rôle sur les transferts sédimentaires et la transformation de la dune bordière

C) Etude de l'impact des ouvrages de protection et des méthodes de restauration de la phase expérimentale sur l'évolution du couple plage-dune bordière entre 1993 et 1996.

Nous avons déjà présenté dans le chapitre 4 les interactions entre le couple plage-dune bordière et le budget sédimentaire. La formation et le rôle des dunes bordières ont été rappelées par Paskoff (1993a). Les interactions entre la dune bordière et la plage se manifestent par un double aspect :

- la dune bordière forme un réservoir sédimentaire qui constitue un facteur limitant du démaigrissement de la plage pendant une tempête ; le sable prélevé sur la dune pendant une tempête s'accumule sur l'avant-plage et limite alors le déferlement sur le haut de plage.

- la dune bordière joue un rôle de digue naturelle et protège d'une submersion potentielle l'arrière-pays situé à une altitude inférieure au marées hautes de vive-eau.

Psuty (1988) a conceptualisé les interactions entre le budget sédimentaire et le couple plage-dune bordière : les variations dans la morphologie de la dune et de la plage sont liées à la disponibilité en sédiments. Carter (1988) a précisé les principales modifications anthropiques des transferts sédimentaires entre la plage et le milieu dunaire (figure 114).

Nous avons montré dans le chapitre 3 les caractères morphologiques et phytogéographiques de la dune bordière de Sangatte caractérisant une instabilité importante du milieu dunaire.

Les ouvrages de défense du trait de côte implantés dans le cadre du programme expérimental sont localisés sur la figure 115 et les différents profils sédimentaires levés sont présentés sur les figures 116 à 127 (ceux-ci sont appelés par leur numéro dans le commentaire). Un résumé du commentaire des profils est présenté sur la figure 128.

1) L'impact des épis sur l'évolution sédimentaire de la plage.

a) Principes généraux de l'impact des épis sur l'évolution de la plage et règles de dimensionnement.

Compte tenu de la solidarité entre la plage et la dune bordière par l'intermédiaire des transferts sédimentaires, un aspect important de la restauration de la dune bordière concerne les interventions provoquant un engraissement de la plage. Les ouvrages implantés perpendiculairement au trait de côte (ouvrages transversaux), appelés épis, interceptent une partie des sédiments transportés par la dérive littorale. De nombreux auteurs ont précisé les effets de l'implantation de ces ouvrages sur les modifications du profil sédimentaire de la plage (Migniot, 1982 ; Carter, 1988 ; Horikawa, 1988 ; Corbau, 1995 ; Lejeune, 1995 ; Moutzouris, 1995) : à l'amont du transit littoral, les sédiments s'accumulent et une érosion locale se produit à l'aval ; cette érosion est atténuée par l'implantation d'épis successifs (figure 115). L'efficacité des épis est, d'après Carter (1988), déterminée par deux principaux facteurs :

- l'espacement entre les épis : un trop court espacement provoque une dispersion de sédiments vers le large et un espacement trop long provoque une séparation de l'épi par rapport au haut de plage.

- la longueur des épis : sur une plage de sable, une longueur de 100 à 150 m permet d'obtenir, d'après Migniot (1982) de bons résultats. Pour limiter l'érosion en aval, les épis doivent être relativement perméables (espacement entre les pieux) et la longueur des trois ou quatre derniers épis réduite.

D'après Carter (1988), en règle générale, le rapport longueur/espacement pour des épis implantés sur des littoraux sableux est de 1/4. D'après De Wolf *et al.* (1993), l'impact des épis sur les variations sédimentaires de la plage est limité dans le temps et ne détermine pas une influence sur l'évolution à long terme de la ligne de rivage. Lalaut (1992) a étudié sur l'ensemble du littoral français les principes de fonctionnement et l'efficacité des ouvrages de protection des littoraux sableux. Nous présentons en annexe (n°4) sa synthèse sur les règles concernant le dimensionnement des épis.

b) Présentation de l'évolution de la plage de Sangatte depuis l'implantation des trois épis.

Les trois épis implantés sur la plage de Sangatte, dans le cadre du programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière, ont une longueur de 100 m. L'épi n°1 a été implanté à l'extrémité occidentale du trait de côte concerné par la phase expérimentale. Les profils n°2 et n°3 ont été levés respectivement à l'ouest et à l'est de l'épi sur une longueur de 100 m environ. Les variations topographiques dans le profil se situent entre 1 à 2 m d'épaisseur. Un engraissement important du haut de plage est observé de part et d'autre de l'épi en raison de la bonne perméabilité de l'ouvrage. Les profils n°5 et n°6 levés de part et d'autre de l'épi n°3, situé à l'extrémité orientale du secteur d'intervention, traduisent aussi un engraissement important du haut de plage ; à l'est de l'épi n°3, le profil 6 montre une tendance à l'érosion dans la partie basse.

L'épi n°2 a été implanté, en association avec l'ouvrage expérimental de haute plage. Le profil n°4, levé à l'est de cet épi, montre l'inefficacité de cet ouvrage, on n'observe pas d'évolution significative dans le profil.

Les trois épis implantés sont des épis courts dont l'impact sur le transit littoral se situe au niveau des sédiments transportés par «jet de rive» ; compte tenu de la longueur importante de l'estran, la longueur des épis ne permet pas d'intercepter le transit littoral qui s'effectue dans la zone de déferlement.

Le profil n°13 a été levé entre les épis n°1 et n°2 et traduit encore l'influence de l'épi n°1 par un engraissement du haut de plage.

Les profils n°1 et n°7 ont été levés à l'extérieur du secteur expérimental. Le profil n°1 a été levé à l'est d'un épi construit en 1954. Les variations dans le profil sont peu significatives et traduisent la saturation de l'ouvrage : il est recouvert de sable dans sa partie haute et n'intercepte plus une partie de transit littoral. Le profil n°7 a été levé dans la partie aval du secteur expérimental qui n'a pas été concernée par l'implantation d'ouvrages de protection du trait de côte. De 1993 à 1996, on observe un engraissement du haut de plage et un démaigrissement de la partie moyenne du profil, conséquence de l'implantation des ouvrages de la phase expérimentale en amont.

Les trois épis implantés au droit de la dune bordière ont donc bien fonctionné depuis leur implantation à la fin de l'année 1993. Ce type d'épi, dont la longueur est courte compte tenu de la longueur de l'estran, permet d'obtenir un engraissement important du haut de plage.

2) L'impact des ouvrages expérimentaux sur l'évolution sédimentaire du haut de plage.

a) Principes généraux de l'impact des ouvrages longitudinaux de haut de plage et règles de dimensionnement.

Les ouvrages longitudinaux implantés sur le haut de plage ont pour objectif de limiter le recul du trait de côte en s'opposant aux attaques frontales de la houle. Les digues et les

enrochements sont les principaux ouvrages longitudinaux implantés le long du trait de côte. Ces ouvrages sont adaptés à la protection des secteurs urbanisés du littoral mais ont une influence néfaste sur l'évolution sédimentaire de la plage adjacente : implantés au droit des secteurs dunaires, ils constituent un obstacle dans les transferts sédimentaires entre la dune et la plage et risquent à terme de déstabiliser les deux systèmes. D'après Migniot (1982), les ouvrages longitudinaux doivent répondre à plusieurs impératifs pour ne pas provoquer un démaigrissement trop important de la plage adjacente :

- être peu réfléchissants (ouvrage de faible pente).
- ne pas être imperméables.
- ne pas être submersibles par les vagues.

Un second type d'ouvrage longitudinal est représenté par les brise-lames. Ils sont traditionnellement implantés parallèlement au trait de côte sur le bas-estran ou sur l'avant-côte quand les transferts sédimentaires sont importants dans le profil et responsables d'un démaigrissement de la plage. D'après Migniot (1982), les brise-lames agissent :

- en évitant la déperdition de sédiments vers le large.
- en absorbant ou réfléchissant tout ou partie de la houle.
- en diffractant les houles et en amenant une modification des mouvements sédimentaires.

Ces ouvrages déterminent, en arrière du secteur où ils sont implantés, une zone de calme favorisant la sédimentation et diminuent l'énergie de la houle en provoquant son déferlement avant qu'elle n'atteigne la plage. Lalaut (1992) a réalisé une synthèse sur les règles de dimensionnement des ouvrages de haut de plage et des brise-lames que nous présentons en annexe (respectivement n°4 et n°5).

b) Présentation de l'influence des ouvrages de haut de plage implantés en 1993 sur la plage de Sangatte.

Compte tenu du caractère expérimental du projet de protection de la dune bordière de Sangatte et des impératifs liés à la politique de protection des milieux dunaires poursuivie par le

Conservatoire du Littoral (Chapitre 7), les ouvrages longitudinaux implantés en 1993 se différencient des ouvrages traditionnels présentés précédemment.

La digue en rondins de bois

Le traditionnel enrochement a été remplacé à la base du versant littoral de la dune bordière par une digue en rondins de bois déjà expérimenté sur le littoral du Marquenterre. La digue a une longueur de 200 m et une pente de 3/2. Les rondins sont d'une longueur de 4 m et enfoncés dans le sable sur une profondeur de 2,5 m ; l'imperméabilité est assurée par la pose d'un géotextile en arrière de la digue. Ce type d'ouvrage n'élimine pas complètement l'influence néfaste de l'enrochement dans la rupture entre le couple plage-dune bordière mais il est toutefois plus perméable et s'intègre mieux dans le paysage de la dune. Cependant, il n'offre pas la sécurité des enrochements en cas de houles de tempête. Le profil n° 9 a été levé le long de la digue sur le haut de plage. L'engraissement du haut de plage est très significatif dans la partie occidentale : c'est une conséquence de l'implantation de l'épi n°1 (Photos 49-a et 49-B).

L'ouvrage longitudinal de haut de plage de caractère expérimental

Un ouvrage longitudinal a été implanté sur le haut de plage à une distance d'environ 10 mètres du pied de dune à titre expérimental. L'objectif est de reproduire l'effet d'un brise-lames classique mais avec un ouvrage implanté sur le haut de plage et constitué de deux rangées de pieux de bois disposées en quinconce. Cet ouvrage ne peut comme les brise-lames traditionnels intercepter une partie du transit littoral qui s'effectue dans la zone de déferlement ; son influence se manifeste sur les mouvements de sédiments transversaux (influence sur le jet de rive). Les profils n°10 et n°11 ont été levés respectivement devant l'ouvrage longitudinal et entre l'ouvrage et le pied de dune. Ces profils traduisent un engraissement très important du haut de plage entre 1993 et 1996.

Lejeune (1995) a noté plusieurs remarques concernant l'influence de cet ouvrage :

- il permet de protéger le bas de dune contre l'érosion éolienne.

- l'implantation d'un épi en T à la place de l'ouvrage expérimental aurait peut être augmenté son efficacité. D'après Migniot (1982), un épi en T combine les effets des épis et des brise-lames en associant une influence sur le déplacement des sédiments parallèlement au trait de côte et dans le profil.

D) L'engagement du Conservatoire du Littoral sur le littoral de Sangatte intégré dans le temps long de la protection côtière : analyse critique.

Notre objet n'est pas de juger de l'action des hommes en charge des décisions concernant la gestion de la ligne de rivage ; nous leur sommes redevables de nous avoir permis de réaliser cette étude, en particulier les Ingénieurs et Techniciens du Service Maritime de Boulogne-sur-Mer. D'après le propos de Miossec (1993), «ce qui mérite critique, c'est la logique d'un système et jamais la compétence des hommes qui l'animent». Le programme expérimental de protection de la dune bordière de Fort-Mahon représente la dernière étape dans le processus d'anthropisation du littoral de Sangatte qui a commencé quatre siècles plus tôt. Nous proposons d'intégrer ce programme dans le temps long de la protection côtière pour montrer à partir de l'analyse présentée précédemment ce qui relève des permanences et des changements dans les rapports entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte.

Le plus grand changement dans le traitement du recul de la dune bordière concerne le cadre réglementaire de l'intervention humaine sur le trait de côte. Miossec (1993, 1994a, 1995) a analysé ce changement à travers la présentation des quatre cercles du système de protection côtière en France (chapitre 1). L'évolution des acteurs institutionnels concernés par la défense du trait de côte et le financement des ouvrages traduisent ce changement (figure 113). Miossec a rappelé la succession des événements et le cadre réglementaire qui caractérisent les rapports entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte avant le début des années 1970 :

«Tout commence lorsque les tempêtes viennent menacer les biens...la question de fond n'est pas seulement dans la nature de l'érosion mais bien dans la capacité à financer des ouvrages coûteux. Le cheminement de la décision combine un aspect politique (intervention du Maire) et administratif (intervention du Service Maritime)»

Dans l'analyse des conditions qui ont amené le Conservatoire du Littoral à élaborer le programme expérimental, des éléments montrent une permanence dans le cheminement de la décision :

«La dune de Sangatte constitue le seul rempart naturel contre la pénétration de la mer dans l'arrière-pays qui est un polder naturel de plusieurs milliers d'hectares. En 1953, à l'occasion de phénomènes météorologiques exceptionnels, la dune a cédé et l'arrière-pays a été inondé. Ces événements ont provoqué : - la création du Syndicat des digues et dunes qui a compétence pour protéger l'ensemble de l'arrière-pays contre l'invasion marine,

- la réalisation d'importants travaux (digues, épis).»

Cet extrait du rapport réalisé par le Conservatoire pour présenter son travail de réflexion en 1993 traduit une conception des rapports entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte très proche de celle de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis, au milieu du XIX^{ème} siècle : la protection mise en oeuvre sur le littoral a pour objectif principal de défendre le territoire des Wateringues. D'après ce rapport, l'anthropisation du littoral a commencé en 1953 ; une critique importante à la réflexion élaborée par le Conservatoire du Littoral concerne l'absence de prise en compte d'une histoire des rapports entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte qui a commencé en 1598 ; l'expérience acquise par le Service Maritime dans la défense du trait de côte n'est pas intégrée à la réflexion du Conservatoire du Littoral. La tempête de 1953 n'a pas provoqué la création de l'Association syndicale des digues et dunes du Calaisis (créée en fait en 1818) et les travaux mentionnés ont été mis en place à partir de 1598, pour la digue, et 1922, pour les épis. Par ailleurs, notre analyse des dégâts provoqués par la tempête de 1953 sur le littoral de Sangatte a montré la pondération nécessaire des effets météorologiques par les conséquences de l'Occupation allemande sur le littoral pendant la Seconde Guerre Mondiale. Les tempêtes sont, cependant, toujours considérées comme l'événement déterminant de l'évolution du trait de côte ; leurs conséquences

morphogéniques justifient le programme expérimental. Néanmoins, les travaux projetés pour protéger et restaurer la dune bordière sont, par avance, jugés inefficaces en cas de tempête :

«Les travaux devraient démarrer en principe dans le courant de l'automne 1993. Bien que non souhaitée, une tempête d'hiver en 1994 permettrait ainsi d'évaluer les résultats obtenus par ces premiers travaux d'expérimentation afin de poursuivre ou de faire évoluer les programmes de travaux à mettre en oeuvre ultérieurement et sous réserve que les partenaires financiers, région Nord-Pas-de-Calais et département du Pas-de-Calais, assurent ensuite le relais financier de l'opération.».

Cet extrait du rapport rédigé par le Conservatoire du Littoral est éloquent :

- il témoigne d'une continuité dans la méthode choisie pour protéger la zone littorale contre les tempêtes. Les ouvrages, dont on ne connaît pas les conséquences précises sur l'évolution sédimentaire du secteur de côte et leur comportement pendant une tempête, sont expérimentés sur une portion du trait de côte avant d'être généralisés. Le Conservatoire du Littoral ont procédé de la même manière que les Ingénieurs du Service Maritime en 1922 lors de la construction des épis.

- il témoigne du rôle toujours fondamental de la capacité de financement dans la mise en oeuvre du projet de protection et de restauration de la dune bordière.

Enfin, l'implantation des ouvrages dans le cadre de la phase expérimentale, dont le coût est évalué à 4 millions de francs, n'est pas précédée d'une étude des conséquences des travaux sur les transferts sédimentaires et sur l'évolution des secteurs adjacents. Par ailleurs, le secteur de côte choisi pour cette expérimentation n'est pas celui présentant le risque potentiel le plus important en cas de tempête et la plus grande densité de formes d'érosion éolienne. L'analyse des photographies aériennes avant les travaux montre un gradient ouest-est dans l'instabilité morphologique et phytogéographique des milieux dunaires : la partie orientale de la dune bordière présente le plus grand état d'instabilité (Chapitre 4) et la proximité de l'agglomération de Calais, en arrière celle-ci, expose une zone très urbanisée au risque potentiel de submersion pendant une tempête. C'est cependant la partie centrale de la dune bordière qui est choisie pour l'application de la phase expérimentale : celle-ci coïncide avec la propriété du Conservatoire du littoral. L'intervention géotechnique sur la dune bordière de Sangatte n'est pas envisagée dans le

cadre géographique de l'évolution naturelle du littoral qui s'inscrit à l'intérieur de cellules sédimentaires (Chapitre 5) mais en fonction de limites administratives.

Le projet de protection et de restauration de la dune bordière de Fort-Mahon, commencé en 1993 à l'initiative du Conservatoire du Littoral, s'intègre donc dans la continuité des pratiques de traitement du recul de la ligne de rivage et de l'action du Service Maritime ; de nombreux aspects constituant ce projet ne caractérisent pas un changement dans les relations entre les sociétés humaines et la dynamique du littoral. Le cadre réglementaire a changé avec la création du Conservatoire du Littoral en 1975, «bras armé de l'Etat en matière de protection du littoral» (Miossec, 1993). Les lois de décentralisation de 1982 ont élargi le champ de compétences des collectivités territoriales en matière de protection du littoral. La conception de la défense côtière a considérablement évolué depuis une trentaine d'années sous l'impulsion du Conservatoire du Littoral. Mais, de la conception aux pratiques sur le terrain, ces changements sont plus nuancés (Miossec, 1995) ; il s'agit de nuances car trois aspects interfèrent toujours avec les nouvelles conceptions de la défense côtière :

- les possibilités de financement qui déterminent finalement le choix des méthodes de protection côtière.

- les frontières administratives qui sont le cadre géographique de l'intervention sur le trait de côte.

- l'absence de prise en compte de l'évolution du littoral sur le long terme ; pas seulement de l'évolution naturelle dans le cadre des cellules sédimentaires mais aussi des rapports élaborés dans l'histoire entre cette évolution naturelle et les sociétés humaines.

II) La protection du lotissement des Ecardines : de l'urbanisation à la protection du cordon dunaire sur le littoral du Platier d'Oye (1970-1996).

Nous avons souligné dans la deuxième partie la singularité du littoral de Oye-Plage sur le littoral de la plaine maritime flamande. En 1972, un lotissement de 153 maisons individuelles est construit à l'arrière du cordon dunaire du Platier d'Oye sur une superficie de 15 hectares

(figure 129). Sur le littoral de la plaine maritime flamande, les années 1970 sont marquées par un processus d'urbanisation des milieux dunaires (Dewailly, 1985 ; Beaugrand, 1995) ; sur le littoral de Sangatte, dans un contexte géomorphologique similaire à celui observé sur le littoral de Oye-Plage (Deuxième partie), la construction d'un village-vacances en arrière de la dune bordière, en 1977, et l'extension de l'agglomération de Calais (secteur de Blériot) participent à ce mouvement d'urbanisation. La construction du lotissement des Ecardines (Photo 50) est le résultat d'un projet élaboré au milieu des années 1960 par la municipalité de Oye-Plage dont l'objectif était la création d'une station balnéaire sur le littoral (décision municipale du 10 août 1965).

Sur le littoral du Platier d'Oye, l'étude des relations entre les sociétés humaines et l'évolution du littoral par le biais de la construction des ouvrages de défense du trait de côte ne peut pas être réalisée dans la même perspective temporelle que sur le littoral de Sangatte. La «Mollière à Salade», zone littorale non soustraite à l'influence marine et régulièrement submergée, est devenue le Platier d'Oye en 1925 en relation avec son endiguement définitif. En 1913, un projet de concession d'endiguement et d'aliénation de la «Mollière à Salade» est élaboré par la Préfecture du Pas-de-Calais et la Mairie de Oye-Plage : la mise aux enchères est prononcée le 3 avril 1924 à la faveur de Monsieur Fauvet. Cependant, le nouveau propriétaire demande par une pétition en date du 12 juin 1924, la location des terrains situés à l'extrémité nord-orientale de la nouvelle concession ; ceux-ci représentent, compte tenu de leur altitude, la protection naturelle des terrains qu'il a acquis à charge d'endiguement. Le propriétaire de la concession souhaite ainsi entretenir les digues établies pour l'endiguement. Le bail de location est établi en janvier 1925.

Compte tenu de l'endiguement tardif, au milieu des années 1920, de la «Mollière à Salade», les relations élaborées entre l'évolution de la dune bordière et les sociétés humaines ont une histoire très courte (figure 130) : la première tentative de contrôle de son évolution date de la fin des années 1980. Par ailleurs, celle-ci est la conséquence d'un projet élaboré par la Municipalité de Oye-Plage au début des années 1960 concernant la création d'un lotissement en arrière de la dune : en 1959, la commune souhaite acquérir la parcelle située au nord du Platier

d'Oye en vue de réaliser un projet d'aménagement de station balnéaire ; celle-ci devient propriété de la commune le 7 mars 1964.

Les 13 et 14 novembre 1993, une tempête provoque un recul important du cordon dunaire : la lutte contre le risque potentiel de submersion du lotissement est affirmée comme une priorité par la Municipalité de Oye-Plage (annexe 7). La conception des rapports entre l'évolution du trait de côte et les sociétés humaines a radicalement changé par rapport à celle développée dans les années 1960-1970. L'analyse de ce changement constitue le premier aspect de notre étude. Si le contexte géomorphologique, les effets des tempêtes et le risque de submersion sont identiques entre les littoraux de Oye-Plage et de Sangatte, le projet de protection et de restauration de la dune bordière de Fort-Mahon, développé par le Conservatoire du Littoral et analysé précédemment, n'a pas son équivalent sur le littoral de Oye-Plage. Nos études, sur ce littoral, l'évolution des méthodes de protection du cordon dunaire et des conceptions des acteurs institutionnels par rapport à l'évolution du trait de côte.

A) Du lotissement des Ecardines à la Réserve naturelle et du Service Maritime au Conservatoire du Littoral.

Au début des années 1960, la commune de Oye-Plage est acquéreur des terrains situés en arrière du cordon dunaire ; ces terrains sont vendus en 1966 à la Société immobilière des Ecardines : un arrêté préfectoral du 14 février 1969 autorise la construction d'un lotissement de 153 parcelles en arrière du cordon dunaire. Ce lotissement est, dans le projet de développement de la commune de Oye-Plage, une première étape qui doit mener à la construction d'équipements scolaires et à l'extension du lotissement. Une année après la construction de ce lotissement, le compte rendu de la séance du Conseil Municipal du 16 novembre 1973 traduit un changement de politique municipale : le maintien d'une «coupure verte» dans le projet d'extension de la zone industrialo-portuaire de Calais-Dunkerque n'est pas compatible avec l'extension du projet de développement des infrastructures sur le littoral de Oye-Plage. L'urbanisation du Platier d'Oye et le projet de station balnéaire sont abandonnés sans que soit

remise en cause la construction du lotissement des Ecardines. En 1979, la plus grande partie du cordon dunaire et des zones humides du littoral (environ 128 ha) du Platier d'Oye est acquise par le Conservatoire du Littoral (figure 131).

Par deux aspects, la situation des littoraux de Sangatte et de Oye-Plage est similaire :

- le contexte géomorphologique détermine un risque potentiel de submersion de la zone arrière littorale pendant une tempête.

- l'acquisition, à la fin des années 1970, d'une partie du cordon dunaire par le Conservatoire du Littoral détermine un changement dans les relations entre les acteurs institutionnels et l'évolution du trait de côte.

Néanmoins, nous avons déjà souligné dans le chapitre 7 une différence essentielle entre ces deux portions du littoral de la plaine maritime flamande. Sur le littoral de Sangatte, l'évolution du trait de côte s'est accompagnée, depuis la fin du XVI^{ème} siècle, d'une anthropisation du littoral dont les ouvrages de défense du trait de côte sont un aspect important ; les Ingénieurs du Service Maritime ont essayé de contrôler l'évolution du trait de côte (construction de digues) et de l'estran de Sangatte (construction d'épis) pour prévenir le risque de submersion et ralentir le recul du trait de côte. Sur le littoral du Platier d'Oye, la première intervention du Service Maritime et la première implantation d'ouvrages de défense du trait de côte datent de 1988.

De la fin des années 1970, marquée par l'émergence du Conservatoire du Littoral, à la fin des années 1980, marquée par la première intervention du Service Maritime dans l'évolution du trait de côte, les relations entre les acteurs locaux et le littoral sont dominées par deux types de rapports :

- une relation conflictuelle entre les défenseurs d'une activité traditionnellement pratiquée à l'intérieur du Platier d'Oye, la chasse, et le Conservatoire du Littoral qui souhaite la création sur ses terrains d'une Réserve naturelle (projet élaboré en 1983).

- une prise de conscience collective des tendances de l'évolution du trait de côte, dès 1981 (progradation des deux extrémités du platier et érosion de la partie centrale au droit du lotissement), et la mise en oeuvre de travaux de restauration et de protection du cordon dunaire.

B) De la restauration des milieux dunaires à la création d'une Réserve naturelle et à la construction d'ouvrages de défense du trait de côte (1981-1988).

1) Le rôle du Conservatoire du Littoral dans la transformation des rapports entre les acteurs institutionnels et le littoral.

La première conséquence de l'acquisition des dunes du Platier d'Oye par le Conservatoire du Littoral est la réalisation de travaux de restauration des milieux dunaires de 1981 à 1982. Ces travaux consistent en un reprofilage du cordon dunaire, la fixation des dunes par des plantations d'oyats et le contrôle de la fréquentation par la pose d'ouvrages de franchissement ; ils ont été financés par le Conservatoire du Littoral et la commune de Oye-Plage (Duval, 1986). En 1985, trois ans après la réalisation des travaux de restauration, Duval (1986) établit un bilan de leur efficacité :

- «le fascinage en front de mer et une partie des plantations d'oyats ont été balayés quelques temps après leur mise en place par de violentes tempêtes de vive-eau ; un recul suffisant n'avait pas été pris par rapport au niveau des marées hautes».

- «les plantations d'oyats et d'arbustes établies la première année ont souffert du piétinement».

Sur le cordon dunaire du Platier d'Oye et particulièrement au droit du lotissement des Ecardines, les travaux de restauration des milieux dunaires et surtout de la dune bordière ont été peu efficaces et n'ont pas entraîné une transformation importante des milieux dunaires.

La comparaison des conditions de mise en oeuvre de ces travaux avec le projet expérimental de restauration de la dune bordière de Sangatte met en exergue les limites du projet élaboré par le Conservatoire du Littoral sur le Platier d'Oye : les interactions entre la dune

bordière et la plage par l'intermédiaire des transferts sédimentaires (Chapitres 4 et 5) ne sont pas prises en compte et s'expriment par l'absence de partenariat entre le Conservatoire du Littoral et le Service Maritime. Le non traitement du recul de la ligne de rivage et du déficit sédimentaire de la plage compromet à terme l'efficacité des travaux de restauration de la dune bordière.

La deuxième conséquence de l'acquisition des milieux dunaires par le Conservatoire du Littoral est le développement à partir de 1980 d'un projet de création d'une Réserve naturelle sur le Platier d'Oye. Par ce projet, le Conservatoire du Littoral veut répondre à deux objectifs :

- transformer la gestion actuelle des milieux dunaires tournée essentiellement vers la pratique de la chasse et mieux assurer leur protection et leur conservation dans le cadre de la philosophie de protection côtière du Conservatoire.

- mettre en valeur la situation de ce littoral dont la zone saumâtre représente un intérêt exceptionnel sur le plan ornithologique : avant les estuaires picards, le Platier d'Oye est la première zone humide importante depuis le delta de l'Escaut sur la route des migrations d'oiseaux.

En regard du projet de développement d'une station balnéaire exposé par la Municipalité de Oye-Plage au milieu des années 1960, c'est là un changement radical dans la conception des rapports entre les sociétés humaines et le littoral. Malgré l'opposition des chasseurs et le changement de position de la Municipalité de Grand-Fort-Philippe ne souhaitant plus intégrer à la réserve une partie de ses zones humides, la Réserve naturelle du Platier d'Oye est créée en 1987 (Décret n°87-533 du 9 juillet 1987) et s'étend sur une superficie de 391 ha (figure 131). Le statut réglementaire du Platier d'Oye est complété en 1991 par l'intégration du périmètre de la réserve dans la ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Faunistique et Floristique) n°00730000.

La création d'une Réserve naturelle sur le littoral du Platier d'Oye détermine une situation juridique très différente de celle présente sur le littoral de Sangatte : cette différence s'exprime surtout à Oye-Plage par le rôle des associations de défense de l'environnement. C'est le troisième cercle de la protection côtière défini par Miossec (1993, 1994, 1995).

2) La première intervention du Service Maritime sur l'évolution du trait de côte.

Les premiers ouvrages de protection du trait de côte sont construits en septembre 1988 par le Service Maritime. Nous avons analysé les conditions de leur implantation, le choix de la méthode de protection et leur impact sur l'évolution de la plage et de l'estran. L'analyse de l'évolution du trait de côte réalisée par le Service Maritime souligne la progradation des deux extrémités du Platier d'Oye et le recul de la partie centrale, attribué à un démaigrissement de la plage et de l'estran. La dune bordière présente des formes d'érosion éolienne importante et le rôle des tempêtes est souligné dans l'évolution rapide de ces formes (par exemple, la tempête des 22 et 23 novembre 1984). Aucune protection de haut de plage n'est envisagée ; le choix de la protection consiste en l'implantation d'ouvrages transversaux (trois épis) pour favoriser l'engraissement du haut de plage et soustraire le versant littoral de la dune bordière à l'érosion marine. Les trois épis, dont l'implantation est localisée sur la figure 133, ont une longueur de 100 m et sont espacés de 200 m ; ils protègent un linéaire de côte de 500 m.

Des profils de la plage de part et d'autre de ces trois épis ont été réalisés par le Service Maritime à partir de 1989 et jusqu'en 1994 pour analyser leur impact sur les déplacements sédimentaires. Un traitement informatique des profils permet d'identifier les zones en érosion et en accrétion entre deux levés topographiques (figures 133). L'analyse de l'impact des trois épis sur l'évolution sédimentaire de la plage montre :

- une efficacité des épis n°2 et n°3 entre 1989 et 1990, l'engraissement du haut de plage est satisfaisant.

- de 1990 à 1992, les épis n'ont plus un impact homogène et constant sur l'évolution sédimentaire de la plage. Les épis n°2 et n°3 ne provoquent plus un engraissement important ; on observe, à l'ouest de l'épi n°1, une érosion importante entre mai et octobre 1990 et une accrétion d'octobre 1990 à février 1992.

- à partir de 1992, les trois épis sont inefficaces face à l'évolution sédimentaire de l'estran ; un démaigrissement généralisé est observé de part et d'autre des trois épis.

L'absence d'entretien des épis et le recul du trait de côte donnent aujourd'hui à ces ouvrages, toujours en place sur l'estran, une complète inefficacité. Nous avançons deux raisons principales pour expliquer cette inefficacité des épis :

- l'absence d'étude préalable sur les conditions hydro-sédimentaires locales n'a pas permis de choisir l'emplacement le plus adéquat pour l'implantation de ces ouvrages, en fait expérimentaux. Cet emplacement a été déterminé en fonction de la localisation du lotissement des Ecardines en arrière de la dune bordière.

- compte tenu de la morphologie de la plage et de l'estran, la longueur des épis, pas assez importante, ne leur permet pas d'intercepter une partie du transit sédimentaire qui s'effectue dans la zone de déferlement.

La tempête des 13 et 14 novembre 1993 a provoqué un recul important du trait de côte (10 m) et un approfondissement des formes d'érosion éolienne du versant littoral de la dune bordière. Le contexte météo-marégraphique (vents de secteur nord et fort coefficient de marée) et le bilan sédimentaire, déficitaire, du haut de plage expliquent l'importance de la morphogénèse associée à cet événement de tempête. Les conséquences morphogéniques de cette tempête sur la dune bordière du Platier d'Oye ont déclenché une prise de conscience du risque potentiel de submersion du lotissement des Ecardines par les habitants et la Municipalité de Oye-Plage. La tempête de novembre 1993 est le point de départ d'un nouveau changement dans les rapports entre les sociétés humaines et l'évolution du trait de côte. Nous étudions les termes de ce changement et comparons les pratiques de gestion développées dans les années 1990 à Sangatte et à Oye-Plage.

C) Les conséquences de la tempête de 1993 sur la mobilisation des acteurs institutionnels et l'anthropisation du littoral.

L'analyse de la délibération du Conseil Municipal de Oye-Plage en date du 24 novembre 1993 (annexe 7) montre les réactions de la Municipalité suite à la tempête de novembre 1993. Cette délibération souligne un aspect important du traitement du recul de la dune bordière

pratiqué sur le littoral du Platier d'Oye depuis, en fait, son acquisition par le Conservatoire du Littoral. La protection du lotissement des Ecardines est assurée par une restauration des milieux dunaires au moyen d'apports de sable sur le cordon dunaire et de plantations d'oyats.

Après la tempête de novembre 1993, «la nouvelle tranche de plantations d'oyats est aujourd'hui compromise. Les deux premières tranches de 1990 et 1992 ont été fortement endommagées. La mer a par endroit réduit le cordon dunaire de près de 10 m» (Délibération du Conseil Municipal de Oye-Plage, 24 novembre 1993). Sur la dune bordière du Platier d'Oye, les plantations d'oyats, toujours recommencées depuis 1981, sont «les plantations de Pénélope». Nous avons déjà souligné précédemment l'inefficacité de la restauration du versant littoral de la dune bordière si cette restauration n'est pas associée à une reconstitution du haut de plage par un apport artificiel de sable ou par la pose d'ouvrages adaptés de protection du trait de côte. La Municipalité de Oye-Plage entrevoit cependant une solution dans la mobilisation de tous les acteurs institutionnels compétents pour gérer le recul du trait de côte et dans la recherche de financements. Le traitement du recul du trait de côte et la restauration de la dune bordière pratiqués sur le littoral de Sangatte par le Conservatoire du Littoral sont évoqués, à mots couverts, tout comme les conséquences de la tempête de 1953, afin de responsabiliser les acteurs institutionnels.

En réponse à la Municipalité de Oye-Plage et à la demande du Préfet du Pas-de-Calais, le Service Maritime réalise une étude des risques et propose des solutions de protection du lotissement des Ecardines (Victor, 1994) ; notre collaboration avec le Service Maritime des ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais a, en fait, commencé après la publication de ce rapport en mars 1994.

1) Les caractéristiques du projet élaboré par le Service Maritime pour la protection du lotissement des Ecardines.

Depuis l'endigement définitif du Platier d'Oye en 1925, le projet de protection du lotissement des Ecardines présenté en 1994 est la deuxième intervention du Service Maritime dans le traitement du recul du trait de côte sur ce littoral, après l'implantation des épis en 1988.

Deux types de risques susceptibles de provoquer des dommages sont étudiés dans ce rapport :

- le recul du cordon dunaire. L'évolution du trait de côte sur le littoral du Platier d'Oye a déjà été présentée dans la deuxième partie ; les facteurs hydrodynamiques et météorologiques sont analysés dans le chapitre 5. La comparaison des missions de photographies aériennes de l'IGN, depuis 1949, et des cartes topographiques montre l'évolution différente des deux extrémités du littoral du Platier d'Oye et de la zone centrale ; respectivement, une tendance à l'accrétion se traduisant par la formation de ceintures de dunes embryonnaires s'oppose au recul constant de la partie centrale évalué à 25 m entre 1968 et 1994. L'évolution du profil dunaire est marqué par une diminution de la largeur de la dune bordière de 1968 à 1994 (respectivement 130 m et 105 m) et une baisse de l'altitude de la crête du versant littoral (respectivement 15,2 m et 14,2 m), (figure 134).

Le suivi sédimentaire de l'estran, réalisé depuis 1989 dans le cadre de l'étude de l'impact des trois épis sur l'évolution du trait de côte, montre (figure 133) un déficit sédimentaire de la plage au droit du lotissement surtout depuis 1992 (cf. ci-dessus).

- le risque de submersion du cordon dunaire et d'inondation du lotissement. Par rapport à la cote d'assise du lotissement, 6,75 m, la cote maximale de la marée observée est de 6,73 m (dans le port de Dunkerque). Dans l'hypothèse d'une surcote déterminée pendant un événement de tempête, l'occurrence des formes d'érosion éolienne et des brèches interrompant la dune bordière détermine un risque important de pénétration des eaux marines à l'intérieur de la zone arrière-dunaire.

D'après Victor (1994), cinq secteurs de la dune bordière du Platier d'Oye sont particulièrement vulnérables : les deux extrémités occidentale et orientale, deux caoudeyres formées au droit du lotissement et le chemin d'accès à la plage à partir du lotissement.

Quatre solutions techniques sont proposées par Victor (1994) pour prévenir le risque de submersion et ralentir le recul du trait de côte :

- la construction d'un cordon d'encrochement longitudinal (ouvrage de haut de plage) sur une longueur de 500 m au droit du lotissement (coût estimé : 1,3 millions de francs). Les conséquences négatives de l'implantation de cet ouvrage sur les transferts sédimentaires entre la

dune bordière et la plage, dont les entreprises précédentes de restauration de la dune bordière ont montré l'importance, sont soulignées. Par ailleurs, un déplacement de l'érosion sur les secteurs adjacents pourrait entraîner, à terme, une artificialisation complète du littoral du Platier d'Oye.

- le reprofilage et la reconstitution complète de la dune bordière afin de rétablir son rôle de digue naturelle (coût estimé : 12 millions de francs).

- la construction de deux digues à l'intérieur du Platier d'Oye (digues de renclôtures), raccordées au cordon dunaire et à la digue Taaf pour prévenir le risque d'inondation (coût estimé : 1,2 millions de francs).

- la réparation et l'imperméabilisation des épis construits en 1988 et la restauration partielle de la dune bordière (comblement des brèches et fixation par des plantations d'oyats).

Aucune des solutions techniques proposées par le Service Maritime n'est en fait directement choisie : l'intervention doit être rapide pour répondre à la pression de la Municipalité et des habitants des Ecardines, elle doit être d'un coût peu élevé compte tenu du faible engagement financier des acteurs institutionnels.

Une première phase de travaux (coût : 260 000 francs) est réalisée en février 1995 et comprend deux types d'intervention :

- le comblement des brèches et leur fixation par des plantations d'oyats.
- le contrôle de la fréquentation par la pose de clôtures.

Ces travaux se limitent sur la partie à la dune bordière située au droit du lotissement des Ecardines. Nous constatons que l'intervention des sociétés humaines sur l'évolution de la dune bordière du Platier d'Oye s'inscrit dans la continuité des pratiques du passé qui n'ont pas abouti à un changement dans l'évolution du trait de côte. Le profil du versant littoral de la dune bordière est caractéristique d'une érosion déterminée par un démaigrissement du haut de plage provoquant un éboulement du front dunaire ; l'apport artificiel de sable et les plantations d'oyats sont inadaptées à la dynamique hydro-sédimentaire de la plage. La localisation de l'intervention,

déterminée par celle du lotissement, n'est pas définie en fonction de la dynamique du trait de côte.

2) Vers la mise en oeuvre d'un programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière du Platier d'Oye ?

Les travaux de restauration de la dune bordière de Sangatte ont, par le succès technique des méthodes appliquées et les financements engagés par tous les acteurs institutionnels de la gestion du littoral, trouvé un prolongement sur le littoral du Platier d'Oye. Le Conservatoire du Littoral et le Service Maritime élaborent un projet expérimental de protection et de restauration de la dune bordière du Platier d'Oye.

Ce projet consiste en l'expérimentation de trois ouvrages sur la plage et l'estran situés au droit du lotissement (ils sont localisés sur la figure 132) :

- la construction d'un épi d'une longueur de 300 m à l'est des trois épis existants, raccordé au bas de la dune bordière, pour intercepter une partie des sédiments déplacés par la dérive littorale.

- la construction d'un ouvrage longitudinal de haut de plage, sur le modèle de l'ouvrage expérimental implanté sur le littoral de Sangatte.

- la construction de trois casiers en rondins de bois et de ganivelles pour piéger une partie des sédiments transportés par le vent.

L'objectif commun à ces trois ouvrages est la recherche d'une accrétion du haut de plage qui n'a jamais été obtenue dans le passé et a toujours compromis les travaux de restauration de la dune bordière. Deux aspects du processus de mise en oeuvre du projet ne permettent pas cependant de le comparer à celui développé sur le littoral de Sangatte :

- la construction des ouvrages sur la plage et la restauration de la dune bordière ne sont pas réalisées simultanément (Photos 51, 52 et 53). La restauration du versant littoral de la dune bordière (réalisée en 1996) précède la construction des ouvrages qui n'est toujours pas effectuée à la fin de l'année 1997 : une tempête provoque un démaigrissement du front dunaire et du haut

de plage, la destruction des ganivelles, des clôtures et des plantations d'oyats et un éboulement généralisé du front dunaire.

- l'absence de réelle mobilisation des acteurs institutionnels, malgré la fréquence des réunions de concertation, ne permet pas d'élaborer un plan de financement comme à Sangatte. Le degré de l'urbanisation de ce littoral est trop important pour provoquer une mobilisation du Conservatoire du Littoral dans sa protection ; le cadre réglementaire constitué par les principes de protection côtière du Conservatoire et les impératifs liés à la Réserve naturelle ne permettent pas une intervention engagée du Service Maritime dans le projet. Par ailleurs, un élément de la mise en oeuvre du projet de protection de la dune bordière du Platier d'Oye est comparable à celui de Sangatte : l'absence d'une étude des conséquences envisageables des travaux sur les portions adjacentes du littoral. Mais à la différence de Sangatte, le cadre réglementaire déterminé par l'existence de la Réserve naturelle a provoqué l'intervention d'une association de protection de la nature (Nord-Nature) relativement au projet expérimental élaboré à Oye-Plage : «les associations de protection de la nature estiment au vu de ce qui a été présenté au Comité consultatif du 25 octobre 1995 :

- que les travaux ont été décidés sans études préalables de leur impact tant sur l'évolution de l'érosion que sur le devenir des écosystèmes de la réserve et de la zone estuarienne.

- que l'apport de sable *ad vitam aeternam* va imposer à l'Etat et aux collectivités une charge financière irréversible sans pour autant garantir, de manière certaine, la sécurité des personnes et de leurs biens».

En réponse à cette requête de «Nord-Nature», une étude d'impact (Tullié, 1995), réalisée par le Service Maritime, précise le rôle attendu de l'implantation des différents ouvrages mais ne répond pas aux principales interrogations sur les conséquences, de fait imprévisibles, d'ouvrages expérimentaux, sur l'évolution du littoral du Platier d'Oye.

Conclusion du chapitre 8.

Concernant la gestion actuelle des milieux dunaires sur le littoral de la plaine maritime flamande, les deux exemples évoqués précédemment montrent les différences importantes dans

les pratiques utilisées selon les portions du trait de côte concernées. A Sangatte, l'élaboration et l'application d'un programme expérimental de protection et de restauration des milieux dunaires représente un cas exemplaire de restauration d'une dune bordière. Sa mise en oeuvre correspond à un changement dans les rapports entre les sociétés humaines et le littoral : l'intervention sur le milieu dunaire est préventive, elle n'est plus consécutive aux dommages causés par une tempête. Néanmoins, son étude a montré certaines permanences : l'importance du volet financier dans les prises de décision (en particulier pour le choix des méthodes de protection côtière) et le principe de l'expérimentation des ouvrages de défense du trait de côte. Par ailleurs, le succès technique du projet ne suffit plus à son extension sur les autres portions du trait de côte : en 1995, le Conservatoire du Littoral fait réaliser une «évaluation socio-économique des biens menacés par l'érosion côtière à Sangatte» (Decouvelaere, 1995). Cette étude évalue à 990 millions de francs les biens bâtis, actuels ou futurs, menacés par une submersion dans la zone en arrière de la dune bordière. Sur le littoral du Platier d'Oye, nous avons montré les difficultés (voire les échecs) de mise en oeuvre d'une politique de protection et de restauration de la dune bordière. Le contexte est cependant sensiblement identique que celui présenté à Sangatte et les acteurs institutionnels engagés dans la négociation sont identiques.

Deux éléments expliquent, selon nous, les différences observées entre les littoraux de Sangatte et de Oye-Plage :

- sur le littoral du Platier d'Oye, le choix d'un projet pour la protection et la restauration des milieux dunaires est rendu difficile par l'importance des conflits dans l'utilisation de la zone littorale et des intérêts antagonistes ; un lotissement de plus de 150 maisons individuelles est installé au centre d'une Réserve naturelle, appartenant au Conservatoire du Littoral et à l'intérieur de laquelle des activités de chasse sont pratiquées.

- il n'existe pas sur le littoral du Platier d'Oye de tradition de protection côtière comme sur le littoral de Sangatte.

Nous avons rappelé sur la figure 135 les différents acteurs de la gestion du littoral dans le Pas-de-Calais. Ce tableau synoptique est un cadre général qui masque un aspect essentiel : les mécanismes de la prise de décision pour l'application des politiques de gestion du littoral sur le

terrain. D'après Lafaye (1993), «un objectif (concernant l'aménagement du littoral) ne se définit jamais dans l'absolu mais toujours dans une négociation avec les autres acteurs partie prenante et, ce quel que soit le pouvoir décisionnel formel dont on dispose». Notre étude de l'évolution des relations entre le littoral et les sociétés humaines permet une approche différente de la connaissance du contexte institutionnel de la gestion du littoral. Le point de départ de notre étude est représenté par le terrain ou la portion du trait de côte sur lequel est conçu et réalisé un projet de protection et/ou de restauration des milieux dunaires. En effet, le jeu des acteurs institutionnels dont le champ de compétences législatif les intègre dans la gestion de l'espace littoral diffère fortement suivant les contextes locaux. La connaissance des organigrammes présentant les compétences, définies par la législation, des différents acteurs institutionnels de la gestion de l'espace littoral (Toulemont, 1994) est très insuffisante pour rendre compte des politiques ou des projets élaborés sur le terrain.

CONCLUSION GENERALE

A la question posée au début ce travail sur la recrudescence actuelle de l'érosion du littoral et sur les moyens techniques ou politiques mis en oeuvre pour lutter contre celle-ci, nous avons utilisé, pour y répondre, trois types d'approches :

- un travail de terrain correspondant à une approche naturaliste ; l'étude de cas concrets représentant des contextes géomorphologiques différents précède les réflexions générales.

- le dépouillement de fonds d'archives s'intégrant dans une approche de géographie historique ; l'étude des archives a permis d'établir une histoire des rapports entre les sociétés humaines et le milieu littoral.

- la fréquentation des acteurs institutionnels concernés par la gestion et l'aménagement du littoral correspond à une approche de géographie sociale ; en particulier, notre participation aux activités d'une subdivision du Service Maritime des ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais a permis de comprendre «de l'intérieur» comment sont prises les décisions relatives à l'aménagement du littoral.

Ce travail présente un caractère inédit dans le cadre géographique des côtes basses meubles des départements du Pas-de-Calais et du nord-est de la Manche. Les travaux antérieurs n'avaient pas utilisé d'une manière aussi systématique la combinaison de ces différentes approches. Un certain recul par rapport au travail accompli permet de distinguer l'objet central de notre recherche : l'étude de la dynamique des côtes basses meubles. Il est donc beaucoup question du temps et de plusieurs formes de temporalités. Dans l'étude de cette dynamique, nous n'avons pas cherché à rendre compte de la contribution des différents processus hydrodynamiques ou morphogéniques. Cette orientation de la recherche en géomorphologie littorale porte une attention privilégiée au «coté mer» de l'interface représentée par le milieu littoral : l'objet est de définir un bilan sédimentaire sur le court terme ou un compartiment sédimentaire dont les limites sont stables à une échelle de temps plus longue. Notre orientation porte au contraire une plus grande attention au «coté terre» de l'interface. La dynamique du

milieu littoral se confond alors avec celle des sociétés humaines : pour les différents terrains, nous avons recherché dans un premier temps le point de départ chronologique de notre étude où la dynamique du littoral est le résultat d'une interférence entre l'évolution naturelle et les interventions humaines : le fil conducteur du travail est représenté par les rapports entre le littoral, sa dynamique et les sociétés humaines.

A partir du XII^{ème} siècle, l'homme accompagne les progrès de la côte par l'édification de digues et la conquête de polders. Jusqu'au XVIII^{ème} siècle, le milieu littoral est «exploité» à des fins économiques ; il représente aussi une frontière du Royaume, les militaires participent à sa protection. Le début du XIX^{ème} siècle marque une rupture dans les rapports entre la dynamique du littoral et les sociétés humaines : c'est le début de la recherche d'une maîtrise de l'évolution du trait de côte par la construction d'ouvrages de défense ; cette rupture revêt une forme institutionnelle, par la loi de 1807 (qui organise la lutte contre l'érosion marine) et la création d'associations syndicales de défense contre la mer, et spatiale, par la concentration des interventions anthropiques le long du trait de côte.

Cette évolution dans les rapports entre la dynamique du littoral et les sociétés humaines ne s'est pas produite avec le même rythme sur tous les terrains de notre étude : plus précoce, par exemple, sur le littoral de Sangatte avec une intervention sur le trait de côte dès la fin du XVI^{ème} siècle, plus tardive sur la côte orientale du Cotentin avec la création d'associations syndicales de défense contre la mer dans les années 1980. C'est un apport important de cette thèse : souligner les différences de rythmes dans l'élaboration des rapports entre les sociétés humaines et le littoral. Sur le terrain, nous avons analysé, à très grande échelle, les secteurs dunaires pour lesquels l'évolution depuis le milieu du XIX^{ème} siècle est le bilan de cette interférence entre les interventions anthropiques et les processus naturels : un retour au milieu géographique et au temps présent parce que notre objet est de rendre compte de la dynamique des milieux actuels.

Le travail réalisé sur le terrain s'intéresse autant à la morphologie qu'à la biogéographie des milieux dunaires : cette association a une double origine méthodologique et conceptuelle.

L'étude de la végétation en relation avec les formes dunaires permet de préciser le type de dynamique qui conditionne son évolution. Nous avons montré la succession, sur de courtes distances, de caractères morphologiques et phytogéographiques très différents. Cette succession correspond à un emboîtement de dynamiques naturelles et d'interventions anthropiques. L'étude de la végétation permet aussi d'intégrer dans notre problématique la démarche de l'analyse régressive de la biogéographie historique. Etudier l'évolution des pratiques concernant les tentatives de contrôle de l'évolution de la ligne de rivage par les hommes, l'impact de ces interventions sur l'évolution naturelle et la succession des représentations et des conceptions qui ont déterminé les formes de l'anthropisation sont les trois aspects de l'étude de géomorphologie historique. Pour tenter d'expliquer la complexité des paysages observés sur le terrain, nous avons recherché à partir d'une étude historique les changements dans les représentations que les sociétés humaines ont de l'évolution du littoral. Cette étude historique constitue l'aspect inédit de notre travail de thèse. L'étude est géomorphologique parce qu'elle procède, au départ, d'une approche naturaliste et qu'elle privilégie le «temps réponse» au temps historique. En effet, s'il est beaucoup question du temps dans ce travail, c'est en fait un temps hiérarchique caractérisé par l'occurrence des crises dans la dynamique et l'anthropisation du littoral. Ces crises sont, en fait, associées aux événements de tempête dont nous avons analysé le rôle et la place dans les rapports entre les sociétés humaines et la dynamique du littoral. Cette étude est cependant limitée au littoral de Sangatte : en effet, les résultats obtenus à partir du dépouillement des archives sont d'un apport inégal pour notre problématique ; la difficulté de l'accès aux sources et la nécessaire validation des informations obtenues par des recoupements entre plusieurs fonds d'archives représentent une sérieuse limite à la généralisation de ce type de recherches sur les littoraux.

Le partenariat que nous avons engagé avec le Service Maritime de Boulogne-sur-Mer, à partir de 1993, a déterminé un développement plus important des recherches sur le littoral du Pas-de-Calais que sur celui de la Manche. Par ailleurs, les travaux consacrés au littoral de Sangatte s'expliquent aussi, en partie, par la mise en oeuvre d'un programme expérimental de protection côtière à partir de 1993. Néanmoins, pour l'ensemble des terrains étudiés, nous avons essayé d'appliquer les mêmes méthodes de recherche et de travail sur le terrain.

La réalisation pendant le temps de notre thèse d'un programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière de Sangatte a constitué une sérieuse opportunité pour étudier «de l'intérieur» les pratiques relatives à l'aménagement et à la gestion du littoral : le Service Maritime des ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais a occupé, avec le Conservatoire du Littoral, une place de premier plan dans sa conception, sa réalisation et dans le suivi de ses conséquences sur la transformation des milieux dunaires. Nous pensons que ce programme de protection côtière est un exemple à suivre ; certains diront que l'aménagement et la gestion du littoral sont toujours réalisés dans un cadre géographique trop restreint qui n'est pas suffisamment ajusté au cadre morphodynamique et morphosédimentaire de la dynamique littorale. Et, en effet, l'absence de prise en compte des conséquences possibles de l'aménagement sur les portions du trait de côte voisines se traduit par la «tentation de Pénélope» : le littoral de Sangatte n'y a pas échappé, la philosophie de protection côtière du Conservatoire du Littoral non plus. En 1997, le système d'ouvrages de défense du trait de côte s'étend sans interruption des falaises du Cap Blanc-Nez à Calais.

Au terme du travail, un constat s'impose : la permanence de l'échelle communale dans les pratiques relatives à l'aménagement ou à la gestion des milieux littoraux. L'avancement des recherches fondamentales sur la dynamique des littoraux montre l'importance du cadre géographique des cellules sédimentaires à l'intérieur desquelles doivent se penser et se réaliser l'aménagement et la gestion du littoral. Le Schéma de Mise en Valeur de la Mer (S.M.V.M.) dont l'application a été définie en 1886 devrait répondre à cette nécessité d'un aménagement conçu et réalisé à une plus petite échelle que le niveau communal. L'échec de sa mise en oeuvre est une illustration de cette difficulté du rapprochement entre le cadre morphosédimentaire et le cadre géographique de l'intervention humaine sur le littoral (un seul S.M.V.M. est actuellement appliqué en France). Il est en effet très difficile de ne pas intégrer l'histoire des rapports entre le milieu littoral et les sociétés humaines dans la prise de décision sur l'aménagement du littoral. L'enjeu se trouve dans la recherche d'un cadre géographique de l'intervention qui soit un compromis entre les apports scientifiques et la culture de protection côtière. Aussi, l'enjeu principal dans l'aménagement et la gestion des littoraux étudiés dans ce travail se situe au niveau

de la recherche de terrains d'arbitrage : arbitrage entre les différents usages de l'espace littoral, arbitrage entre les différents acteurs institutionnels ou privés et surtout arbitrage entre les pratiques traditionnelles et expérimentales. Quand cet arbitrage est trouvé, ce qui a été le cas sur le littoral de Sangatte au début des années 1990, toutes les conditions sont alors réunies pour la mise en oeuvre d'une véritable politique d'aménagement du littoral.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTHONY E.J., 1991 - Une évaluation des paramètres morphodynamiques couramment utilisés dans la caractérisation des plages. *Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée*, n°30, p.23-30.
- ANTHONY E.J., 1996 - Cours de géomorphologie littorale, DEA «Analyse géographique du milieu physique, ressources et risques naturels». Université des Sciences et Technologies de Lille.
- ANTOINE P., 1989 - Stratigraphie des formations pléistocènes de Sangatte (Pas-de-Calais), d'après les premiers travaux du tunnel sous la manche. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, n°1, p.5-17.
- ARENS S.M., 1996 a - Foredunes and sand dykes in the Netherlands. *Coast line*, n°1, p.33-35.
- ARENS S.M., 1996 b - Patterns of sand transport on vegetated foredunes. *Geomorphology*, n°17, p.339-350.
- AUGRIS C., CLABAUT P., VICAIRE O., 1990 - Le domaine marin du Nord-Pas-de-Calais, IFREMER/Région Nord-Pas-de-Calais, 96p.
- BACON V., 1895 - Histoire de Réville.
- BAILLON M., 1791 - Sur les sables mouvants qui couvrent les côtes du département du Pas-de-Calais. Détail des dommages qu'ils causent et des moyens de préserver de leurs invasions les biens-fonds qui les avoisinent. Mémoire de la Société d'Agriculture de Paris, Archives départementales du Pas-de-Calais, Arras, 39p.
- BALCEREK N., 1996 - Etude de la dynamique de la végétation dans les dunes de Berck et en baie d'Authie. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 103p.
- BARDOU P., CONSTANT F., 1909 - Recherches sur la constitution des dunes du Nord de la France. *Annales de la Société Géologique du Nord*, t.XXXVIII, p.362-368.
- BARRERE P., 1989 - «Mémento technique des dunes du littoral aquitain», Ministère de l'Agriculture/O.N.F. Aquitaine/Laboratoire de géographie physique appliquée de Bourdeaux-III, 70p.
- BARRERE P., 1995 - Diagnostic écodynamique sur la dune nord de Mimizan et principes d'intervention. Rapport du chantier pilote de Mimizan, contrat Life 92-FR-013 «biodiversité et protection dunaire», 20p.
- BATTIAU-QUENEY Y., 1995 - Rapport de synthèse sur l'étude géomorphologique du site de Merlimont-Berck, Projet européen LIFE 92-FR-013, Chantier pilote de Merlimont, 17p.
- BATTIAU-QUENEY Y., FAUCHOIS J., LANNOY-RATEL P., SEGUIN A., 1995 - Un patrimoine paysager à protéger : les dunes littorales de Merlimont et de Berk (Pas-de-Calais). *Hommes et Terres du Nord*, numéro spécial «milieux littoraux», n°1-2, p.21-30.
- BEAUCHAMP J., 1994 - Rôle des facteurs dynamiques dans le colmatage de la baie de Somme. *Annales de la Société Géologique du Nord*, t.III, p.65-72.

- BEAUGRAND D., 1995 - L'aménagement récent du littoral Nord-Pas-de-Calais. Le rôle des acteurs locaux. Thèse de Doctorat en Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 471p.
- BECK C., CLABAUT P., DEWEZ S., VICAIRE O., CHAMLEY H., AUGRIS C., HOSLIN R., CAILLOT A., 1991 - Sand bodies and sand transport paths at the English Channel-North Sea border : morphology, hydrodynamics and radioactive tracing. *Oceanologica Acta*, Actes du colloque international sur l'environnement des mers épicontinentales, Lille, 20-22/03/1990, vol. sp. 11, p.111-121.
- BECK C., DELORT R. (dir.), 1993 - Pour une histoire de l'environnement. Travaux du programme interdisciplinaire de recherches sur l'environnement. Actes du colloque sur l'histoire de l'environnement et des phénomènes naturels.
- BEETS D.J., VAN DER VALK L., STIVE M.J.F., 1992 - Holocene evolution of the Coast of Holland. *Marine Geology*, n°103, p.423-443.
- BELLESSERT B., MIGNIOT C., 1986 - Catalogue sédimentologique des côtes françaises : de la Baie de la Seine au Mont-Saint-Michel, t.3, 65p.
- BELLESSERT B., 1994 - Recherches de solutions de protection du littoral d'un nouveau type. Rapport général. Service Technique Central des Ports maritimes et Voies navigables, 104p.
- BELPAIRE A., 1855 - Etude sur la formation de la plaine maritime depuis Boulogne jusqu'au Danemark. Antwerpen.
- BERTRAND G., 1968 - Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. *Revue de Géographie des Pyrénées et du Sud Ouest*, t.39, n°3, p.249-272.
- BERTRAND G., 1978 - Le paysage entre la nature et la société. *Revue de Géographie des Pyrénées et du Sud Ouest*, t.49, n°2, p.239-258.
- BEUN N., BROQUET P., 1980 - Tectonique quaternaire (Holocène ?) dans la plaine littorale picarde des bas-champs de Cayeux et de leurs abords orientaux. Incidences possibles sur le réseau hydrographique régional. *Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire*, n°1-2, p.47-52.
- BEUN N., ROBERT P., 1985 - Eléments dynamiques de la formation et de l'évolution de la plaine maritime. In «la plaine maritime picarde», CNDP, Amiens, p.28-53.
- BIELFELD M., 1997 - Etude de l'influence de la houle sur l'évolution de la rive nord de la baie de l'Authie. Rapport d'Elève Ingénieur T.P.E., SMBC.
- BIGOT A., 1939 - Géologie du Val-de-Saire et de la région de Valognes. *Mémoire de la Société de Sciences Naturelles et de Mathématiques de Cherbourg*, t.XVIII, p.1-34.
- BIRD E.C.F., 1985 - Coastline changes, a global review, WILEY J. (ed.), Chichester, 219p.
- BIRD E.C.F., 1990 - Classification of european dune coasts. *Catena supplement 18*, p.15-24.
- BLANCHARD R., 1905 - La digue de Sangatte. Mémoire de la société dunkerquoise.
- BLANCHARD R., 1906 - La Flandre. Etude géographique de la plaine flamande en France, Belgique et Hollande, Lille, 530p.
- BLÉMUS R., 1970 - Etude de géomorphologie du littoral nord-est du Cotentin. Mémoire de maîtrise de Géographie, Université de Caen.

- BLERARD C., VERGNE V., 1985 - Les dunes du littoral picard, 1947-1981. *Hommes et Terres du Nord*, n°4, p.258-267.
- BLOCH M., 1931 - Les caractères originaux de l'Histoire rurale française, A. Colin (ed.), Paris.
- BLONDEL J., 1979 - Biogéographie et écologie, Masson.
- BLONDEL J., 1986 - Biogéographie évolutive, Masson (ed.), 221p.
- BLONDEL J., 1995 - Biogéographie. Approche écologique et évolutive, Masson (ed.), 297p.
- BODERE J.C., CRIBB R., CURR R., DAVIES P., HALLEGOUET B., MEUR C., PIRIOU N., WILLIAMS A., YONI C., 1991 - La gestion des milieux dunaires littoraux. Evaluation de leur vulnaribilité à partir d'une liste de contrôle. Etude de cas dans le Sud du Pays de Galles et en Bretagne occidentale. *Norwis*, t.38, n°151, p.279-298.
- BODERE J.C., HALLEGOUET B., MEUR C., VICTOR F., HENAFF A., 1994 - A propos d'initiatives empiriques en matière de renforcement des cordons littoraux : l'utilisation des produits de dragage et de déroctage des ports de pêche sud-finistériens. *Cahiers Nantais*, actes du colloque «Défense des côtes ou protection de l'espace littoral. Quelles perspectives ?», n°41-42, p.179-185.
- BOILLOT G., LEFORT P., 1974 - Carte géologique de la Manche, au 1 000 000°. IFREMER-BRGM.
- BOMER B., 1990 - Questions d'aménagement littoral : les dunes. Introduction à l'étude des dunes littorales : dynamique et problème d'aménagement. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, n°4, p.297-321.
- BOMER B., 1994 - Le paysage, vu par les géographes...et par les autres. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, n°3, p.3-9.
- BONISSENT M., 1870 - Essai géologique sur le département de la Manche. *Mémoire de la Société de Sciences Naturelles et de Mathématiques de Cherbourg*, 430p.
- BONNEFILLE R., ALLEN H., 1967 - Etude de la baie d'Authie et des moyens de défense contre la mer. Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou/EDF.
- BONNOT-COURTOIS C., BOUSQUET-BRESSOLIER C., JACQUEMINET C., LAFOND L.R., LE RHUN J., VERGER F., 1993 - Le laboratoire de géomorphologie de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes en 1991 et 1992, *Norwis*, 40, 160, p.674.
- BONNOT E.J., 1971 - Sur la place et le rôle des bryophytes dans la végétation des dunes. Colloques Phytosociologiques «Les dunes maritimes», I, Paris, p.149-158.
- BORTIER P., 1876 - Le littoral de la Flandre au IX^{ème} et au XIX^{ème} siècle, Bruxelles, 16p., 2 cartes.
- BOURNERIAS M., POMEROL C., TURQUIER Y., 1992 - La Manche de Dunkerque au Havre : Flandre, Boulonnais, Picardie, Haute-Normandie. Guides naturalistes des côtes de France, DELACHAUX et NIESTLE (eds), 2^{ème} ed., 247p.
- BOUSQUET B., 1990 a - Le littoral des secteurs dunaires et son aménagement. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, n°4, p.297-306.
- BOUSQUET B., 1990 b - Du littoral. Essai d'identification. *Cahiers Nantais*, n°35-36, p.77-97.

- BOUSQUET B., MIOSSEC A., 1990 a - Protection et aménagement de l'espace littoral face à l'érosion marine. Ministère de l'environnement et IGARUN, 154p.
- BOUSQUET B., MIOSSEC A., 1990 b - Défense de côte ou protection de l'espace littoral : peut-on parler d'une politique française. Littoral 1990, actes du symposium d'Eurocoast, p.636-640.
- BOUSQUET B., MIOSSEC A., 1990 c - La représentation du littoral confrontée aux pratiques de sa défense. *Cahiers Nantais*, n°35-36, p.167-194.
- BOUSQUET B., MIOSSEC A., 1991 - La tempête, du moment de nature au spectacle de société (La place du phénomène dans le géosystème du XX^{ème} siècle). *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, n°3, p.241-251.
- BRAUN-BLANQUET J., 1928 - Pflanzensozioologie, 1^{ère} éd., Berlin.
- BRAY M.J., 1992 - Coastal sediment supply and transport. In ALLISON R.J. (ed.), The coastal landforms of West Dorset. *Geologists' Association Guide*, n°47, p.94-105.
- BRAY M.J., CARTER D.J., COOPER N., HOOKE J.M., 1994 - Field visit to central southern England. Joint British/French geomorphological excursion. Université de Portsmouth, 26p.
- BRAY M.J., CARTER D.J., HOOKE J.M., 1995 - Littoral cell definition and budgets for Central Southern England. *Journal of Coastal research*, vol.11, n°2, p.381-400.
- BRAY M.J., HOOKE J.M., 1995 - Strategies for conserving dynamic coastal landforms. In HEALY et DOODY (eds), Directions in european coastal management, Cardigan, Samara publishing limited, p.275-290.
- BRESSOLIER C., THOMAS Y.F., 1977 - Studies on wind and plant interactions on French Atlantic coastal dunes. *Journal of Sedimentary Petrology*, n°47, p.331-338.
- BRIQUET A., 1905 - Extension de la plage soulevée de Sangatte. *Annales de la Société géologique du Nord*, t.XXXV, p.109-111.
- BRIQUET A., 1906 - Note sur quelques formations quaternaires du littoral du Pas-de-Calais. *Annales de la Société géologique du Nord*, t.XXXV, p.211-236.
- BRIQUET A., 1923 - Les formations pléistocènes des environs de Sangatte. *Annales de la Société géologique du Nord*, t.XLVIII, p.176-184.
- BRIQUET A., 1930 a - Le littoral du Nord de la France et son évolution morphologique. A. Colin (ed.), Paris, 439p.
- BRIQUET A., 1930 b - L'évolution du rivage du Nord de la France et l'activité de l'homme. Appendice, 44p.
- BROQUET P., BEUN N., 1980 - La sédimentation holocène dans les Bas-Champs de Cayeux (Somme). Evolution des lignes de rivage et de réseau hydrographique. *Annales de la Société géologique du Nord*, t.C, p.31-41.
- BRUYELLE P., 1967 - La plaine maritime du Nord de la France. La morphologie littorale ancienne et récente et ses conséquences en géographie humaine. *Photo Interprétation*, n°3, fasc.5, p.35-44.
- BRUZZI C., 1996 - Introduction méthodologique à l'étude des tempêtes. Exemple du littoral du delta du Rhône. *Méditerranée*, n°4, p.51-54.

- BRYCHE A., PUTTER DE B., WOLF DE P., 1993 - The French and Belgian coast from Dunkirk to De Panne : a case study of transborder cooperation in the framework of the Interreg initiative of the European Community. In HILLEN R., VERHAGEN H.J. (eds), *Coastlines of the southern North Sea, Coastal zone 1993*, New-York, p.336-343.
- BUIRE M., ALLAVOINE P., SALLE F.X., 1963 - La fixation et le boisement des dunes du Nord. *Revue forestière française*, n°5, p.344-366.
- BULLER H., 1994 - Paysage littoral : développer, révéler, fixer ? *Les Ateliers du Conservatoire du Littoral*, n°8, 35p.
- CADIEU P., 1994 - La loi littoral : l'aménagement et la protection du littoral. Dossiers d'experts. *La lettre du cadre territorial*, 248p.
- CALDERARO N., 1994 - Droit et littoral en Europe. *Etudes Rurales*, n°133-134, p.59-75.
- CARRE F., 1996 - XLIII^{ème} chronique océanographique. *Norois*, t.43, n°170, p.429-473.
- CARTER R.W.G., 1988 - Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines, Londres, Academic press, 612p.
- CARTER R.W.G., 1990 - Coastal processes in relation to geographic setting, with special reference to Europe. *Senckenbergiana marit.*, n°21, p.1-23.
- CARTER R.W.G., NORDSTROM K.F., PSUTY N.P., 1990 a - The study of coastal dunes. In NORDSTROM K.F., PSUTY N.P., CARTER R.W.G. (eds), *Coastal dunes : forms and processes*, Chichester, Wiley, p.1-14.
- CARTER R.W.G., HESP P.A., NORDSTROM K.F., 1990 b - Erosional landforms in coastal dunes. In NORDSTROM K.F., PSUTY N.P., CARTER R.W.G. (eds), *Coastal dunes : forms and processes*, Chichester, Wiley, p.217-250.
- CARTER R.W.G., WOODROFFE C.D., 1994 - Coastal evolution : an introduction. In CARTER R.W.G., WOODROFFE C.D.(eds), *Coastal evolution. Late quaternary shoreline morphodynamics*, Cambridge University Press, p.1-31
- CHAULEUR A., 1980 - Bibliothèques et Archives, comment se documenter ? *Economica*, 334p.
- CLABAUT P., 1988 - Dynamique sédimentaire dans le détroit du Pas-de-Calais (large des côtes françaises). Thèse de Doctorat en Géologie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 251p.
- CLABAUT P., 1995 - Le littoral Nord-Pas-de-Calais et l'érosion. *Bulletin de l'Observatoire de l'Environnement Littoral et Marin Manche et sud Mer du Nord*, n°1, p.4-12.
- CLABAUT P., MALHERBE B., 1994 - Etude de l'érosion du littoral de Dunkerque à Coxyde : une réflexion transfrontalière. Actes de la conférence internationale «Erosion côtière», Boulogne-sur-Mer, Observatoire de l'Environnement Littoral et Marin Manche et sud Mer du Nord, p.76-79.
- CLAVAL P., 1971 - Aménagement du territoire. Grande Encyclopédie Larrousse, t.1, p.564-568.
- CLIQUE P.M., LEPETIT J.M., 1986 - Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Mer du Nord de la frontière belge au Mont-Saint-Michel, Laboratoire central d'hydraulique de France, 133p.

- CLEMENTS F.E., 1916 - Plant succession : an analysis of the development of vegetation. Carnegie Institute, Washington Publication, n°242, p.1-512.
- CLEMENTS F.E., 1936 - Nature and structure of the climax. *Journal of Ecology*, n°24, p.252-284.
- CLOAREC J., KALAORA B., 1994 - Littoraux en perspectives. Introduction. *Etudes Rurales*, n°133-134, p.9-13.
- CONSERVATOIRE DU LITTORAL, 1992 - Cartographie des terrains du Conservatoire. Manche, Mer du Nord.
- CONSERVATOIRE DU LITTORAL, 1993 - Travail d'analyse et de réflexion préalable aux travaux de restauration du cordon dunaire de Sangatte. Rapport interne, 11p.
- CONSERVATOIRE DU LITTORAL, 1997 - Protection des dunes de Sangatte, programme NORSPA/Contrat LIFE n°92-1/FR/004. Rapport de synthèse, 28p.
- CORBAU C., 1995 - Dynamique sédimentaire en domaine macrotidal : exemple du littoral du Nord de la France (Dunkerque). Thèse de Doctorat en Géologie et Géochimie sédimentaires, Université des Sciences et Technologies de Lille, 223p.
- CORBIN A., 1988 - Le territoire du vide. L'Occident et le désir de rivage 1750-1840, Paris, Flammarion, 407p.
- CORBIN A., 1995 - La mer et l'émergence du désir du rivage. *Les Cahiers du Conservatoire du Littoral*, n°7, p.129-138.
- CORLAY J.P., 1995 - Géographie sociale, géographie du littoral. *Norois*, t.42, n°165, p.247-265.
- COSTA S., 1995 - Vulnérabilité des ville côtières de Haute Normandie et de Picardie face à l'élévation du niveau marin. *Hommes et Terres du Nord*, n°1-2, p.48-57.
- COUX G., LE ROY R., 1994 - Un modèle graphique du droit du littoral. *Mappemonde*, n°2, p.5-8.
- COULON E., 1932 - Excursion à travers le Calaisis : Haut-Calais, tome 1, 95p.
- COWELL P.J., THOM B.G., 1994 - Morphodynamics of coastal evolution. In CARTER R.W.G., WOODROFFE C.D.(eds), Coastal evolution. Late quaternary shoreline morphodynamics, Cambridge University Press, p. 33-86.
- DALLERY F., 1955 - Les rivages de la Somme. Mémoire de la Société d'émulation historique et littéraire d'Abbeville, Paris, 307p.
- DAUPHINE A., 1979 - Le concept d'environnement. *Analyse Spatiale*, p.25-34.
- DAUPHINE A., 1996 - Etudes d'impact et gestion de l'environnement. In NEBOIT-GUILHOT R., DAVY L. (dir) : «Les français dans leur environnement», Nathan (ed.), Paris, p.366-376.
- DECOUVELAERE L., 1995 - Valeur économique des biens menacés par l'érosion côtière. Site de Sangatte-Blériot (Pas-de-Calais). Mémoire de D.E.A., Université des Sciences et Technologies de Lille, 96p.

- DEBOUDT P., 1991 - Les milieux littoraux de la côte nord-orientale du Cotentin. Contribution à l'étude intégrée du littoral. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 120p.
- DEBOUDT P., 1995 a - Une approche historique et naturaliste de l'évolution du littoral nord-est du Cotentin (Basse-Normandie, France). *Hommes et Terres du Nord*, N°1-2, p.40-47.
- DEBOUDT P., 1995 b - L'Inch : morphologie et végétation dunaire d'une flèche littorale de la baie de Dingle (Comté du Kerry, Irlande). *Norois*, t.42, n°168, p.577-593.
- DEBOUDT P., BATTIAU-QUENEY Y., 1991 - Les tempêtes : intégration d'un phénomène météorologique dans le paysage littoral de la côte nord-orientale du Cotentin. *Hommes et Terres du Nord*, n°4, p.213-217.
- DELAHAYE D., 1988 - Les marais littoraux du Nord-Est du Cotentin : dynamique sédimentaire et hydrologie. Travaux du GREGEPE, Université de Caen, n°7, p.33-46.
- DELELIS-DUSOLLIER A., GEHU J.M., 1974 - Apport à la connaissance phytosociologique des fourrés d'argousier du littoral français de la Mer du Nord et de la Manche. *Documents phytosociologiques*, fasc.6, Lille, p.27-40.
- DEMANGEON A., 1905 a - La plaine Picarde : Picardie, Artois, Cambresis, Beauvaisis, A. Colin (ed.), Paris, 496p.
- DEMANGEON A., 1905 b - Les sources de la géographie de la France aux Archives Nationales. Thèse complémentaire de Doctorat ès Lettres, Paris, 120p.
- DE MOOR G., 1988 - Neo-holocene coastal and beach evolution along the Belgian coast. *Journal of Coastal Research*, special issue n°3, p.71-75.
- DE MOOR G., 1994 - The beach nourishment of Bredene - De Haan and its impact of the beach morphology and the coastal evolution of the belgian coast east of Ostend. *Cahiers Nantais*, actes du colloque «Défense des côtes ou protection de l'espace littoral. Quelles perspectives ?», n°41-42, p. 134-144.
- DERRUAU M. (dir.), 1996 - Composantes et concepts de la géographie physique, A. Colin (ed.), Paris, 254p.
- DESFOSSÉZ P., SAUVAGE P., 1991 - Réserve naturelle du Platier d'Oye. Plan de conservation, Espace Naturel Régional/Conférence permanente des réserves naturelles.
- DESPEYROUX Y., 1985 - Etude hydrosédimentaire de l'estuaire de la Canche. Thèse de Doctorat de Géologie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 183p.
- DESPEYROUX Y., CHAMLEY H., 1986 - Distribution des sédiments récents dans l'estuaire de la Canche (Pas-de Calais). *Annales de la Société Géologique du Nord*, t.CV, p.179-186.
- DEVOT L., 1851 - Des Wateringues dans le Calaisis avant 1809, 26p.
- DEWAILLY J.M., 1985 - Tourisme et loisirs dans le Nord-Pas-de-Calais. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris IV, 1123p.
- DEWEZ S., 1988 - Sédimentation et dynamique en Manche orientale (de la baie d'Authie au cap d'Alprech). Thèse de Doctorat en Océanologie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 276p.

- DEWEZ S., CLABAUT P., VICAIRE O., BECK C., CHAMLEY H., AUGRIS C., 1989 - Transits sédimentaires résultants aux confins Manche-mer du Nord. *Bulletin de la Société Géologique de France*, (8), t.V, n°5, p.1043-1053.
- DE WOLF P., FRANSAER D., VAN SIELEGHEM J., HOUTHUYS R., 1993 - Morphological trends of the Belgian coast shown by ten years of remote-sensing based surveying. In HILLEN R., VERHAGEN H.J (eds.), *Coastlines of the southern North Sea, Coastal zone 1993*, New-York, p.245-257.
- DROUIN J.M., 1994 - Histoire et écologie végétale : les origines du concept de succession. *Ecologie*, t.25, n°3, p.147-155.
- DUBOIS G., 1922 - Les tempêtes de novembre et décembre 1921 sur la côte de Sangatte. *Annales de la Société Géologique du Nord*, t.XLVII, p.11-21.
- DUBOIS G., 1924 - Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France. *Mémoire de la Société Géologique du Nord*, t.VIII, 355p.
- DUBOIS G., 1926 - Un recul local du littoral à Loon-Plage. *Annales de la Société Géologique du Nord*, t.LI, p.361-383.
- DUBOIS G., 1928 - Le littoral flamand de Calais à Dunkerque. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 4ème série, t.XXVIII, p.509-526.
- DUBOIS J.J., 1980 - L'évolution des paysages forestiers de la région du Nord : l'intérêt de l'analyse régressive des paysages. *Hommes et Terres du Nord*, n°3, p.27-63.
- DUBOIS J.J., 1989 - Espaces et milieux forestiers du Nord de la France, étude de biogéographie historique. Thèse de Doctorat d'Etat, Paris-Panthéon Sorbonne, 2 vol., 1023p.
- DUBOIS J.J., 1991 - L'approche de la «biogéographie historique» : concepts, méthodes, limites à l'interface de la phytodynamique et de l'histoire forestières. Colloques phytosociologiques, Bailleul, p.7-13.
- DUBOIS J.J., PETIT-BERGHEM, 1991 - Les risques climatiques dans les forêts du Nord de la France : l'exemple des chablis éoliens de 1990. *Hommes et Terres du Nord*, n°4, p.218-226.
- DUBORPER S., 1996 - Catalogue cartographique de l'évolution côtière de 1975 à 1996 pour les communes de Oye plage et Boulogne-sur-Mer. Service Maritime des ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais, 53p.
- DUBREUCQ T., 1987 - Etude sommaire d'ouvrages de défense contre la mer de la baie de l'Authie. Rapport d'Elève Ingénieur T.P.E., SMBC, 58p.
- DUBREUCQ T., 1990 - Etude sommaire d'ouvrages de défense contre la mer de la baie de l'Authie. *Annales de la Société Géologique du Nord*, t.CIX, p.125-128.
- DUFAURE J.J., 1994 - La recherche française en géomorphologie. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, n°4, p.414-421.
- DUVAL J., 1991 - Projet d'aménagement des dunes de Fort-Mahon-Sangatte (Pas-de-Calais), Rapport d'expertise pour le Conservatoire du Littoral.
- ELHAI H., 1958 - Le littoral du Nord du Cotentin. *Norais*, n°17, p.5-19.

- ELHAI H., 1963 - La Normandie occidentale entre la Seine et le golfe normand-breton. Etude morphologique. Thèse de Doctorat en Géographie, Paris, 624p.
- EHLERS J., KUNZ H., 1993 - Morphology of the wadden sea natural processes and human interference. In HILLEN R., VERHAGEN H.J. (eds), *Coastlines of the southern North Sea, Coastal zone 1993*, New-York, p. 65-84.
- ESCOURROU G., 1975 - Climats et types de temps en Normandie. Thèse de Doctorat d'Etat en Géographie, Université de Paris IV, 1081p.
- FAUCHOIS J., 1994 - Evolution morphologique et dynamique de la végétation dans les dunes de Merlimont. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 109p.
- FAUCHOIS J., 1995 - Etude et cartographie géomorphologique de la dune Dewulf (Leffrinckoucke, Ghyvelde, Zuydcoote, Nord). Mémoire de D.E.A., Université des Sciences et Technologies de Lille, 127p., 1 carte.
- FERRIERE J., TRENTESAUX A., CHAMLEY H., 1993 - Le domaine marin du Nord-Pas-de-Calais : nature des fonds et dynamique sédimentaire. *Annales de la Société Géologique du Nord*, t.II, 2^{ème} série, p.23-30.
- FLAGEOLLET J.C., LEVOY F., 1986 - Les risques d'érosion en milieux littoraux sableux. Approche méthodologique appliquée à la côte ouest du Cotentin (France). *Revue de Géomorphologie Dynamique*, n°2, p.64-73.
- FOSSEYEUX M., 1911 - Hôpital Maritime de Berck-sur-Mer (1861-1911). Paris, p.41-48.
- FOUCAULT de B., WATTEZ J.R., 1984 - La végétation des Mollières de Berck quatre vingts ans après les observations effectuées par Marin Molliard en 1903. *Revue Générale de Botanique*, vol.91, p.163-169.
- FOURNIER J., 1994 - La géoécologie : une approche globale du système littoral et des interactions société-milieu naturel. L'exemple du Petit-Trégor. *Cahiers Nantais*, n°41-42, p.261-267.
- GALVIN C.J., 1968 - Breaker type classification on three laboratory beaches. *Journal of Geophysic Research*, n°73, p.3651-3659.
- GEHU J.M., 1964 - L'excursion dans le Nord et l'Ouest de la France de la société internationale de phytosociologie. *Vegetatio acta geobotanica*, vol.12, fas.1-2, 95p.
- GEHU J.M., 1969 - Essai synthétique sur la végétation des dunes armoricaines. *Penn ar Bed*, Brest, t.7, n°57, p.81-104.
- GEHU J.M., 1975 - Climat et synchorologie sur les côtes atlantiques françaises. Actes du colloque sur la végétation et le climat, Rinteln, p.1-5.
- GEHU J.M., 1979 - Pour une approche nouvelle des paysages végétaux : la symphytosociologie. *Bulletin de la Société botanique de France*, t.126, n°2, p.213-223.
- GEHU J.M., 1987 - L'oeuvre scientifique du Professeur Maurice Hocquette, fondateur de la Société de Botanique du Nord de la France et pionnier de la phytosociologie littorale. *Bulletin de la Société Botanique du Nord de la France*, vol.40, n°3-4, p.3-6.
- GEHU J.M., 1991 - Livre rouge des phytocoenoses terrestres du littoral français, Bailleul, 236p (importante bibliographie sur la végétation du littoral français, p.216-232).

- GEHU J.M., FOUCAULT de B., 1978 - Les pelouses à *Tortula ruraliformis* des dunes du nord-ouest de la France. Colloque phytosociologique «La végétation des pelouses sèches à thérophytes», Bailleul , p.269-273.
- GEHU J.M., GEHU-FRANCK J., 1969 - Les associations végétales des dunes mobiles et des bordures de plages de la côte atlantique française. *Vegetatio acta geobotanica*, vol. 18, fasc. 1-6, p.122-165.
- GEHU J.M., GEHU-FRANCK J., 1971 - Données écosystémiques et évaluation de la phytomasse dans le transect dunaire de Wimereux-Ambleteuse (Pas-de-Calais). Colloque phytosociologique, Bailleul, n°1, p.253-280.
- GEHU J.M., GEHU-FRANCK J., 1979 - Synécologie d'un système dunaire en déflation. L'exemple des dunes de la Slack (Pas-de-Calais, France). Actes du colloque «Les côtes atlantiques d'Europe : évolution, aménagement, protection», Brest, n°9, p.269-276.
- GEHU J.M., GEHU-FRANCK J., 1985 - Végétation et géomorphologie littorale : l'exemple de la plage de Néville (Manche). Colloque phytosociologique «Végétation et Géomorphologie», Bailleul, p.811-814.
- GEHU J.M., TUXEN R., 1971 - Essai de synthèse phytosociologique des dunes atlantiques européennes. Colloque Phytosociologique «Les dunes maritimes», I, Paris, p.63-70.
- GIRAUD A., 1988 - Le rôle de la puissance publique dans la gestion du risque mer-littoral. Actes du colloque «Mer et littoral, couple à risque». *La documentation française*, p.398-408.
- GOELDNER L., 1993 - Nouvelle perception de l'espace dans les marais littoraux : le marais Vernier. *Mappemonde*, n°1, p.15-20.
- GOSSELET M., 1893 - Géographie physique du nord de la France et de la Belgique (cours professé à la Faculté des Sciences de Lille en 1891 et 1892). *Annales de la Société Géologique du Nord*, t.XXI, p.119-137.
- GRAINDOR M.J., PAREYN C., 1969 - Notice de la carte géologique de St Vaast-la-Hougue au 1/50 000.
- GUILCHER A., 1951 - La formation de la Mer du Nord et du Pas de Calais et des plaines maritimes environnantes. *Revue de Géographie de Lyon*, p.311-330.
- GUILCHER A., 1954 - Morphologie littorale et sous-marine, PUF, Paris, 216p.
- GUILCHER A., 1974 - Studies in coastal geomorphology contributing to coastal engineering. Proceeding of the 14th coastal engineering conference, Copenhagen, t.1, p.1-20.
- GUILCHER, A., 1987 - Développement de la notion de gestion des littoraux chez les géographes français. In Régions, villes et aménagement, Mélanges jubilaires offerts à J. Beaujeu-Garnier, Centre de Recherches et d'Etudes sur Paris et l'Île-de-France, p.565-570.
- GUILCHER A., 1990 - Vers une philosophie des rivages. *Cahiers Nantais*, «le littoral au péril de la mer...et des hommes», n°35-36, p.3-15.
- GUILCHER A., 1991 - 28^{ème} chronique océanographique. *Norois*, t.38, n°149, p.95-121.
- GUILCHER A., CARRE F., 1994 - XLle chronique océanographique. *Norois*, t.41, n°163, p.469-501.

- HENDOUX F., 1994 - Diagnostic phytoécologique et floristique sur les terrains du conservatoire du Littoral. Orientations conservatoires préliminaires. Les dunes de Berck, Bailleul, Conservatoire Botanique National, 53p.
- HESP P.A., 1982 - Dynamics and morphology of foredunes in South East Australia. Ph.D. Dissertation, Université de Sydney.
- HESP P.A., 1983 - Morphodynamics of incipient foredunes in New South Wales, Australia. In BROOKFIELD M., AHLBRANT T. (eds), *Aeolian processes and sediments*, Elsevier, p.325-342.
- HESP P.A., 1988 - Surfzone, beach, and foredune interactions on the Australian South East coast. *Journal of Coastal Research*, special issue n°3, p.15-75.
- HESP P.A., 1989 - A review of biological and geomorphological processes involved in the initiation and development of incipient foredunes. In GIMINGHAM C.H., RITCHIE W., WILLETTS B.B., WILLIS A.J., *Proceedings of The Royal Society of Edinburgh, Symposium of coastal sand dunes*, B, 96, p.181-201.
- HILLEN R., VERHAGEN H.J., 1993 - Coastlines of the southern North Sea, American Society of Civil Engineers, 363p.
- HINSCHBERGER F., 1996 - Les côtes bas-normandes au péril de la mer. *Norois*, t.169, n°1-2, p.63-73.
- HINSCHBERGER F., COTTENCEAU J., DIESNY M., 1988 - Le recul du littoral à Barfleur, Gatteville et Fermanville (Manche) depuis cent cinquante ans. *Travaux de Recherches en Géographie Physique de l'Environnement de l'Université de Caen*, n°7, p.25-32.
- HINSCHBERGER F., ORANGE T., 1983 - Le recul du littoral à Montfarville et Réville (Manche) depuis cent cinquante ans. *Travaux de Recherches en Géographie Physique de l'Environnement de l'Université de Caen*, n°3, p.19-26.
- HOCQUETTE M., 1927 - Etude sur la végétation et la flore du littoral de la Mer du Nord de Nieuport à Sangatte. *Archives de Botanique*, I (4), p.1-177.
- HOCQUETTE M., 1931 - La décalcification des dunes du littoral flamand et ses rapports avec la végétation. *Bulletin de la Société Linéenne de Normandie*, t.25, n°42, p.16-32.
- HOCQUETTE M., GEHU J.M., FAUQUET M., 1965 - Contribution à l'étude phytosociologique de l'estuaire de l'Authie. *Bulletin de la Société Botanique du Nord de la France*, t.18, n°2, p.114-133.
- HOMMERIL P., 1967 - Etude de géologie marine concernant le littoral bas-normand et la zone pré-littorale de l'archipel anglo-normand. Thèse de doctorat en Géologie, Université de Caen, 304p.
- HOMMERIL P., 1972 - Le littoral du massif granitique de Barfleur : évolution quaternaire et processus actuel d'érosion et de sédimentation. *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin Parisien*, n°33, p.1-D10.
- HOMMERIL P., LARSONNEUR C., 1963 - Les effets des tempêtes du premier semestre 1962 sur les côtes bas-normandes. *Cahiers océanographiques*, 15^{ème} année, n°5, p.320-324.
- HORIKAWA K., 1988 - Nearshore dynamics and coastal processes. Theory, measurement and predictive models, University of Tokyo Press, 522p.

- HOUTHUYS R., DE MOOR G., SOMME J., 1993 - The shaping of the French-Belgian North Sea coast throughout recent geology and history. In HILLEN R., VERHAGEN H.J. (eds), *Coastlines of the southern North Sea, Coastal zone 1993*, New-York, p.27-40.
- INMAN D.L., FRAUTSCHY J.D., 1966 - Littoral processes and the development of shorelines. *Proceeding of Coastal Engineering*, Special conference, ASCE, p.511-536.
- JACAMON M., 1971 - Incidences sur la végétation des travaux de fixation et de correction des dunes sur le littoral de Gascogne. Colloques Phytosociologiques «Les dunes maritimes», I, Paris, p.237-243.
- JOLY F., 1939 - Le littoral du Cotentin - Etude de géographie physique. *Annales de Géographie*, XLVIII^{ème} année, n°273, p.225-234.
- JOLY F., 1995 - Dynamique dunaire et végétale du système bordier des dunes Marchand (Zuydcoote, Bray-Dunes). Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 82p.
- JUVE P., 1985 - Problèmes conceptuels dans la définition des unités de perception du paysage végétal en rapport avec la géomorphologie. Colloque phytosociologique «Végétation et géomorphologie», Bailleul, p.65-84.
- KAMP W.D., WIEDLAND P., 1993 - Cases studies for coastal protection problems between Elbe and Sylt : Dithmarschen, closure of the Eider estuary, the island of Sylt. In HILLEN R., VERHAGEN H.J. (eds), *Coastlines of the southern North Sea, Coastal zone 1993*, New-York, p.298-313.
- KLIJN J.A., 1990 - Dune forming factors in a geographical context. *Catena supplement 18*, p.1-13.
- KUNZ H., 1993 - Coastal protection in the past. Coastal zone management in the future ? Case study for the Ems-Weser area, Germany. In HILLEN R., VERHAGEN H.J. (eds), *Coastlines of the southern North Sea, Coastal zone 1993*, New-York, p.314-333.
- LAFAYE C., 1994 - Aménager un site littoral. Entre politique et pragmatisme. *Etudes Rurales*, n°133-134, p.163-180.
- LAHOUSSE B., CLABAUT P., CHAMLEY H., VALK VAN DER L., 1993 - Morphology of the southern North Sea coast from the Cape Blanc-Nez (F) to Den Helder (NL). In HILLEN R., VERHAGEN H.J. (eds.), *Coastlines of the southern North Sea, Coastal zone 1993*, New-York, p.85-95.
- LALAUT Y., 1992 - Fonctionnement et efficacité des ouvrages statiques de protection des littoraux sableux. Thèse de Doctorat en Océanographie, Université de Paris-Sud-Orsay.
- LANNOY-RATEL P., 1994 - Etude du complexe de dunes bordières de la réserve biologique domaniale de Merlimont. Impacts des aménagements sur la physionomie actuelle du site et dynamique actuelle. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 107p.
- LANNOY-RATEL P., 1995 - Inventaire et historique des blockhaus du littoral Nord-Pas-de-Calais. Etude des vestiges et des défenses allemandes de la Seconde Guerre Mondiale. Rapport Observatoire de l'Environnement Littoral et Marin/Université des Sciences et Technologies de Lille.
- LANNOY-RATEL P., 1996 - L'évolution des dunes du Perroquet à travers un siècle d'anthropisation. Mémoire de D.E.A., Université des Sciences et Technologies de Lille, 134p.

- LANTIER M., 1989 - Doléances pour la Manche 1789, les cahiers de doléances du baillage de Cotentin, 223p.
- LARSONNEUR C., 1971 - Manche centrale et Baie de Seine. Géologie du substratum et des dépôts meubles. Thèse de Doctorat en Géologie, Université de Caen, 394p.
- LARSONNEUR C., LEVOY F., 1990 - Etude globale concernant la défense contre la mer, évolution du trait de côte dans le nord Cotentin, Rapport IV, Compte rendu d'avancement 1^{ère} et 2^{ème} phase, p.6-9.
- LEFEVRE P., 1979 - Aperçu sur la formation et les caractéristiques de la Plaine Maritime Picarde. INQUA, livret guide du symposium d'Amiens, p.28-41.
- LEFEVRE P., REGRAIN R., 1978 - Relations entre le niveau marin, les dépôts sédimentaires et la construction des digues dans la plaine maritime picarde. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, n°53, p.101-107.
- LEFEVRE P., ROUVILLOIS A., GAFFET M.A., BIGNIOT G., 1980 - Alternances de sédimentations marines et continentales durant l'Holocène en Plaine Maritime Picarde. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, n°1-2, p.25-33.
- LEGRAND M., LACOSTE J.P., 1995 - Politiques et coûts de gestion des sites du Conservatoire du Littoral. *Les Cahiers du Conservatoire du Littoral*, n°6, 141p.
- LEJEUNE E., 1995 - Analyse du comportement sédimentaire des ouvrages de défense contre la mer réalisés sur la commune de Sangatte-secteur VVF. Rapport du Service Maritime des Ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais, 50p. et annexes.
- LENTACKER F., 1972 - La sédimentation poldérienne dans la plaine maritime flamande en Belgique et aux Pays-Bas. Inventaire bibliographique et mise au point des interprétations nouvelles liées aux recherches récentes. *Cahiers de géographie physique, Lille*, n°1, p.3-28.
- LEPLAT J., SOMME J., 1989 - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Calais (2). Orléans : Bureau de recherches géologiques et minières, 19p.
Carte géologique par LEPLAT J., SOMME J. (1989).
- LEVOY F., 1989 - Les actions anthropiques : le facteur dominant de la déstabilisation du littoral de Portbail. *Bulletin du Centre de Géomorphologie de Caen*, n°39, p.189-193.
- LEVOY F., 1990 - La défense contre la mer de la côte ouest du Cotentin. Problématique générale. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, n°2, p.171-175.
- LEVOY F., 1994 - Evolution et fonctionnement hydrosédimentaire des plages macrotidales. L'exemple de la côte ouest du Cotentin. Thèse de Doctorat en Géologie, option sédimentologie dynamique, Université de Caen, 423p.
- LEVOY F., FLAGEOLLET J.C., 1986 - Les risques d'érosion et de submersion en milieux littoraux sableux - Approche méthodologique appliquée à la côte Ouest du Cotentin (France). *Revue de Géomorphologie dynamique*, t.35, n°2, p.64-73.
- LEVOY F., LARSONNEUR C., 1994 - Etude globale concernant la défense contre la mer (côte ouest du Cotentin-Manche). Synthèse des études, Université de Caen et Conseil Général de la Manche, 139p.
- LOUCHE B., CRAMPON N., COLBEAUX J.P., BRACQ P., 1995 - Reconnaissance et fonctionnement des hydrosystèmes souterrains dans les dunes et les Bas-Champs de Merlimont (Pas-de-Calais). *Hommes et Terres du Nord*, n°1-2, p.31-39.

- MAAREL VAN DER E., 1971 - Observations sur la structure et la dynamique de la végétation des dunes de Voorne (Pays-Bas). Colloque phytosociologique «La végétation des dunes maritimes», Bailleul, p.167-183.
- MAITI D., THOMAS Y.F., 1975 - Interactions du vent et des plantes en zone duniaire littorale. Mémoire du Laboratoire de Géomorphologie de l'école pratique des hautes études, n°28, Dinard, 59p.
- MARCHAND J.P., 1980 - Les contraintes physiques et la géographie contemporaine. *L'espace Géographique*, n°3, p.231-240.
- MARCHAND J.P., 1985 - Contraintes climatiques et espace géographique. Le cas irlandais, Caen, Paradigme,
- MEUR C., 1993 - Géomorphologie, protection et gestion des dunes de Bretagne septentrionale. Eléments de comparaison avec d'autres régions de la Manche occidentale : Cotentin, Devon et Cornwall (Royaume-Uni). Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Brest, 353p.
- MEUR C., HALLEGOUET B., BODERE J.C., 1994 - Les politiques de protection des espaces naturels littoraux en France, l'exemple de la Bretagne. *Cahiers Nantais*, actes du colloque «Défense des côtes ou protection de l'espace littoral. Quelles perspectives ?», n°41-42, p.322-333.
- MEUR-FERREC C., 1993 - La protection et la gestion des espaces naturels littoraux en Angleterre et aux Pays de Galles. *Norois*, t.40, n°160, p.573-587.
- MEUR-FERREC C., 1995 a - The role of territorial departments in the conservation of French coastal sites. In HEALY et DOODY (eds), *Directions in European coastal management*, Cardigan, Samara publishing limited, p.383-390.
- MEUR-FERREC C., 1995 b - La préservation des espaces naturels littoraux dans le Nord et le Pas-de-Calais : acteurs et politiques d'intervention. *Hommes et Terres du Nord*, n°1-2, p.2-10.
- MIGNIOT C., 1982 - Etude de la dynamique sédimentaire, marine fluviale et estuarienne. Thèse de Doctorat en Océanologie, Université de Paris-sud Orsay.
- MIOSSEC A., 1986 - Cassandre et Pénélope... à propos de quelques cas d'aménagement sur le littoral de la Bretagne et de la Vendée. *Norois*, t.33, n°132, p.505-515.
- MIOSSEC A., 1987 - Les conséquences de la pression touristique sur l'espace physique littoral. *Norois*, t.34, n°133-135, p.153-163.
- MIOSSEC A., 1988 - Aménagement ou occupation de l'espace littoral, forces et faiblesses de la protection de l'environnement. *Cahiers Nantais*, n°30-31, p.189-212.
- MIOSSEC A., 1990 a - Restauration et protection des massifs dunaires : une approche méthodologique. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, n°4, p.307-319.
- MIOSSEC A., 1990 b - Quelques conclusions du colloque sur la défense des côtes. *Cahiers Nantais*, n°35-36.
- MIOSSEC A., 1993 - La gestion de la nature littorale en France atlantique, étude comparative (Royaume Uni, Pays-Bas, Espagne, Etats-Unis). Thèse de Doctorat ès Lettres, Brest, tome 1, 469p.

- MIOSSEC A., 1994 a - Erosion côtière, bilan et prospective, quelles leçons peut-on tirer des observations actuelles ? Actes de la conférence internationale «érosion côtière», Boulogne-sur-Mer, Observatoire de l'Environnement Littoral et Marin Manche et sud Mer du Nord, p. 83-122.
- MIOSSEC A., 1994 b - La défense des côtes en France, d'abord un problème de société. *Cahiers Nantais*, actes du colloque «Défense des côtes ou protection de l'espace littoral. Quelles perspectives ?», n°41-42, p.341-348.
- MIOSSEC A., 1995 - Le traitement du recul de la ligne de rivage en France, pratiques sociales autour d'un problème de nature. *Norvès*, t.42, n°165, p.153-172.
- MIOSSEC A., 1996 - De l'aménagement, du territoire, et de l'environnement, quelques réflexions autour du littoral en France... *Cahiers Nantais*, «Vingt mille lieux sur la Terre. Pour que vive la géographie régionale.», Mélanges offerts au Professeur A. Chauvet, n°44-45, p.33-43.
- MIOSSEC A., CABANNE C., 1990 - La protection du littoral : une approche méthodologique (deux années d'enquête collective du certificat de géographie de la mer). *Cahiers Nantais*, n°35-36, p.153-163.
- MOLLIARD M., 1903 - Le témoignage historique des plantes halophiles dans la région du Marquenterre. *Revue Générale de Botanique*, vol.115, p.433-443.
- MONTAIGNE M., 1972 - La plaine maritime picarde et sa bordure dans la région de la Canche. *Travaux du Laboratoire de Géomorphologie, Cahier de géographie physique*, Université des Sciences et Technologies de Lille, p.65-74.
- MOREL V., 1995 - Impact des actions anthropiques sur les cordons de galets. *Hommes et Terres du Nord*, n°1-2, p.58-64.
- MOUTZOURIS C.L., 1995 - Shoreline structures for coastal defence. In HEALY et DOODY (eds), *Directions in european coastal management*, «Proceedings of the 5th EUCC conference, Swansea», Cardigan, Samara publishing limited, p.153-159.
- MUNAUT A.V., GILOT E., 1977 - Recherches palynologiques et datations ¹⁴C dans les régions côtières du Nord de la France : phases transgressives et stabilisations dunaires flandriennes dans l'estuaire de la Canche (Pas-de-Calais). *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, n°52, p.17-25.
- MUNAUT A.V. et GILOT E., 1980 - Recherches palynologiques et datations ¹⁴C dans les régions côtières du Nord de la France. L'Holocène de la Pointe aux Oies (Wimereux, Pas-de-Calais). *Annales de la Société Géologique du Nord*, n°100, p.23-29.
- NORDSTROM K.F., 1994 - Developed coasts. In CARTER R.W.G., WOODROFFE C.D. (eds), *Coastal evolution. Late quaternary shoreline and morphodynamics*, Cambridge University Press, p.477-509.
- NORDSTROM K.F., CARTER R.W.G., PSUTY N.P., 1990 - Directions for coastal dune research. In NORDSTROM K.F., PSUTY N.P., CARTER R.W.G. (eds), *Coastal dunes : forms and processes*, Chichester, Wiley, p.381-387.
- NORDSTROM K.F., JACKSON N.L., 1995 - Temporal scales of landscape change following storms on a human-altered coast, New-Jersey, USA. *Journal of Coastal Conservation*, vol.1, n.1, p.51-62.
- ORTLICHT J., 1880 - Notes sur les modifications récentes de la côte à Sangatte. *Annales de la Société Géologique du Nord*, t.7, p.117-122.

- PAEPE R., 1960 - La plaine maritime entre Dunkerque et la frontière belge. *Bulletin de la Société belge d'Etudes Géographiques*, t.XXIX, p.47-66.
- PALIERNE J.M., RENAUD E., 1990 - Quand la forêt cache l'arbre, instantanés biogéographiques en milieu dunaire (littoral vendéen). *Cahiers Nantais*, n°35-36, p.195-223.
- PASKOFF R., 1981 - L'érosion des côtes. *Que Sais-je* n°1902, PUF, 128p.
- PASKOFF R., 1983 - L'érosion des plages. *La Recherche*, n°140, p.20-28.
- PASKOFF R., 1989 - Les dunes du littoral. *La Recherche*, n°212, p.888-895.
- PASKOFF R., 1993 a - Côtes en danger. *Pratique de la Géographie*, Masson (ed.), Paris, 250p.
- PASKOFF R., 1993 b - Projet de réhabilitation du bourrelet dunaire de Fort-Mahon, Sangatte, Pas-de-Calais. Rapport d'expertise, Conservatoire du Littoral, 4p.
- PASKOFF R., 1994 a - Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution, Masson (ed), 2^{ème} ed., Paris, 256p.
- PASKOFF R., 1994 b - Les plages : mécanismes sédimentaires et causes naturelles de leur érosion. Actes de la conférence internationale «érosion côtière», Boulogne-sur-Mer, Observatoire de l'Environnement Littoral et Marin Manche et sud Mer du Nord, p.7-23.
- PASKOFF R., 1995 - Le Conservatoire du Littoral confronté au problème de l'érosion marine. *Les Cahiers du Conservatoire du Littoral*, n°7, p.65-74.
- PASKOFF R., 1996 - La restauration des plages et la réhabilitation des dunes littorales, p.95-106. In NEBOIT-GUILHOT R., DAVY L. (dir) : «Les français dans leur environnement», Nathan (ed.), Paris, 382p.
- PASKOFF R., KELLETAT D., 1991 - Introduction : Review of coastal problem. *Zeitschrift für Geomorphologie*, suppl. Bd. 81, p.1-13.
- PAUL F., 1991 - Les tempêtes des mois de janvier et février 1990 dans le Nord de la France. *Hommes et Terres du Nord*, n°4, p.208-212.
- PAUL F., 1994 - Le vent dans la région Nord-Pas-de-Calais, variabilité spatio-temporelle et applications à l'énergie éolienne. Thèse de Doctorat en Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 418p.
- PETIT-BERGHEM Y., 1992 - Les forêts littorales du Nord de la France : risques naturels et aménagements humains. Problématique générale et application au massif d'Écault (Pas-de-Calais). Mémoire de D.E.A., Université des Sciences et Technologies de Lille, 184p.
- PETIT-BERGHEM Y., 1996 - Etude de la dynamique des milieux forestiers du littoral du Nord de la France. Thèse de Doctorat en Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 473p.
- PETIT-BERGHEM Y., DUBOIS J.J., 1995 - Les forêts littorales en milieu dunaire : l'exemple de la Réserve Biologique Domaniale de Merlimont (Pas-de-Calais). *Hommes et Terres du Nord*, n°1-2, p.11-20.
- PETIT-BERGHEM Y., MATYSIAK J.P., 1996 - Quelques données nouvelles sur la Réserve Domaniale de Merlimont. *Bulletin de la Société Botanique du Nord de la France*, vol.49, n°1, p.1-15.

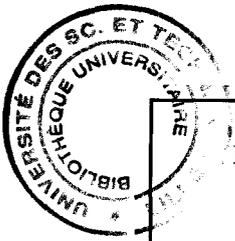
- PICOUET P., 1993 - L'estuaire de la Canche : un modèle picard rajeuni. *Norois*, t.40, n°159, p.443-455.
- PICOUET P., KERGOMARD C., 1994 - Les paysages de l'estuaire de la Canche et de ses environs : une approche dynamique à échelles emboîtées à partir des données LANDSAT et SPOT. *Photo-interprétation*, n°3-4, p.101-107.
- PINCHEMEL P., PINCHEMEL G., 1995 - La face de la Terre. Eléments de géographie, A. Colin (ed.), Paris, 520p.
- PINOT J.P., 1989 - L'évolution des côtes du Trégor et du Léon depuis le 18^{ème} siècle. *Bulletin du Centre de Géomorphologie de Caen*, n°39, p.9-12.
- PINOT J.P., 1991 - Vocabulaire de géomorphologie littorale et d'aménagement littoral, Brest, 21p.
- PINTE P. - 1987 - Essai de cartographie des risques naturels du littoral de Wissant à Wimereux (Bas Boulonnais). *Hommes et Terres du Nord*, n°3, p.160-178.
- PLUIS J.L.A., 1995 - Development of aeolian features in the dunes of Merlimont, Pas-de-Calais, northwest France. Université d'Amsterdam, 26p.
- PLUIS J.L.A., DE WINDER B., 1990 - Natural stabilization. In BAKKER T.W.M., JUNGURIUS P.D., KLUN J.A. (eds), Dunes of the european coast, *Catena*, supplement n°18, p.195-208.
- PSUTY N.P., 1988 - Sediment budget and dune/beach interaction. *Journal of Coastal Research*, special issue n°3, p.1-4.
- PSUTY N.P., 1989 - An application of science to the management of coastal dunes along the Atlantic coast of U.S.A..In GIMINGHAM C.H., RITCHIE W., WILLETTS B.B., WILLIS A.J., Proceedings of The Royal Society of Edinburgh, Symposium of coastal sand dunes, B, 96, p.289-307.
- PYE K., 1983 - Coastal dunes. *Progress in Physical Geography*, n°7, 531-557.
- RANDET-BOUCHERON C., 1986 - Aménagement et gestion des dunes littorales. Thèse de Doctotat en Géographie, Université de Paris IV, 393p.
- REGNAULD H., EMELIANOFF C., DUBREUIL V., 1993 - Rythmes, seuils et discontinuités temporels en milieu littoral. L'exemple de Belle-Ile, golfe de Gascogne. *Norois*, t.40, n°159, p.351-370.
- RENARD-PAYEN M., 1937 - L'histoire de la défense contre la mer et du dessèchement en Picardie - L'association des Bas-Champs de la Somme. Domat-Montchrestien (ed), Paris, 387p.
- ROBERTSON-RINTOUL M., RITCHIE W., 1990 - The geomorphology of coastal sand dunes in Scotland, a review. *Catena supplement*, n°18, p.41-49.
- ROBIC M.Cl. (dir.), 1992 - Du milieu à l'environnement. Pratiques et représentations du rapport homme/nature depuis la Renaissance, Paris, Economica, 344p.
- ROUGERIE G., BEROUTCHACHVILI N., 1991 - Géosystèmes et paysages, bilan et méthodes, A. Colin (ed.), Paris, 302p.
- RUTOT M., 1897 - Les modifications du littoral belge pendant la période moderne. *Annales de la Société Géologique du Nord*, t.26, p.157-167.

- SCUVEE F., 1969 - Contribution à l'étude des niveaux de tourbe submergés des plages du Cotentin, *Revue du Département de la Manche*, 2, 42, 273-281.
- SCUVEE F., 1973 - Contribution à l'étude des niveaux de tourbes submergés des plages du Cotentin. *Bulletin de la Société normande d'Archéologie*, t.40, 4, p.131-141.
- SCUVEE F., VERAGUE J., 1986 - Etude géomorphologique des formations meubles quaternaires de la côte du Val de Saire (Basse-Normandie). *The archeology of Channel Islands*, n°37, p.170-206.
- SCUVEE F., VERAGUE J., 1989 - Appoche géomorphologique de la côte du Val de Saire (Cotentin, Basse-Normandie). *Bulletin du Centre de Géomorphologie de Caen*, n.36, p.253-238.
- SERVICE MARITIME DES PORTS DE BOULOGNE-SUR-MER ET DE CALAIS, 1992 - Inventaire des ouvrages de défense contre la mer de Oye-Plage à la Baie de Canche.
- SERVICE MARITIME DES PORTS DE BOULOGNE-SUR-MER ET DE CALAIS, 1992 - Inventaire des ouvrages de défense contre la mer de la Baie de l'Authie à la Baie de Canche.
- SERVICE TECHNIQUE DE LA NAVIGATION MARITIME ET DES TRANSMISSIONS DE L'EQUIPEMENT, 1995 - Catalogue de fiches synthétiques de mesures de houle, 171p.
- SHERMAN D.J., BAUER B.O., 1993 - Coastal geomorphology through the looking glass. *Geomorphology*, n°7, p.225-249.
- SHORT A.D., HESP P.A., 1982 - Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. *Marine Geology*, n°48, p.259-284.
- SOGREAH, 1988 - Estuaire de la Canche. Amélioration du chenal d'accès. Etude de faisabilité. Rapport général.
- SOMME J., 1969 - La plaine maritime. *Annales de la Société Géologique du Nord*, t.LXXXIX, p.117-126.
- SOMME J., 1976 - La falaise de Sangatte et les formations quaternaires du Calaisis. Livret guide du IX^{ème} congrès de l'U.I.S.P., A10, p.187-190.
- SOMME J., 1977 - Les plaines du Nord de la France et leur bordure. Etude géomorphologique. Thèse de Doctorat d'Etat, Paris et Lille, Champion, 2 vol., 810p.
- SOMME J., 1979 - Quaternary coastlines in northern France. In *The quaternary history of the North Sea, Acta Universitatis Uppsaliensis*, Uppsala, p.147-158.
- SOMME J., 1988 a - La plaine maritime française de la Mer du Nord : évolution holocène et héritage pléistocène. In : «Campagnes et littoraux d'Europe», Mélanges offerts au Professeur P. Flatrès, *Hommes et Terres du Nord*, Lille, p.273-281.
- SOMME J., 1988 b - Géomorphologie de la zone terminale du tunnel sous la Manche dans le Nord de la France. *Hommes et Terres du Nord*, Lille, n°3, p.155-161.
- SOMME J., 1990 - Enregistrements-réponses des environnements sédimentaires et stratigraphie du quaternaire - Exemples d'Achenheim (Alsace) et de la Grande Pile (Vosges). *Quaternaire*, n°1, p.25-32.
- SOMME J., ANTOINE P., 1989 - La plaine maritime de la Mer du Nord (France) et le Pas-de-Calais : du Pléistocène moyen à l'Holocène. *Bulletin du Centre de Géomorphologie de Caen*, n°36, p.218-222.

- SIPKA V., 1997 - Détermination et cartographie des cellules morphosédimentaires sur le littoral du Nord-Pas de Calais, Nord de la France. *Lettre d'information du groupe français de géomorphologie*, n°20, p.27.
- STAPOR F.W., MAY J.P., 1983 - The cellular nature of littoral drift along the northeast Florida coast. *Marine Geology*, n°51, p.217-237.
- STIVE M.J.F., ROELVINK D.A., ROELVINK H.J., 1990 - Large-scale coastal evolution. In C.J. LOUISSE, M.J.F. STIVE et H.WIERSMA (eds), 22nd International Conference on Coastal Engineering, p.9.1-9.13.
- TAVERNIER R., 1947 - L'évolution de la plaine maritime belge. *Bulletin de la Société Géologique de Belgique*, n°56, p.332-343.
- TERS M., DELIBRIAS G., DENEFLÉ M., ROUVILLOIS A., FLEURY A., 1980 - Sur l'évolution géodynamique du Marquenterre (Basse-Somme) à l'Holocène et durant le Weichselien ancien : La série des dépôts marins et continentaux aux environs de Rue. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, n°1-2, p.11-23.
- TISSIER J.L., 1992 - La géographie dans le prisme de l'environnement (1970-1990). In ROBIC M.C. (ed.), Du milieu à l'environnement. Pratiques et représentations du rapport homme/nature depuis la Renaissance, Paris, Economica, p.201-236.
- TISSIER J.L., 1996 - Du milieu à l'environnement : l'émergence d'un concept dans le discours des géographes français. In NEBOIT-GUILHOT R., DAVY L. (dir.) : «Les français dans leur environnement», Nathan (ed.), Paris, p.11-42.
- TOULEMONT M., 1994 - Les compétences administratives en matière de prévention des risques littoraux. Actes de la conférence internationale «Erosion côtière», Boulogne-sur-Mer, Observatoire de l'Environnement Littoral et Marin Manche et sud Mer du Nord, p.35-42.
- TRICART J., 1951 - L'évolution morphologique des Bas-Champs picards. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, n°2, p.49-65.
- TRICART J., KILIAN J., 1978 - L'écogéographie et l'aménagement du milieu naturel, Paris Maspéro, 326p.
- TRZPIT J.P., 1977, Les tempêtes nord-atlantiques : essai d'analyse géographique. *Norois*, n° 93, p.33-52 et n° 94, p.211-234.
- TRZPIT J.P., 1990, Vivre avec les tempêtes dans l'Europe du Nord-Ouest. De l'évènement météorologique à la réalité vécue. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, n°1-2, p.163-205.
- TRZPIT J.P., 1996, Quand les hommes luttent contre vents et marées. In NEBOIT-GUILHOT R., DAVY L. (dir) : «Les français dans leur environnement», Nathan (ed.), Paris, p.106-124.
- TULLIE S., 1995 - Notice d'étude d'impact sur la protection du littoral de Oye-Plage, 25p.
- VAN DER WEIDE J., HOOZEMANS F.M.J., 1993 - Engineering tools and techniques for coastal zone management. In HILLEN R., VERHAGEN H.J. (eds.), Coastlines of the southern North Sea, Coastal zone 1993, New-York, p.344-359.
- VANGILVE J.F., 1996 - Etude morphologique des falaises du Cap Gris-Nez : évolution et dynamique littorale. Mémoire de maîtrise de Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 113p.

- VASSALLUCCI J.L., 1995 - Le suivi de l'impact des actions anthropiques sur le littoral de la Manche orientale. Manuscrit de la communication aux VII^{ème} journées scientifiques de la société d'écologie humaine, Aix-en-Provence, 10p.
- VERGER F., 1968 - Marais et wadden du littoral français. Etude de géomorphologie, Caen, Paradigme, 549p.
- VERGER F., 1986 - Le retournement récent de la perception sociale des conquêtes sur la mer dans le Marais Poitevin. 111^{ème} Congrès National des Sociétés Savantes, Histoire des Sciences, p.187-192.
- VERGER F., 1993 - Conceptions successives de l'aménagement des vasières littorales par les sociétés riveraines. *Mappemonde*, n°1, p.21-26.
- VERGER F., 1995 - Slikkes et schorres, milieux et aménagement. *Norwis*, n°165, p.235-245.
- VERGER F., AUPHAN E., MONIOT C., 1972 - La carte géomorphologique conçue comme un modèle dynamique. Extrait de «Mémoires et Documents du Service de Documentation et de Cartographies Géographiques», vol.12, p.223-265.
- VERHAGEN H.J., 1989 - Sand waves along the Dutch Coast. *Coastal Engineering*, n°13, p.129-147.
- VESTERGAARD P., HANSEN K., 1992 - Changes in morphology and vegetation of a man-made beach-dune system by natural processes. In CARTER R.W.G., CURTIS T.G., SHEEHY-SKEFFINGTON M.J. (eds.) - Coastal dunes. Geomorphology, ecology and management for conservation, «Proceedings of the third european dune congress, Galway, Ireland», Rotterdam, Balkema, p.165-176.
- VEYRET Y., 1994 - Géographie, environnement, écologie. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, n°4, p.426-435.
- VICAIRE O., 1991 - Dynamique hydrosédimentaire en Mer du Nord méridionale (du Cap Blanc Nez à la frontière belge). Thèse de Doctorat en Océanologie, Université des Sciences et Technologies de Lille.
- VICTOR F., 1994 a - Le coût de 10 années de protection contre la mer en Nord-Pas-de-Calais. Actes de la conférence internationale «érosion côtière», Boulogne-sur-Mer, Observatoire de l'Environnement Littoral et Marin Manche et sud Mer du Nord, p.55-74.
- VICTOR F., 1994 b - Etude des risques littoraux concernant le lotissement des Escardines (Oye-Plage, Pas-de-Calais). Risques, cadre morphodynamique de l'intervention et solutions techniques. Service Maritime des ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais, 53p.
- VIGARIE A., 1987 - La décentralisation et l'aménagement du littoral en France. In Régions, villes et aménagement, Mélanges jubilaires offerts à J. Beaujeu-Garnier, Centre de Recherches et d'Etudes sur Paris et l'Ile-de-France, p.573-584.
- WATTEZ J.R., FOUCAULT de D., 1982 - La végétation des Mollières de Berck ; étude phytosociologique et écologique. Mémoire, 36p.
- WISSOCQ L., 1992 - Impact géomorphologique des tempêtes de 1989-1990 sur le littoral du Cap Blanc-Nez (Pas-de-Calais). *Hommes et Terres du Nord*, n°3, p.132-135.
- WRIGHT L.D., NIELSEN A.D., SHORT A.D., GREEN M.O., 1982 - Morphodynamics of a macrotidal beach. *Marine Geology*, n°50, p.97-128.

- YONI C., 1997 - Evolution des flèches dunaires à pointe libre de Bretagne depuis les années 1950. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°3, p.209-226.
- YONI C., HALLEGOUET B., BODERE J.C., 1994 - Ouvrages de protection et artificialisation de la ligne de rivage dans le pays Pagan (Finistère). *Cahiers Nantais*, actes du colloque «Défense des côtes ou protection de l'espace littoral. Quelles perspectives ?», n°41-42, p.116-124.
- ZENKOVICH V.P., 1967 - Processes of coastal development. OLIVER AND BOYD (eds), Edinburgh, 738 p.



ETUDE DE GEOMORPHOLOGIE HISTORIQUE DES LITTORAUX DUNAIRES DU PAS-DE-CALAIS ET DU NORD-EST DE LA MANCHE.

HISTORICAL GEOMORPHOLOGY OF COASTAL DUNES IN
PAS-DE CALAIS AND NORTH-EASTERN MANCHE (FRANCE)

RESUME

Dans le contexte géomorphologique des côtes basses meubles, trois types morphologiques sont étudiés : les dunes bordières de Sangatte et du Platier d'Oye sur le littoral de la plaine maritime flamande (département du Pas-de-Calais), le système dunaire de la rive nord de la baie de l'Authie sur le littoral de la plaine maritime picarde (département du Pas-de-Calais) et les micro-milieus dunaire de la côte nord-orientale du Cotentin (département de la Manche). La problématique de l'étude se situe à l'intersection entre les champs disciplinaires de la géomorphologie littorale et de la géographie historique.

Dans un premier temps, les milieux dunaire sont analysés à grande échelle spatiale sous le double aspect morphologique et biogéographique (approche naturaliste). Une approche historique permet de considérer plusieurs formes de temporalités à l'intérieur desquelles sont présentés les rapports entre le milieu littoral, sa dynamique et les sociétés humaines.

Relativement à une logique géomorphologique, sont mis en évidence les changements géographiques de l'anthropisation, l'évolution des pratiques relatives aux interventions humaines sur la dynamique du littoral et l'évolution des représentations et des conceptions des sociétés humaines par rapport à cette dynamique.

Les tempêtes sont des moments de crise importants dans les rapports entre l'évolution du littoral et les sociétés humaines : une analyse de leur rôle récurrent et de leurs conséquences est présentée sur le littoral de Sangatte de la fin du XVI^{ème} siècle aux années 1990.

Un développement important est consacré au programme expérimental de protection et de restauration de la dune bordière de Sangatte (1993-1997). Une réflexion est élaborée sur l'aménagement et la gestion passée et actuelle des différents littoraux étudiés.

MOTS-CLES : GEOMORPHOLOGIE LITTORALE, GEOGRAPHIE HISTORIQUE, COTE BASSE MEUBLE, PAS-DE-CALAIS, NORD-EST DE LA MANCHE, TEMPETE, AMENAGEMENT DU LITTORAL.

ABSTRACT

The present work brings an overview of anthropic influences in coastal dunes and coastal lowlands evolution since the middle of the 19th century. The study is referred to three types of morphological units which are located in Pas-de-Calais and north-eastern Cotentin (France) : foredunes of Sangatte and Oye-Plage represent the south limit of the North Sea coastal plain's coastline (Flemish coastal plain in France), dune system of the north part of bay d'Authie which is one of the three estuaries (with Canche estuary and Somme bay) that interrupted the straight coastline of the coastal plain of Picardy, micro-coastal dunes and coastal lowland of north-eastern Cotentin (Manche). The problematic of the work is based on geomorphology and on historical geography. We use both naturalist and historical approaches to assess the influence of human society in shoreline and coastline evolution. Changes in shoreline protection techniques and in coastal managers attitudes towards coastal evolution are also considered. We show that major changes in coastal protection and coastal management are related to storms events ; this topic is presented for the coastline of Sangatte (west of Calais, Pas-de-Calais). We compare past and present coastal management through the example of the experimental protection scheme of Sangatte foredune (1993-1997).

KEYS-WORDS : COASTAL GEOMORPHOLOGY, HISTORICAL GEOGRAPHY, LOW SANDY COAST, PAS-DE-CALAIS, NORTH-EASTERN MANCHE, STORM, COASTAL MANAGEMENT.