

50376
1989
72

50376
1989
72

LILLE 1989 — n° d'ordre 336 —

**THESE présentée à l'Université des Sciences et
Techniques de Lille Flandre-Artois
pour obtenir le titre de
DOCTEUR de l'UNIVERSITE
en Océanologie**



par Yves DESPEYROUX

**HYDRODYNAMIQUE SEDIMENTAIRE
DANS LA BAIE DE CANCHE :
Aspects fondamentaux et appliqués**

soutenu le 29 mai 1989 devant la commission d'examen :

. H. CHAMLEY	Président
. P. DEBRABANT.....] Rapporteurs
. P. CASTAING	
. A. RICHARD] Examineurs
. C. BECK	

- AVANT PROPOS -

Avant d'aborder la présentation de ce mémoire, je tiens à adresser mes plus vifs remerciements à tous ceux qui, par leurs conseils et leurs encouragements, ont contribué à sa réalisation.

Monsieur le Professeur H. CHAMLEY a bien voulu continué de m'accueillir dans son laboratoire durant les longues prolongations de la thèse de 3^{ème} cycle. Il me fait l'honneur de présider ce jury. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de mes sentiments respectueux.

Monsieur P. CASTAING de l'Université de BORDEAUX I a bien voulu continué de me suivre et a accepté fort aimablement d'être, une nouvelle fois, rapporteur de cette thèse. Je suis très honoré de cette marque de confiance et de sa participation à ce jury.

Monsieur le Professeur P. DEBRABANT a accepté une nouvelle fois de participer à ce jury et de juger ce nouveau travail. Je lui suis reconnaissant pour sa confiance et le remercie très vivement.

Monsieur le Professeur A. RICHARD a toujours montré un vif intérêt à tous les évènements se produisant sur le littoral Nord-Pas de Calais. Je lui en sais gré d'avoir accepté de participer à ce jury.

Monsieur le Professeur C. BECK m'a fait l'honneur de juger ce travail et l'en remercie.

Les ponts et Chaussées Maritimes de Boulogne et d'Etaples ont mis à ma disposition tous les documents intéressant mon étude et j'ai pu apprécier la disponibilité de Messieurs J.P. DHORME et O. SENSE à Boulogne et de Monsieur DELFORGE à Etaples.

Sans la précieuse aide technique de Monsieur P.RECOURT qui a toujours su travailler avec diligence et abnégation, je n'aurai jamais pu dénouer tous les problèmes rencontrés au laboratoire.

J'ai profiter de la compréhension de Monsieur le Professeur Y. LEFEBVRE, du laboratoire de spectroscopie moléculaire de l'Université de Lille I. Sans lui ce mémoire n'aurait pas encore vu le jour. Je le remercie très sincèrement de sa présence discrète.

J'associe à mes remerciements tous mes amis qui ont contribué par leur soutien et leur sympathie à la réalisation de ce travail :

- au soutien de Philippe SAUVAGE et de Bruno TOISON, de l'Espace Naturel Régional, au moment des premières démarches;
- aux conseils de Anne BOUQUILLON, pour la détermination des minéraux argileux;
- à l'aide efficace de Stéphane DEWEZ au moment des missions en mer et de celle de Olivier VICAIRE lorsque le week end il fallait se battre avec les micro-ordinateurs;
- aux échanges nombreux en fin de parcours avec Thierry IMBERT, concurrent sur le même secteur du littoral;
- au soutien discret et avisé de Monsieur DEGARDIN, maître de conférence à l'Université des Sciences et techniques de Lille Flandre Artois,
- aux relectures et critiques pertinentes de Monsieur François GUILLOT.

J'exprime mon amitié à Monsieur Jean CARPENTIER qui a en tout temps et à toute heure su se montrer disponible et attentif pour tous les problèmes de photos.

Le tirage "off set" a été confié à Madame BREBION dont je ne saurais vanter la qualité de son travail; enfin Monsieur R. BALLENGHIEN a assuré la reliure. Ils savent tous les deux que ma reconnaissance leur est acquise.

L'avant propos de ce mémoire est pour moi l'occasion de rendre hommage à mes parents et à ma famille souvent restés en retrait mais à qui je dois beaucoup.

Enfin, j'exprime ma reconnaissance à Patricia, véritable Pénélope des temps modernes. Le temps est arrivé où je pourrai partager autre chose que des moments d'absence.

RESUME

Les recherches effectuées s'inscrivent dans le cadre d'une convention de coopération entre l'IFREMER et le Conseil Régional Nord - Pas de Calais, associant chimistes, biologistes et sédimentologues.

Deux approches ont été réalisées concernant l'estuaire de la Canche. La première a porté sur les aspects hydrosédimentaires à partir de prélèvements d'eau, de suspensions et de sédiments. La deuxième approche a eu pour objectif d'observer l'influence des aménagements en cours (prolongement de digues) sur l'évolution de l'estuaire aval.

L'estuaire présente une surface en grande partie intertidale et une morphologie marquée par un comblement résultant d'apports marins et d'actions anthropiques. Corrélativement, l'axe de l'estuaire dérive vers le Nord. La canalisation du chenal par des digues détermine une distribution latérale des lithofaciès, dont les principaux sont représentés par le faciès sableux, la slikke et le schorre.

La pénétration rapide de la marée entraîne un important brassage des eaux et interdit toute stratification saline et thermique. En fonction des coefficients de marée, la pénétration marine varie sur une dizaine de kilomètres. Les sédiments se déplacent essentiellement en suspension.

A partir des résultats de la 1ère étude et d'un suivi sédimentologique, morphologique et topographique des plages avoisinantes, il n'a été constaté, à court terme, qu'une influence modérée des aménagements. Mais au vu des connaissances sédimentologiques, de l'aéro et hydrodynamique du secteur aval de l'estuaire, les résultats obtenus laissent présager pour l'avenir, un colmatage plus rapide de l'estuaire, une diminution de la force érosive des courants, la disparition progressive du promontoire intertidal à l'embouchure et un ralentissement général de l'érosion de la rive nord de la baie.

Mots clés : Canche - Picardie - Estuaire - Hydrologie - Aménagement - Sédimentologie -

ABSTRACT

Investigations were carried out as part of a cooperation program sponsored by the Institut Français de Recherche pour l'Exploration de la MER (IFREMER) and the Nord-Pas de Calais Region; this program involves marine chemists, biologists and sedimentologists.

Two studies have been performed about the Canche estuary, North of France. The first is a hydrosedimentary study which concerns a combined study of water, suspended matter and sediments. The second considers the influence aménagement of the present-day (embankment prolongation) on the evolution of the lowermost part of the Canche estuary.

The estuary has a large intertidal surface and its morphology is characterized by a sedimentation due to sea influx and man actions. Along the time, the estuary axis moved to the North. The artificial channelization led to a peculiar lateral distribution of lithofacies.

The flood tide induces strong water mixing and prevents any salt and temperature stratification. Between neap-tide (coef. 38) and spring-tide (coef. 117), the upstream limit of the salinity intrusion varies of about ten kilometers.

This study has been completed by a sedimentologic, morphologic and topographic investigation on the beaches bordering the estuary mouth which points to a slight influence of local developments. Sedimentologic, aero and hydrodynamic data allow to foresee a faster sedimentation, a progressive dislocation of the intertidal promontory in the mouthriver, and a general slackening of erosion in the north bank bay.

Keywords : Canche - Picardy - Estuaries - Hydrology - Amenagement - Sedimentology -

PHOTO : VUE AERIENNE DE LA BAIE DE CANCHE - MISSION 1987 DE
L'INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL



INTRODUCTION

INTRODUCTION

La baie de Canche est l'espace géographique correspondant à l'estuaire aval du fleuve du même nom et localisé au Nord de la ville du Touquet - Paris Plage (figure 1).

L'évolution de l'estuaire fait ressortir trois préoccupations majeures : l'érosion de la rive de Lornel, son colmatage et la stabilité du chenal. Ces préoccupations amenèrent les responsables locaux à envisager des aménagements d'endiguement à l'aval ainsi que le percement du banc du Pilori.

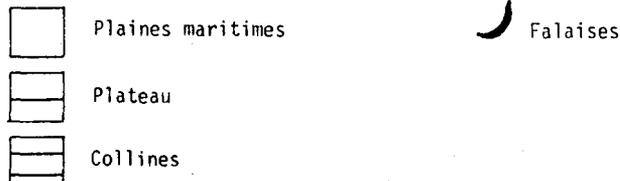
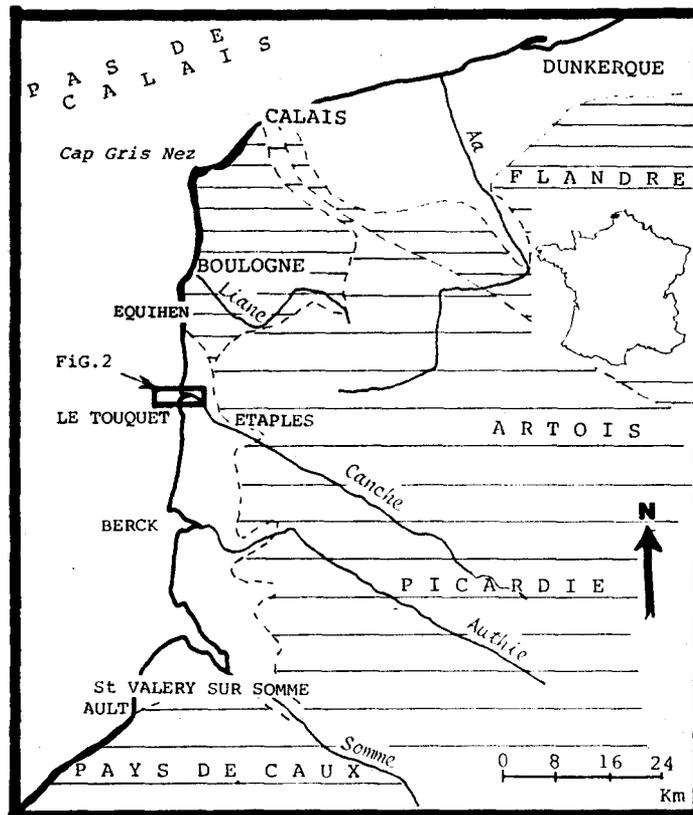


FIGURE 1 : LA CÔTE PICARDE; SITUATION GEOGRAPHIQUE ET SCHEMA MORPHOLOGIQUE

L'objectif premier de cette étude était d'observer l'influence des aménagements en baie de Canche et notamment celle du percement du banc du Pilori sur l'évolution du trait de côte longeant la rive de Lornel, et les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile (figure 2). Par la suite, l'étude s'est orientée sur l'impact de ces aménagements dans la baie, afin de prévoir l'évolution possible du secteur.

Nous avons choisi la démarche suivante, articulée en deux parties :

- la première consiste en une synthèse des données existantes où est décrit le cadre de l'étude sous ses aspects géographique, géologique, morphologique, aéro et hydro-dynamique, en tentant de résumer les mécanismes d'évolution.

- la seconde partie, fondée sur une étude sédimentologique, propose une tentative de prévision de l'évolution de l'estuaire, en fonction des résultats trouvés et des connaissances déjà acquises et répertoriées dans la première partie.

Bien que n'émergeant pas à la répartition des moyens de la convention de coopération Région Nord-Pas de Calais/IFREMER en matière de Recherche et de Développement dans les domaines marin et littoral, le présent travail s'y rattache de fait et vient compléter de nombreux travaux effectués sur le site et notamment ceux de ORANGE (1983) portant sur l'hydrologie et la répartition de la faune dans l'estuaire, ceux de DESPEYROUX (1985a) sur l'étude hydrosédimentaire de l'estuaire et ceux de BRABANT (1986) concernant l'impact des aménagements de la baie sur la flore et la faune. Il vient plus particulièrement prolonger l'étude réalisée en 1985 par DESPEYROUX, qui a permis :

- de préciser l'évolution morphologique de l'estuaire,
- d'établir des cartes sédimentologiques détaillées,
- de déterminer les processus hydrologiques,
- de comprendre la dynamique sédimentaire.

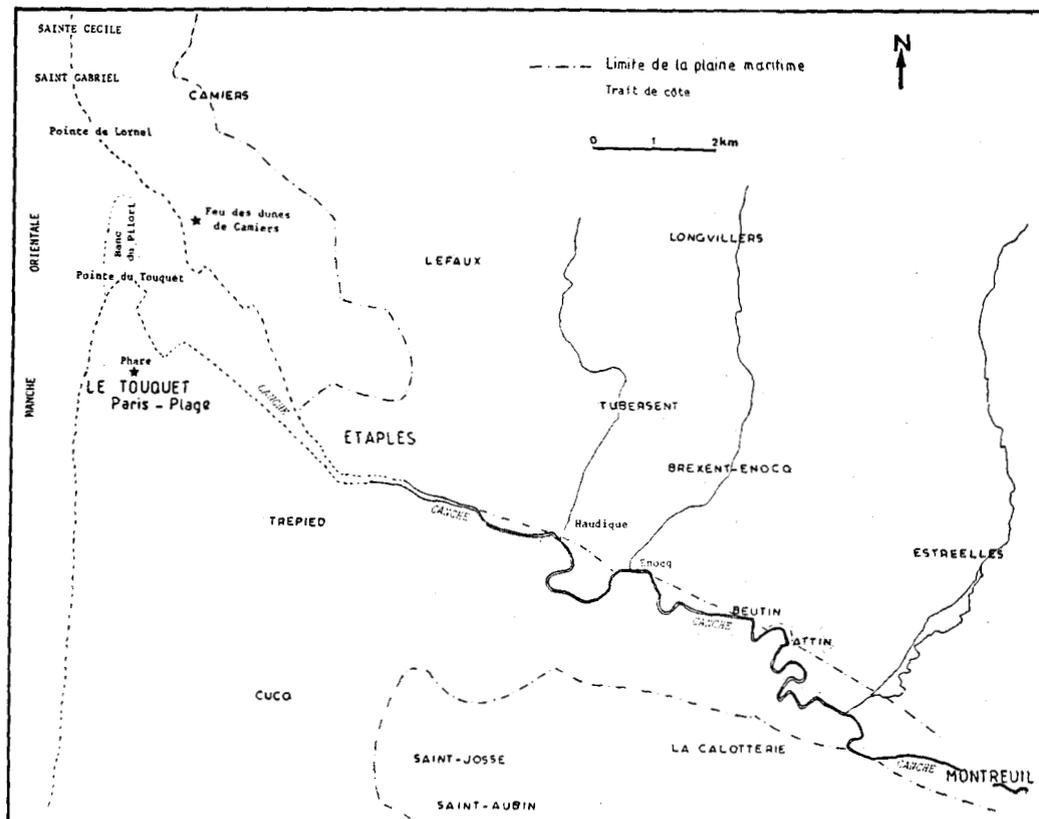


FIGURE 2 : CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA BASSE CANCHE (D'APRES DESPEYROUX, 1985)

PREMIERE PARTIE

Cadre d'étude

C H A P I T R E I

C A D R E D E L ' E T U D E

I CADRE GEOGRAPHIQUE

I-1 La côte picarde

Dans sa partie nord et nord-ouest, la Picardie est une région de plaines ou de plateaux crayeux. L'épaisse assise de la Craie du Crétacé Supérieur y est affectée de larges ondulations parallèles, d'axes NW-SE, entre les antiformes de l'Artois au Nord, et du Pays de Bray au Sud (figure 1). Ce dispositif est visible jusqu'à la côte de la Manche Orientale qui présente une direction subméridienne entre le Boulonnais (au Nord) et le Pays de Caux (au Sud). Entre ces deux zones hautes (intersection des antiformes précédentes et de la côte, avec des falaises à pic dans la mer) s'est façonnée une plaine maritime. Les fleuves côtiers (Canche, Authie, Somme) semblent suivre la direction structurale NW-SE avant de terminer leur cours en Manche Orientale.

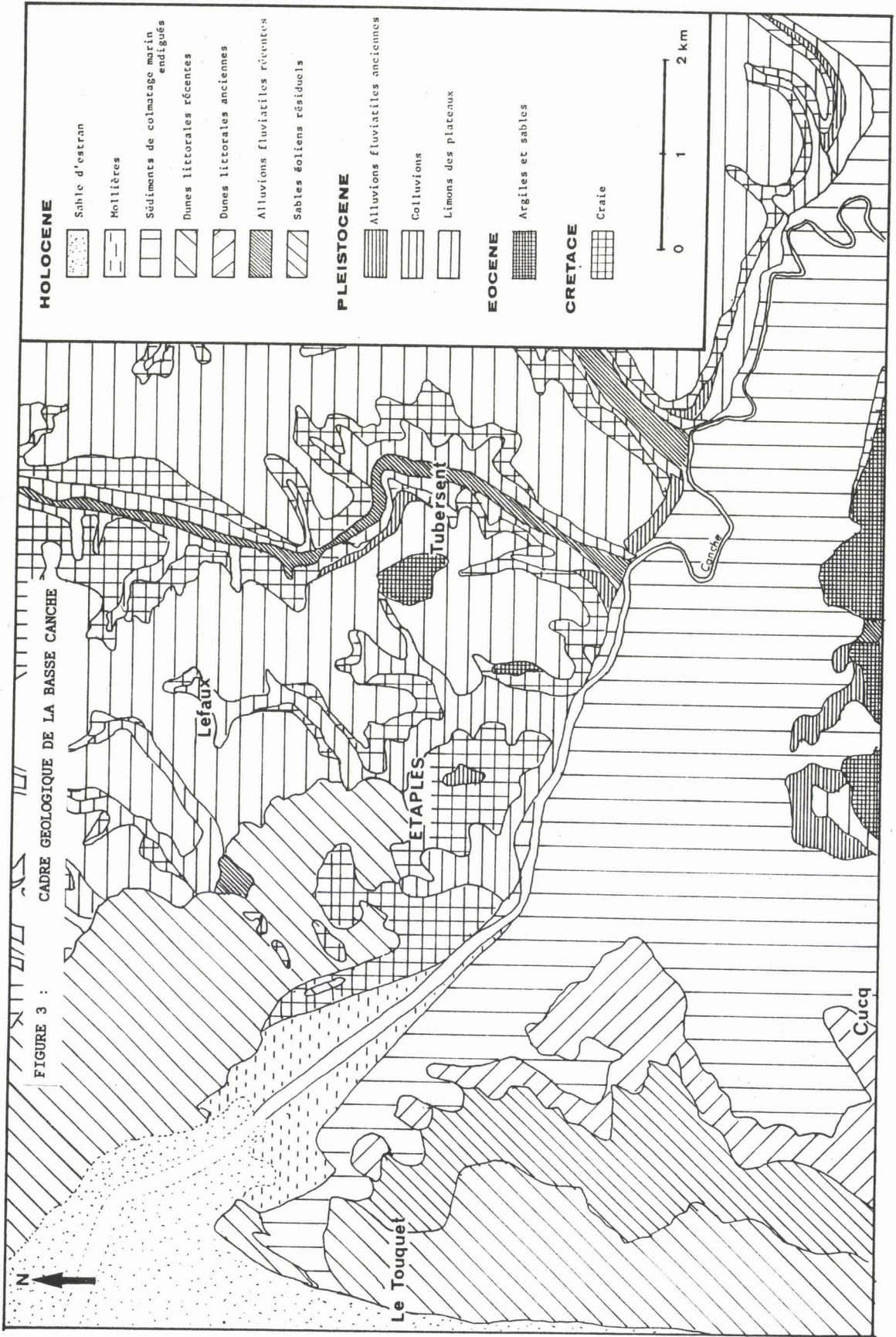
I-2 La baie de Canche

La Canche correspond au plus septentrional des 3 estuaires cités ci-dessus et s'ouvre en Manche Orientale entre les stations balnéaires de Sainte-Cécile Plage au Nord, et du Touquet Paris Plage au Sud. L'estuaire constitue une zone de transition entre le domaine continental et le milieu marin et est, à l'Ouest, séparé de la mer ouverte par une flèche sableuse, le banc du Pilon.

II CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

La région considérée autour d'Etaples est limitée au Nord par le horst Artois - Boulonnais et au Sud par le Marquenterre (*sensu lato*), partie intégrante de la plaine maritime picarde. Dans celle-ci les petits fleuves côtiers (Canche, Authie, Somme), d'orientation générale NW-SE suivent le sens des axes des plis déterminés par des failles d'orientation identiques: faille de Montreuil-Bassurelle à caractère décrochant (affectant le Crétacé), faille de Marguelfe Wimereux... (selon AUFFRET et COLBEAUX, 1977), avant de terminer leur cours en Manche Orientale.

Dans sa partie aval, la Canche est à la limite de deux provinces structurales contrastées: les couches secondaires et tertiaires sont faiblement inclinées vers le Sud entre la Canche et la Somme, alors qu'au Nord elles se relèvent assez fortement à l'approche du Boulonnais.



A partir d'Etaples, la rive droite de la Canche est bordée de craie blanche sénonienne, puis de dunes littorales récentes.

Sur la rive gauche, au Sud-Est d'Etaples, une couronne de sable et d'argile d'âge Thanétien délimite la région de Saint Josse, Saint Aubin et la Calotterie (figure 3) (Carte géologique à 1/50 000 de Montreuil); en se dirigeant vers le littoral, le fleuve longe un environnement sableux d'âge Holocène.

III MORPHOLOGIE

Le paysage comporte deux zones sujettes à l'érosion et/ou à la sédimentation actuelles, l'estuaire et les dunes, dont je rappelle les principaux caractères ci-après.

III-1 Morphologie actuelle de l'estuaire

L'estuaire présente une surface en grande partie intertidale, autour du chenal immergé en permanence.

Les différents agents dynamiques (vent, houle, courants, marée) ont défini à sa surface des entités sédimentaires, organisées en grande partie suivant une distribution latérale autour de son chenal principal (DESPEYROUX et CHAMLEY, 1985).

L'asymétrie de l'estuaire est à relier à la présence de digues en rive gauche, qui permirent de soustraire des terres à l'influence de la marée. L'implantation de ces digues a permis l'installation du champ de courses du Touquet en 1924 (BRIQUET, 1930) et de l'aéroport en 1936.

Des mares naturelles ou artificielles, flanquées de gabions (abris de chasseurs), parsèment la surface des mollières ou schorre. Un réseau dense de chenaux indente le tapis végétal qui est dominé par une population halophile d'obiones.

A partir du port d'Etaples, la Canche s'élargit en un estuaire d'orientation SE-NW et se termine en mer par un passage divagant qui coupe le réseau dunaire d'une côte rectiligne. Il s'ouvre entre le secteur de Lornel au Nord, et la ville du Touquet Paris-Plage au Sud, sur une largeur approximative de 3 km; à Etaples situé à environ 4,5 km de la mer, sa largeur n'est plus que de 300 m.

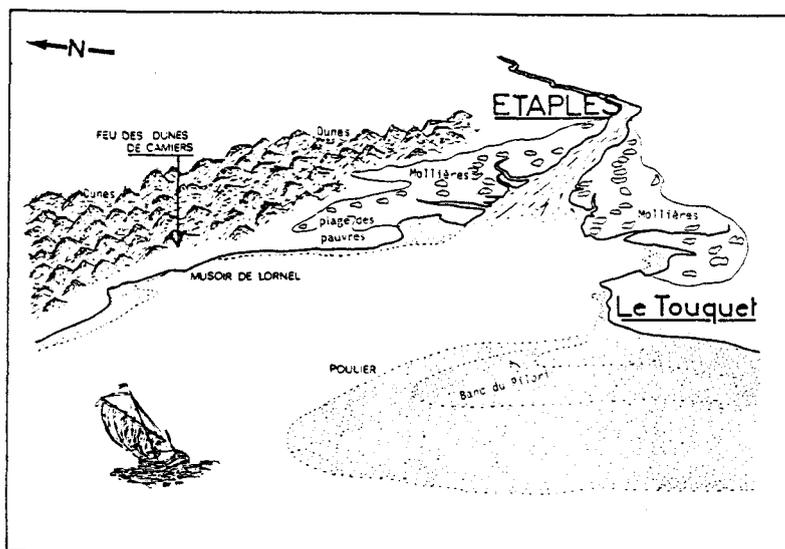


FIGURE 4 : EMBOUCHURE DE LA CANCHE VUE DU LARGE (D'APRES DESPEYROUX, 1985)

L'embouchure (figure 4), typique des estuaires picards, présente une barre littorale, ou poulrier, au Sud (banc du Pilon) opposée à une rive en érosion, ou musoir, au Nord, dans le secteur de Lornel. Le chenal atteint la mer par un cours sinueux qui change souvent de position. En 1988, il contourne le banc du Pilon et décrit une courbe concave à la pointe de ce même banc dans le secteur du feu des dunes de Camiers, dit phare Armand.

III-2 Morphologie des dunes

Les dunes de la Baie de Canche font partie d'un ensemble plus vaste qui s'étend jusqu'à Equihen au Nord (figure 1). Le massif dunaire compris entre cette ville et la baie (au Sud) couvre une superficie de 3200 hectares et borde 15 kilomètres de rivage (DUVAL, 1986), où sont installées les stations balnéaires de Hardelot, Sainte-Cécile et Saint-Gabriel. Les dunes sont de morphologie dite picarde (figure 5). Leur orientation perpendiculaire au vent de mer leur permet de gagner l'intérieur des terres. Elles offrent un bourrelet ancien et un bourrelet littoral plus récent que sépare une petite "plaine dunaire" à caractère humide marqué.

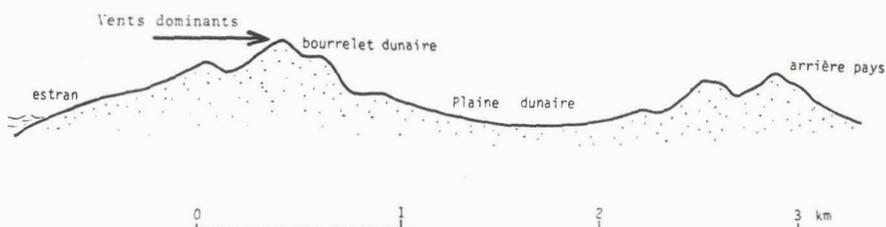


FIGURE 5 : PROFIL TYPE DES DUNES DE MORPHOLOGIE PICARDE (IN DUVAL, 1986)

MARIETTE (1971) a pu cartographier trois générations de dunes (figure 6) qui ceignent la baie du Nord au Sud : les dunes récentes (postérieures au Moyen Age), les dunes historiques (1000 ans après J.C.) et les dunes protohistoriques.

L'ensemble dunaire est plus important dans la partie septentrionale. Il représente une unité transgressive sur le schorre ou mollière, de même qu'il se plaque contre la falaise crayeuse jouxtant la ville d'Étaples. C'est ce que l'on peut observer à Camiers où les sables paraissent vouloir déborder l'ancienne falaise crétacée, gravissant petit à petit son rebord. A partir de trois radiales allant du chenal de la Canche vers l'intérieur des terres (figure 7a), DUVAL (1986) distingue 3 biotopes différents (figure 7b) :

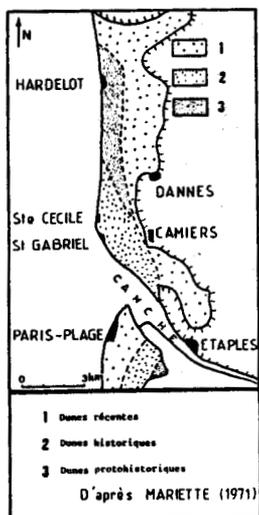


FIGURE 6 : REPARTITION DES DIVERSES GENERATIONS DE DUNES (D'APRES MARIETTE, 1971)

FIGURE 7A : LOCALISATION DES COUPES DANS LE SECTEUR DE CAMIERS

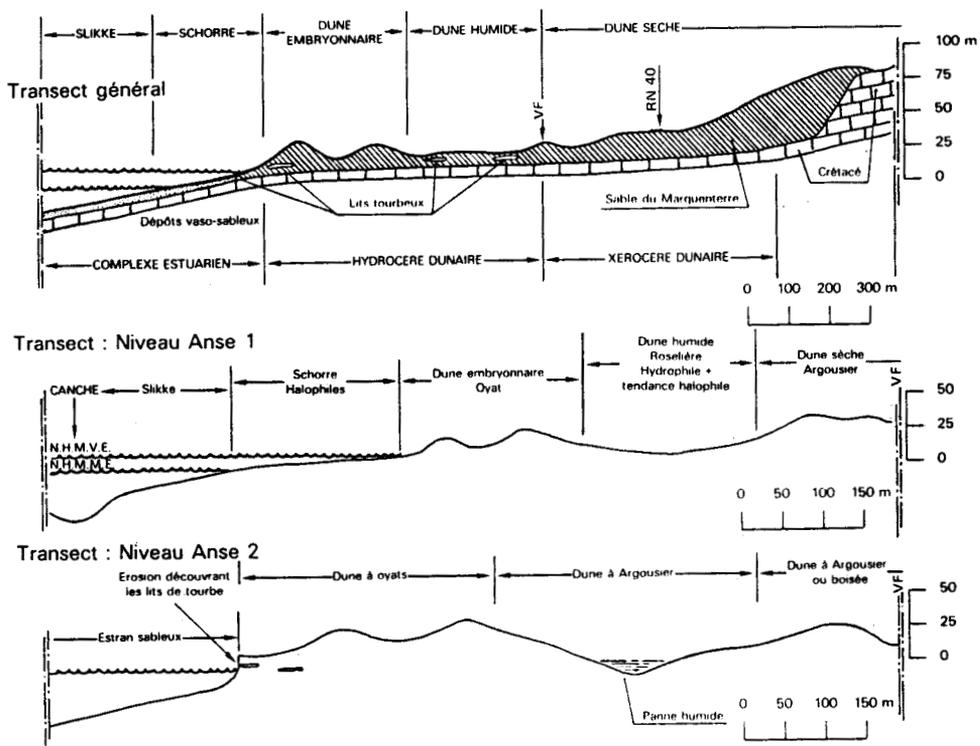
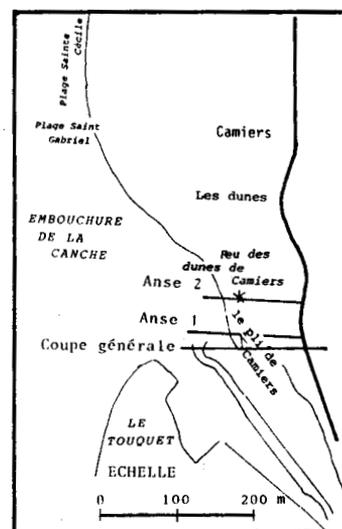


FIGURE 7B : TRANSECT DU CHENAL DE LA CANCHE ET DES DUNES D'ARRIERE LITTORALE (D'APRES DUVAL, 1986)

- un biotope à dominante marine et correspondant à l'estuaire de la Canche avec ses faciès de schorre et de slikke,

- un biotope de contact dune-estuaire qu'il nomme la dune humide ou hydrocère dunaire; ce milieu subit l'influence des eaux douces de nappes et de ruissellement, ainsi que des eaux marines par percolation, lors des marées de vive eau;

- un biotope dunaire de la dune sèche ou xérocère dunaire; l'altitude atteint sept à huit mètres (N.G.F.) pour les dômes les plus hauts.

C H A P I T R E I I

P A R A M E T R E S H Y D R O D Y N A M I Q U E S

I INTRODUCTION

Les estuaires sont le résultat du relèvement du niveau de la mer lors de la transgression flandrienne qui a provoqué l'envasement des vallées.

Ce sont des zones tampons où se produit l'affrontement des eaux marines et fluviales. L'eau salée forme un barrage au libre écoulement de l'eau douce. L'intensité de la force antagoniste développée par le fleuve dépend essentiellement de son débit au cours de la période considérée: débit de crue ou d'étiage. Inversement l'action exercée par l'eau marine qui pénètre dans l'estuaire dépend du secteur géographique considéré et donc, de l'amplitude des marées, de leur coefficient, de la direction et de l'intensité du vent, de la pression atmosphérique, et dans une moindre mesure de la température qui conditionne la viscosité de l'eau. Tous ces facteurs influent sur l'érosion et la sédimentation.

II CARACTERISTIQUES DES EAUX DE LA MANCHE

II.1 Salinité et température

Les salinités varient entre 32,6‰ et 33,9‰ à l'embouchure de la Canche. Au Cap Gris Nez, elles oscillent autour de 34,4‰. D'une façon générale, les salinités varient de 33,7‰ à 34‰ et diminuent à l'approche des émissaires.

En été, les températures sont relativement élevées et oscillent entre 17° et 18° C au Cap Gris Nez, et autour de 17,7° C à l'embouchure de la Canche. La colonne d'eau est assez homogène, puisque, de la surface au fond, on retrouve des valeurs de température et de salinité équivalentes.

En hiver, les températures les plus basses se rencontrent durant les mois de février et de mars et oscillent autour de 6° C, quelle que soit la zone, du Gris Nez à l'embouchure de la Canche.

Ces données sont détaillées dans BENTLEY et ORANGE (1983), BENTLEY (1984), BRYLINSKI *et al* (1984), DESPEYROUX (1985a) ...

II.2 Facteurs météorologiques : les vents

II-2-1 Généralités

Le vent porte au large ou à la côte. Son action se manifeste de plusieurs façons, en engendrant la houle, les courants et en provoquant des transports éoliens. Soufflant de façon constante le vent génère au large la "mer du vent", houle primaire très mal définie (ANONYME, 1982). A la côte, il crée des courants côtiers de surface, régule la propagation de la houle, freine ou accompagne vers la plage les vagues et assure le transport des sédiments, en particulier dans les zones dunaires et intertidales. En pratique, un sable fin (0,20 mm) et sec peut être transporté dès que la vitesse du vent, mesuré à 2 mètres du sol, dépasse 15 km/h (4,16 m/s). Un vent de 18 km/h (5 m/s) est capable de transporter 1 kg de sable fin par heure et par mètre linéaire de plage. Un vent de 36 km/h (10 m/s) en déplacera 100 et un vent de 72 km/h (20 m/s) en déplacera 800 (MOINET, 1986).

II-2-2 Données relatives au Touquet

Les vents ont été répertoriés au Touquet sur une période de 29 ans, de 1951 à 1980 (figure 8). Ce travail vient compléter celui déjà effectué pour l'étude hydrosédimentaire de l'estuaire de la Canche (DESPEYROUX, 1985a).

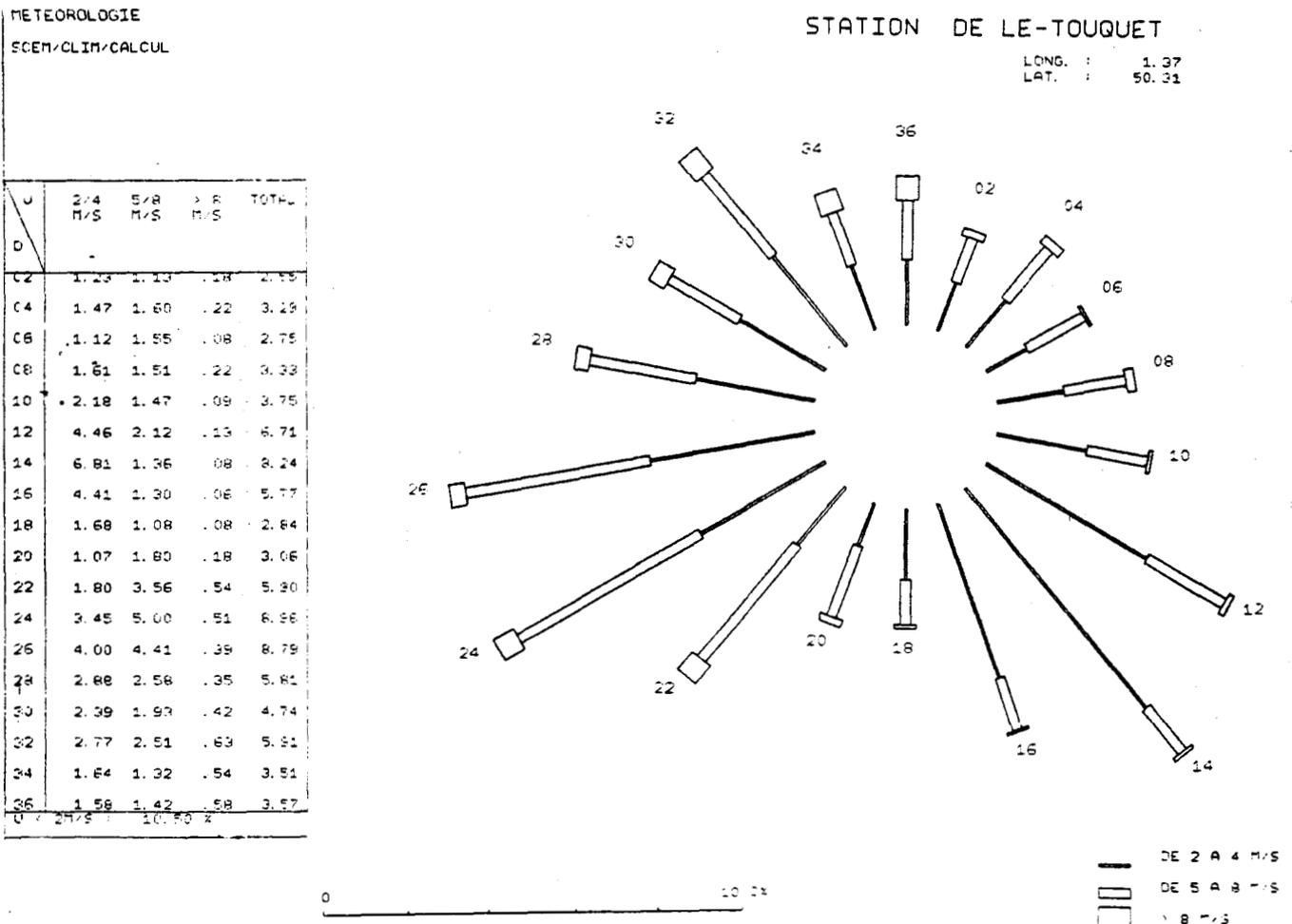


FIGURE 8 : FREQUENCE MOYENNE DES DIRECTIONS DU VENT PAR GROUPE DE VITESSES SUR LA PERIODE 1951-1980 AU TOUQUET (DONNEES METEOROLOGIE NATIONALE)

Les vents annuels soufflant tout au long de l'année présentent deux grands secteurs d'orientation :

- Sud Ouest à Ouest (30% des observations)
- Sud Est (20% des observations)

Pour l'ensemble de l'année, le régime des vents montre une prépondérance en direction, de l'influence des vents de mer (secteur NNW-SSW) avec 47% des observations, sur les vents de terre (secteur NNE-SSE) avec 37% des observations.

Si l'on considère les vents de vitesse supérieure à 8m/s, leur fréquence sur la période 1951-1980 représente 5,28% des observations. Ils sont prépondérants au cours des mois de novembre, décembre et janvier (figure 9, tableau 1) avec une direction privilégiée de Nord-Ouest à Nord favorisant ainsi la morphologie des dunes de type picarde.

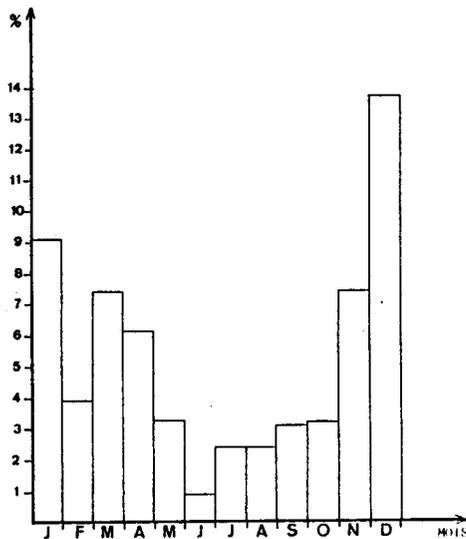


FIGURE 9 : HISTOGRAMME SUR LA FREQUENCE MENSUELLE DES VENTS
DE VITESSES > A 8M/S (> 28,8 KM/H) AU TOUQUET
(RELEVES EFFECTUES A L'AEROPORT DU TOUQUET DE 1951 A 1980)

Mois	Fréquence du vent en % du mois	Direction prépondérante
Janvier	9,12	320 °
Février	3,98	040°
Mars	7,39	220°
Avril	6,12	360°
Mai	3,33	040°
Juin	0,97	260°
Juillet	2,41	340°
Août	2,40	240°
Septembre	3,05	260°
Octobre	3,20	300°
Novembre	7,37	360°
Décembre	13,68	320°

TABLEAU 1 : VENT DE VITESSE SUPERIEURE A 8 M/S

III FACTEURS OcéANOGRAPHIQUES

III-1 La houle.

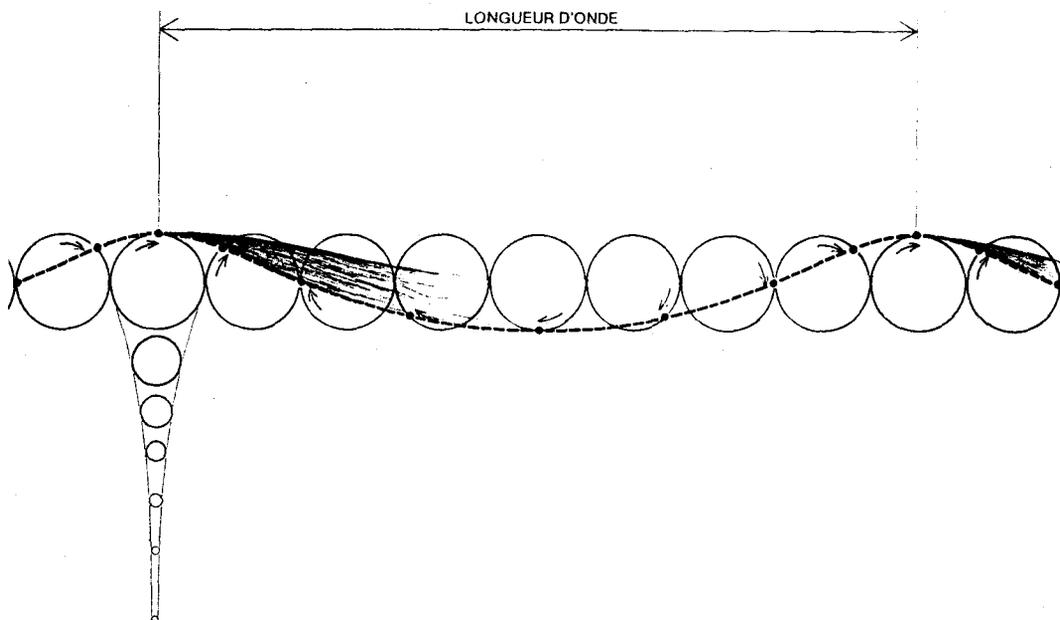
III-1-1 Définition

La houle et les vagues sont des ondes formées par le frottement du vent. L'énergie de la houle est fonction de son amplitude qui est directement liée à 3 paramètres, comme déjà mentionné au paragraphe II-2-1 :

- la vitesse du vent
- la durée du régime du vent
- la distance sur laquelle agit le vent, également dénommée "fetch".

Ainsi il faut souligner que plus l'étendue de mer est importante, plus le fetch potentiel est grand, et plus l'amplitude de la houle peut être importante. De ce fait, la houle aura tendance à agir sur des côtes ouvertes à l'océan, au contraire de la marée qui agira surtout dans des zones relativement restreintes.

Un train de vagues simple et régulier peut être décrit par sa période (temps que mettent deux crêtes successives pour passer un même point), par sa longueur d'onde (distance entre deux crêtes) et par sa hauteur (distance verticale entre un creux et la crête suivante) (figure 10).



Cette houle océanique se déplaçant de gauche à droite, illustre la définition de la longueur d'onde : c'est la distance qui sépare deux crêtes consécutives. Quant à la période, c'est le temps que mettent deux crêtes consécutives pour passer en un même point. Les cercles représentent les orbites décrites par les particules d'eau dans la vague. En surface, le diamètre des orbites est égal à la hauteur de la vague, mais à une profondeur égale à la moitié de la longueur d'onde, ce diamètre est 25 fois plus petit.

FIGURE 10 : VUE EN COUPE D'UNE HOULE OcéANIQUE (IN BASCOM, 1981)

III-1-2 Action dynamique de la houle

La houle entraîne un mouvement circulaire dit orbital, des particules d'eau; l'eau qui se trouve sur la crête se déplace horizontalement dans la direction de la vague tandis qu'au creux de la lame elle circule en sens inverse (figure 10). Ainsi chaque particule d'eau située à la surface de la mer décrit une orbite circulaire dont le diamètre est égal à la hauteur de la vague. Après le passage de chaque vague, l'eau regagne presque sa position d'origine.

Le mouvement atteint un maximum à la surface de l'eau et s'amortit en profondeur par la friction interne de l'eau. La profondeur à laquelle s'amortit le mouvement de l'eau provoqué par la houle représente la profondeur limite de l'action de la houle. Seules les zones dont la profondeur est inférieure à cette limite seront directement affectées par l'action de la houle. Cette profondeur est équivalente à environ la moitié de la longueur d'onde.

Au fur et à mesure que l'on s'approche de la côte, la vitesse des courants oscillatoires augmente et amplifie la taille des rides sur le fond. En même temps, se crée une asymétrie des courants, favorisant le courant dirigé vers la côte au détriment du courant dirigé vers le large. Ceci est dû au raidissement de l'onde de houle par frottement sur le fond. Ce phénomène peut entraîner un véritable mouvement de sable sur le fond vers la côte.

Lorsque la profondeur est équivalente à environ 1,3 fois l'amplitude de la houle, cette dernière se brise. Le déferlement, en libérant une énergie sous forme turbulente remet en suspension une quantité importante de sédiments. Une partie de ces derniers est transportée vers la plage, par la pellicule d'eau qui remonte sur l'estran à chaque houle déferlante, qui est dénommée jet de rive ou swash.

III-1-3 La houle à l'embouchure de la Canche.

III-1-3-1. En Manche et au bateau feu de Bassurelle

Les données disponibles sont peu nombreuses. CLIQUE (1986) après avoir fait une synthèse de tous les travaux réalisés, constate que la hauteur de la houle croît du Sud vers le Nord. La hauteur annuelle maximale à Penly (situé au NE de la ville de Dieppe) est de 3,8 m pour atteindre 4,7 m au large de Dunkerque. La hauteur centennale maximale à Penly peut atteindre 6,6 m et 7,3 m au large de Dunkerque (figure 11).

La période moyenne des trains de vagues est généralement comprise entre 5 et 12 secondes, valeurs générales caractéristiques de la Manche et de la Mer du Nord.

DESPEYROUX (1985a) a rassemblé des informations disponibles sur les houles au bateau feu de Bassurelle situé par 50° 32' Nord - 0° 57' 48" Est (figure 12), pour les années 1982 et 1983. Il en ressort que :

- la période moyenne est comprise entre 3 et 5 secondes,
- et les amplitudes présentent souvent des valeurs de 4 m.

Les valeurs extrêmes, pouvant atteindre 5 m, sont surtout observées au cours des mois de novembre à mars. Les directions principales de propagation des houles sont d'Est à Nord-Est (figure 13) et sont calquées sur celles des vents (DESPEYROUX, 1985a; DEWEZ, 1988).

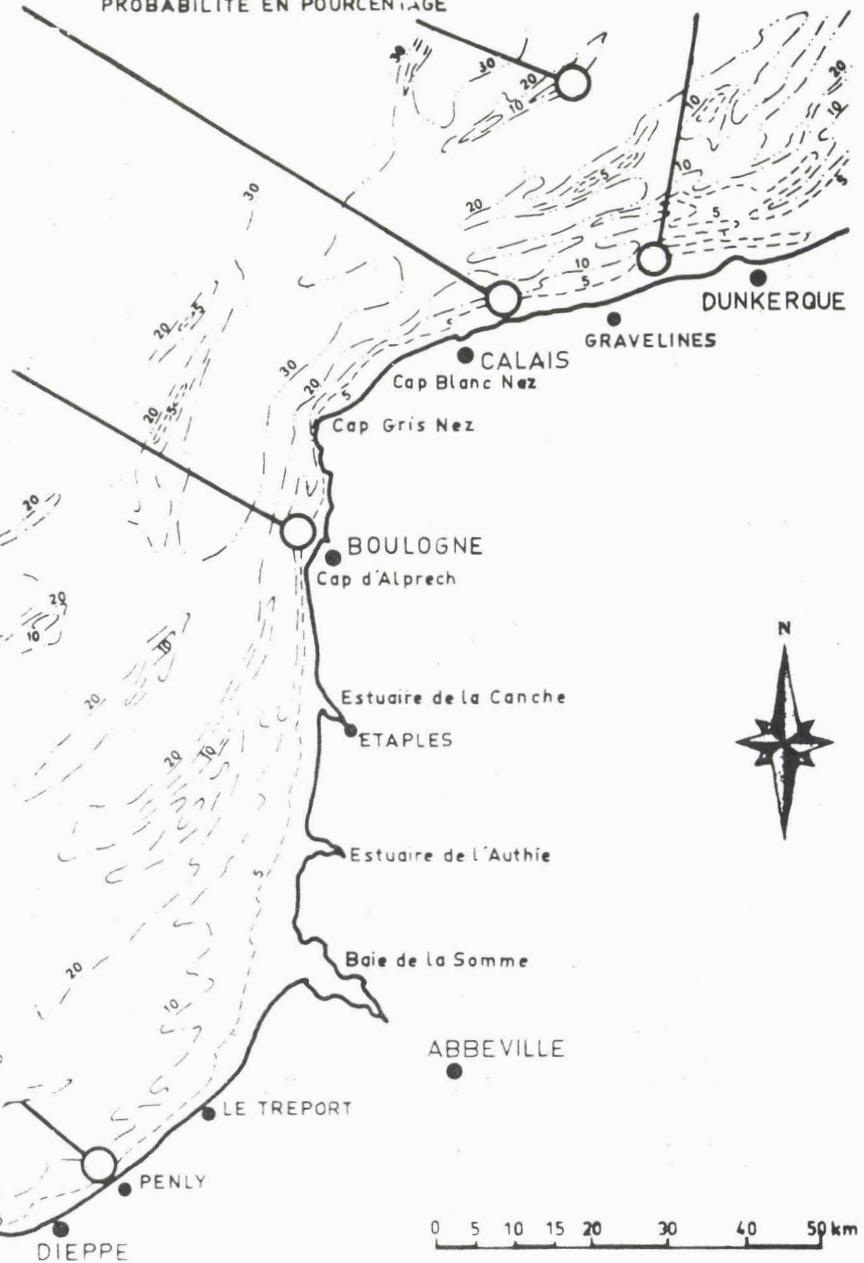
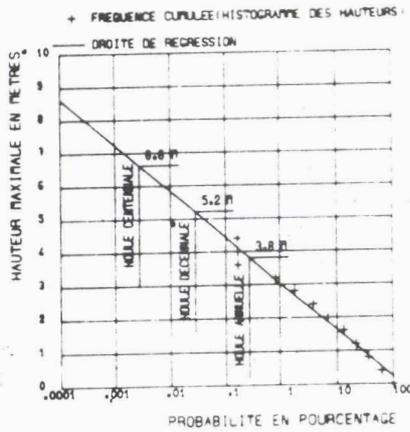
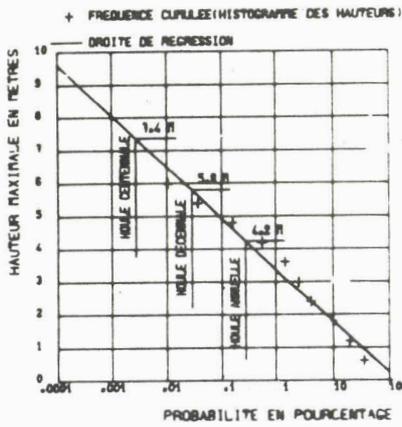
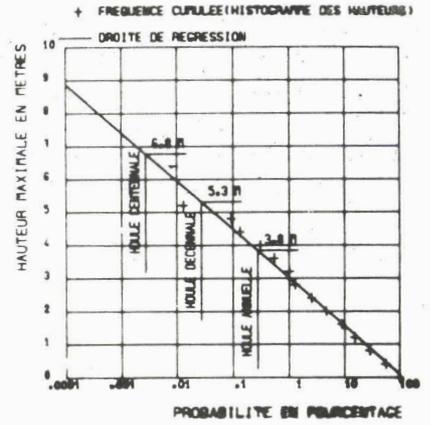
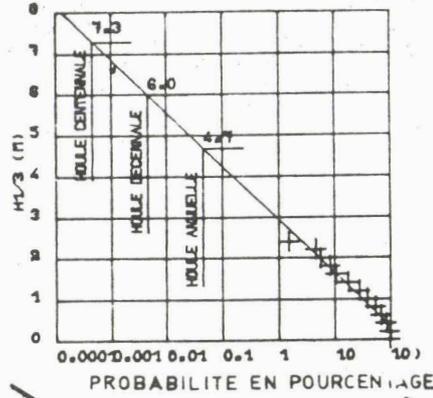
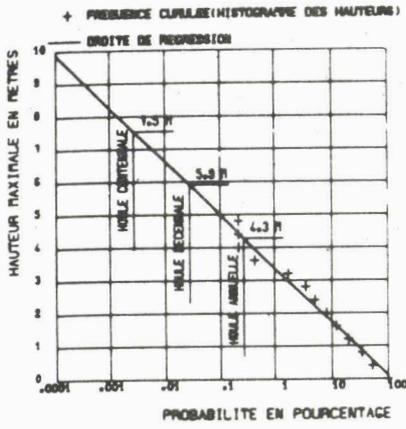


FIGURE 11 : EXTRAPOLATION A LA HOULE DECENNALE ET CENTENNALE (IN CLIQUE, 1986)

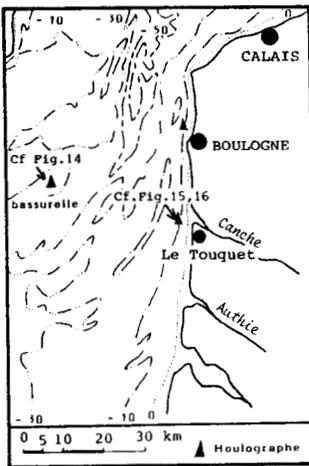
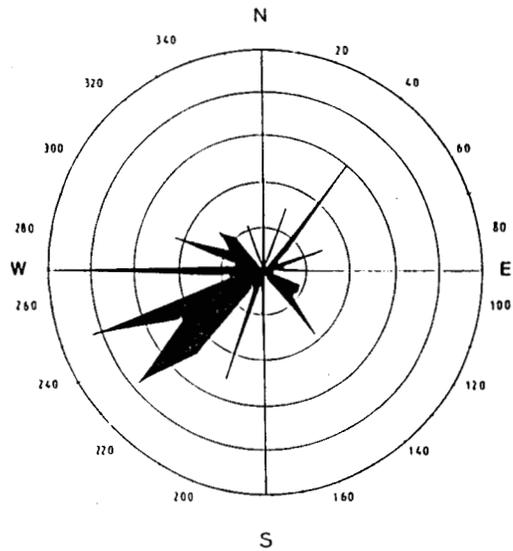


FIGURE 12 : EMLACEMENT DES HOULOGRAPHES (IN COEFFE ET AL, 1982)

FIGURE 13 : PROVENANCE DE LA HOULE AU BATEAU FEU
DE LA BASSURELLE (IN DESPEYROUX, 1985)



III-1-3-2. Au Touquet.

Les houles subissent au cours de leur propagation de nombreuses réfractions sur les bancs si bien que la houle observée sur le littoral et plus particulièrement au Touquet semble provenir en général du secteur Ouest comme le montre la figure 14. Ces houles ont été mesurées par le Laboratoire National d'Hydraulique à l'aide d'un radar implanté près de la piscine du Touquet - Paris-Plage, située à proximité de la plage (figure 15). Ces observations furent effectuées pendant une campagne de plus d'un an.

FIGURE 14 : PROVENANCE DE LA HOULE OBSERVEE AU TOUQUET,
348 OBSERVATIONS DU 25/2/66 AU 28/4/67 (IN
BONNEFILLE ET ALLEN, 1970)

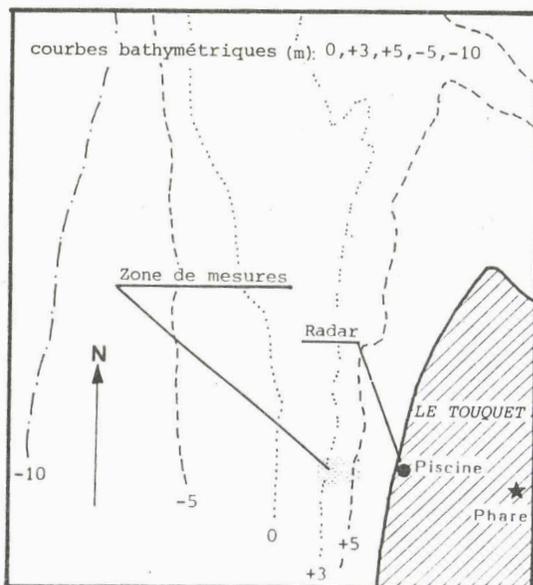
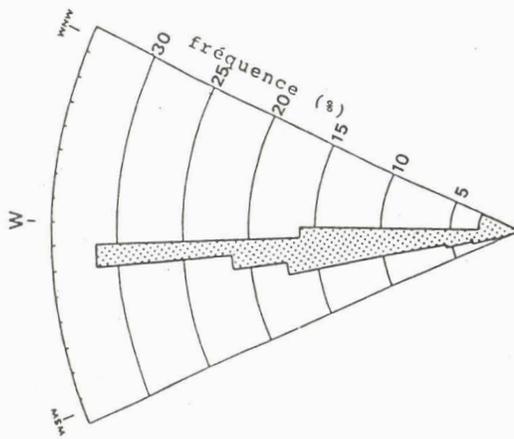


FIGURE 15 : ZONE DE MESURES DES HOULES

AU TOUQUET (IN BONNEFILLE ET ALLEN, 1967)

III-2 La marée

Divers auteurs ont déjà décrit les caractéristiques de la marée en Manche Orientale (S.H.O.M., 1968; MAUPAS, 1977; GUILCHER, 1979) et devant l'embouchure de la Canche (BONNEFILLE et ALLEN, 1970; FEUILLET, 1981; COEFFE et al, 1982).

Une synthèse de ces données a été proposée par DESPEYROUX (1985a) puis par DEWEZ (1988).

Retenons seulement que l'onde de marée qui se déplace vers l'Est est d'amplitude plus grande que celle provenant de la Mer du Nord. De ce fait, la pleine mer ne se produit pas de façon simultanée en Manche, mais de façon d'autant plus tardive que l'on se dirige vers l'Est. Ainsi la pleine mer au Touquet est en avance de 15 mn sur celle de Boulogne.

III-3 Les courants

Les courants à proximité de la baie de Canche (figures 16 à 19) ont été étudiés et modélisés en 1970 par le Laboratoire National d'Hydraulique (L.N.H.) de Chatou en vue de futurs projets d'aménagement d'ensemble de la côte nord de la baie de Canche. L'étude des problèmes courantologiques a été abordée à l'aide de modèles numériques.

De plus pour pouvoir étalonner le modèle par rapport à la réalité, des suivis de trajectoires de flotteurs ont été réalisés en 1970 (COEFFE et al, 1982), en nature et sur modèle physique. Dans le texte qui suit, seules les premières données ont été reprises de BONNEFILLE et ALLEN (Annexe figure VIII à figure XVIII).

A partir de ces divers résultats nous pouvons suivre une marée dans la baie de Canche ou dans l'estuaire aval. L'évolution d'une marée dans l'estuaire *sensu stricto* (depuis le pont d'Etaples à l'embouchure) avec les différents phénomènes qui s'y produisent peuvent être retrouvés dans OUDART et al. (1984) et DESPEYROUX (1985b).

Au large de l'embouchure, la marée montante se propage, du Sud au Nord, parallèlement à la côte. Les courants atteignent leur vitesse maximale à pleine mer et à basse mer, et s'annulent à mi-montant et mi-perdant. Du mi-montant à pleine mer (figure 16, annexe figure I), le remplissage de l'estuaire provoque une rotation des courants vers l'Est (figure 16, annexe figures II et III).

A l'entrée de l'estuaire, le courant dont la résultante est Sud-Nord, longe la rive nord de l'estran (figure 17). Il en résulte un mouvement tourbillonnaire centré sur la pointe du Touquet (Annexe figure II).

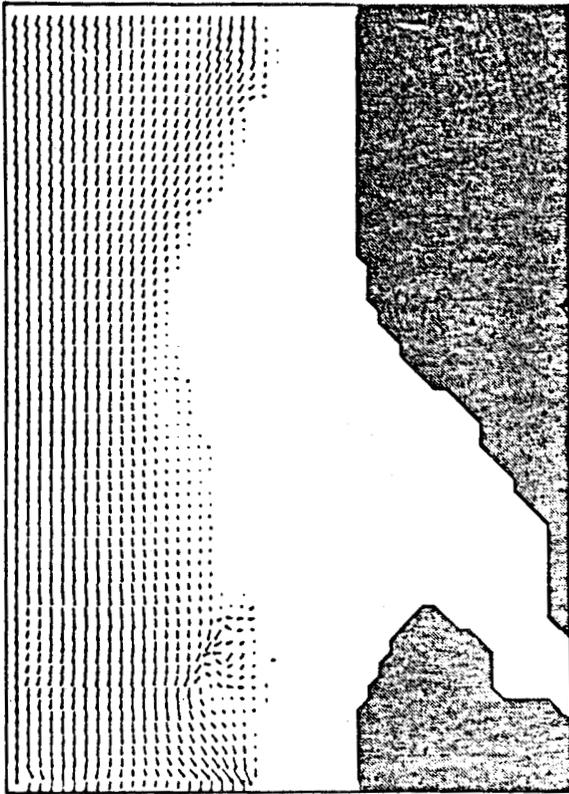
A pleine mer, les courants redeviennent parallèles à la côte (figure 17C, annexe figure IV). De pleine mer à la mi-perdant, le courant général du large porte toujours vers le Nord (figures 17D, 18A, annexe figure V). Au moment du vidage de l'estuaire, le courant du large pousse le courant de jusant de l'estuaire le long de sa rive nord, vers la pointe de Lornel et la plage de Saint-Gabriel (figure 18A, annexe figure VI).

Le vidage de l'estuaire s'effectue simultanément par deux chenaux divergents au Nord du banc du Pilon et mis en évidence par le modèle du L.N.H. (figure 18 B). A mi-perdant, les courants s'inversent (Annexe figure VII) pour, à basse mer, se diriger vers le Sud (figures 18C à 18D).

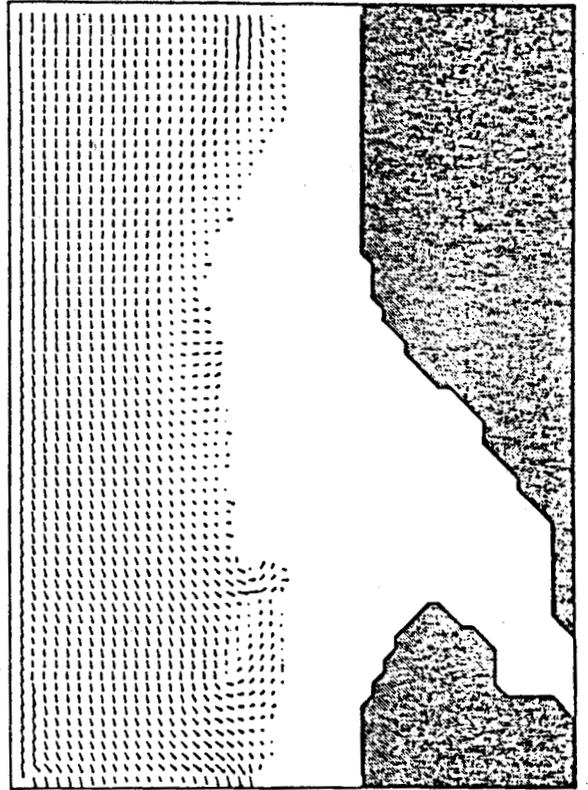
Plusieurs lâchers de flotteurs à différents coefficients de marée ont permis de confirmer les résultats du modèle numérique. Pour autant chaque trajectoire n'est pas nécessairement déterminable, car plusieurs flotteurs lâchés au même moment peuvent aboutir, après des trajets de plusieurs kilomètres, en des points très éloignés les uns des autres, et ceci en raison de la complexité de l'écoulement à l'entrée de l'estuaire.

Plusieurs expériences de lâchers de flotteurs ont été tentées par DESPEYROUX en 1983 dans l'estuaire et par le Laboratoire National d'Hydraulique en 1970 en baie de Canche. Pour ce qui nous intéresse, nous n'examinerons que ces derniers lâchers.

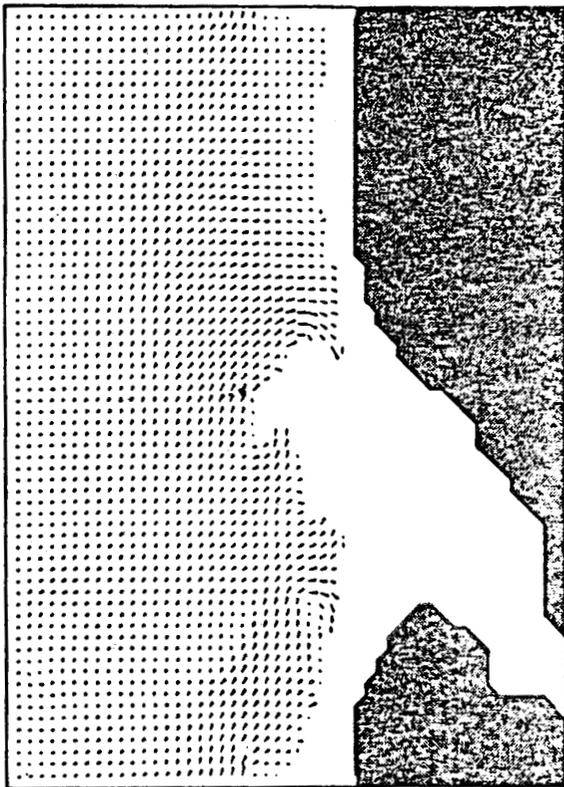
Du fait de la complexité de l'écoulement à l'entrée de l'estuaire, nous ne proposons qu'une comparaison qualitative des formes de trajectoires à chaque moment de la marée. Les figures VIII à XVIII en annexe présentent les trajectoires décrites par les flotteurs au cours de plusieurs marées de coefficients différents. Les trajectoires sont regroupées en



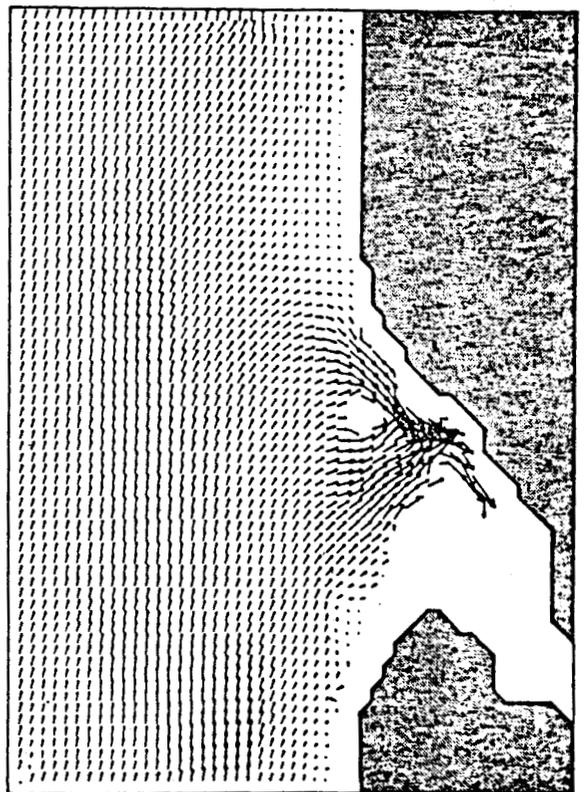
CHAMP DE COURANT 6H AV. PM



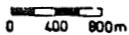
CHAMP DE COURANT 4H AV. PM



CHAMP DE COURANT 3H AV. PM

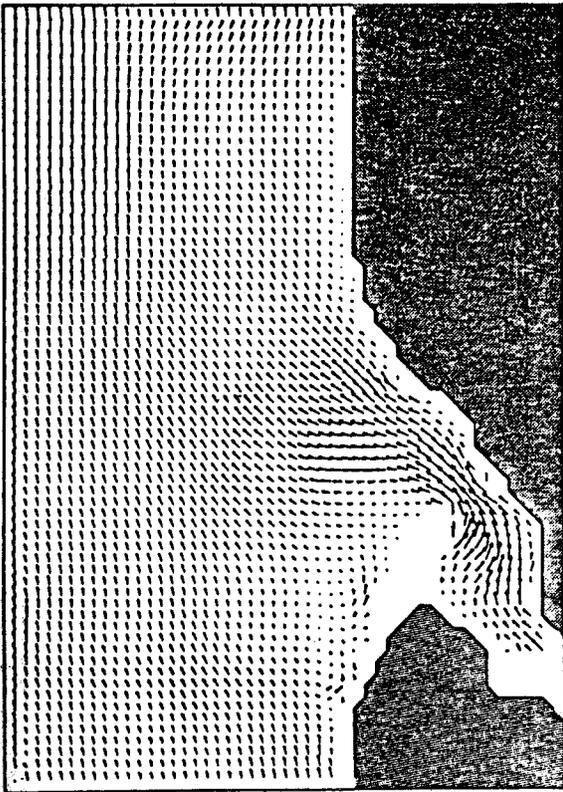


CHAMP DE COURANT 2H AV. PM

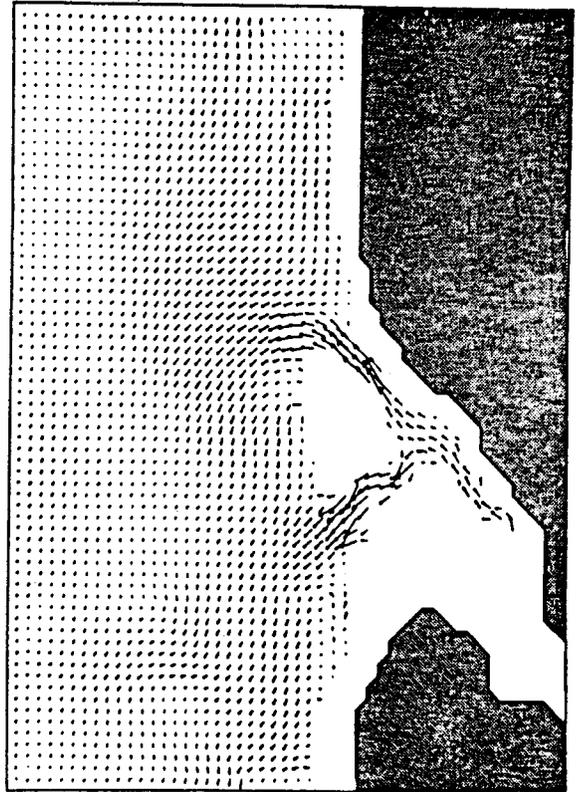
ECHELLE DES LONGUEURS  0 400 800m

ECHELLE DES VITESSES  0 1m/s

FIGURE 16 : COURANTS DE MAREE DANS L'ESTUAIRE DE LA CANCHE, MODELE DE DETAIL (IN COEFPE ET AL, 1982)



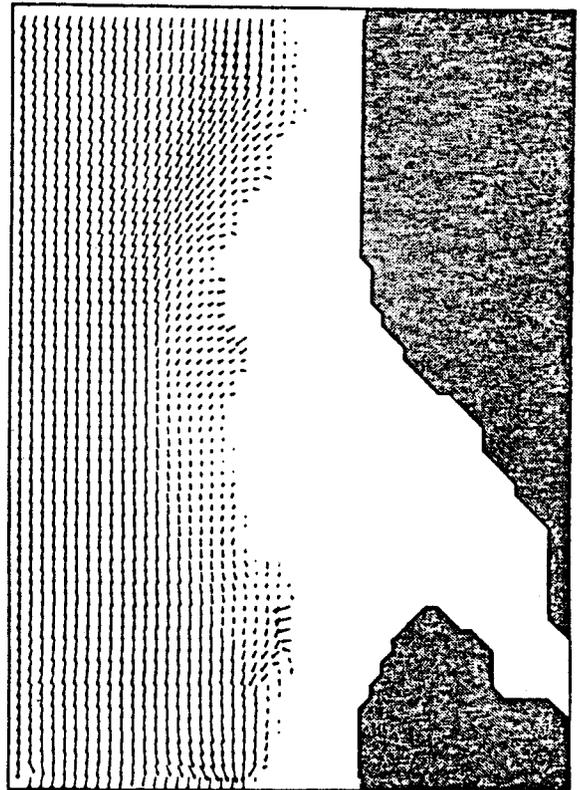
CHAMP DE COURANT 2H AP. PM



CHAMP DE COURANT 3H15 mn AP. PM



CHAMP DE COURANT 4H AP. PM

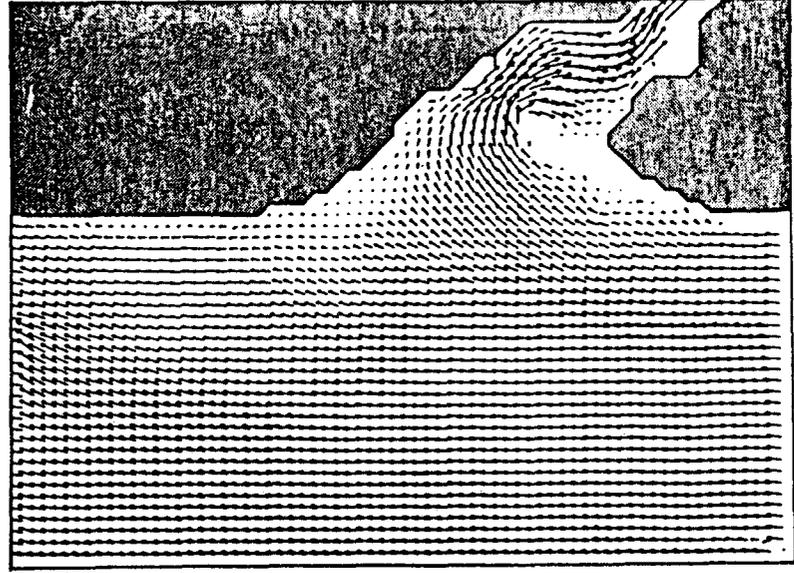


CHAMP DE COURANT 5H AP. PM

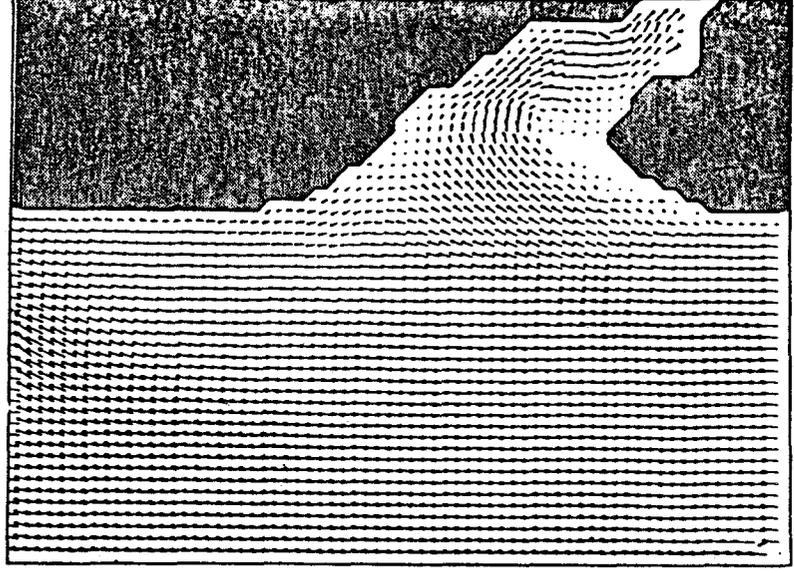
ECHELLE DES LONGUEURS 0 400 800m

ECHELLE DES VITESSES 1m/s

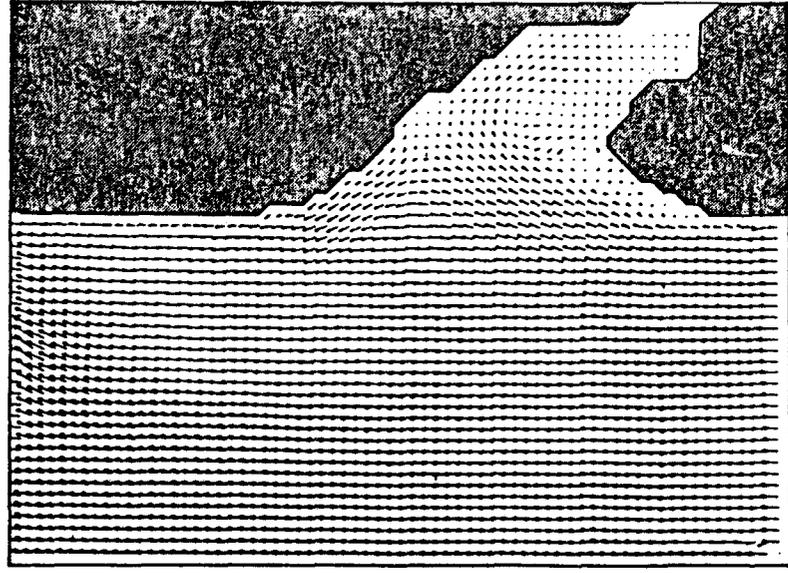
FIGURE 17 : COURANTS DE MAREE DANS L'ESTUAIRE DE LA CANCHE, MODELE DE DETAIL (IN COEFFE ET AL, 1982)



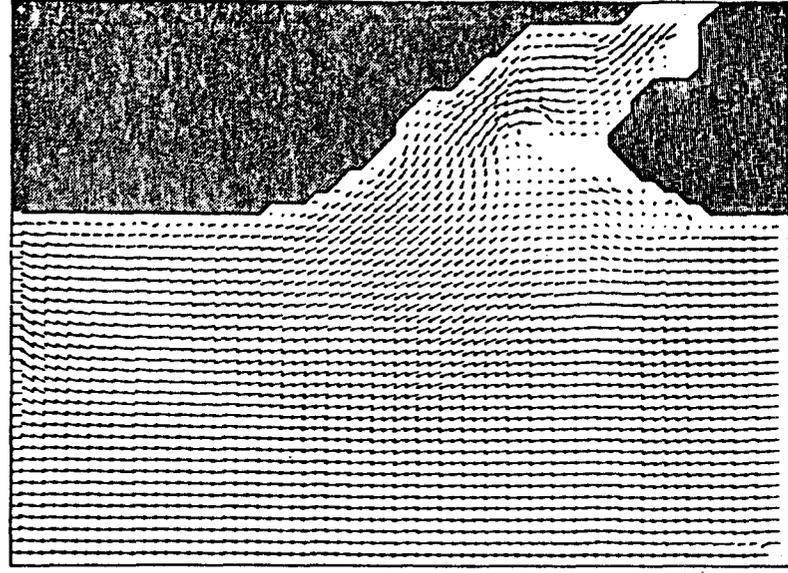
CHAMP DE COURANT 1H AV. PM



CHAMP DE COURANT 30 mn AV. PM



CHAMP DE COURANT A PM



CHAMP DE COURANT 1H AP. PM

ECHELLE DES LONGUEURS 0 400 800 m

ECHELLE DES VITESSES 0 1 m/s

FIGURE 18 : COURANTS DE MAREE DANS L'ESTUAIRE DE LA CANCHE, MODELE DE DETAIL (IN COEFFE ET EL, 1982)

fonction des heures de lâchers de perche (les vecteurs sur les trajectoires représentent les vitesses moyennes de flotteurs entre deux relevés de position).

La direction des courants en modèle correspond aux trajectoires des flotteurs. Le déplacement de la masse d'eau se reproduit avec un vecteur de direction Est, à chaque marée. Au moment des forts coefficients (Annexe figure VIII à XI), la masse d'eau se trouve à marée montante entre les isobathes + 3 m et + 5 m, et forme un mouvement circulaire centré sur la pointe du Touquet. L'inertie de cette masse d'eau porte les courants vers la rive nord de l'estuaire, au contraire des petits coefficients où la masse d'eau est plus rapidement aspirée vers l'intérieur (Annexe figures XII et XIII).

Au moment du perdant dans l'estuaire, le courant de jusant porte jusqu'à 2 heures après la pleine mer vers le Nord, et se plaque sur la pointe de Lornel et la plage de Saint-Gabriel, zones sensibles du secteur.

A partir de 2 heures après la pleine mer, les courants du large portent vers le Sud (Annexe figures XIV à XVIII).

Les données concernant les vitesses de courant peuvent être consultées dans COEFFE et al (1982) pour le large et l'estuaire, et dans DESPEYROUX (1985c) pour l'estuaire. A fort coefficient ces courants atteignent des vitesses supérieures à 2 m/s.

III-4 Conclusion

Les facteurs dynamiques conditionnent la topographie et la morphologie du site étudié. Les plus importants sont le vent, la houle et les courants de marée.

- Les vents les plus violents et les plus fréquents proviennent du secteur Sud à Ouest. Ils favorisent une migration des dunes vers l'intérieur des terres.

- La houle met les sédiments en suspension car elle agit sur de grandes étendues de faible profondeur à pleine mer. Elle renforce ainsi la capacité de transport des courants de marée. En effet la vitesse orbitale de la houle combinée au courant de marée, augmente la contrainte de cisaillement sur le fond et favorise l'arrachement des grains.

- Sur la frange littorale, le courant de flot est responsable du transport sédimentaire vers le Nord, de mi-montant à mi-perdant. Son action est plus importante à pleine mer, l'eau recouvrant sur de faibles profondeurs des surfaces très importantes; elle est encore renforcée par l'action combinée des houles.

Pendant le remplissage de l'estuaire, les courants provoquent un mouvement tourbillonnaire centré sur la pointe du Touquet. Au moment des forts coefficients de marée, l'inertie de la masse d'eau porte les courants vers la rive nord de la baie, au contraire des petits coefficients où les courants de marée sont plus faibles et les surfaces découvertes à pleine mer plus importantes.

De pleine mer à mi-perdant, les courants de jusant de l'estuaire sont plaqués au Nord vers la rive de Lornel et la plage Saint-Gabriel, par les courants du large. A partir du mi-perdant, les courants du large s'inversent pour se diriger vers le Sud. L'action du courant de jusant est plus restreinte par rapport à celui du flot, le premier n'ayant pas d'effet sur les zones découvertes à basse mer.

CHAPITRE III

EVOLUTION DE LA BASSE CANCHE

I MIGRATIONS DU RIVAGE

I-1 Mécanismes d'évolution

Les facteurs d'évolution intervenant dans les phénomènes sédimentologiques en baie de Canche sont le vent, la houle et les courants de marée.

La mer fait disparaître toutes traces de sinuosité du rivage dont certaines étaient connues au temps de Cassini (XVIII siècle) sous les noms de "l'Anse au beurre" et de "l'Anse à l'avoine" (*in* DESPEYROUX, 1985a).

L'évolution de l'estuaire est essentiellement caractérisée par les mouvements de la ligne de rivage et par le développement d'une dissymétrie liée dans la baie à une accumulation sédimentaire en rive sud, à une érosion en rive nord et à une migration des sables vers l'Est.

I-2 Evolution morphologique de l'estuaire

Pendant la période allant de 1758 à 1981, on constate un recul de la pointe de Lornel de plus de 2 km. De 1977 à 1987, le littoral a reculé en moyenne de 12 m/an à hauteur du camping de Saint-Gabriel (M IMBERT, travail en cours). Les données existantes sur l'évolution du littoral font état d'une érosion équivalente à 120 m, de 1947 à 1976, dans le secteur de Lornel (figure 19). De 1981 à 1988, l'érosion a été évaluée à 30 m, à hauteur des blockhaus de Lornel, situés en aval du feu des dunes de Camiers (M DELFORGE, Services Maritimes d'Etaples, communication personnelle). Sur la période allant de 1947 à 1977, le littoral du Touquet aurait engraisé de 80 à 160 m (DHORME, 1986).

Le double mouvement, avancée du poulier (banc du Piloré) et recul du musoir (secteur de Lornel) produit une déviation générale de l'embouchure vers le Nord. Depuis l'époque dunkerquienne I (= 2800 ans B.P.), l'axe de l'estuaire progresse de la même façon vers le Nord, et semble pivoter autour du site de l'actuelle ville d'Etaples (TRICART, 1951).

Les destructions d'ouvrage réalisés sur la dune permettent de mesurer l'importance de cette érosion.

L'ancien fanal de Lornel, élevé sur la pointe du même nom en 1833, se trouvait en 1860 à 20 mètres à l'intérieur des terres. Il fut démoli par la mer en 1863 et les restes se voyaient en 1906 à 125 mètres du rivage. En 1874, il fut remplacé par le feu actuel (figure 20).

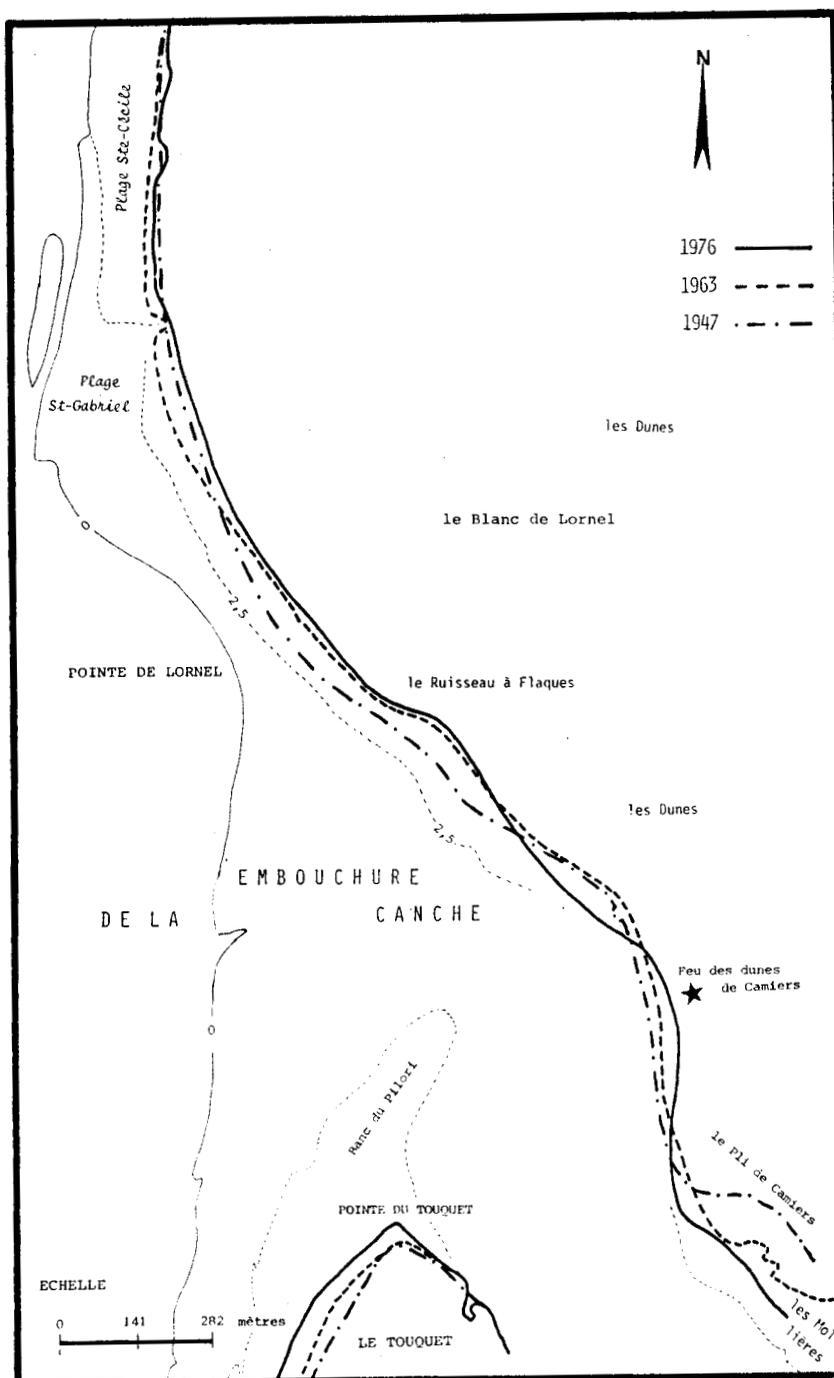


FIGURE 19 : VARIATIONS DU TRAIT DE CÔTE DE 1947 A 1976 (DONNEES DES SERVICES MARITIMES DE BOULOGNE ET DE CALAIS)

Le Grand Hôtel, bâti en 1898, s'est effondré en mars 1912, la digue qui le protégeait ayant été emportée (BRIQUET, 1930).

De même, certains blockhaus construits sur la dune lors de l'occupation allemande, vers 1940, sont à l'heure actuelle isolés sur l'estran, à plus de 100 m des dunes.

Cette érosion n'épargne pas la station balnéaire de Saint-Gabriel où déjà plusieurs bungalows ont été détruits; du reste sur la commune de Camiers, une frange littoral de 100 m de largeur a été déclarée zone à risque (ESPACE NATUREL REGIONAL, 1986).

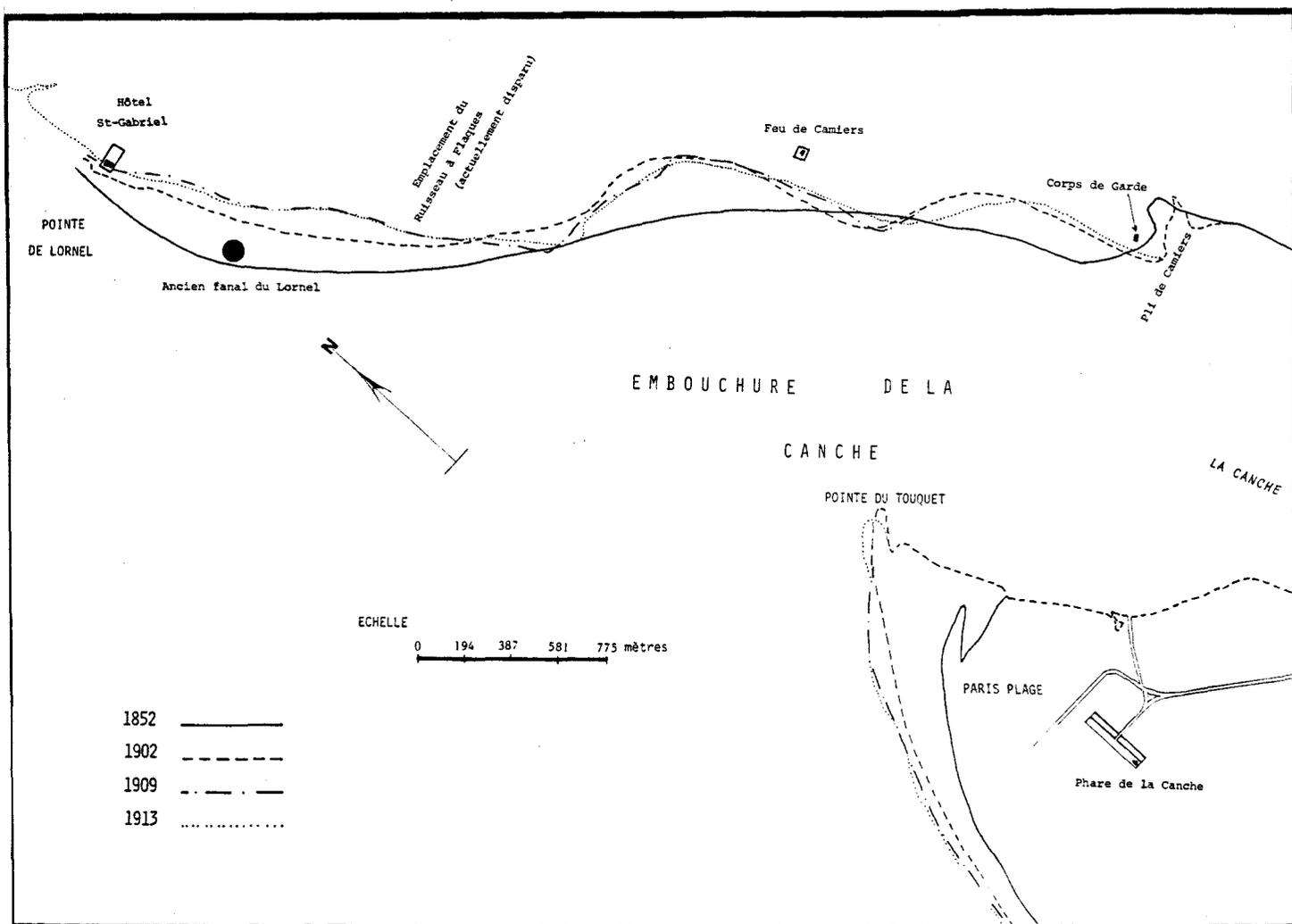


FIGURE 20 : VARIATIONS DU TRAIT DE CÔTE A L'EMBOUCHURE DE LA CANCHE DE 1852 A 1913 (DONNEES DES SERVICES MARITIMES DE BOULOGNE ET DE CALAIS)

I-3 Bilans sédimentologiques

Une grande partie des matériaux présents à l'embouchure de l'estuaire participe à son comblement et les bilans sédimentologiques établis par FEUILLET sur les deux périodes de 1878 à 1935 et de 1935 à 1966 font apparaître, pour la première période une érosion de 4,9 millions de mètres cubes à l'entrée de l'estuaire, et pour la seconde période une érosion de 15,6 millions de mètres cubes (FEUILLET, 1979; CLIQUE, 1986).

Une telle évolution a pour conséquence la détérioration progressive des conditions d'accès au port d'Étaples situé à environ 4,5 km de la côte. Cette détérioration est attestée au droit d'Étaples par une sédimentation moyenne de 5 cm/an au fond du chenal (FEUILLET, 1979).

Ainsi, en même temps que se régularise le trait de côte, l'estuaire se colmate progressivement et prend une direction de plus en plus oblique par rapport à la ligne de rivage.

II CAUSES ANTHROPIQUES

II-1 Importance des travaux sur le site

Aux causes naturelles de comblement de l'estuaire s'ajoutent les actions anthropiques qui accélèrent le processus. Les diverses étapes du développement des surfaces émergées sont marquées par l'extension de renclôtures ou digues. Les étapes de l'évolution ont été reconstituées par DEMANGEON (1905), BRIQUET (1930), VERGER (1968), BONNEFILLE et ALLEN (1970) et DESPEYROUX (1985a).

Le colmatage de l'estuaire après avoir progressé très lentement durant plusieurs millénaires, s'est considérablement accéléré depuis 500 ans (SENECAT, 1983). On peut voir là l'effet des diverses renclôtures successives qui ont été réalisées. La renclôture de 1924, derrière laquelle ont été aménagés l'hippodrome et l'aéroport du Touquet, a réduit d'un quart la surface de l'estuaire. L'effet de chasse du courant de jusant étant concentré dans le chenal, les zones situées de part et d'autre des digues deviennent des zones de décantation privilégiées.

L'aménagement de l'estuaire est axé sur le chenal de la Canche qui est le seul accès au port d'Etaples. En effet la vie d'Etaples, entièrement tournée vers les activités portuaires et maritimes (construction navale, activités halieutiques) dépend grandement de la permanence d'un passage navigable dans l'estuaire.

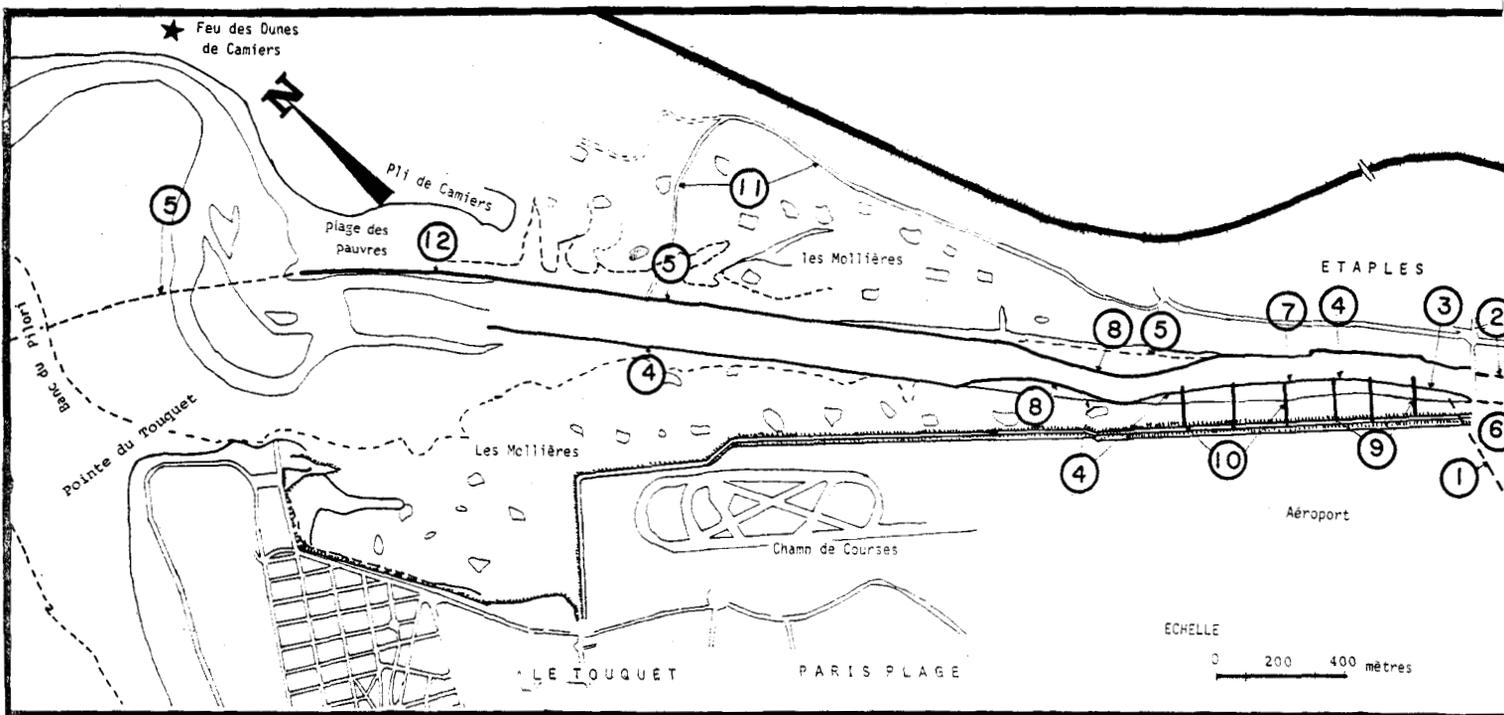


FIGURE 21 : SCHEMA DE SITUATION DES TRAVAUX DANS L'ESTUAIRE DE 1838 A 1988 (LEGENDE, VOIR TABLEAU 2)

Repère en fig. 21	Année de construction	Rive	Réalisations	Longueur
1	1838	RG	<u>Dans l'Estuaire</u> Ancienne cale-épi d'embarquement de 400 m de longueur. Cette cale est actuellement entièrement enterrée	400 m
2	1840-1842	RD	Epi dit du "Cariot de l'Ecluse" de 680 m de longueur. Cet épi n'est actuellement presque plus visible	680 m
3	1842-1853	RG	Construction d'une digue submersible de 135 m de longueur depuis la cale-épi "1" (chenal de 63 m de largeur)	135 m
4	1863-1870	RG	Prolongement de la digue submersible "3" jusqu'à une longueur de 3 150 m	3 150 m
5	1882-1901	RD	Construction d'une digue submersible sur 4 114 m de longueur. 4 114 m dont 2 520 entre 1882-1884 594 m en 1894 1 000 m. entre 1897-1900	4 114 m
6	1953	RG	Construction d'une digue submersible en amont du pont routier d'ETAPLES sur environ 300 m	300 m
7	1956	RG	Rehaussement des digues submersibles "3" et "4" sur 695 m de longueur	695 m
8	1962		Construction de deux digues submersibles concaves :	
		RD	- rive droite de 464 m de longueur	564 m
		RG	- rive gauche de 542 m de longueur	542 m
	1961-1962		Extraction de 16 000 m ³ jusqu'à la côte 500 m	
9	1982	RG	Construction de 3 épis transversaux en enrochements à la côte + 6,90 m	
10	1983-1984		Rehaussement de la digue submersible "4" à la côte + 6,80 m	
10	1984		Création de 3 nouveaux épis transversaux à la côte + 6,90 m	
11	1986		Création d'un chemin d'accès à la digue submersible. Prolonge le chemin des douaniers	
12	1987	RD	Rehaussement de la digue submersible à la cote + 7,00 m, 200 m avant la balise 6	225 m
	1987-1988	RD	Rehaussement de la digue submersible à la cote + 7,00 m jusqu'à la balise 2 à partir de la balise 2, à la côte + 5,65 m	1 160 m 650 m
			<u>Sur le littoral Nord</u>	
Cf.	1980		Environ 1 500 m de perré depuis Sainte Cécile Plage à Sainte Cécile Sud	1 500 m
fig. 23	1984		Environ 900 m de perré depuis Sainte Cécile Sud à Saint Gabriel	900 m
	1987		Environ 240 m de perré au droit du camping de Saint Gabriel	240 m

TABLEAU 2 : HISTORIQUE DES TRAVAUX EN BAIE DE CANCHE (CF. FIGURES 21 ET 25)

Le port d'Étaples s'apparente au port fluvial et au port maritime. Il a les caractéristiques du port fluvial, de par son emplacement dans l'arrière pays en bénéficiant de protection naturelle face aux tempêtes du domaine marin. Il présente aussi les caractéristiques du port maritime au fait que sa vie est rythmée par les marées. Il est à remarquer que la hauteur d'eau à marée basse ne sera jamais que celle induite par la cote topographique du secteur et par le débit de la Canche, et ceci quelle que soit l'importance des dragages effectués.

L'ensemble des travaux entrepris dans l'estuaire (figure 21, tableau 2) porte sur le maintien de la profondeur du chenal ainsi que de sa stabilité. Ceux entrepris en baie de Canche concernent la protection du trait de côte, depuis le musoir de Lornel jusqu'à la station balnéaire de Sainte-Cécile (figure 25, tableau 2). Ces deux types de travaux ont pour but de maintenir ou d'améliorer l'état actuel du site.

II-2 Travaux dans l'estuaire

Les données sont fournies par BRIQUET (1930), FEUILLET (1979), SENEGAT (1983) et CLIQUE (1986). Elles concernent principalement l'implantation de digues submersibles parallèles, de part et d'autre du chenal de navigation (figure 21, tableau 2).

La digue sud, celle de la rive gauche, a été érigée de 1842 à 1853, en moellons crayeux (figure 21, point 3). Elle a été ensuite prolongée de 1863 à 1870 pour atteindre une longueur de 3150 m (figure 21, point 4).

La digue nord, sur la rive droite (figure 21, point 5), a été construite de 1882 à 1901 en aval du quai d'Etaples. Avec une longueur de 4100 m, elle avait pour but de contenir la progression du chenal vers le Nord.

Au début du siècle, les gros voiliers devant tirer des bords, l'extrémité aval de la digue nord a été écrêtée. Il a été constaté un ensablement très rapide dans les zones situées à l'extérieur des digues, les matériaux décantés se trouvant piégés pendant le vidage de l'estuaire. Après la deuxième guerre mondiale, les préoccupations concernant les profondeurs du chenal de la Canche provenaient de l'augmentation du tirant d'eau des bateaux.

La construction des digues à courbure variable a eu pour objectif de maintenir le lit majeur devant le quai en donnant naissance à une zone d'érosion relativement importante. Les digues submersibles construites en 1962 (figure 21, point 8) ont provoqué des variations de cote du chenal de 0,60 m à 1 m.

Constatant la reprise de l'ensablement du chenal en 1981 face au quai (5 cm/an en moyenne), les Services Maritimes ont décidé d'implanter en rive gauche de la Canche des épis transversaux submersibles (figure 21, point 9). En concentrant l'écoulement du courant de jusant sur une surface plus étroite, les épis augmentent la vitesse moyenne des courants dans le chenal et donc l'importance du charriage des sédiments.

Trois mois après la réalisation de 3 épis en mars 1983 en rive gauche, leur musoir présentaient des affouillements importants. Pour contrarier ce phénomène, 3 autres épis furent installés à l'aval, 1 an après, en mars 1984 (figure 21, point 10). Ces travaux ont permis de recaler le lit de la Canche le long de sa rive droite et donc du quai du port de pêche.

En vue du projet du percement du banc du Pilori, un chenal d'accès à la digue submersible fut aménagé en 1986 (figure 22, point 11). A partir de mai 1987, la digue submersible de la rive droite a été rehaussée à la cote + 7,00 m jusqu'à la balise n° 2. Elle a été prolongée au début de l'année 1988 de 650 m, à la cote + 5,65 m (figure 21, point 12).

II-3 Travaux à l'embouchure

Parallèlement à ces travaux dans l'estuaire proprement dit, d'autres ont été poursuivis sur le littoral nord de l'embouchure. Vers la fin de 1980, une digue en enrochement ou perré a été implanté à Sainte-Cécile-Plage. L'implantation de ce perré a été poursuivi en 1984 par un second tronçon jusqu'au camping de Saint-Gabriel, long de 900 m environ. Par la suite, à la fin de l'année 1987, un prolongement de ces perrés a été réalisé au droit du camping.

En 1986, J.P. DHORME faisait remarquer que l'installation de ces digues pouvait faire craindre dans l'avenir un abaissement du niveau de l'estran.

III CONCLUSION

Les derniers travaux réalisés en vue de l'aménagement de l'estuaire et de la baie de Canche sont l'aboutissement de trois préoccupations importantes au regard des utilisateurs (pêcheurs) et des responsables locaux, à savoir :

- l'érosion de la rive nord de la baie
- le colmatage de l'estuaire
- la stabilité du chenal

Le but de ces travaux est donc l'établissement d'un chenal stable dont la profondeur sera suffisamment entretenue par l'effet de chasse mobilisé lors du vidage de l'estuaire.

L'étude, dont les résultats vont suivre, a été réalisée dans le but de montrer l'influence des aménagements sur le trait de côte du secteur de Lornel, de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile.

DEUXIEME PARTIE

Etudes sédimentologiques

C H A P I T R E I

M E T H O D E S

L'objectif était d'observer l'influence des aménagements en baie de Canche, sur le trait de côte longeant la rive nord de Lornel, et les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile. De plus cette observation devait se poursuivre au large, sur les fonds situés au droit de l'embouchure de la Canche.

L'investigation envisagée consistait de ce fait en un suivi morphologique et sédimentologique des plages et des fonds situés au large de l'embouchure.

I LEVES TOPOGRAPHIQUES D'ESTRAN

Initialement, les levés topographiques devaient être effectués par les Services Maritimes de Boulogne et Calais sur la rive nord de Lornel, les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile, selon 6 radiales déterminées d'un commun accord. Elles sont positionnées dans le paragraphe 3 qui suit: approche sédimentologique.

Malheureusement la faible disponibilité des équipes des Services Maritimes ne me permirent pas d'obtenir les relevés topographiques escomptés sur la période de 1986 à 1988. Ainsi, pour cette période il n'a pas été possible de caler la granulométrie des sédiments avec les profils envisagés, ni de quantifier, par l'évolution de ces profils, le volume de sable déplacé.

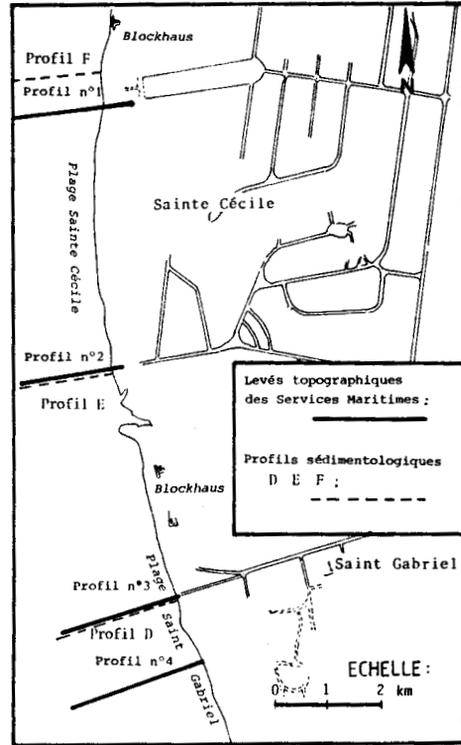
Toutefois pour avoir une idée de l'évolution des plages de Saint-Gabriel et Sainte-Cécile avant les aménagements littoraux, j'ai pu obtenir des relevés effectués au cours de la période allant de 1983 à 1986.

Les profils obtenus se répartissent selon 4 radiales, positionnées de la façon suivante (figure 22) :

- au droit de la descente de bateau à Sainte-Cécile (profil n°1)
- au droit de la descente de bateau de Sainte-Cécile Sud (profil n°2)
- au droit de l'escalier de Saint-Gabriel (profil n°3)
- au droit du camping de Saint-Gabriel (profil n°4)

La figure 22 regroupe les profils initialement prévus c'est à dire ceux de l'approche sédimentologique (profils D, E, F) et les levés topographiques de la période allant de l'année 1983 à l'année 1986. Les profils 3 et 2 se superposent aux profils D et E.

FIGURE 22 : LOCALISATION DES PROFILS TOPOGRAPHIQUES DES SERVICES MARITIMES DE BOULOGNE ET DE CALAIS SUR LES PLAGES DE SAINTE-CECILE ET DE SAINT-GABRIEL



Les travaux projetés ayant pris du retard, les Services Maritimes se sont orientés vers des relevés topographiques dans l'embouchure et de part et d'autre de la Canche (figure 23). Ainsi 5 radiales en baie de Canche furent relevées d'octobre 1987 (voire pour certaines d'avril 1987) à janvier 1988.

La référence de chaque profil topographique est celle employée par les Services Maritimes (rive nord de Lornel, plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile).

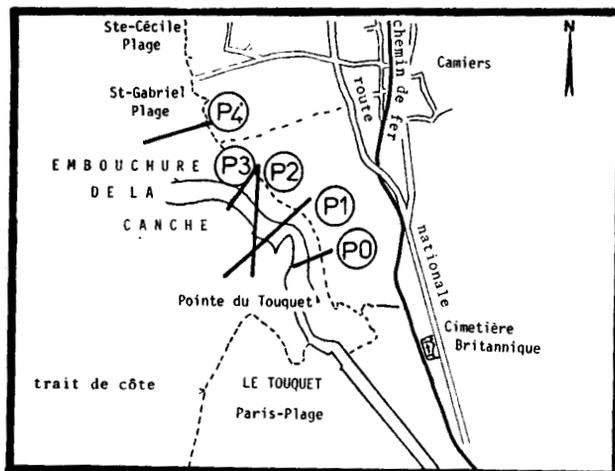


FIGURE 23 : EMPLACEMENT DES PROFILS TOPOGRAPHIQUES DES SERVICES MARITIMES DE BOULOGNE ET DE CALAIS, DANS LE SECTEUR DE LA RIVE DE LORNEL

II BATHYMETRIE

Le suivi des fonds au large de l'embouchure devait permettre de montrer, à la suite des travaux dans la baie, les relations existant entre le pouvoir érosif des courants de jusant de l'estuaire et la bathymétrie au large de l'embouchure.

En effet les courants de vidage de l'estuaire produisent, par les matériaux entraînés, une protubérance des fonds au large de la ligne de rivage. La force de ces courants, responsable du remaniement des sédiments en direction du large, est liée au volume d'eau introduit dans l'estuaire.

Une reconnaissance des fonds avec relevés bathymétriques et prélèvement de sédiments à l'aide d'une benne SHIPECK aux extrémités des 7 profils (figure 24) a été effectuée le 12 mars 1987 par marée de petits coefficients (54), en coordination avec les missions de sédimentologie et de plongée sous-marine de Stéphane DEWEZ. Les positions des prélèvements sont répertoriés dans le tableau 3. Ces radiales se répartissent comme suit:

- 3 radiales de direction Nord-Sud avec, en fonction des possibilités du bateau, la première radiale, au plus près des terres. Elles commencent toutes au droit de la plage de

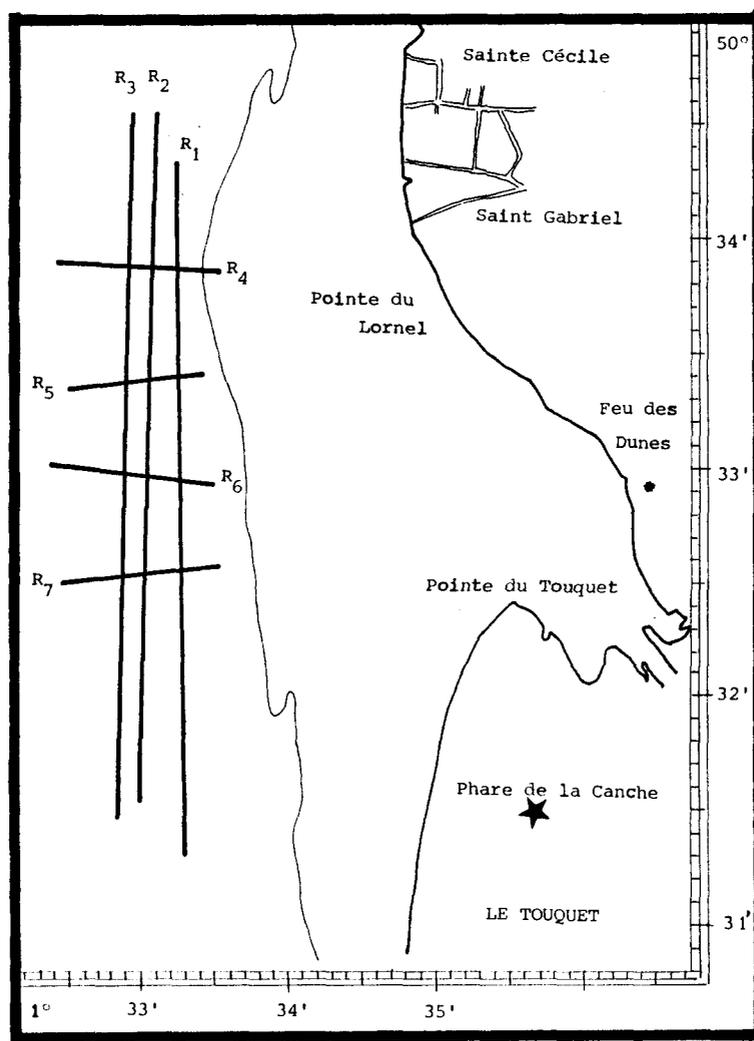


FIGURE 24 : LOCALISATION DES RADIALES BATHYMETRIQUES AU LARGE DE L'EMBOUCHURE DE LA CANCHE SUR FOND DE CARTE DU S.H.O.M. DE 1979

Journée du 12/03/87

Pleine Mer à Boulogne : 10 h 41

Coefficient de marée : 52

Basse Mer à Boulogne : 17 h 48

Prélèvements sur radiales	Positionnement		Heure		Sens du courant	Vitesse du bateau
	Début	Fin	Début	Fin		
R1 R1-1 R1-2	50° 34',28 1° 33',23	50° 31',50 1° 33',30	11 h 30	12 h 00	FLOT	4 - 5 nd
R2 R2-2 R2-1	50° 31',53 1° 33',07	50° 34',53 1° 33',10	12 h 06	12 h 34	FLOT	4 - 5 nd
R3 R3-1 R3-2	50° 34',50 1° 32',90	50° 31',47 1° 32',86	12 h 40	13 h 07	FLOT Etale	4 - 5 nd
R7 R7-2 R7-1	50° 32',47 1° 32',51	50° 32',51 1° 33',63	13 h 20	13 h 27	J	4 - 5 nd
R6 R6-1 R6-2	50° 32',90 1° 33',53	50° 32',92 1° 32',42	13 h 35	13 h 43	J	4 - 5 nd
R5 R5-2 R5-1	50° 33',32 1° 32',51	50° 33',34 1° 33',48	13 h 48	13 h 57		4 - 5 nd
R4 R4-1 R4-2	50° 33',81 1° 33',58	50° 33',85 1° 32',46	14 h 02	14 h 08		4 - 5 nd

TABLEAU 3 : HEURES ET LOCALISATION DES PRELEVEMENTS AU LARGE DE L'EMBOUCHURE DE LA CANCHE

Sainte-Cécile et se terminent à la latitude de la grande esplanade du Touquet.

- 4 radiales de direction Est-Ouest :

*la première, la plus au Nord, au droit de la descente de Saint-Gabriel,

*la deuxième, face à la partie nord de l'embouchure,

*la troisième, face à la partie sud de l'embouchure (au droit du feu des dunes de Camiers),

*et la quatrième, au droit du promontoire de la pointe du Touquet.

Les travaux d'aménagement n'ayant pas progressé dans la baie, il n'a pas été programmé d'autres missions en mer.

III APPROCHE SEDIMENTOLOGIQUE

L'approche sédimentologique a consisté en un suivi de l'évolution des paramètres granulométriques et minéralogiques des sables de l'estran nord de la baie de Canche et du large, au droit de l'embouchure.

L'échantillonnage des sédiments superficiels de l'estran a

concerné une épaisseur de moins de 10 cm. Les 170 échantillons recueillis dans le cadre de cette étude ont été soumis à une analyse granulométrique sur sédiment naturel non décarbonaté, selon des techniques classiques d'analyses exposées dans DESPEYROUX (1985) et DEWEZ (1988) pour ce qui est du traitement des données et de la présentation des résultats.

Sur l'estran, l'échantillonnage a été effectué selon 6 radiales perpendiculaires à la côte et positionnées sur la figure 25 de la manière suivante :

- au droit du feu des dunes de Camiers pour la première radiale (Radiale A),
- à la pointe de Lornel, pour la seconde (Radiale B),
- légèrement en amont du camping de Saint-Gabriel, en ce qui concerne la troisième (Radiale C),
- face à l'escalier de Saint-Gabriel, pour la quatrième (Radiale D),
- face à la descente de plage de Sainte-Cécile sud, pour la cinquième radiale (Radiale E),
- enfin devant le blockhaus de Sainte-Cécile pour la sixième et dernière radiale (Radiale F).

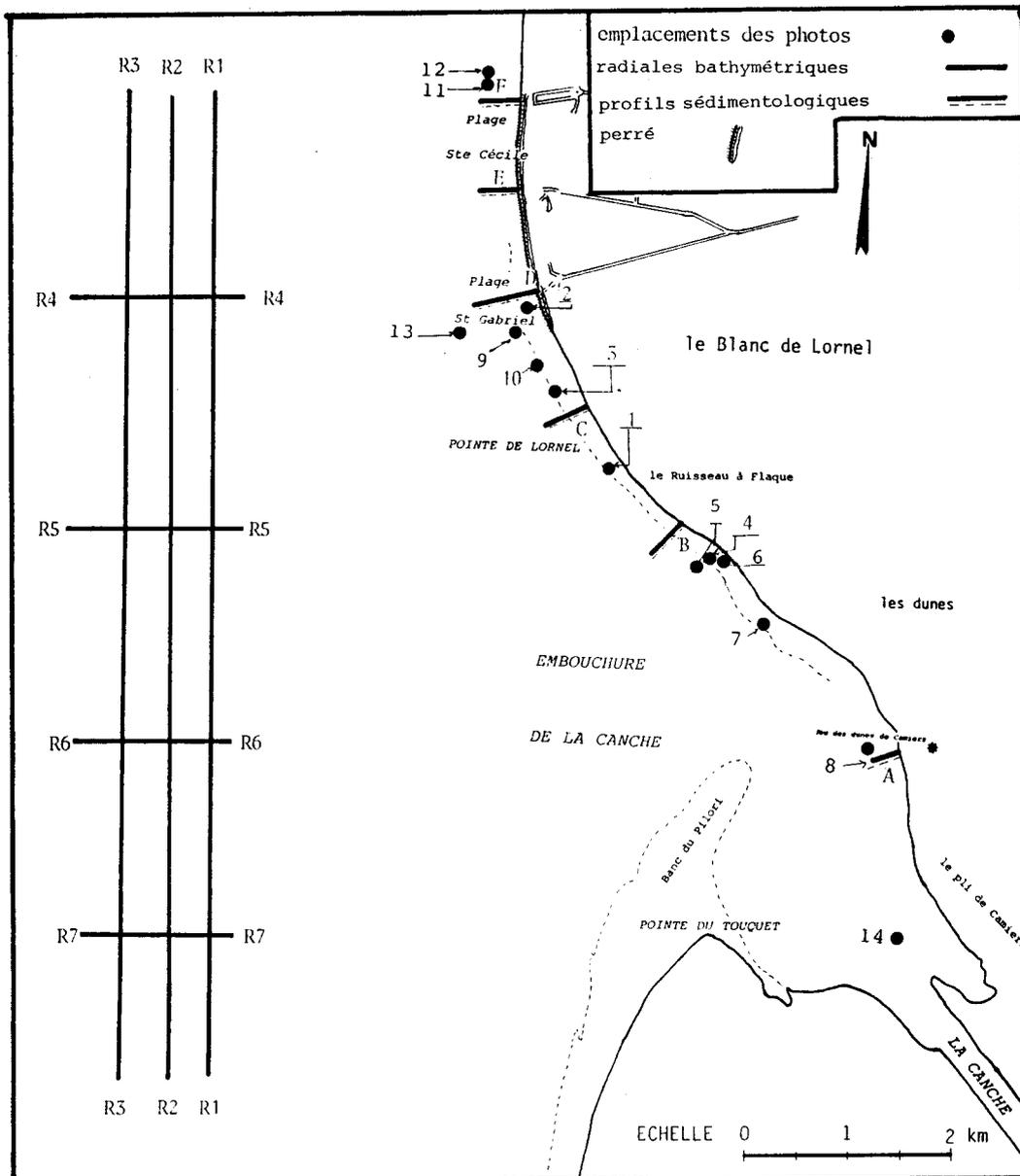


FIGURE 25 : LOCALISATION DU PERRE A SAINT-GABRIEL ET SAINTE CECILE, DES PROFILS SEDIMENTOLOGIQUES, BATHYMETRIQUES ET DES PHOTOGRAPHIES POUR L'ETAT DE SURFACE DU SECTEUR ETUDIE

Les échantillons, environ une quarantaine par mission, ont été prélevés en :

- août 1986
- décembre 1986
- juillet 1987
- janvier 1988,

sur les 6 radiales citées ci-dessus, en utilisant une technique dite systématique, c'est-à-dire tous les 100 pas et à chaque fois que le faciès sableux changeait.

Au large, 14 échantillons ont été collectés, à partir du N/O Pluteus II, dans le secteur étudié et plus spécialement aux extrémités des 7 profils bathymétriques (figures 24 et 25) au moyen d'une benne SHIPECK dont les caractéristiques sont données par AMINOT et CHAUSSEPIED (1983). Ce matériel permet d'obtenir un sédiment peu perturbé et non lessivé au cours de la remontée, correspondant à une surface échantillonnée de 4 dm². Le positionnement des échantillons est donné dans le tableau 3; il indique leur positionnement de début et de fin de radiale (R1-1, R1-2, R2-1, R2-2, R3-1...).

L'exposé comprend une approche sédimentologique puis une présentation générale de l'état de surface de la plage. Cette partie est suivie par la présentation des divers profils et radiales sur les plages de la rive de Lornel, de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile qui se poursuivra par une interprétation des phénomènes et des conclusions à en tirer pour les années à venir.

CHAPITRE II
MORPHOLOGIE DES ZONES
INTERTIDALES

I GENERALITES

Sur une côte sableuse, quatre environnements, numérotés de 1 à 4, peuvent être distingués (figure 26) :

- le premier, la dune
- le deuxième, la plage ou estran : zone intertidale soumise à la houle déferlante
- le troisième, l'avant plage (shoreface) : zone d'avant côte, au large de la plage, soumise à l'action de la houle sur le fond
- le quatrième, le large (offshore) : zone au delà du "shoreface", non soumise à l'action de la houle, sauf tempête exceptionnelle.

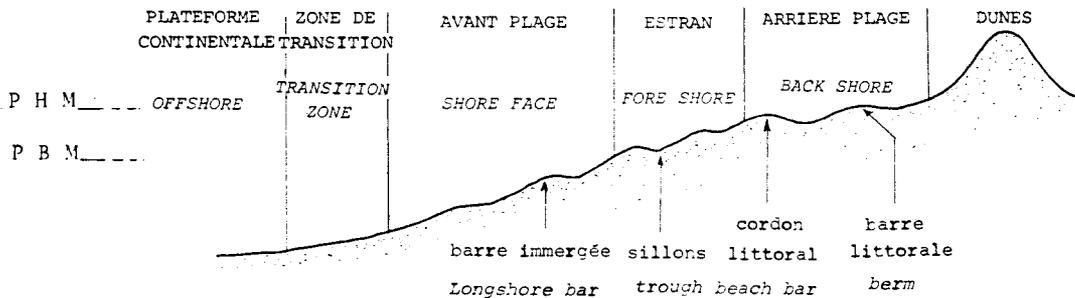


FIGURE 26 : UNITES MORPHOLOGIQUES D'UN PROFIL DE PLAGE (D'APRES EMERY, 1960; REYNECK, 1980; ALLEN ET AL, 1981; CHAMLEY, 1987)

I-1 Les dunes

Les dunes bordières formant le bourrelet dunaire littoral représentent la partie terrestre d'une vaste accumulation sableuse qui se prolonge sur l'estran (zone de balancement des marées) et sur la plage sous marine.

La dune assure de multiples fonctions :

- elle est un rempart contre la houle
- elle dévie le vent et ses embruns,
- et piège le sable avec sa couverture végétale.

Son rôle protecteur s'explique principalement par les échanges

qu'elle entretient avec la plage et l'avant plage. Leur évolution sont solidaires. MOINET (1986) montre bien les trois rôles fondamentaux de la dune face à la houle :

- celle ci est freinée par la pente doucement ascendante de la dune (dune obstacle),
- elle est amortie sur le sable et non violemment réfléchié comme sur un obstacle imperméable (dune pare choc)
- et elle s'affaiblit en se chargeant de sable (dune réserve).

Au lieu de prendre le sable à la plage, la houle déstabilise le pied de la dune, généralement en hiver, qu'elle transforme en petite falaise. Mais si le cycle des houles est régulier, ce pied de dune se reconstituera l'été suivant avec le sable remonté sur l'estran par les houles faibles de beau temps.

I-2 La plage (Allen et al, 1981)

Sur la plage, deux sous-zones sont à séparer :

- le haut de plage (backshore) qui s'étend au delà du cordon littoral ou berme, petite terrasse qui représente la limite moyenne atteinte par la pleine mer. Certains auteurs comme SONU et VAN BEEK (1971), BRESSOLIER et THOMAS (1974) emploient le terme de berme pour les ressauts relevés en un point quelconque du profil, et ne conservent au terme que son seul sens morphologique,

- l'estran (foreshore) est la zone intertidale continuellement soumise à l'action de la houle. Sa morphologie consiste en des barres de déferlement, séparées par des sillons ou bâches. Vers la partie la plus élevée du foreshore s'établit le front de plage (beachface), pente douce qui culmine à la berme.

I-3 L'avant plage ou plage sous-marine

La plage sous-marine ou shoreface est la zone sableuse, silteuse et silto-sableuse s'étendant au large de la plage entre la limite des basses mers et la limite en profondeur de l'action saisonnière de la houle. La barre et la dépression la précédant restent constamment immergées dans le domaine de la plage sous-marine. L'apparition ou la disposition de ces structures est liée aux conditions d'agitation. Dans la zone de déferlement, la houle construit une barre littorale ou "offshore bar". En fonction de l'amplitude de la houle, cette barre se situe entre 1 et 6 m en dessous du niveau des basses mers. Lorsque la houle est oblique, s'établit un courant de dérive littorale entre la barre littorale et la plage.

Dans la terminologie proposée par EMERY (1960), la limite des domaines de l'estran et de la plage sous-marine se placent à la hauteur de la ligne des plus basses mers.

I-4 Le large

Le large ou "offshore" s'étend au delà de la plage sous-marine ou "shoreface", et constitue le plateau continental.

II SUIVI MORPHOLOGIQUE DE LA PLAGES

Les particularités des plages tiennent essentiellement à l'alternance entre les actions marines et les actions dues aux vents.

Chaque plage a plusieurs profils d'équilibre qui lui sont particuliers et qui sont fonction, d'une part des variations de l'énergie de la houle selon le niveau de la mer, d'autre part de la granulométrie des sables.

Le profil de plage est à considérer comme un "instantané" de l'évolution morphologique. LARRAS (1957) souligne l'aspect permanent du remaniement : " la mer passe son temps à remuer et reclasser les matériaux sans arrêt. Mais l'on peut définir à tout instant un profil limite (dit profil d'équilibre) sur lequel la surface des matériaux tendrait à s'adapter si la houle conservait indéfiniment les mêmes caractéristiques et les mêmes orientations".

L'évolution morphologique de la plage au cours des saisons de notre période d'observation (juillet 1986 - janvier 1988) va nous conduire à présenter les différentes formes et particularités sédimentaires rencontrées.

II-1 Etat de surface de la plage

II-1-1 Présentation

Sur le secteur considéré, d'une longueur approximative de 4 km, deux types de plages peuvent être distingués:

- le premier, sur la rive nord de la baie, dans le secteur de Lornel,
- le deuxième, depuis la pointe de Lornel jusqu'à la plage de Sainte-Cécile. Cette plage est modelée par une succession de barres et de bâches sableuses orientées plus ou moins parallèlement au trait de côte.

II-1-1-1 Plage du secteur de Lornel

De juillet 1986 à janvier 1988, la largeur de la plage n'est pas très importante et dépend de la position du cours de la Canche. La position des radiales et profils peut être retrouvée dans les figures 23 et 25. Pour les profils, les références d'origine ont été conservées. Pour les radiales qui ont servi au suivi sédimentologique, les références sous forme de lettres ont été choisies afin de ne pas les confondre avec la nomenclature employée par les Services Maritimes.

Le profil 0 (P0) des Services Maritimes, le plus à l'intérieur de la baie montre dans son évolution un rapprochement de la Canche vers le haut de plage. En avril 1987, la largeur d'estran était de 373 m pour n'être plus que de 279 m en 1988.

Sur la radiale A, la largeur de l'estran a été de 210 m environ jusqu'à février pour atteindre 260 m en juillet de la même année. En janvier 1988, cette largeur n'était plus que de 190 m environ.

Le profil 1 (P1), indique d'octobre 1987 à janvier 1988, une augmentation de la largeur de l'estran jusqu'à la Canche. Cette largeur passe de 200 m à 220 m environ.

Le profil n°2 (P2), présente des longueurs qui varient d'octobre 1987 à janvier 1988. Sa longueur, du point origine à la Canche passe de 630 m à 610 m, attestant d'un rapprochement du fleuve vers la ligne de rivage.

Le profil n°3 (P3) ne semble pas confirmer ce phénomène et indique une courbe du fleuve. En avril 1987, la Canche se trouve à environ 696 m, pour se retrouver en octobre 1987 à 620 m et en janvier 1988 à 830 m. A partir de ce secteur et en se dirigeant vers l'Est la Canche ne semble plus se rapprocher de la ligne de rivage.

A hauteur de la radiale B, la longueur de l'estran fluctue sur la période d'étude. En Août 1986, la Canche était très proche des dunes (200 m environ), et passait à proximité des bancs de tourbes ainsi que des blockhaus. Par la suite son cours s'est éloigné pour laisser place à une longueur d'estran fluctuant entre 430 m et 490 m. Dans ce secteur, le lit de la Canche est tapissé de dunes hydrauliques, attestant de la puissance érosive des courants dans ce secteur de la baie. Ces dunes hydrauliques avaient déjà été signalées par DESPEYROUX (1985a).

Au profil n°4 (P4), la Canche s'est rapprochée de la pointe de Lornel pour se trouver en janvier 1988 à une distance de la ligne de rivage de 570 m environ. Elle semble rejoindre la mer en prenant une direction Nord.

En résumé : Les divagations du cours aval de la Canche, sont responsables des fluctuations de la largeur de l'estran. Actuellement, la Canche semble se rapprocher de la rive de Lornel.

II-1-1-2 Secteur de la pointe de Lornel à Sainte-Cécile

Dans ce secteur, les distances entre la côte et l'isobathe 0 m représentent la largeur de la plage à basse mer. Elles sont données ci-après, à partir des profils positionnés dans la figure 22 :

- profil n°4 (situé au droit du camping de Saint-Gabriel): 1200 m
- profil n°3 (faisant face à l'escalier de Saint-Gabriel): plus de 120 m
- profil n°2 (en prolongement de la descente de Sainte-Cécile sud) : 810 m
- profil n°1 (à Sainte-Cécile) : 680 m
- au Nord de la ville la largeur approximative de l'estran est de 600 m.

Du Sud vers le Nord, la largeur de la plage diminue. En effet, du Lornel à Saint-Gabriel la plage est alimentée par la dérive littorale de même que par les matériaux de la baie transportés par les courants de vidage de l'estuaire. La plage en cet endroit du littoral fait partie intégrante du promontoire ou cône sous-marin, décrit par BONNEFILLE et ALLEN (1970), à l'embouchure du fleuve.

II-1-1-3 Bathymétrie au large de l'embouchure

Un suivi de la bathymétrie des fonds au large de l'embouchure a été effectué et ceci corrélativement à l'avancement des travaux d'aménagement en baie de Canche. La mission a été menée en liaison avec d'autres missions océanographiques au large et s'est déroulée le 12 mars 1987 par des marées de petits coefficients (54). Les diverses radiales sont reportées dans les figures 24 et 25.

Les radiales transverses R4, R5, R6, R7 montrent la présence de hauts fonds à l'Est et d'une pente progressive décroissante orientée vers l'Ouest.

Les valeurs corrigées en fonction de la basse mer peuvent être retrouvées dans le tableau 4. Les calculs ont été effectués à partir des heures et hauteurs de pleine mer et de basse mer du Touquet (figure 27).

On peut constater, en examinant les radiales R1, R2, R3 (tableau 4, figure 28) que les profondeurs sont plus importantes à l'extrémité nord qu'à l'extrémité sud; la pente orientée vers l'Est, de la radiale R1 à la radiale R3, est plus accentuée à l'extrémité nord qu'à l'extrémité sud.

Sur les radiales transverses R4, R5, R6, R7 nous remarquons qu'à leur extrémité orientale, les radiales R4 et R5 présentent une pente nulle entre elles, puis entre R5 et R6 une pente orientée vers le Sud. Entre la radiale R6 et R7 la pente est d'orientation inverse, c'est à dire orientée vers le Nord.

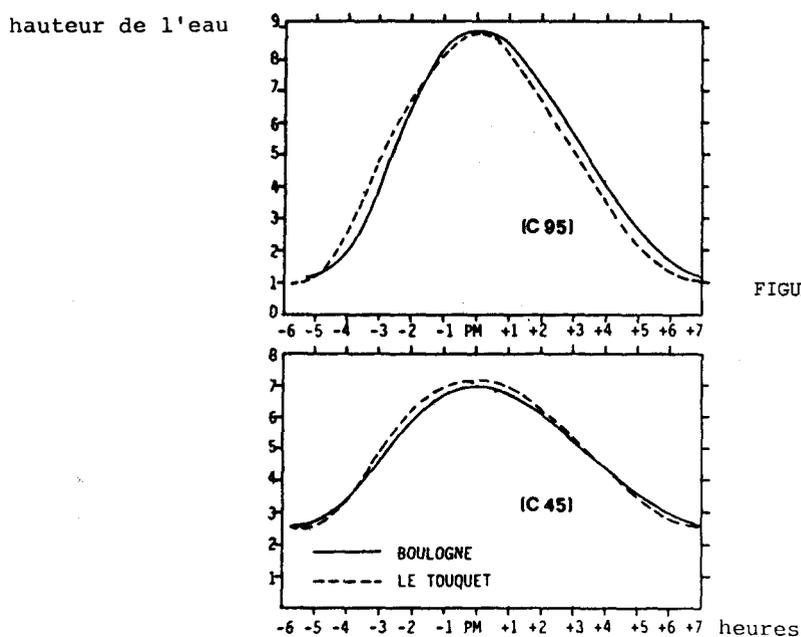


TABLEAU 4 : PROFONDEURS APRES CORRECTION DE LA HAUTEUR AU DESSUS
DES POINTS DE PRELEVEMENTS SITUES AU DROIT DE
L'EMBOUCHURE DE LA CANCHE

Radiales (cf. figure 27)	Profondeurs (m)	
	Extrémité Nord	Extrémité Sud
R1	9	8
R2	10	9,5
R3	12	10
R4 R5 R6 R7	Extrémité Est	Extrémité Ouest
	3,4	15,5
	3,5	15,5
	4	14
R7	2	13,5

Au large, à l'extrémité occidentale des radiales transverses, les fonds deviennent plus importants vers le Nord.

Cette répartition des variations spatiales des profondeurs peut traduire une venue de sable provenant du Sud, sable qui participe à l'élargissement vers l'Ouest de l'esplanade du Touquet, regroupant les nouvelles infrastructures de la ville: parking, piscine,

Au droit de l'embouchure, la radiale R6 présente à son extrémité Est des profondeurs un peu plus importantes que les

autres radiales transverses qui l'entourent. Ceci s'explique par un phénomène de transport important des sables vers l'Est lorsque le courant de flot pénètre dans l'embouchure de la Canche au moment du montant. Au cours du perdant dans l'estuaire, les courants du large sont toujours dirigés vers le Nord et provoquent le transit des sédiments dans cette direction. Au moment du perdant, en Manche, les sables, situés à l'embouchure, sont transportés vers le Sud par les courants de jusant.

Ces deux phénomènes de va et vient peuvent expliquer les faibles profondeurs aux extrémités Est des radiales R5 et R6.

Par contre au large, les profondeurs les plus importantes sont celles des radiales R4 et R5. La profondeur accrue dans ce secteur semble témoigner d'un changement de direction dans le transit des sables, le transport des sables semblant se faire au plus près de la côte.

En résumé : Les courants de marée du large et de l'estuaire modèlent les fonds sous marins en façonnant une pente Est-Ouest plus forte au Sud qu'au Nord.

II-1-2 Aspects de surface

La figure 25 donne la localisation des profils sédimentologiques et bathymétriques, et la position de l'ensemble des photographies répertoriées au long du texte.

II-1-2-1 Dunes

Le long du rivage, les dunes sont attaquées par les houles. A l'heure actuelle certains secteurs sont plus fragiles que d'autres. C'est notamment le cas de la pointe de Lornel. Sur la photo 1, nous pouvons observer au premier plan l'écoulement des nappes d'eau d'arrière dune sur le haut de plage. Le flanc de la dune présente un profil de falaise en éboulement, et l'aspect fracturé de la casemate témoigne du recul rapide du trait de côte.

En continuant vers le Nord, la dune, depuis le camping de Saint-Gabriel à Sainte-Cécile, est protégée par un perré d'enrochement long d'environ 2500 m, et n'est plus attaquée par les houles de tempête et les courants de marée (Photo 2). Le perré que nous voyons ici est celui de Saint-Gabriel. Les blockhaus servent de point d'ancrage au perré qui est constitué d'éléments hétérogènes (blocs exogènes, débris de casemates...).

Par contre dans le secteur de Lornel l'action des houles est bien marquée par la présence de profil de microfalaises, de glissement de sable et d'autres figures d'érosion (Photos 3 et 4). Nous remarquons des phénomènes d'éboulis (Photo 3) entre la pointe de Lornel et le perré de Saint-Gabriel. Par contre les profils de microfalaises (Photo 4) se rencontrent entre le feu des dunes et la pointe de Lornel. En effet la pointe du même nom en divisant le courant de flot est particulièrement affectée au moment des tempêtes et des marées de forts coefficients. Au moment du montant, elle sépare le courant de flot, et au moment du perdant dans l'estuaire, les courants se trouvent plaqués contre sa rive par les courants du large qui portent toujours vers le Nord.

Les deux types d'effondrement cités plus haut dépendent de la hauteur, la pente, l'emplacement et l'orientation des dunes face aux agressions des courants de marée et des houles. En photo 3, la dune qui constitue le trait de côte d'orientation Nord-Sud est plus directement affectée par les houles de la Manche. De plus une hauteur importante favorise ce type d'effondrement: la dune étant sapée à sa base, le front supérieur de la dune s'effondre. Par contre (Photo 4), la dune se prolonge selon une orientation Est-Ouest, et se retrouve

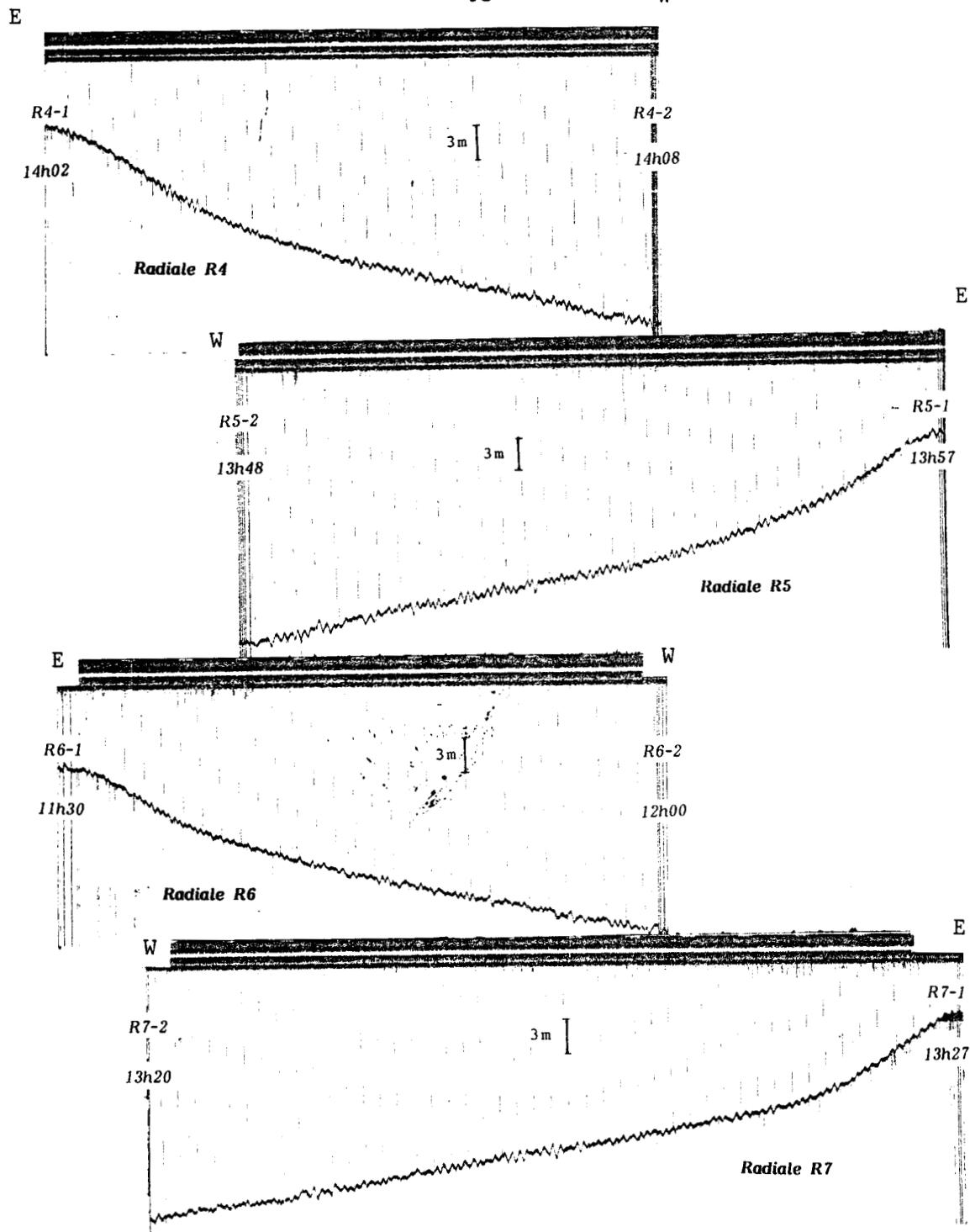


FIGURE 28 : EXEMPLES DE RADIALES BATHYMETRIQUES, RADIALES TRANSVERSALES (E-W) AU LARGE DE L'EMBOUCHURE DE LA CANCHE

sur la rive Nord de Lornel. En cet endroit, la dune subit lors des tempêtes l'action conjuguée des courants et des houles, selon la même orientation, les premières favorisant l'action des secondes à marée haute.

Les houles ont un effet fortement érosif car la capacité

de transport des courants de retour est élevée et provoque un entrainement des matériaux de la haute plage vers l'avant plage. Lors des fortes tempêtes (hiver 1986 - hiver 1987) les vagues ont attaqué le pied de dune et ont provoqué un phénomène de sape à la base, créant ainsi une encoche puis la formation d'une microfalaise de démaigrissement (Photo 4). L'effet est d'autant plus important que le profil est plus raide (pointe de Lornel - rive nord de la baie de Canche). Sur la rive nord de la baie, l'érosion est beaucoup plus accusée lorsque le lit de la Canche se situe à proximité de la ligne de rivage. Les courants de flot et de jusant, (cf. partie I, chapitre II ci-dessus) se plaquent sur le rivage et ont plus de facilité, au moment des tempêtes et des forts coefficients, d'affouiller le pied des dunes.

Les profils de dunes en falaises laissent apparaître des niveaux de tourbes horizontaux, témoins d'anciens sols (Photo 5), qui se morcellent et forment des galets mous entraînés par les courants (Photo 6). Ces exemples se retrouvent à proximité de la pointe de Lornel, en se dirigeant vers le feu des dunes de Camiers, c'est à dire en longeant le trait de côte vers l'Est.

Le vent participe également à l'érosion. En effet les vents de secteurs Sud-Ouest à Ouest se chargent de sable sur l'estran et viennent frapper la dune en occasionnant diverses déformations imputables soit à des actions érosives, soit à des actions d'accumulation (Photo 7).

Les discontinuités entre les éléments de la végétation, les changements de pente, la présence d'obstacles sont autant d'éléments favorisant l'action érosive du vent. Ces phénomènes sont particulièrement sensibles au niveau de la ligne de crête de la dune. Une zone de discontinuité de végétation entre le front et le revers de la dune se comporte comme l'accélérateur de filets d'air. Ce sont des zones privilégiées pour la formation de couloirs de déflation que l'action du vent transforme en siffle-vent (Photo 7).

Les échancrures du littoral compriment les filets d'air, ce qui entraîne une accélération de la vitesse du vent en favorisant un affouillement des versants et du front d'échancrure. Ces affouillements des parois laissent apparaître des litages fins, obliques, souvent entrecroisés (Photo 7). Cette géométrie interne s'explique par des sautes dans la direction des vents, et par des alternances d'érosion et d'accumulation de sable (PASKOFF, 1985).

II-1-2-2 La plage

La morphologie est modelée par une alternance de barres de déferlements et de sillons ou bâches.

Le haut de plage est caractérisé par des figures éoliennes de type "sand tails" (terminologie de REINECK et SINGH, 1980). Le vent à une prise directe sur le sable sec, et le sable est déposé sous forme de traînée devant des matériaux plus grossiers (coquilles, galets,...); par contre il est toujours emporté entre ces matériaux plus grossiers. Les figures de type "sand tails" ont été observées aux environs du feu des dunes et sur la plage de Sainte-Cécile (Photo 8).

En se dirigeant vers le Nord à partir de la pointe de Lornel, le front de plage est assez développé. C'est le lieu d'écoulement des eaux provenant des pannes situées à l'arrière du cordon dunaire, et qui percolent à travers le sable (Photo 9).

La laisse de haute mer délimite souvent le front de plage. Elle est parsemée de macrodéchets. Une étude demandée par le Ministère de

l'Environnement dans le secteur de Hardelot a permis d'en mieux connaître la provenance (LOUBERSAC, 1982 in ARNAL et al, 1986).

En hiver 1988, la laisse de haute mer était jalonnée par des morceaux de glace que la marée avait repris sur le front de plage. L'eau en s'écoulant s'était figée et transformée en glace que la marée avait brisée et ramenée sur le haut de plage (Photo 10).

Les sédiments deviennent plus grossiers sur le flanc de la barre littorale exposée au large, et se composent pour une grande part d'éléments carbonatés. Ce type de sédiment a été photographié (Photo 11) sur la plage de Sainte-Cécile, à hauteur du profil 1 où il constituait une barre orientée approximativement Nord-Sud.

2 à 3 bâches se succèdent généralement à Saint-Gabriel, la première la plus proche du rivage étant caractérisée par des ripple marks et la seconde par des mégarides orientées vers le Nord (Photos 12 et 13). Ces figures retrouvées dans les bâches de la plage de Sainte-Cécile, donnent la même direction de courant .

Des tourbes et des sables humifères argileux apparaissent dans le secteur de Lornel. Ils forment un premier obstacle au courant et à la houle qui les casse et les fractionne en blocs. Souvent ils sont taraudés par des mollusques.

Sur la plage de Saint-Gabriel, les débris de l'ancien hôtel étaient éparpillés sur la surface de la plage en juillet 1986. Depuis le sable les a recouverts et cela malgré l'existence des diverses houles : houle de beau temps, houle de tempêtes.

Lors des faibles coefficients de marée et par beau temps, la faible agitation permet aux éléments les plus fins de se déposer dans de larges dépressions qui devaient être d'anciens passages de la Canche, sur la plage de Lornel. Cette sédimentation fine se retrouve également à l'abri des bancs de tourbes et des rides hydrauliques des bâches éloignées du rivage, dans le secteur de Lornel et de Saint-Gabriel.

Les forts coefficients de marée ont permis aux tempêtes et courants de remettre en suspension ces éléments fins et de les transporter vers le large ou l'intérieur de la baie.

II-1-2-3 Conclusion

Divers aspects morphologiques de littoraux sableux rencontrés dans le secteur étudié témoignent du recul du trait de côte. Les éboulements et les microfalaises en pied de dune attestent de l'érosion importante de même que le démantèlement de casemates allemandes installées dans les dunes (Photo 1), et l'agrandissement des siffles vent (Photo 8). D'autres aspects témoignent de l'engraissement et/ou de l'érosion du littoral; ce sont:

- le rapprochement ou l'éloignement du lit de la Canche de la rive de Lornel,
- le recouvrement ou non par le sable des débris de l'ancien hôtel de Saint-Gabriel.

A partir de la pointe de Lornel, et se prolongeant vers le Nord, une série de bâches suivent plus ou moins parallèlement le trait de côte, et sont marquées, en fonction de la proximité des dunes, soit par des ripples marks, soit par des mégarides d'orientation Sud-Nord.

Les états de surface des plages de la rive nord de Lornel jusqu'à Sainte-Cécile n'ont pas présenté de grandes variations saisonnières typiques de celles que l'on peut retrouver sur la côte Aquitaine. Ces variations sont imprévisibles et liées aux conditions météorologiques de la côte et non du large comme sur cette dernière. Les tempêtes de la mer épicontinentale qu'est la Manche sont souvent apériodiques.

La partie qui va suivre va nous amener à considérer une autre approche plus rigoureuse en ce qui concerne les variations verticales de la plage.

II-2 Description des profils de 1983 à 1986

L'évolution morphologique de la plage au cours des saisons de la période d'observation (novembre 1983 à juin 1986) est envisagée ici à partir des levés et profils de plage. 4 profils plus ou moins parallèles (figure 22) ont été suivis par les Services Maritimes et établis en prenant en compte chaque rupture de pente. Les références de ces profils sont celles utilisées par cette administration.

II-2-1 Profil n°1 (figure 29)

En novembre 1983, la plage présente un profil initial concave assez régulier (haut-mi estran) avec la présence d'une petite échancrure et d'une barre dans le bas estran situé à la limite des 200 m du pied de dune.

En février 1984, à la fin de la période hivernale, le profil a une forme plus régulière.

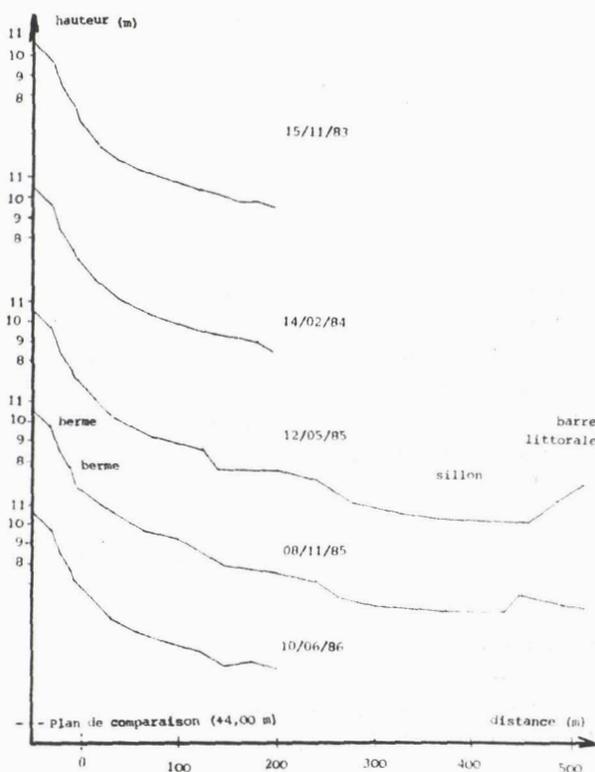


FIGURE 29 : LEVES TOPOGRAPHIQUES REALISEES SUR LA PLAGE DE SAINTE-CECILE (PROFIL N°1, SERVICES MARITIMES DE BOULOGNE ET DE CALAIS)

En mai 1985, les conditions de marée, de temps permettent de faire un relevé topographique sur une plus longue distance. Jusqu'à la limite des 100 m, le profil est concave pour se poursuivre par un cordon littoral et un sillon. Le banc littoral venant en continuité des deux structures précédentes présente une asymétrie tournée vers l'Ouest ce qui traduit un transit sédimentaire dirigé vers le large. A 500 m de la dune une mégaride présente une polarité très marquée inverse de celle de la structure sédimentaire précédente, laissant présager un changement dans le sens du transport sur la plage.

En novembre 1985, le profil se caractérise par la fin d'un développement de "berme" en escalier et l'atténuation de l'irrégularité remarquée en mai. On observe toujours la présence d'un sillon pré littoral et d'un riden sableux dissymétrique, à polarité dirigée vers le haut de plage.

En juin 1986, on retrouve les formes irrégulières de mai 1985 en plus atténué, mais la longueur du profil ne peut nous permettre de comparer l'évolution du bas de plage.

En résumé : Le profil de plage semble évoluer, à partir d'un profil initial régulier concave (haut, mi estran) en hiver, à une forme assez irrégulière à la mi saison (printemps), pour aboutir en fin de saison estivale à un profil à nouveau plus régulier.

II-2-2 Profil n°2 (figure 30)

En novembre 1983, le relevé topographique de la plage d'une largeur de 200 m montre un profil assez irrégulier avec un cordon littoral en continuité d'une barre bien marquée.

En février 1984, le profil devient régulier avec une érosion de la partie haute de la plage et un engraissement du sillon.

En juillet 1985, le profil est plus long et très irrégulier sur sa partie "haut de plage". On remarque un sillon bien marqué se prolongeant par un riden ayant une polarité orientée vers le haut de plage. Le reste de la plage présente un profil assez régulier.

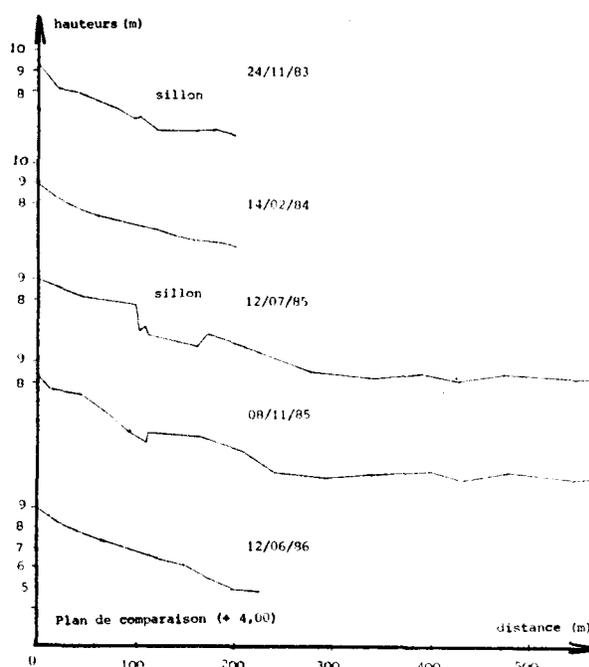


FIGURE 30 : LEVES TOPOGRAPHIQUES REALISEES SUR LA PLAGE DE SAINTE-CECILE SUD (PROFIL N°2, SERVICES MARITIMES DE BOULOGNE ET DE CALAIS)

En novembre 1985, le profil semble traduire une érosion de haut de plage et un cheminement du sable vers la bas de plage. Le sillon pré littoral est plus étroit mais toujours bien marqué. Les diverses vagues de sable ne présentent pas d'asymétrie très caractéristiques, mais donnent toutefois le sens du transit du sable vers le bas de plage, qui engraisse légèrement. Par rapport à juillet 1985, les formes du profil s'adoucissent.

En juin 1986, le profil limité à 200 m est plus régulier. Le sillon que l'on pouvait observer auparavant n'existe plus. A 150 m environ de la dune le profil observé est équivalent au profil de février 1984.

En résumé : le profil présente une régularité que l'on peut retrouver en fin de saison hivernale, et durant l'été 1986. Ces allures régulières doivent sûrement être amorcées par des tempêtes de vive eau et entretenues par la suite par des périodes de fortes agitations, témoignant de l'existence d'un même type de houles.

II-2-3 Profil n°3 (figure 31)

En novembre 1983, le profil présente une forme concave jusqu'à une distance de 200 m. Par la suite le profil de plage se courbe pour faire ressortir un sillon.

En février 1984, le profil ressemble au précédent. Il présente néanmoins une légère érosion sur tout son long avec l'existence d'un sillon dans la limite des 200 m, légèrement reporté vers le haut de plage.

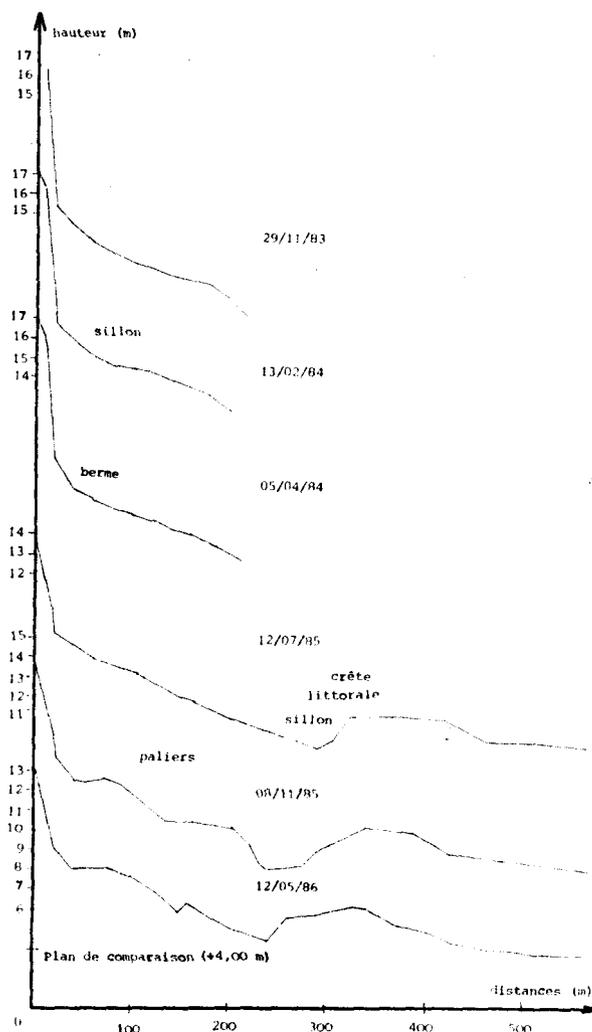


FIGURE 31 : LEVES TOPOGRAPHIQUES REALISEES SUR LA PLAGE DE SAINT-GABRIEL (PROFIL N°3, SERVICES MARITIMES DE BOULOGNE ET DE CALAIS)

En avril 1984, le profil présente une certaine régularité avec toutefois la présence d'une petite "berme" sur le haut de plage.

En juillet 1985, sur le haut de plage se dessine une petite falaise; le profil descend jusqu'à la limite des 300 m pour présenter un sillon dont le thalweg est à une hauteur inférieure à celui du plan de surface du bas de plage. Ce sillon très développé contraste avec la crête littorale en continuité. A cette époque, le perré au droit de Saint-Gabriel a été réalisé, ce qui est attesté par une nette différence de cote à l'origine du profil.

En novembre 1985, le profil est très irrégulier. Le flanc de dune reste stable et sa base présente un affouillement. La suite du profil présente une alternance de crêtes et de sillons dont la forme générale irrégulière se caractérise par le développement d'un système de paliers en haut estran se prolongeant par le présence de sillons et de crêtes pré littoraux.

En juin 1986, le profil est toujours irrégulier et présente un engraissement de haut estran. La crête pré littorale s'est avancée prouvant un engraissement du haut de plage.

En résumé : Ce profil de plage semble évoluer d'un profil initial régulier vers un profil irrégulier, et ceci de façon aléatoire au cours de l'année.

II-2-4 Profil n°4 (figure 32)

En décembre 1983, le profil est irrégulier avec un système de paliers successifs.

En février 1984, le profil est concave en haut estran pour se continuer par une alternance de sillons et de crêtes pré littoraux.

En avril 1984, l'irrégularité du profil s'atténue.

En résumé : les profils relevés sur la période considérée, montrent une évolution constante vers une régularité du profil.

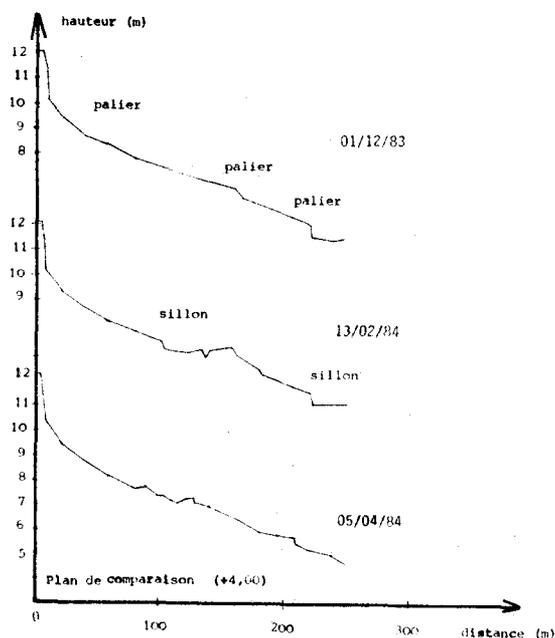


FIGURE 32 : LEVES TOPOGRAPHIQUES REALISES SUR LA PLAGE AU DROIT DU CAMPING DE SAINT-GABRIEL (PROFIL N°4, SERVICES MARITIMES DE BOULOGNE ET DE CALAIS)

II-3 Formes et mouvements sédimentaires sur les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile (période de nov. 1983 à juin 1986)

En hiver 1983 et du Sud vers le Nord (annexe figure XIX), la pente du profil s'atténue. Le profil n°2 semble montrer un niveau bas par rapport aux autres profils. Pour le profil n°4, dans la limite des 200 m la bêche est bien dessinée.

En février (annexe figure XX), les profils sont réguliers dans l'ensemble à l'exception de profil n°4 situé le plus au Sud. Le profil n°2 est toujours situé sur un point bas.

En avril, pour les profils n°4 et 3, on retrouve une allure semblable à celle de février, à savoir un profil irrégulier pour 4 et plus régulier pour le n°3 (figures 31 et 32).

En mai et juillet 1985 (annexe figure XXI), les profils rapportés sont plus longs et plus réguliers. La distance entre les profils ne permet pas de suivre en continuité l'évolution morphologique de la plage sur toute sa longueur. Sur le profil n°3, au droit de la descente de Saint Gabriel, un sillon accolé à une crête pré littorale se dessine dans la limite des 300 m. Les deux unités morphologiques ne se retrouvent pas plus au Nord, et ceci laisse présager d'une bifurcation de ces unités morphologiques vers le large avant le profil n°2. Au cours de cette période, le profil n°2 se trouve rehaussé par rapport aux deux autres et présente un sillon à 120 m.

En novembre 1985 (annexe figure XXII), le profil n°3 est le plus régulier. Le sillon pré littoral, situé dans la limite des 300 m a progressé vers le haut de plage pour se trouver maintenant entre 200 et 300 m. Entre les profils n°2 et n°3, on ne voit pas de continuité dans l'agencement des formes et structures sédimentaires. Par contre entre les profils n°2 et n°1 la barre littorale, située entre les distances 200 et 300 m, se trouve déportée vers le large du Sud au Nord. Ce phénomène traduit une déviation du sillon vers le large. Du Sud vers le Nord, la forme du profil tend à se régulariser.

En juin 1986 (annexe figure XXIII), on remarque toujours sur le profil n°3 la présence d'un sillon aux alentours des 250 m. Les autres profils ne nous donnent pas d'informations supplémentaires vu leur faible longueur.

En résumé : Au cours du temps, nous remarquons du Sud vers le Nord, de Saint-Gabriel à Sainte-Cécile :

- que les irrégularités des profils tendent à se lisser,
- que la pente de la plage diminue,
- qu'à partir de 1985, le profil n°2 atteint une cote équivalente à celle des autres profils (par suite de l'installation du perré en protection des dunes).

Toutefois il faut rappeler que la méthodologie utilisée n'est pas parfaite :

- la couverture réalisée par les profils n'est que très partielle, dans le temps et dans l'espace,
- la longueur des profils n'est pas toujours équivalente.

II-4 Formes et mouvements sédimentaires à l'intérieur de la baie de Canche

Les profils mentionnés ci-après sont positionnés sur la figure 23. Les différents tracés des profils de la baie de Canche sont reportés sur la figure 33 :

- profil P0, d'orientation ENE-SWS, se situe à l'intérieur de la baie entre la plage des pauvres et le feu des dunes,
- profil P1, d'orientation NE-SW, a pour origine le feu des dunes,
- profil P2, d'orientation N-S, a pour origine la pointe de Lornel,
- profil P3, d'orientation NE-SW, a la même origine que le profil précédent,
- profil P4, d'orientation ENE-WSW, se situe à proximité du camping de Saint-Gabriel.

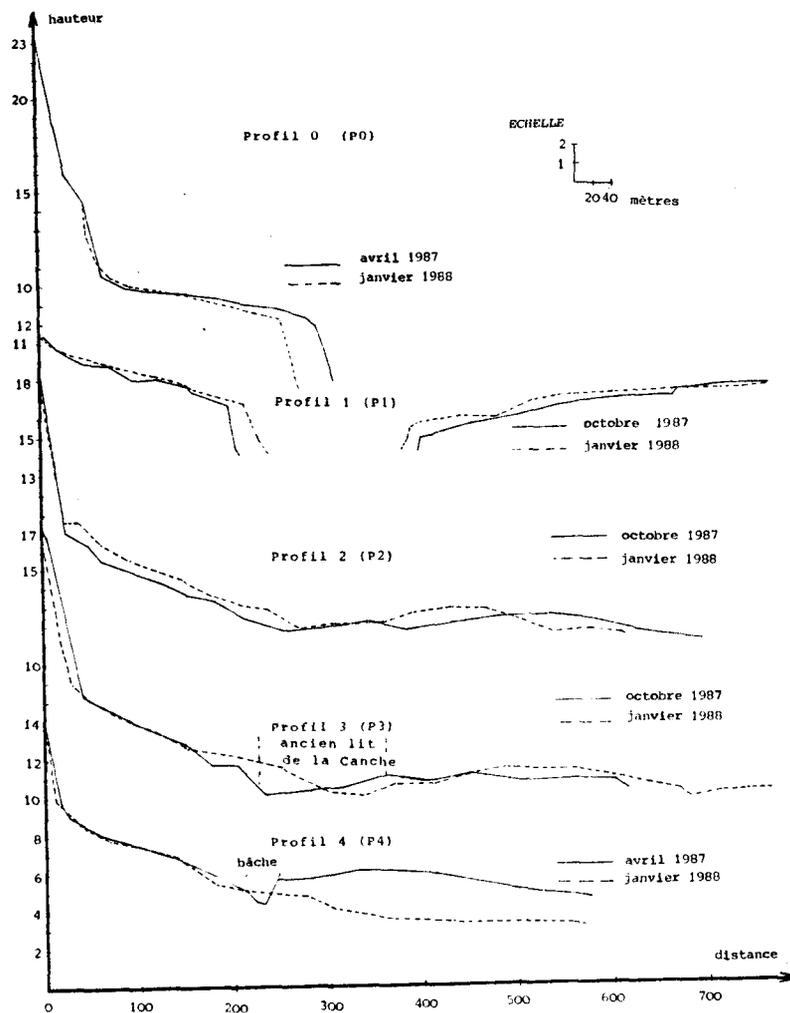


FIGURE 33 : LEVES TOPOGRAPHIQUES EFFECTUES SUR LES PLAGES DE LA RIVE NORD DE LORNEL (OCTOBRE 1987, JANVIER 1988)

Profil P0 : le profil est court et sa pente est forte. Le cours du fleuve, d'avril 1987 à janvier 1988, s'est rapproché d'environ 40 m de la ligne de rivage. On assiste à une érosion générale du profil au contraire du pied de dune légèrement en engraissement.

Profil P1 : le profil n'a été levé que de part et d'autre de la Canche. Le cours s'est éloigné d'environ 30 m de la ligne de rivage. La

pente du profil en cet endroit est assez forte, et s'accroît à proximité du fleuve pour en former la berge. Sur la rive gauche, le profil est en engraissement jusque vers 700 m du point origine (pied de dune) pour ensuite s'éroder. La largeur de la Canche en cet endroit a diminué d'octobre 1987 à janvier 1988, ce qui a dû contribuer à augmenter la vitesse des courants dans cette partie de l'embouchure.

Profil P2 : le profil est très irrégulier. D'octobre 1987 à janvier 1988, il s'engraisse depuis le pied de dune jusqu'à une distance approximative de 500 m. Par la suite, en janvier 1988, l'estran s'érode et le fleuve se rapproche de la ligne de rivage de 10 m environ. D'octobre à janvier la rive gauche est soumise à une érosion régulière, et dans le même laps de temps la largeur du fleuve augmente.

Profil P3 : le profil ne concerne que la rive droite de la Canche dont le cours, d'avril 1987 à janvier 1988 :

- se rapproche de la ligne de rivage de 80 m, d'avril à octobre,
- et s'éloigne de 130 m d'octobre 1987 à janvier 1988 (figure 33 et 34).

Les profils sont très irréguliers et les dépressions ou sillons sont dus à l'emplacement d'un ancien lit de la Canche.

Du pied de dune au banc de tourbe, la période d'avril 1987 à janvier 1988 est une période d'engraissement de l'estran. D'octobre à janvier, l'évolution du profil traduit une sédimentation générale et plus particulièrement à proximité de la Canche, le passage de courant plus fort favorisant certainement la sédimentation de levées en bordure du lit majeur.

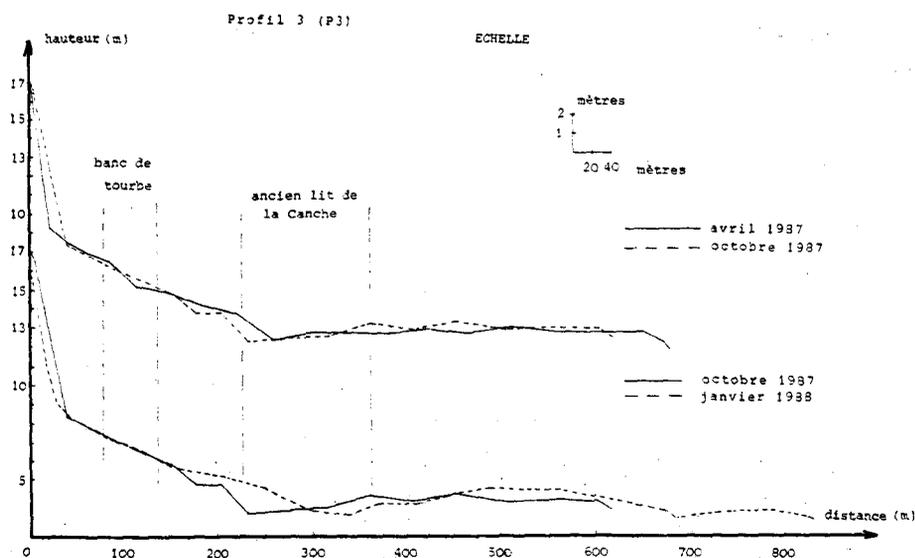


FIGURE 34 : EVOLUTION DU PROFIL N°3 (P3) D'AVRIL 1987 A JANVIER 1988 SUR LA RIVE NORD DE LORNEL

Profil P4 : la Canche s'est rapprochée de la ligne de rivage et le secteur est en très forte érosion avec une régularisation du profil.

En résumé : Les levées sont liées à la proximité du lit de la Canche. Plus le fleuve se rapproche du pied des dunes, plus la bande littorale en cet endroit a tendance à être érodée et vice versa. L'érosion et l'engraissement du secteur de Lornel sont tributaires des divagations du cours de la Canche.

II-5 Bilan des mouvements sédimentaires

L'étude de l'érosion d'un littoral commence souvent par la comparaison de clichés photographiques et/ou de cartes. Mais ces comparaisons sont insuffisantes car de petits changements dans la forme du littoral peuvent influencer sur la perception visuelle et induire en erreur quant à l'importance des variations. Un moyen de compléter ces observations est de procéder à partir de relevés topographiques, aux calculs des volumes de sédiments érodés ou accumulés.

II-5-1 Méthode de calcul

La méthode de calcul du bilan de transport entre deux profils est établie selon la formule du "tronc de pyramide" (figure 42) expliquée dans CLUZEL (1984) et déjà utilisée par KOFFI KOFFI (1980) et FROIDEFOND (1985).

En superposant entre elles chacune des coupes étudiées, on mesure la surface des secteurs d'accumulation S_a et d'érosion S_e (figures 35 et 36) et l'on suppose qu'entre deux coupes consécutives, les surfaces d'érosion et d'accumulation ne varient pas. Autrement dit, pour obtenir un volume, il suffit de multiplier chaque surface par la distance séparant les deux coupes consécutives. C'est à ce niveau qu'une erreur importante peut être commise. Ainsi pour deux profils espacés d'une distance d , le volume de sable érodé ou accumulé, équivalent aux surfaces remaniées SA et SB , sera de la forme :

- SA et SB du même signe (érosion seule ou engraissement seul, figure 35)

$$V = d/3 (SA + SB + \sqrt{SA \cdot SB})$$

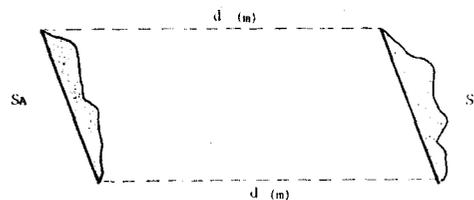
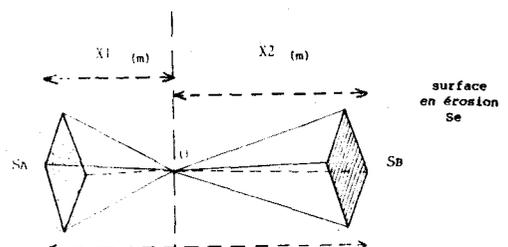


FIGURE 35 : SCHEMA D'INTERPRETATION POUR LE CALCUL VOLUMETRIQUE ENTRE DEUX SECTEURS EN EROSION OU EN ENGRAISSEMENT

- avec SA et SB de signes contraires (érosion d'un côté et engraissement de l'autre) avec $SA > SB$

On calcul les volumes de deux troncs de pyramides opposés par leur sommet (figure 36)

FIGURE 36 : SCHEMA D'INTERPRETATION POUR LE CALCUL VOLUMETRIQUE ENTRE UN SECTEUR EN EROSION ET UN SECTEUR EN ENGRAISSEMENT



X = distance en mètre entre deux profils

$$X = X1 + X2 \quad \text{avec} \quad SA/SB = X1/X2$$

$$X1 = (SA/SB) \cdot X2 \quad X2 ((SA/SB) + 1) = X$$

$$VSA = (X1)/3 \cdot SA$$

$$VSB = (X2)/3 \cdot SB$$

$$VSASB = VSA - VSB$$

II-5-2 Bilan quantitatif sur les radiales d'estran de Saint-Gabriel à Sainte-Cécile (1983 - 1986)

La comparaison de deux levés successifs selon le même profil permet de définir le mouvement résultant en chaque point de ce profil. La cubature des mouvements sableux, à partir d'une largeur d'estran de 200 m porte sur une surface de 195000 m², du profil n°1 au profil n°3, et de 220000 m² environ du profil n° 1 au profil n°4.

D'une façon générale, sur la période considérée de novembre 1983 à juin 1986, le bilan est positif et traduit sur l'ensemble de la plage, du profil n°1 au profil n°3, un engraissement de + 5400 m³ (figures 37, 38, 39, 40; tableau 5).

Périodes	Volume Q (m ³)
Nov. 83 à Fév. 84	+ 4795
Fév. 84 à Mai 85	+ 3746
Mai 85 à Nov. 85	- 3139
TOTAL : + 5402	

TABLEAU 5 : BILAN SEDIMENTAIRE, SUR UNE DISTANCE DE 200 M A LA CÔTE, DE LA PLAGE DE SAINT-GABRIEL A SAINTE-CECILE ET SUR LA PERIODE DE NOVEMBRE 1983 A NOVEMBRE 1985

Toutefois en reprenant les divers relevés topographiques, on remarque que l'année 1985 correspond à une période de démaigrissement important des plages surtout dans le secteur de Sainte-Cécile (tableau 6). En reprenant les 4 profils des années 1983 et 1984 (figure 22), la partie sud, c'est à dire la plage de Saint-Gabriel est un secteur de fort démaigrissement, au contraire de la plage de Sainte-Cécile.

En mai 1985, seule la partie médiane, centrée sur le profil n°2 est en engraissement. La partie sud présente toujours un bilan érosif important.

Au cours de l'année 1985, le phénomène de démaigrissement se déplace vers le secteur nord, autour des plages de Sainte-Cécile.

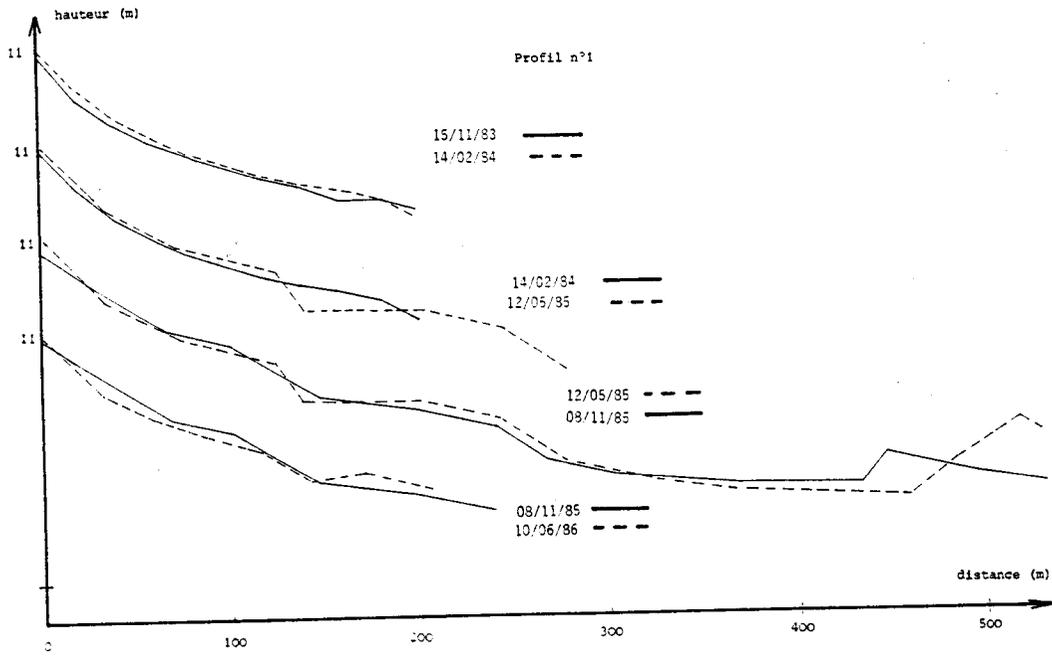


FIGURE 37 : EVOLUTION DU PROFIL N°1 ET COMPARAISON DU LEVE TOPOGRAPHIQUE AVEC CELUI DE L'ANNEE PRECEDENTE

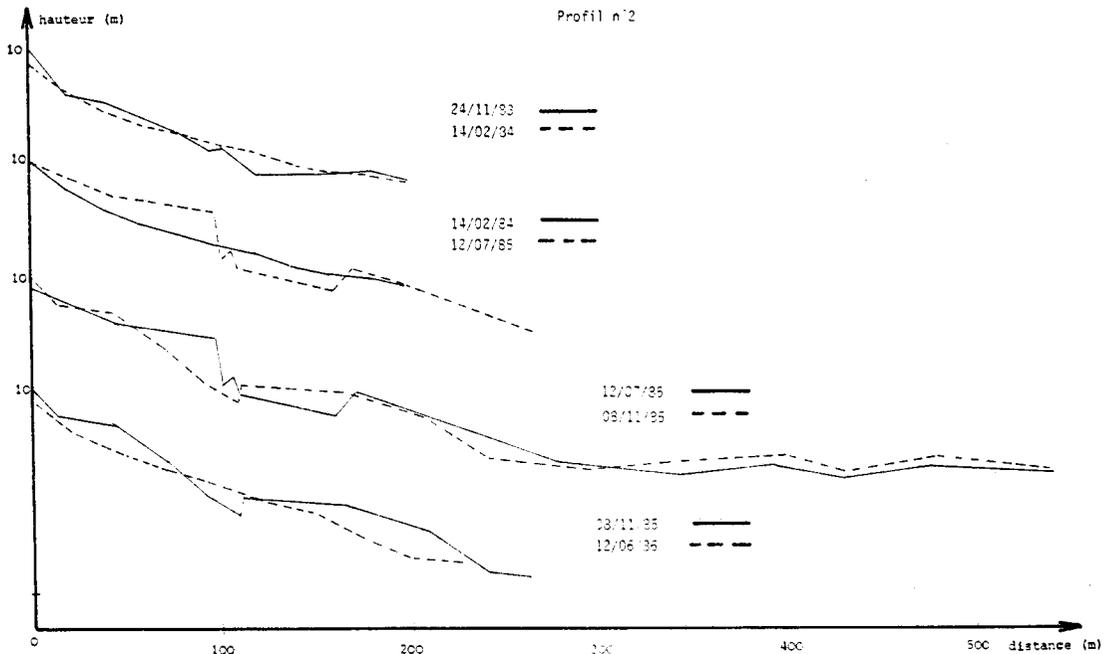


FIGURE 38 : EVOLUTION DU PROFIL N°2 ET COMPARAISON DU LEVE TOPOGRAPHIQUE AVEC CELUI DE L'ANNEE PRECEDENTE

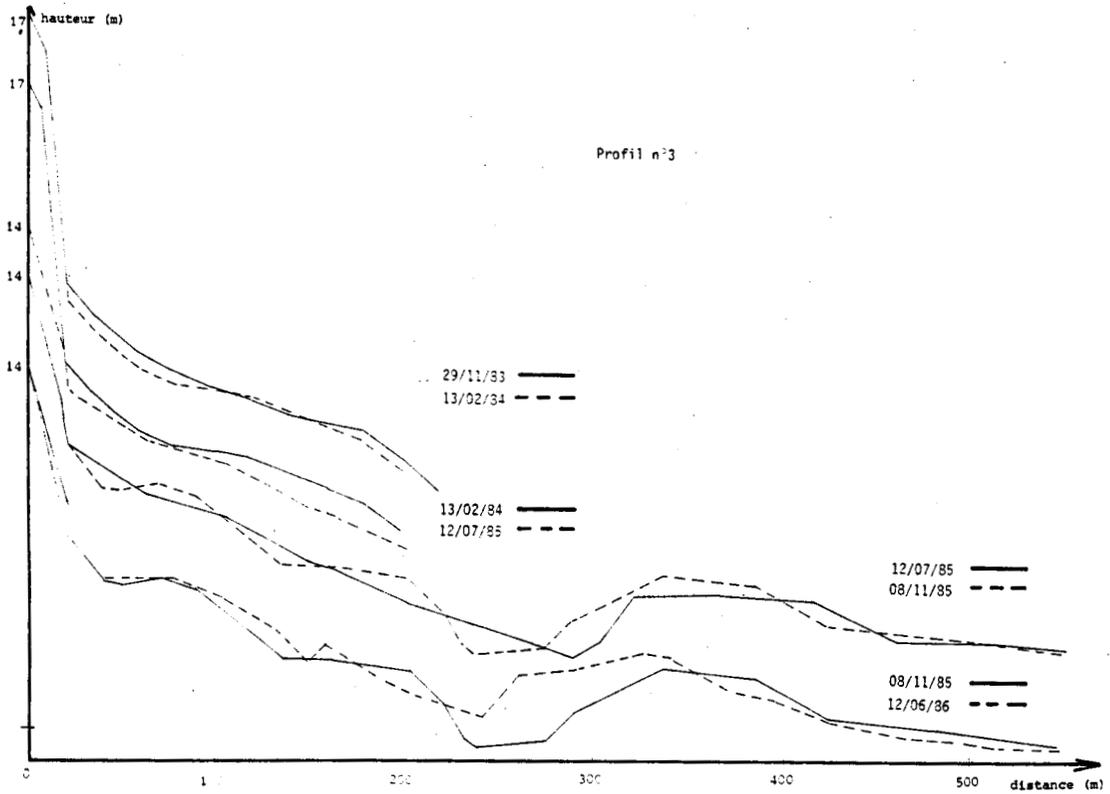


FIGURE 39 : EVOLUTION DU PROFIL N°3 ET COMPARAISON DU LEVE TOPOGRAPHIQUE AVEC CELUI DE L'ANNEE PRECEDENTE

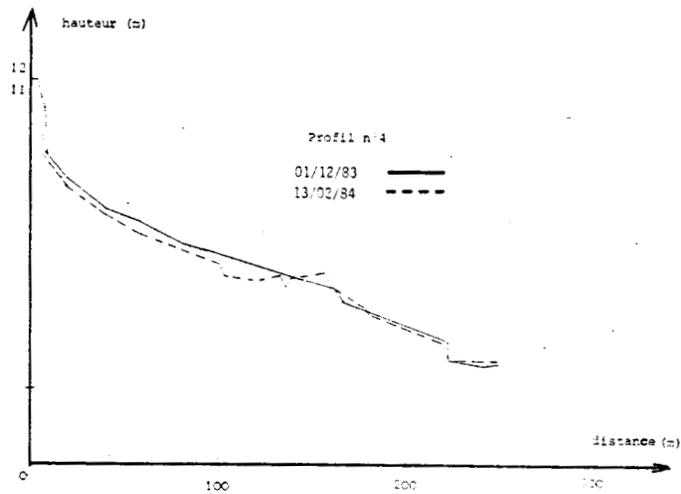


FIGURE 40 : EVOLUTION DU PROFIL N°4 ET COMPARAISON AVEC LE LEVE TOPOGRAPHIQUE DE L'ANNEE PRECEDENTE

Périodes	Distances (m)	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	
nov. 83 fév. 84	0-200		$+ 9492 \text{ m}^3$	$+ 342 \text{ m}^3$	$- 5039 \text{ m}^3$	$- 4790 \text{ m}^3$
fév. 84 juil. 85	0-200		$- 71,6 \text{ m}^3$	$+ 4133 \text{ m}^3$	$+ 880 \text{ m}^3$	$- 1195 \text{ m}^3$
juil. 85 nov. 85	0-200		$- 3967 \text{ m}^3$	$- 158 \text{ m}^3$	$+ 986 \text{ m}^3$	
juil. 85 nov. 85	200-600		$- 5947 \text{ m}^3$	$+ 1594 \text{ m}^3$	$+ 17176 \text{ m}^3$	
nov. 85 juin 86	0-200			$- 5408 \text{ m}^3$	$+ 163 \text{ m}^3$	

TABLEAU 6 : BILAN SEDIMENTAIRE ENTRE LES PROFILS ET PAR ANNEE (LOCALISATION : VOIR FIGURE 22)

Dans la zone des 200 m à 600 m, le budget sédimentaire est positif sur toute cette frange littorale et correspond à environ $+ 12 820 \text{ m}^3$. Seul le secteur du profil n°1 présente sur toute sa longueur un démaigrissement important du haut et du bas de plage.

De novembre 1985 à juin 1986, les seuls relevés existant, (profils n°2 et n°3), confirment la tendance évolutive mentionnée auparavant, d'engraissement au Sud de la plage de Saint-Gabriel et de démaigrissement au Nord de la Plage de Sainte-Cécile.

Dans la limite des 200 m, de la côte vers le large, le profil n°1 présente un bilan, sur la période de novembre 1983 à juin 1986, de $+ 8 \text{ m}^3/\text{m}$ linéaire, avec toutefois une tendance vers le démaigrissement de la plage (tableau 7).

Le profil n°2 présente un budget à peu près équilibré avec un bilan de $- 8 \text{ m}^3/\text{m}$ linéaire.

Le profil n°3, quant à lui présente un bilan négatif avec $- 138 \text{ m}^3/\text{m}$ linéaire, avec une tendance vers un engraissement de la plage qui n'a pu, à la date de juin 1986, compenser les démaigrissements sédimentaires.

Le profil n°4 ne peut être comparé aux autres profils (3 et 2), la période de suivi topographique étant trop courte.

En résumé : La tendance observée à partir des relevés topographiques d'estran montre dans un premier temps durant la période de novembre 1983 à mai 1985 et sur la frange littorale de 0 à 200 m, une érosion de la partie sud (plage de Saint-Gabriel) et un engraissement de la partie nord (plage de Sainte-Cécile).

Par la suite de mai 1985 à juin 1986, le phénomène de démaigrissement de la plage semble se déplacer vers le Nord. Toutefois ces relevés sont trop échelonnés dans le temps et dans l'espace et ne nous permettent pas de comprendre et d'expliquer de façon significative les déplacements de sable sur les plages de la baie de Canche.

Profil	Période	Q (m ³ /m/ linéaire)	Profil	Période	Q (m ³ /m/ linéaire)
1	nov. 83	+ 30	2	nov. 83	+ 12
	fév. 84			fév. 84	
	fév. 84	- 4		fév. 84	+ 30
	juil. 85			juil. 85	
	juil. 85	- 14		juil. 85	- 4
	nov. 85			nov. 85	
nov. 85	- 4	nov. 85	- 46		
juin 86		juin 86			
TOTAL		+ 8	TOTAL		- 8
3	nov. 83	- 46	4	déc. 83	- 30
	fév. 84			fév. 84	
	fév. 84	- 110			
	juil. 85			juil. 85	
	juil. 85	+ 10			
	nov. 85			nov. 85	
nov. 85	+ 8				
juin 86		juin 86			
TOTAL		- 138			

TABLEAU 7 : BILAN SEDIMENTAIRE PAR PROFIL ET PAR ANNEE

II-5-3 Bilan quantitatif par radiale dans le secteur de Lornel (octobre 1987 - janvier 1988)

Les données sont regroupées dans le tableau 8.

En rive droite, on constate un engraissement des profils P1, P2, P3 et une érosion des profils P0 et P4 (figure 33 et 40). Pour ces deux profils, la Canche s'est rapprochée de la ligne de rivage.

En P0, sur une distance de 275 m, le bilan sédimentaire est négatif avec un démaigrissement de 155 m³/m linéaire environ.

En P1, d'octobre 1987 à janvier 1988, le profil de rive droite présente un budget sédimentaire de + 150 m³/ m linéaire environ sur une distance de 240 m. Par contre en rive gauche, le budget sédimentaire est d'environ + 76 m³/ m linéaire pour une distance approximative de 950 m.

En P2, d'octobre 1987 à janvier 1988, le profil de rive droite présente un engraissement sédimentaire de 180 m³ environ et ceci sur une distance de 630 m. En rive gauche, le budget sédimentaire est négatif et correspond à un volume de - 190 m³/m linéaire sur une distance également de 630 m.

En P3, d'avril 1987 à janvier 1988 (figure 41), le profil relevé uniquement en rive droite présente un engraissement en même temps qu'une augmentation de longueur. D'avril à octobre, le volume sédimentaire a évolué de + 58 m³/m linéaire sur une distance de 610 m. D'octobre à janvier 1988, le volume apporté correspond pour une distance de 610 m environ à + 210 m³/m linéaire.

TABLEAU 8 : RECAPITULATIF DES TRANSITS SEDIMENTAIRES
SUR LES PROFILS DE LA RIVE DE LORNEL

Profil	Périodes	Distances (m) à la côte	Rive droite de la Canche Q (m ³ /m linéaire)	Rive gauche de la Canche Q (m ³ /m linéaire)
P0	Avril 1987 à Janvier 1988	0 --- 79	+ 19	
		79 --- 179	- 18	
		314 --- 279		- 156
P1	Octobre 1987 à Janvier 1988	0 --- 243	+ 78	+ 172
		400 --- 700		- 55
		700 --- 1050		- 41
		1050 --- 1350		
P2	Octobre 1987 à Janvier 1988	0 --- 507	+ 238	
		507 --- 627	- 60	
		790 --- 1090		- 92
		1090 --- 1420		- 100
P3	Avril 1987 à Octobre 1987	0 --- 160	+ 30	
		160 --- 280	- 30	
		280 --- 610	+ 58	
	Octobre 1987 à Janvier 1988	0 --- 618	+ 207	
P4	Avril 1987 à Janvier 1988	0 --- 216	- 25	
		216 --- 240	+ 41	
		240 --- 572	- 600	

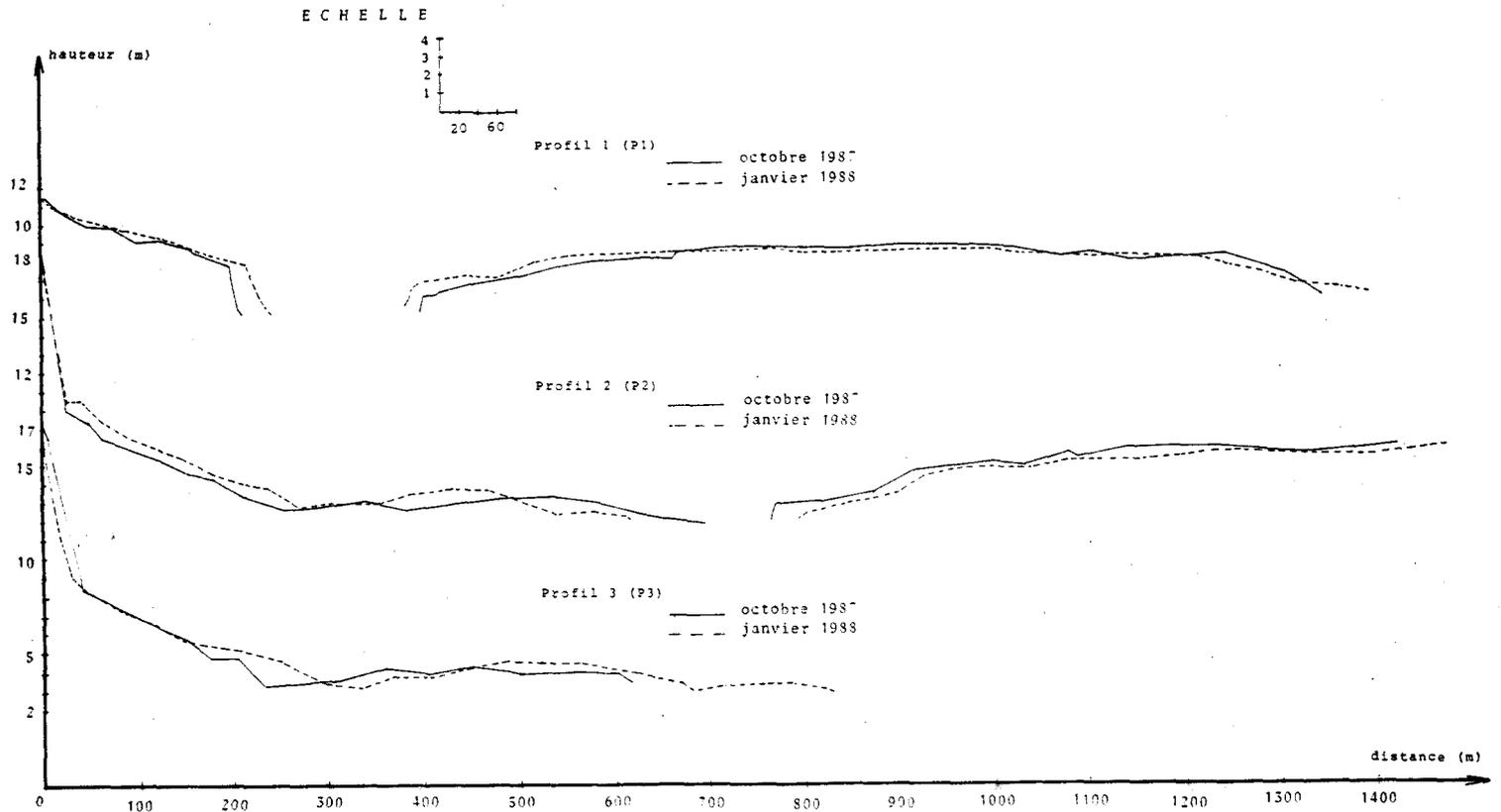


FIGURE 41 : MOUVEMENTS SEDIMENTAIRES ET FORME DES PROFILS DE LA RIVE DE LORNEL

En P4, d'avril 1987 à janvier 1988 (figure 33), le profil a connu une érosion d'environ $- 580 \text{ m}^3/\text{m}$ linéaire sur une distance de 570 m. C'est le secteur qui a perdu sur un profil la plus grande quantité de sable.

En résumé : La tendance évolutive observée sur les profils topographiques de la rive de Lornel, correspond pour la période d'avril 1987 à janvier 1988 à un processus d'érosion en P0 et P4, avec une importance accrue du phénomène en P4, localisé à la pointe de Lornel. Les autres profils présentent un budget sédimentaire positif.

Ces valeurs rapportées ne peuvent toutefois être comparées qu'imparfaitement les unes par rapport aux autres, les longueurs de chaque profil et les périodes durant lesquels elles ont été relevées étant différentes. Ces valeurs ne permettent que d'estimer et d'apprécier les divers processus d'érosion et d'engrèvement de ce secteur de la baie de Canche.

III CONCLUSION

La morphologie de l'estran, suivie à partir de 5 radiales réparties sur la rive de Lornel et de quatre autres réparties de Saint-Gabriel à Sainte-Cécile, montre, malgré des relevés espacés dans le temps (rive de Lornel, plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile), que :

- les phénomènes d'érosion rapides ne se produisent qu'au moment de conditions météorologiques exceptionnelles sur le littoral,

- l'importance de l'érosion de la rive de Lornel est liée à la proximité du cours de la Canche,

- la pointe de Lornel est une zone sensible en permanence, du fait de son rôle de partage des eaux au moment de la période de flot, et de placage de ces dernières au moment du jusant dans l'estuaire,

- la zone de Saint-Gabriel est liée à l'importance des courants de l'estuaire, qui en étant moins forts, favorisent une sédimentation sur le haut estran ainsi que le démantèlement du promontoire intertidal par le manque d'apport vers le large.

- les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile semblent connaître une érosion et un engrèvement alternés, les deux phénomènes translatant d'un secteur à l'autre de la frange littorale.

C H A P I T R E I I I
S E D I M E N T O L O G I E

I APPROCHE GRANULOMETRIQUE

Le suivi de l'évolution granulométrique des sable de la zone nord de la baie de Canche a été effectué selon 6 radiales réparties depuis le feu de Lornel jusqu'à la plage de Sainte-Cécile (figure 25). Ces radiales sont désignées par des lettres. Le prélèvement des sédiments a été réalisé lors des missions d'août 1986, novembre 1987, juillet 1987, et janvier 1988.

Au large ce suivi n'a pas été effectué régulièrement les travaux de percement du banc du Pilon n'avançant pas suivant le cahier des charges établi en 1985. Seule une mission a eu lieu en mars 1987.

I-1 Sédiments de la zone littorale

I-1-1 Généralités

L'approche sédimentologique a consisté en un suivi de l'évolution des paramètres granulométriques (grain moyen, indice de classement) des sables de l'estran nord de la baie de Canche et du large, au droit de l'embouchure.

L'analyse granulométrique sur sédiment non décarbonaté a été effectuée sur une quantité d'échantillon de 100 grammes (DESPEYROUX, 1985a).

Le grain moyen a été choisi ici car il permet de définir et de distinguer les zones calmes par rapport aux zones de forte énergie. Il est assimilé à la moyenne arithmétique de plusieurs données et correspond au quotient de leur somme par le nombre de ces données.

Le grain moyen des sables sur la zone et la période considérée varie de 160 μm à 290 μm .

Le deuxième paramètre utilisé est le Sorting Index :

$$So = \sqrt{Q_{25\text{mm}}/Q_{75\text{mm}}}$$

So caractérise l'indice de classement et permet d'apprécier la dispersion de la distribution granulométrique. Les valeurs du classement adoptées sont les mêmes que celles utilisées dans CALINE (1982) et DESPEYROUX (1985). L'ensemble de ces sables est d'une façon générale bien classé, So oscillant entre 1,15 et 1,18. Ces sables présentent une répartition à peu près symétrique par rapport à la médiane avec toutefois une légère tendance à présenter une fraction fine plus importante.

Le grain moyen ne présente pas d'évolution progressive du haut vers la bas de l'estran, mais présente plutôt une variation aléatoire, sujette au stock sédimentaire disponible ainsi qu'à l'hydro et l'aérodynamique du secteur et du moment considéré.

I-1-2 Variation saisonnière par profil

I-1-2-1 Profil A (figure 42)

En juillet 1986, le haut estran présente un grain moyen d'environ 250 μm , de granularité plus importante que sur le reste de l'estran.

En décembre 1986 et juillet 1987, le grain moyen présente des valeurs à peu près constantes sur le profil transverse à la plage.

En janvier 1988, le grain moyen a tendance à présenter une granulométrie légèrement plus grossière en bordure du fleuve qu'au pied du feu des dunes de Camiers. D'une façon générale la granulométrie du grain moyen oscille autour de 220 μm .

I-1-2-2 Profil B (figure 42)

A l'exception de décembre 1986, les valeurs du grain moyen décroissent pour atteindre des valeurs équivalentes à 200 μm . En juillet 1987, le grain moyen a tendance à être plus grossier à partir de 350 m de la ligne de rivage et présenter des valeurs équivalentes à 200 μm .

En décembre 1986, les variations du grain moyen sont importantes, et à la fin du profil elles ont tendance à augmenter et atteindre des valeurs équivalentes à 280 μm .

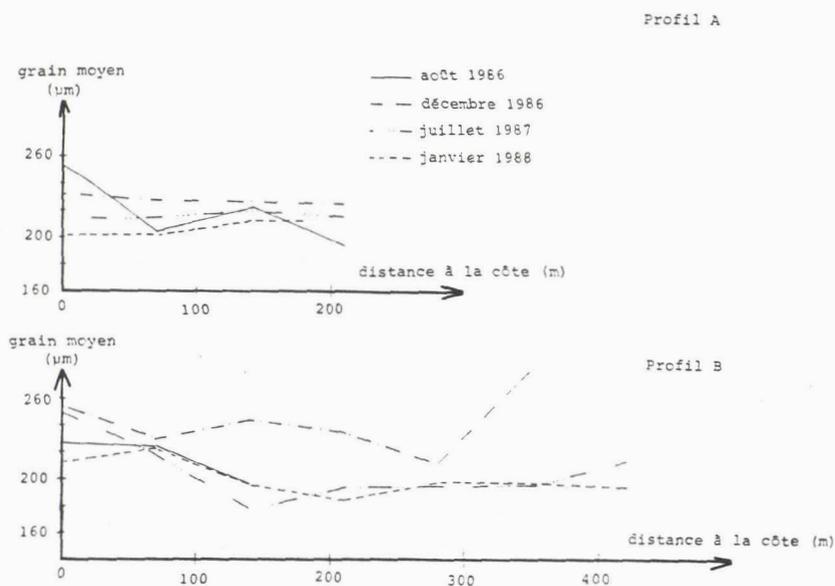


FIGURE 42 : EVOLUTION DE LA GRANULOMETRIE DU GRAIN MOYEN SUR LES PROFILS A ET B

I-1-2-3 Profil C (figure 43)

Quelle que soit la période, et autour des 140 m le grain moyen semble présenter les mêmes tendances évolutives le long du profil. Ses valeurs ont tendance à augmenter à proximité de la Canche, avec des valeurs entre 230

et 250 μm approximativement, témoignant d'une hydrodynamique plus importante.

I-1-2-4 Profil D (figure 43)

Situé à la pointe de Lornel, le secteur du profil est assujéti aux courants de vidage de l'estuaire.

Le grain moyen présente des valeurs comprises dans une fourchette de 190 μm à 270 μm . Les variations de sa granulométrie sont régies par l'hydrodynamique et l'aérodynamique du secteur. L'endroit où ses valeurs sont plus importantes correspondent à une zone de plus grande dissipation d'énergie et témoignent de passages préférentiels des courants de jusant de l'estuaire.

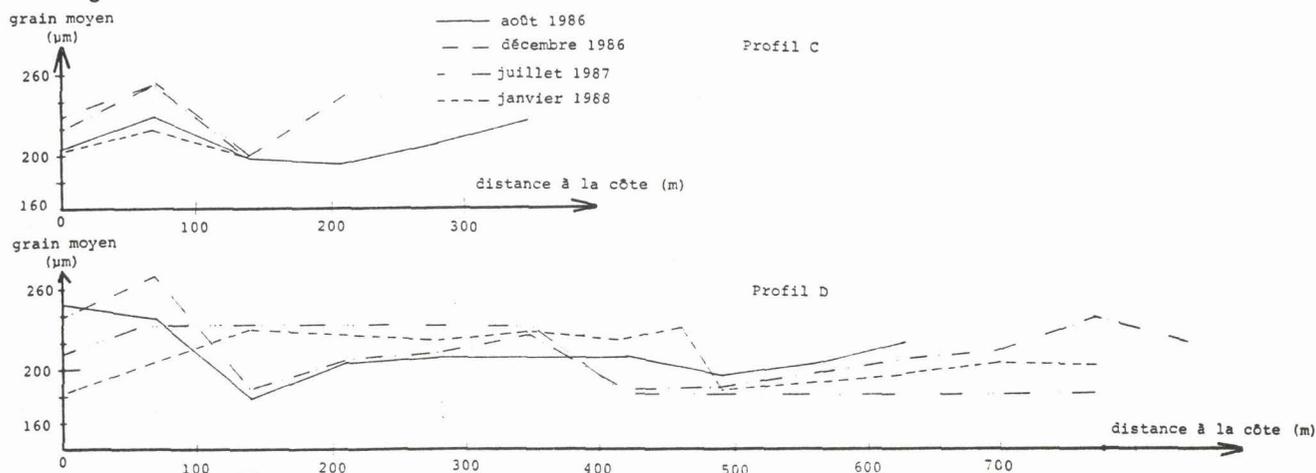


FIGURE 43 : EVOLUTION DE LA GRANULOMETRIE DU GRAIN MOYEN SUR LES PROFILS C ET D

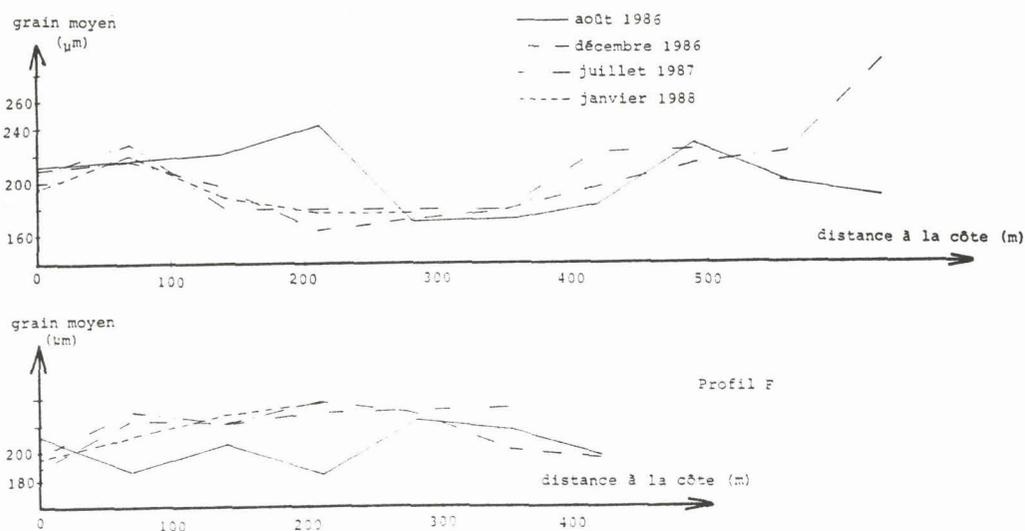
I-1-2-5 Profil E (figure 44)

Le grain moyen présente des valeurs minimales en son centre et des valeurs très importantes vers le large, pour atteindre en juillet 1987 une valeur équivalente à 290 μm , et ceci à une distance approximative de 630 m du rivage. Ces valeurs sont en général plus faibles que celles des autres profils.

I-1-2-6 Profil F (figure 44)

Le grain moyen présente des valeurs plus importantes au centre pour les mois de décembre 1986, juillet 1987, janvier 1988. En août 1986, ces valeurs fluctuent en dents de scie, témoignant de la présence de baches, de bancs...

FIGURE 44 : EVOLUTION DE LA GRANULOMETRIE DU GRAIN MOYEN SUR LES PROFILS E ET F



En résumé : Le grain moyen varie dans une fourchette comprise entre 190 μm et 290 μm . L'augmentation de la granulométrie traduit un hydrodynamisme plus important : bêche, pied de banc...

La granulométrie ne semble pas varier en fonction des saisons mais plutôt des conditions hydrodynamiques du moment, comme on peut le constater sur les profils A,B,C, situés dans le secteur de Lornel, à proximité du cours de la Canche.

I-1-3 Variations longitudinales du grain moyen

I-1-3-1 Août 1986 (figure 45)

Du Sud au Nord, le grain moyen ne présente pas une progression continue dans les variations de sa granulométrie. En comparant les 4 profils, la tendance est aléatoire et aucun gradient n'apparaît.

I-1-3-2 Décembre 1986 (figure 45)

Ces variations aléatoires se retrouvent également dans les profils B,C,E. Ces derniers présentent en leur extrémité une augmentation de taille du grain moyen. Ceci correspondrait au vannage important des sables et à leur dispersion préférentielle dus à la force des courants dans ces secteurs, qui sont soumis plus longtemps aux courants du jusant.

Le profil D, très long, ne présente pas cette particularité. En effet ce profil se situe sur le promontoire intertidal alimenté par le transit littoral et les courants de vidage de l'estuaire, qui entraînent pour un volume donné de sédiment, plus de particules fines. Le grain moyen dans l'estuaire présente une granulométrie de 125 μm à 175 μm (DESPEYROUX et CHAMLEY, 1985).

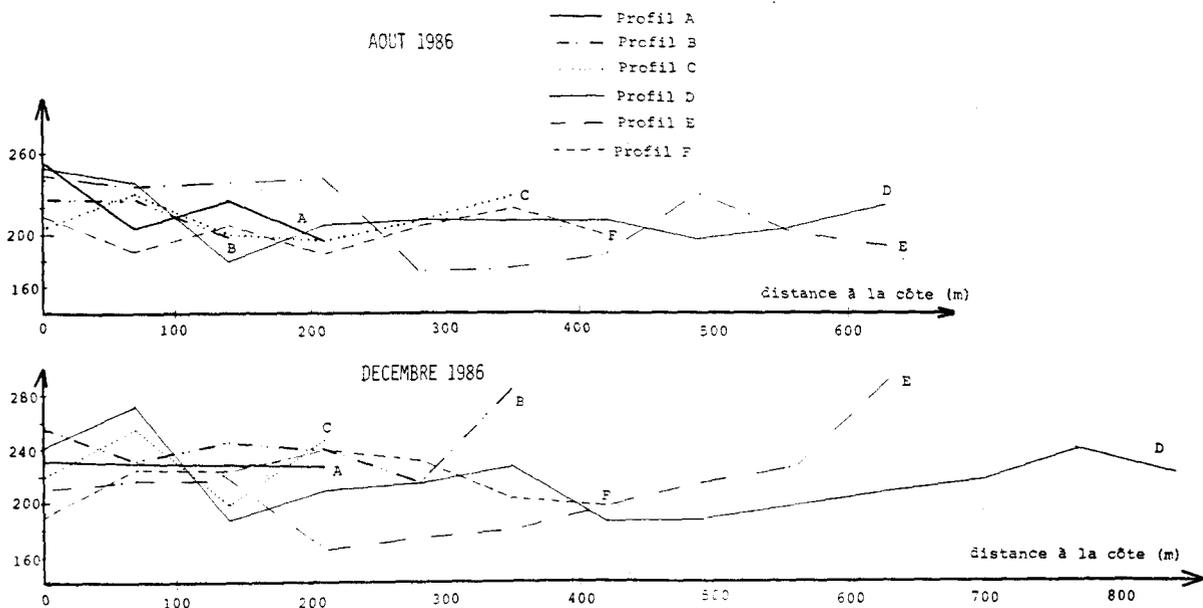


FIGURE 45 : EVOLUTION DE LA GRANULOMETRIE DU GRAIN MOYEN SUR LE SECTEUR ETUDIE EN AOÛT ET DECEMBRE 1986

I-1-3-3 Juillet 1987 (figure 46)

Les courbes de variation sont plus régulières que celles des autres mois. Les profils E et F montrent un grain moyen de 220 à 230 μm à proximité de la mer, de même qu'à environ 70 m de la ligne de rivage. Le profil D présente une homogénéité dans la granulométrie montrant des paliers dans la courbe. Le grain moyen est plus faible sur ces profils que sur ceux de décembre, témoignant d'un hydrodynamisme moins important.

I-1-3-4 Janvier 1988 (figure 46)

Les profils ne font pas ressortir de caractéristiques très spécifiques par rapport aux précédents. Aux profils C,D,E,F, le grain moyen présente des valeurs en accroissement comme en juillet 1987. Le grain moyen traduit un sédiment fin pour le profil D.

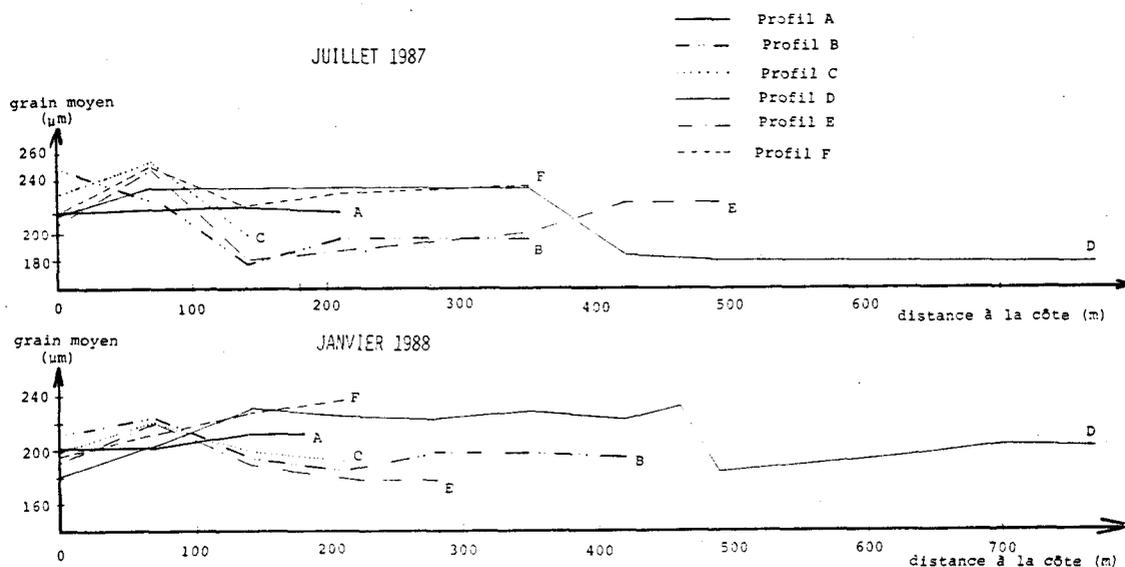


FIGURE 46 : EVOLUTION GRANULOMETRIQUE DU GRAIN MOYEN SUR LE SECTEUR ETUDIE EN JUILLET 1987 ET JANVIER 1988

I-1-4 Variations spatiales des proportions en carbonate sur l'estran.

La fraction carbonatée des échantillons prélevés sur l'estran représente 3 à 10 % du sédiment total, pour les 4 missions.

Le profil A (annexe figure XXIV) ne présente pas d'évolution marquée. Ceci se comprend par sa position à l'intérieur de la baie, et par sa position par rapport à la hauteur de la pleine mer. En effet les éléments caractérisant la laisse de haute mer sont très dispersés en cet endroit et ce phénomène se reproduit de la même façon pour tous les éléments carbonatés. De ce fait cette dispersion aléatoire se retrouve dans les profils des diverses missions.

Le profil B (annexe figure XXV) montre une diminution des carbonates dans les premiers 70 m du profil. Cette partie de la plage est lessivée par les eaux qui percolent à travers la dune, et ce phénomène favorise, peut être, un entraînement des éléments carbonatés les plus fins vers le bas de pente. Ce profil présente des proportions en carbonates plus élevées que le profil A.

Le profil C (annexe figure XXVI) ne présente pas de tendance nette. Le maximum de 9% d'août 1986 se retrouve vers le haut estran, en novembre 1986, traduisant un transport des éléments carbonatés vers la dune; ce transport pouvant être dû aux petites houles de beau temps. En novembre 1986, les sables du profil renferment plus d'éléments carbonatés que le précédent.

Le profil D (annexe figure XXVII) présente une évolution des carbonates en dents de scie. Ceci traduit nettement la morphologie de la plage formée d'une alternance de sillons et de bancs, la forme et la densité des débris calcaires déterminant une flottabilité plus importante que celle d'un autre minéral.

Cette évolution en dent de scie se retrouve dans les deux autres profils E et F (annexe figures XXVIII et XXIX). Les trois derniers profils présentent des sédiments plus carbonatés que les sédiments de la rive de Lornel. Cela semble être probablement dû à leur position ouverte aux courants et aux houles du large.

En résumé : Les teneurs en carbonates sont plus importantes entre la pointe de Lornel et la plage de Sainte-Cécile. Toutefois on ne peut différencier de variations saisonnières, ni caractériser un domaine bien particulier de la plage.

I-2 Sédiments des fonds au large de l'embouchure

Des prélèvements ont été effectués aux extrémités des 7 radiales positionnées sur les figures 24 et 25, et leurs coordonnées sont données dans le tableau 3.

Les prélèvements montrent (tableau 9) que la granulométrie du grain moyen a tendance à augmenter du Nord au Sud et de l'Est vers l'Ouest. Ces sables sont bien classés et de répartition symétrique par rapport à la médiane.

Prélèvement	Grain moyen (µm)	Classement (So)	Asymétrie
R ₁₋₁	168	1,17	1,08
R ₁₋₂	222	1,22	0,98
R ₂₋₁	175	1,2	1,03
R ₂₋₂	224	1,22	0,98
R ₃₋₁	183	1,19	0,99
R ₃₋₂	224	1,21	0,98
R ₄₋₁	165	1,14	1,05
R ₄₋₂	185	1,16	0,99
R ₅₋₁	184	1,19	1,03
R ₅₋₂	213	1,17	0,97
R ₆₋₁	174	1,17	1,06
R ₆₋₂	210	1,18	0,98
R ₇₋₁	205	1,25	1,06
R ₇₋₂	215	1,2	0,97

TABLEAU 9 : GRANULOMETRIE DES SEDIMENTS DES FONDS, AU LARGE DE L'EMBOUCHURE DE LA CANCHE

La proportion en carbonate présente une très légère diminution, de l'Est vers l'Ouest. Du Nord au Sud ces valeurs semblent demeurer constantes (tableau 10).

Prélèvement	CaCO ₃ (%)	Prélèvement	CaCO ₃ (%)	Prélèvement	CaCO ₃ (%)
R ₁₋₁	12	R ₂₋₁	9	R ₃₋₁	9
R ₁₋₂	9	R ₂₋₂	10	R ₃₋₂	10
R ₄₋₁	9	R ₅₋₁	10	R ₆₋₁	9
R ₄₋₂	8	R ₅₋₂	7	R ₆₋₂	7
R ₇₋₁	11				
R ₇₋₂	8				

TABLEAU 10 : PROPORTION DU CaCO₃ DANS LES SEDIMENTS AU LARGE DE L'EMBOUCHURE DE LA CANCHE

II NATURE DES SEDIMENTS

II-1 Nature de la fraction sableuse

La fraction la plus grossière des sables (500 à 800 μm) est composée de débris coquilliers. La fraction minérale est constituée par du silex, des débris calcaires et des quartz. Au-dessous de 160 μm , le matériel devient plus quartzeux et les autres constituants minéraux (feldspath, mica, glauconie, minéraux lourds) sont peu abondants et de répartition assez uniforme.

II-2 Nature de la fraction argileuse

Les sédiments fins se retrouvent souvent à l'abri de petites rides sédimentaires, et dans les dépressions et baches au moment des faibles coefficients de marée.

La technique utilisée pour la détermination des minéraux argileux a été décrite par DESPEYROUX (1985) et par HOLTZAPPFEL (1985). Elle consiste par le passage de pâtes orientées au diffractomètre de Rayons X.

Dans l'ensemble du secteur, les minéraux reconnus dans la fraction inférieure à 2 μm sont la chlorite, l'illite, la vermiculite, la smectite, la kaolinite, et les interstratifiés irréguliers.

Le cortège argileux est caractérisé par la relative abondance de l'illite, de la smectite et des interstratifiés irréguliers (figure 47). La proportion de kaolinite est relativement constante, avec des teneurs d'environ 20%. Les espèces les moins abondantes sont la vermiculite, présente sous forme de traces, et la chlorite dont la teneur peut atteindre 5% (tableau 11).

Ce type de cortège argileux se retrouve dans les sédiments de l'estuaire de la Canche (CHAMLEY et DESPEYROUX, 1983), et dans les matières en suspension des eaux du fleuve (OUDART *et al*, 1984; DESPEYROUX, 1985c).

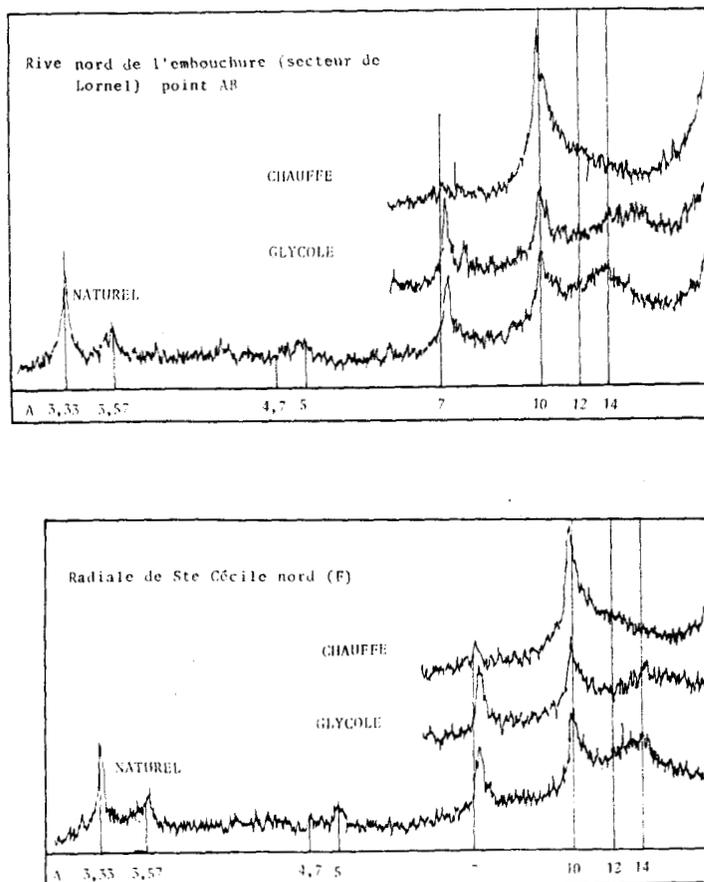


FIGURE 47 : DIFFRACTOGRAMME (PAR DIFFRACTION DES R.X.) DE LA FRACTION ARGILEUSE ECHANTILLONNEE DANS LE SECTEUR DE LORNEL ET SUR LA PLAGE DE SAINTE-CECILE

III CONCLUSION

L'approche sédimentologique a permis de montrer que le grain moyen présente une granulométrie voisine de $200 \mu\text{m}$ du secteur du Lornel à la plage de Sainte-Cécile. Dans la partie amont de l'estuaire, le grain moyen est plus fin ($160 \mu\text{m}$). Tout au long de l'année, la granulométrie moyenne varie de $160 \mu\text{m}$ à $290 \mu\text{m}$, ce qui est attribué à de fortes tempêtes qui favorisent le vannage des sédiments fins.

Il n'a pas pu être déterminé de variations cycliques dues aux saisons et aux diverses houles d'été et d'hiver, au contraire de la côte Aquitaine (KOFFI KOFFI, 1981). Les variations granulométriques sont plutôt tributaires des conditions météorologiques exceptionnelles, notamment lors des tempêtes. Ces dernières participent à l'érosion de la côte, qui se traduit par un démaigrissement de la plage, et par un enrichissement relatif en matériaux plus grossiers et/ou plus denses.

La fraction grossière des sables est composée d'éléments organogènes, de silex et de quartz. La fraction fine des sables est plus quartzreuse et s'accompagne de feldspath, glauconie, minéraux lourds. Les sédiments de granulométrie inférieure à $2 \mu\text{m}$ présentent un cortège de minéraux argileux composé principalement d'illite, de smectite, de kaolinite et d'interstratifiés irréguliers.

CHAPITRE IV

INTERPRETATION DES RESULTATS

I ASPECTS ACTUELS ET EVOLUTION RECENTE

La baie de Canche est située dans une région dominée par la grande amplitude des marées, de l'ordre de 8 m et par la prédominance des vents de SW à W. Ces deux facteurs conjugués, sont à l'origine d'un actif transfert sédimentaire littoral portant vers le Nord.

Les facteurs dynamiques (courants de marée, vent) déterminent à l'embouchure de l'estuaire la morphologie suivante : une barre littorale ou poulier au Sud, opposée à une rive en érosion ou musoir au Nord dans le secteur de Lornel (figures 19 et 20). A l'embouchure, l'engraissement de la rive sud, combiné à l'érosion de la rive nord, détermine une dérive de l'axe de l'estuaire en direction du Nord.

A l'embouchure, la Canche atteint la mer par un cours sinueux, en perpétuel mouvement. Actuellement il contourne le banc du Pilori en décrivant une courbe concave dans le secteur de Lornel.

Depuis 500 ans, par le fait d'actions anthropiques, le colmatage de l'estuaire s'est considérablement accéléré et la digue submersible, installée en 1924, a réduit sa surface d'un quart.

En sachant que la puissance érosive des courants de jusant est liée au volume d'eau introduit dans l'estuaire, le colmatage de la baie réduit la capacité de stockage d'eau au cours d'une marée et de ce fait les possibilités de chasse des sédiments vers le large.

Un stock sableux intertidal, au large de la pointe de Lornel, caractérise les estuaires de type picard. Ce stock dépend de la puissance érosive des courants de vidage de l'estuaire, laquelle est liée au volume d'eau introduit à chaque marée.

La période de 1945 à 1966 (figure 48) correspond, en même temps qu'une érosion de la rive nord et un engraissement de la rive sud, au colmatage progressif de l'estuaire. A l'embouchure, les courbes de niveau + 5 m ont tendance à se rapprocher et à refermer la baie, diminuant la largeur du chenal. Le resserrement de ces courbes induit un chenal plus étroit et des vitesses de courant en jusant plus importantes, en considérant que le volume d'eau introduit dans la baie et l'estuaire est

constant. Ceci ne semble pas le cas, compte tenu de la répartition des isobathes à l'embouchure et des estimations de FEUILLET (1979) en face du port d'Étaples.

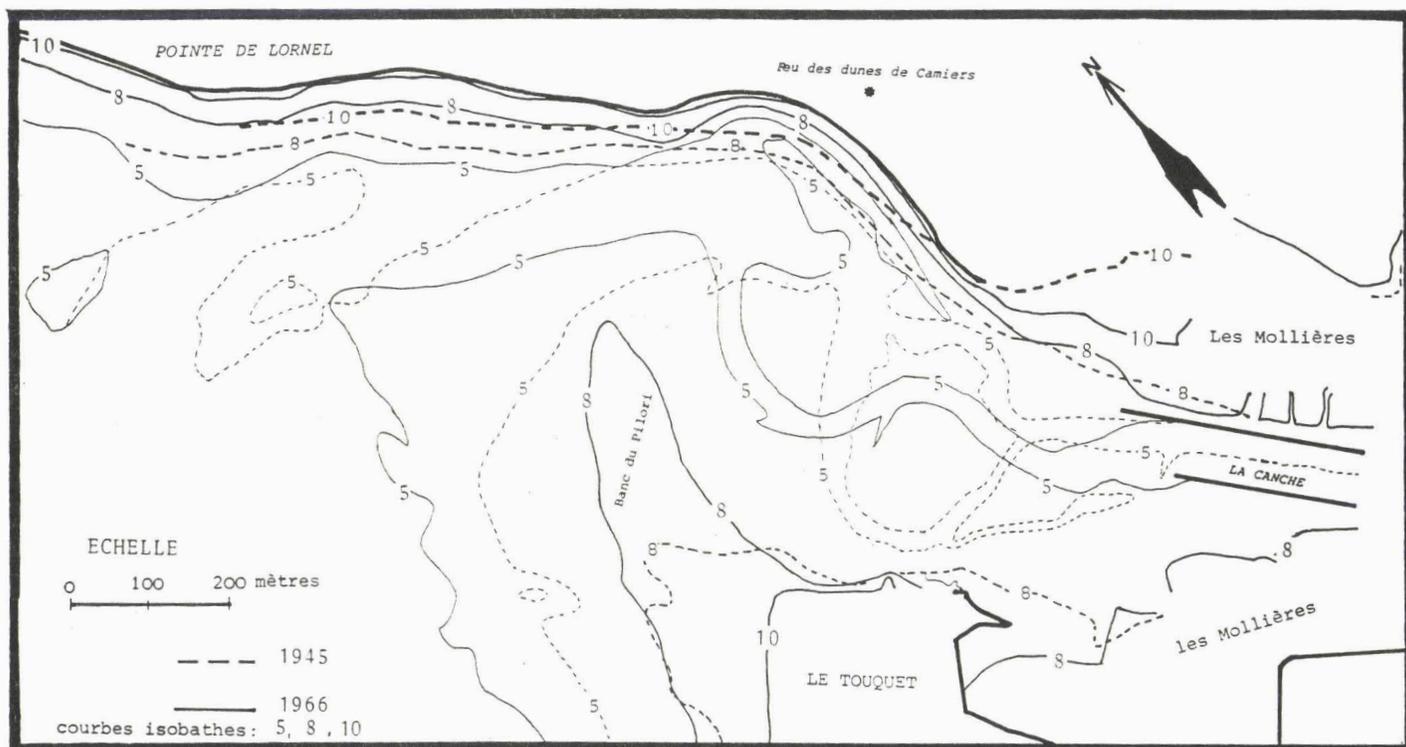


FIGURE 48 : EVOLUTION DES ISOBATHES A L'EMBOUCHURE DE LA CANCHE DE 1945 A 1966

II IMPACT POSSIBLE DES AMENAGEMENTS ACTUELS

Les travaux entrepris en baie de Canche (figure 21, tableau 2) consistent en une surélévation de la digue de rive droite à la cote + 7,00 m jusqu'à la balise n°2 (située au droit de la plage des Pauvres, figure 22), pour être prolongée sur une distance de 650 m à la cote + 5,60 m.

Au moment de l'étalement de pleine mer, les particules fines décantent et restent piégées entre le schorre et la digue. En 1987, en l'espace de 6 mois, la sédimentation a permis de prolonger le schorre jusqu'à cette dernière. Cette sédimentation très récente a permis au schorre de cette zone d'atteindre une cote de + 7,00 m, cote plus élevée que dans sa partie située juste en amont et dont la cote est + 5,00 m (Photo 14).

A l'aval, ces travaux d'endiguement permettent de s'opposer aux courants de marée durant le montant, bloquant les sables marins provenant du large et de la rive de Lornel, au Nord de la nouvelle digue. Au cours du perçant, les courants ont une compétence insuffisante pour entraîner les sables qui, restant sur place, comblent la partie de la baie située juste à l'aval de la plage des Pauvres. La sédimentation s'effectuera dans un premier temps jusqu'à la hauteur de la digue.

Avec ces sables, des sédiments plus fins ont pu décanter au moment des étales de pleine mer et restent également piégés en cet endroit. La sédimentation accrue aura pour conséquence dans les années à venir le développement d'un schorre sur la rive droite.

Les travaux d'aménagement, en limitant la compétence des courants facilitent le piégeage des sables. Le piégeage entraîne la diminution du volume d'eau susceptible d'être introduit dans l'estuaire, et donc une diminution de la puissance érosive et de transport des courants.

Les courants s'affaiblissent, les sédiments charriés vers le large ne pourront plus alimenter le promontoire intertidal situé au large de la ligne de rivage, mais engraisseront plutôt le haut estran, au Nord de l'estuaire (voir chapitre II, paragraphe II-5).

Les apports sédimentaires ne viendront plus équilibrer l'action des courants de marée et des houles. Celles-ci vont donc rétablir un nouveau profil d'équilibre entre la plage sous marine, le bas et le haut de plage.

L'estran, à la latitude de la radiale D (figure 22), diminuera de largeur et verra sa partie haute alimentée par les sables provenant du Sud et de l'intérieur de la baie. Contrairement à ce que pouvait laisser présager l'installation du perré, au droit du camping de Saint-Gabriel, nous ne devrions pas constater de fort démaigrissement du haut estran, sauf en cas d'événement exceptionnel du type grande tempête.

Avec le colmatage de l'estuaire, la rive nord de Lornel devrait subir une érosion moins prononcée, surtout à la pointe du même nom où s'exerce l'action des courants de flot et de jusant de l'estuaire.

En résumé : L'effet des travaux d'aménagement réalisés à la date de juillet 1988 en baie de Canche n'est pas encore perceptible sur la rive nord de Lornel et les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile.

Mais on peut prévoir, une fois les travaux terminés, au vu des caractéristiques de l'hydrologie du secteur et sur les variations sédimentologiques à l'intérieur de l'estuaire :

- une sédimentation rapide autour des nouvelles digues,
- une diminution de la vitesse des courants dans l'estuaire et à l'embouchure,
- un ralentissement de l'érosion de la rive de Lornel,
- une érosion du promontoire intertidal au large de l'embouchure, et de ce fait un démaigrissement de la plage sous marine au Sud et au droit de Saint-Gabriel.

Le colmatage et la diminution corrélative de la vitesse des courants, risquent d'avoir des effets pervers : plus la force des courants diminue plus le colmatage est important.

Le promontoire sous marin ou intertidal est un bon témoin de l'efficacité des courants de vidage ainsi que de la "bonne ou mauvaise santé" de la baie. Il faut donc le surveiller régulièrement.

TROISIEME PARTIE

Conclusions générales

La Canche, après un cours long de 95 km, se résout en un estuaire d'orientation SE-NW, avant de déboucher en Manche Orientale, à hauteur de la ville du Touquet-Paris Plage. Son estuaire échancre la partie septentrionale de la plaine maritime picarde, qui s'étend des falaises jurassiques du Boulonnais au Nord, aux falaises crétacées du Pays de Caux, au Sud.

Le présent travail concerne l'influence des travaux d'aménagement en baie de Canche sur l'évolution de l'estuaire aval et de son trait de côte situé au Nord. Il a été mené à partir :

- d'analyses des relevés topographiques effectués :
 - * de décembre 1983 à juillet 1986 sur les plages de Saint Gabriel et de Sainte Cécile,
 - * d'avril 1987 à janvier 1988 sur la rive nord de la baie,
- d'une approche sédimentologique réalisée de juillet 1986 à janvier 1988,
- d'aspects de surface observés de juillet 1986 à mars 1988.

RELEVES TOPOGRAPHIQUES

I) Plage de Saint-Gabriel à Sainte-Cécile

A partir des profils établis de Saint-Gabriel à Sainte-Cécile, nous avons pu constater que :

- les irrégularités des profils tendent à se lisser,
- la pente de la plage diminue,
- à partir de 1985, le profil n°2 (situé dans le prolongement de la descente de Sainte-Cécile sud) rattrape une cote équivalente à celle des autres profils (époque de l'installation du perré en protection des dunes).

Les bilans sédimentaires ont été calculés sur une surface de 195 000 m² à partir d'une largeur d'estran de 200 m. Ils ont permis de faire ressortir que :

- de novembre 1983 à mai 1985, ce secteur du littoral présentait une érosion de la partie sud (plage de Saint-Gabriel) et un engraissement de la partie nord (plage de Sainte-Cécile),
- de mai 1985 à juin 1986, le phénomène de démaigrissement de la plage semble se déplacer vers le Nord,
- de novembre 1983 à novembre 1985, le bilan sédimentaire de la plage situé entre les profils n°3 et 1 est positif, avec un engraissement de 5400 m³.

II) Rive nord de la baie

Ce secteur de la baie, situé en rive droite du fleuve, présente une tendance à s'éroder chaque fois que le cours divagant du fleuve se rapproche de la ligne de rivage, et une tendance à s'engraisser chaque fois qu'il s'en éloigne. La proximité du fleuve de la ligne de rivage facilite l'action des courants et des houles en donnant à ces dernières plus de hauteur. Les divagations du lit de la Canche dans cette partie de la baie sont principalement dues aux influences météorologiques (vents dominants du moment) combinés aux forts coefficients de marée. Au cours des forts coefficients de marée, les courants sont plus facilement plaqués contre la rive de Lornel et leur action combinée à celle des vents d'Ouest à Sud Ouest favorise la migration du chenal vers cette rive.

D'avril 1987 à janvier 1988, l'évolution montre un processus d'érosion important à la pointe de Lornel et, de façon moindre, dans le secteur du feu des dunes. Les autres profils montrent un budget sédimentaire positif.

NATURE DES SEDIMENTS

La fraction grossière des sables (500 à 800 μm) est composée principalement de débris coquilliers. La fraction minérale est constituée par du silex, des débris calcaires et du quartz. Au dessous de la fraction granulométrique 160 μm , le sédiment devient plus quartzueux et les autres constituants minéraux (feldspath, mica, glauconie, minéraux lourds) sont peu abondants et de répartition assez uniforme.

La fraction fine, inférieure à 2 μm , contient un cortège argileux caractérisé par l'abondance de l'illite, de la smectite, des interstratifiés irréguliers et de la kaolinite. Les espèces les moins abondantes sont le chlorite et la smectite. Ce type de cortège argileux se retrouve dans les sédiments de l'estuaire et dans les matières en suspension des eaux du fleuve.

MORPHOLOGIE

Divers aspects morphologiques typiques de littoraux sableux témoignent de l'instabilité du secteur. Les éboulements et les microfalaises en pied de dunes attestent de l'érosion importante, de même que le démantèlement de casemates allemandes dans les dunes.

D'autres aspects témoignent de l'engraissement et/ou de l'érosion du littoral; ce sont :

- le rapprochement ou l'éloignement du lit de la Canche de la rive de Lornel,
- le recouvrement ou non par le sable des débris de l'ancien hôtel de Saint-Gabriel.

A partir de la pointe de Lornel et vers le Nord, une série de bâches suivent en gros le trait de côte, et sont marquées en fonction de leur proximité des dunes, soit par des ripples marks soit par des mégarides d'orientation Sud-Nord. Ces figures sédimentaires à polarité Nord, indiquent la direction des courants résiduels et donc du transport des sédiments.

IMPACT DES AMENAGEMENTS EN BAIE DE CANCHE

Avec les techniques employées et le temps disponible, l'effet des travaux réalisés à ce jour n'est encore que modéré. A son embouchure, le fleuve présente un cours divagant, et détermine avec les courants de marée, l'érosion de la rive et de la pointe de Lornel.

Les problèmes de divagation du chenal, du recul de la rive de Lornel et du colmatage de la baie ont conduit à des travaux d'endiguement du chenal et au percement (en projet) du banc du Pilorí dans l'axe du cours de la Canche, déjà canalisée. Dans l'esprit des aménageurs, le prolongement des digues doit aboutir à l'établissement d'un chenal stable dont la profondeur serait suffisamment entretenue par l'effet de chasse effectué au moment du vidage de l'estuaire, et ceci sans altérer la pérennité du site.

Nous ne partageons pas ces conceptions. Au vu des connaissances acquises sur l'aéro et l'hydrodynamique du secteur, les aménagements en baie de Canche laissent plutôt présager pour l'avenir :

- un colmatage plus rapide de la baie,
- une diminution de la force érosive des courants,
- une disparition progressive du promontoire "sous marin",
- un ralentissement général de l'érosion de la rive de Lornel, avec toutefois toujours une zone sensible à la pointe de Lornel.

L'effet des ouvrages longitudinaux (digues submersibles) sera de répartir régulièrement tout au long de l'estuaire les apports fluviaux, et de favoriser la sédimentation dans les zones propices telles que les bordures externes des digues, le secteur à l'abri du banc du Pilorí et proche du Cercle Nautique du Touquet, et la plage des Pauvres (cf. figures 4 et 22) qui lui fait face en rive droite.

Cette implantation des digues va contrecarrer les divagations aléatoires du chenal et favoriser la sédimentation dans la baie. Automatiquement la diminution du volume d'eau fera décroître les possibilités de transport des sédiments vers le large au moment des courants de jusant (effet de chasse).

La perte du pouvoir érosif des courants de jusant dans la baie sera responsable du démantèlement du cône intertidal à l'embouchure. Ce phénomène conjugué à l'installation du perré depuis Saint-Gabriel à Sainte-Cécile provoquera à plus long terme un amaigrissement de la plage de Saint-Gabriel.

Ainsi, les travaux réalisés paraissent plutôt néfastes à la conservation du site. Ils amplifieront son colmatage et provoqueront à plus long terme sa disparition. La baie de Canche risque de ressembler à l'estuaire de l'Aa (Flandre maritime) : simple canal faisant des méandres entre deux digues en enrochements.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN G.P., CASTAING P., TASTET J.P., 1981 .- Excursion géologique sur l'estuaire de le Gironde. *Ass. des sédimentologues français*, 113 p.
- AMINOT A., CHAUSSEPIED M., 1983 .- *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. CNEXO. BND0/DOCUMENTATION.395 p.
- ANONYME, 1982 .- Cours de Navigation des Glénans. *Edition du Seuil*, 1022 p.
- ARNAL O., DELATRE J.M., GROSSEL H., MOREL M., 1986 .- *Le littoral de la région Nord-Pas de Calais : Qualité du milieu marin*. Rapport scientifique et technique de l'IFREMER n°3 152 p.
- AUFFRET J.P., COLBEAUX J.P., 1977 .- Etude structurale du Boulonnais et de son prolongement sous-marin en Manche Orientale. *Bull. Soc. Géol. France*, (7), 19, 5, 1047-1055, 3 fig., 1 tabl.
- BASCOM W., 1981 .- Les vagues. *Les phénomènes naturels*. Pour la Science, Belin, p. 89 à 99.
- BENTLEY D., 1984 .- Contribution à l'étude hydrobiologique du détroit du Pas de Calais : paramètres physico-chimiques. Thèse 3ème cycle, Lille I, 141 p., 58 fig. 36 tabl.
- BENTLEY D., ORANGE J., 1983 .- Estuaires (Aa, Canche, Authie, Somme). Rapport d'étude interdisciplinaire. *Hydrobiologie E.P.R./C.N.E.X.O.*, p. 1-47.
- BONNEFILLE R., ALLEN H., 1967 .- Etude de la baie d'Authie et des moyens de défense contre la mer. *Rapport du Laboratoire National d'Hydraulique de France* - HC 031 R 436, T 558 DHM, 26p. + 45 pl.
- BONNEFILLE R., ALLEN H., 1970 .- Aménagement de l'estuaire de la Canche. *Rapport de synthèse du Laboratoire National d'Hydraulique de France* 6 HCO42 -R-423, T 733, DHM.
- BRABANT H., 1986 .- Faune et flore de l'estuaire de la Canche. Etat initial et estimation des impacts. *M.S.T. ENVAR*, Lille I, 98 p.
- BRESSOLIER C., THOMAS Y.F., 1974 .- Processus d'actions hydrodynamiques et réponses sédimentaires à la Pointe de la Coubre (Charente Maritime, France). *Mémoire du laboratoire de géomorphologie de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes*, n° 27, 157 p.

- BRIQUET A., 1930 .- *Le littoral du Nord de la France et son évolution morphologique. L'évolution morphologique suivie d'un appendice.* Paris, A. Colin, 484 p.
- BRYLINSKI J.M., DUPONT J., BENTLEY D., 1984 .- Conditions hydrobiologiques au large du Cap Gris Nez (France) : premiers résultats. *Oceanologica Acta*, vol. 7, n°3, p. 315-322.
- CALINE B., 1982 .- *Le secteur occidental de la baie du Mont St Michel (morphologie, sédimentologie et cartographie de l'estran)*, documents du B.R.G.M. n° 42, 250 p.
- CHAMLEY H., 1987 .- *Les milieux de sédimentation.* Lavoisier Tec. et Doc., B.R.G.M., 173 p.
- CHAMLEY H., DESPEYROUX Y., 1983 .- Estuaires (Aa, Canche). *Rapport d'étude interdisciplinaire : sédimentologie.* E.P.R./C.N.E.X.O., p. 49-111.
- CLIQUE P.M., 1986 .- *Catalogue Sédimentologique des côtes Françaises. Côtes de la Mer du Nord et de la Manche. De la frontière Belge à la baie de Somme.* Coll. Dir. Etudes et Recherches d'Electricité de France. L.N.H.-L.C.H.F., 133 p.
- CLUZEL R., 1984 .- *Mathématiques.* Technor, Delagrave, tome 2, 144 p.
- COEFFE Y., FEUILLET J., PECHON PH., 1982 .- Etude sédimentologique de l'estuaire de la Canche sur modèle numérique. *Laboratoire National d'Hydraulique de France.* HE/42/82.38, 53 p., 27 fig.
- DEMANGEON A., 1905 .- *La plaine Picarde : Picardie, Artois, Cambrésis, Beauvoisis.* Paris, A. Colin, 496 p.
- DESPEYROUX Y., 1985a .- Etude hydrosédimentaire de l'estuaire de la Canche (Pas de Calais). *Thèse 3eme cycle en Océanologie, Lille I*, 188 p. dact. + ann.
- DESPEYROUX Y., 1985b .- Hydrodynamique sédimentaire en baie de Canche. *Colloque Franco-Japonais d'océanographie, Marseille.* 16-21 sept. 85,1, p. 153-160.
- DESPEYROUX Y. et CHAMLEY H., 1985 .- Distribution des sédiments récents dans l'estuaire de la Canche (Pas-de-Calais), *Soc. Géol. du Nord*, p. 179-186.
- DEWEZ S., 1988 .- Sédimentation et dynamique en Manche Orientale (de la baie d'Authie au cap d'Alprech). *Thèse d'Université, Lille I*, 276 p. dact. + ann. et planches.
- DHORME J.P., 1986 .- Evolution du trait de côte et zones sensibles. *Séminaire : Etude intégrée du littoral, Ambleteuse.* Actes des journées Région Nord-Pas de Calais/IFREMER, p. 91-95.
- DUVAL J., 1986 .- *Aménagement et gestion des dunes du Nord de la France.* Ministère de l'environnement, délégation à la qualité de la vie, 60 p.
- EMERY K.O., 1960 .- *The sea of Southern California.* Ed. Willy and Sons, New York, 366 p.

- ESPACE NATUREL REGIONAL, 1986** .- Aménagement de la réserve naturelle de la Canche (communes d'Etaples, Camiers, Lefaux, département du pas de Calais). *Rapport Région Nord-Pas de Calais*, 55 p.
- FEUILLET J., 1979** .- Etude de l'amélioration des profondeurs au droit du quai du port d'Etaples. *Rapport du Laboratoire National d'Hydraulique de France*. HE 42 179-07, 26p.
- FEUILLET J., 1981** .- Modèles mathématiques de courant de marée au large des côtes de Picardie et à proximité de l'estuaire de la Canche. *Rapport du Laboratoire National d'Hydraulique de France*. HE 142/81-31, 51 p., 27 fig.
- FROIDEFOND J.M., 1985** .- Méthode de Géomorphologie côtière. Application à l'étude de l'évolution du littoral Aquitain. *Mém. de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine*. n°18, 266 p.
- GUILCHER A., 1979** .- *Précis d'hydrologie marine et continentale*. Masson, Paris, 2ème édit. 344 p.
- HOLTZAPFFEL T., 1985** .- Les minéraux argileux : préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Publ. S.G.N.*, 12, 135 p.
- KOFFI KOFFI P., 1981** .- Contribution à l'étude des processus sédimentaires dans la zone littorale Aquitaine (France). Remaniement et transport en suspension. *Thèse de 3ème cycle*, Bordeaux I, 135 p.
- LARRAS J., 1957** .- Recherche sur l'érosion des sables par la houle et le clapotis. *Vème Journée de l'Hydraulique*, Paris, La Houille blanche, Grenoble, 1957, p. 579-589.
- LOUBERSAC L., 1982** .- Pollution par macrodéchets du littoral français, tome 1 : méthodologie, état de référence, *Rapport CNEXO-Ministère de l'Environnement*, CNEXO-COB, Brest.
- MARIETTE H., 1971** .- Archéologie des dépôts flandriens du Boulonnais. *Quaternaria*, XIV, 137-150, 8 fig.
- MAUPAS A., 1977** .- *Courants de marée (13 cartes heure par heure)*. Edition Cartographiques Maritimes.
- MOINET M.L., 1986** .- Dunes : la chirurgie esthétique. *Sciences et vie*, p. 95-104.
- ORANGE J., 1983** .- Hydrobiologie et répartition de la faune dans l'estuaire de la Canche, *D.E.A. de Biologie et Physiologie animale*, Lille I, 42 p.
- OUDART E., L'HOPITAULT J.C., PHILIPPO A., DESPEYROUX Y., 1984** .- Dynamique et pollution de l'estuaire de la Canche : chimie-sédimentologie. *Rapport Institut Pasteur de Lille*, 101 p.
- PASKOFF R., 1985** .- *Les littoraux. Impact des Aménagements sur leur évolution*. Masson, 185 p.
- PINTE P., 1986** .- Etude géomorphologique et cartographique des risques naturels du littoral de Wissant à Wimereux. (Bas Boulonnais). *D.E.A.*

en analyse géographique du milieu physique : risques et ressources naturels, Lille I, 210 p.

REINECK H.E., SINGH I.B., 1980 .- *Depositional sedimentary environments*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 547 p., 683 fig.

SENECAT B., 1983 .- *Estuaire de la Canche : amélioration des accès au port d'Étaples, percement du banc du Piloni*. Rapport de stage, ENTPE, 49 p.

SERVICE HYDROGRAPHIQUE ET OcéANOGRAPHIQUE DE LA MARINE (SHOM), 1968 .- *Courants de marée dans la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique*. S.H. n°550, Imprimerie Nationale, Paris, 287 p., 39c.

SONU C.J., VAN BEEK J.L., 1971 .- Systematic beach changes on the outer banks, North Carolina. *Journal of Geology*, vol. 79, n°4, pp 416-425.

TRICART J., 1951 .- L'évolution morphologique du littoral des Bas Champs Picards. *Rev. de Géomorphologie dynamique*, t. 2, pp 49-65.

VERGER F., 1968 .- *Marais et wadden du littoral français*. Bordeaux, Biscaye Frères, 541 p.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : La côte picarde; situation géographique et schéma morphologique (d'après DESPEYROUX, 1985)
- Figure 2 : Cadre géographique de la basse Canche (d'après DESPEYROUX, 1985)
- Figure 3 : Cadre géologique de la basse Canche
- Figure 4 : Embouchure de la Canche vue du large (d'après DESPEYROUX, 1985)
- Figure 5 : Profil type des dunes de morphologie picarde (in DUVAL, 1986)
- Figure 6 : Répartition des diverses générations de dunes (d'après MARIETTE, 1971)
- Figure 7a : Localisation des coupes dans le secteur de Camiers
- Figure 7b : Transect du chenal de la Canche et des dunes d'arrière littorales (d'après DUVAL, 1986)
- Figure 8 : Fréquence moyenne des directions du vent par groupe de vitesse sur la période 1951-1980 au Touquet (données Météorologie Nationale)
- Figure 9 : Histogramme sur la fréquence mensuelle des vents de vitesse $>$ à 8 m/s ($>$ 28,8 km/h) au Touquet (Relevés effectués à l'aéroport du Touquet de 1951 à 1980)
- Figure 10 : Vue en coupe d'une houle océanique (in BASCOM, 1981)
- Figure 11 : Extrapolation à la houle décennale et centennale (in CLIQUE, 1986)
- Figure 12 : Emplacement des houlographes (in COEFFE et al, 1982)
- Figure 13 : Provenance de la houle au bateau feu de la Bassurelle (in DESPEYROUX, 1985)
- Figure 14 : Provenance de la houle observée au Touquet, 348 observations du 25/2/66 au 28/4/67 (in BONNEFILLE et ALLEN, 1970)
- Figure 15 : Zone de mesures des houles au Touquet (in BONNEFILLE et ALLEN, 1967)

- Figure 16 : Courants de marée dans l'estuaire de la Canche, modèle de détail (in COEFFE *et al*, 1982)
- Figure 17 : Courants de marée dans l'estuaire de la Canche, modèle de détail (in COEFFE *et al*, 1982)
- Figure 18 : Courants de marée dans l'estuaire de la Canche, modèle de détail (in COEFFE *et al*, 1982)
- Figure 19 : Variations du trait de côte de 1947 à 1976 (Données des Services Maritimes de Boulogne et de Calais)
- Figure 20 : Variations du trait de côte à l'embouchure de la Canche de 1852 à 1913 (Données des Services Maritimes de Boulogne et de Calais)
- Figure 21 : Schéma de situation des travaux dans l'estuaire de 1838 à 1988 (légende voir tableau 2)
- Figure 22 : Localisation des profils topographiques des Services Maritimes de Boulogne et de Calais sur les plages de Sainte-Cécile et de Saint-Gabriel
- Figure 23 : Emplacement des profils topographiques des Services Maritimes de Boulogne et de Calais, dans le secteur de la rive de Lornel
- Figure 24 : Localisation des radiales bathymétriques au large de l'embouchure de la Canche sur fond de carte du S.H.O.M. de 1979
- Figure 25 : Localisation du perré à Saint-Gabriel et Sainte-Cécile, des profils sédimentologiques, bathymétriques et des photographies pour l'état de surface du secteur étudié
- Figure 26 : Unités morphologiques d'un profil de plage (d'après EMERY, 1960; REYNECK, 1980; ALLEN *et al*, 1981; CHAMLEY, 1987)
- Figure 27 : Courbes de marée à Boulogne et au Touquet (d'après DEWEZ, 1988)
- Figure 28 : Exemples de radiales bathymétriques, radiales transversales (E-W) au large de l'embouchure de la Canche
- Figure 29 : Levés topographiques réalisés sur la plage de Sainte Cécile (Profil n°1, Services Maritimes de Boulogne et de Calais)
- Figure 30 : Levés topographiques réalisés sur la plage de Sainte-Cécile sud (Profil n°2, Services Maritimes de Boulogne et de Calais)
- Figure 31 : Levés topographiques réalisés sur la plage de Saint-Gabriel (Profil n°3, Services Maritimes de Boulogne et de Calais)
- Figure 32 : Levés topographiques réalisés sur la plage au droit du camping de Saint-Gabriel (Profil n°4, Services Maritimes de Boulogne et de Calais)
- Figure 33 : Levés topographiques effectués sur les plages de la rive nord de Lornel (octobre 1987, janvier 1988)

- Figure 34 : Evolution du profil 3 (P3) d'avril 1987 à janvier 1988 sur la rive nord de Lornel
- Figure 35 : Schéma d'interprétation pour le calcul volumétrique entre deux secteurs en érosion ou en engraissement
- Figure 36 : Schéma d'interprétation pour le calcul volumétrique entre un secteur en érosion et un secteur en engraissement
- Figure 37 : Evolution du profil n°1 et comparaison du levé topographique avec celui de l'année précédente
- Figure 38 : Evolution du profil n°2 et comparaison du levé topographique avec celui de l'année précédente
- Figure 39 : Evolution du profil n°3 et comparaison du levé topographique avec celui de l'année précédente
- Figure 40 : Evolution du profil n°4 et comparaison avec le levé topographique de l'année précédente
- Figure 41 : Mouvements sédimentaires et forme des profils de la rive de Lornel
- Figure 42 : Evolution de la granulométrie du grain moyen sur les profils A et B
- Figure 43 : Evolution de la granulométrie du grain moyen sur les profils C et D
- Figure 44 : Evolution de la granulométrie du grain moyen sur les profils E et F
- Figure 45 : Evolution de la granulométrie du grain moyen sur le secteur étudié en août et décembre 1986
- Figure 46 : Evolution granulométrique du grain moyen sur le secteur étudié en juillet 1987 et janvier 1988
- Figure 47 : Diffractogramme (par diffraction des R.X.) de la fraction argileuse échantillonnée dans le secteur de Lornel et sur la plage de Sainte-Cécile
- Figure 48 : Evolution des isobathes à l'embouchure de la Canche de 1945 à 1966.

A N N E X E S

- Figure I : Courants de marée à l'embouchure de l'estuaire de la Canche par grand coefficient (*in* BONNEFILLE et ALLEN, 1967)
- Figure II : Courants de marée à l'embouchure de l'estuaire de la Canche par grand coefficient (*in* BONNEFILLE et ALLEN, 1967)
- Figure III : Courants de marée à l'embouchure de l'estuaire de la Canche par grand coefficient (*in* BONNEFILLE et ALLEN, 1967)

- Figure IV : Courants de marée à l'embouchure de l'estuaire de la Canche par grand coefficient (in BONNEFILLE et ALLEN, 1967)
- Figure V : Courants de marée à l'embouchure de l'estuaire de la Canche par grand coefficient (in BONNEFILLE et ALLEN, 1967)
- Figure VI : Courants de marée à l'embouchure de l'estuaire de la Canche par grand coefficient (in BONNEFILLE et ALLEN, 1967)
- Figure VII : Courants de marée à l'embouchure de l'estuaire de la Canche par grand coefficient (in BONNEFILLE et ALLEN, 1967)
- Figure VIII : Trajectoire de flotteurs d'après BONNEFILLE et ALLEN (1970), marée de coefficient 76
- Figure IX : Trajectoire de flotteurs d'après BONNEFILLE et ALLEN (1970), marée de coefficient 107
- Figure X : Trajectoire de flotteurs d'après BONNEFILLE et ALLEN (1970), marée de coefficient 84
- Figure XI : Trajectoire de flotteurs d'après BONNEFILLE et ALLEN (1970), marée de coefficient 116
- Figure XII : Trajectoire de flotteurs d'après BONNEFILLE et ALLEN (1970), marée de coefficient 50
- Figure XIII : Trajectoire de flotteurs d'après BONNEFILLE et ALLEN (1970), marée de coefficient 46
- Figure XIV : Trajectoire de flotteurs d'après BONNEFILLE et ALLEN (1970), marée de coefficient 60
- Figure XV : Trajectoire de flotteurs d'après BONNEFILLE et ALLEN (1970), marée de coefficient 74
- Figure XVI : Trajectoire de flotteurs d'après BONNEFILLE et ALLEN (1970), marée de coefficient 106
- Figure XVII : Trajectoire de flotteurs d'après BONNEFILLE et ALLEN (1970), marée de coefficient 119
- Figure XVIII : Trajectoire de flotteurs d'après BONNEFILLE et ALLEN (1970), marée de coefficient 116
- Figure XIX : Levés topographiques effectués sur les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile (nov., déc., 1983)
- Figure XX : Levés topographiques effectués sur les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile (février 1984)
- Figure XXI : Levés topographiques effectués sur les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile (mai, juillet 1985)
- Figure XXII : Levés topographiques effectués sur les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile (novembre 1985)

Figure XXIII: Levés topographiques effectués sur les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile (juin 1986)

Figure XXIV: Variation des proportions en CaCO_3 sur le profil A

Figure XXV : Variation des proportions en CaCO_3 sur le profil B

Figure XXVI: Variation des proportions en CaCO_3 sur le profil C

Figure XXVII: Variation des proportions en CaCO_3 sur le profil D

Figure XXVIII : Variation des proportions en CaCO_3 sur le profil E

Figure XXIX: Variation des proportions en CaCO_3 sur le profil F

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Vents de vitesse supérieure à 8 m/s
- Tableau 2 : Historique des travaux en baie de Canche (cf. figures 21 et 25)
- Tableau 3 : Heures et localisation des prélèvements au large de l'embouchure de la Canche
- Tableau 4 : Profondeurs après correction de la hauteur d'eau au dessus des points de prélèvements situés au droit de l'embouchure de la Canche
- Tableau 5 : Bilan sédimentaire, sur une distance de 200 m à la côte, de la plage de Saint-Gabriel à Sainte-Cécile et sur la période de novembre 1983 à novembre 1985
- Tableau 6 : Bilan sédimentaire entre les profils et par année (localisation : voir figure 22)
- Tableau 7 : Bilan sédimentaire par profil et par année
- Tableau 8 : Récapitulatif des transits sédimentaires sur les profils de la rive de Lornel (cf. figure 25)
- Tableau 9 : Granulométrie des sédiments des fonds, au large de l'embouchure de la Canche
- Tableau 10 : Proportion du CaCO_3 dans les sédiments au large de l'embouchure de la Canche

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

- Photo 1 : Pointe de Lornel
- Photo 2 : Protection littorale à Saint-Gabriel
- Photo 3 : Glissement d'un flanc de dune entre Saint-Gabriel et la Pointe de Lornel
- Photo 4 : Profil de microfalaise entre la Pointe de Lornel et le feu des dunes de Camiers (dit phare Armand)
- Photo 5 : Rive du secteur de Lornel. Apparition d'anciens sols
- Photo 6 : Erosion de la dune avec fractionnement d'anciens sols
- Photo 7 : Figures sédimentaires dues au vent
- Photo 8 : Secteur du feu des dunes de Camiers
- Photo 9 : Haut de plage entre la Pointe de Lornel et Saint-Gabriel
- Photo 10 : Laisse de haute mer sur la plage de Sainte-Cécile (débris coquilliers)
- Photo 11 : Barre littorale sur la plage de Sainte Cécile
- Photo 12 : Mégarides sur la plage de Sainte-Cécile
- Photo 13 : Mégarides sur la plage de Saint-Gabriel
- Photo 14 : Digue dans le cours aval de la Canche

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

AVANT PROPOS	
INTRODUCTION	1
 PARTIE I : CADRE D'ETUDE	
CHAPITRE I : CADRE DE L'ETUDE	3
I CADRE GEOGRAPHIQUE	3
I.1. La côte picarde	3
I.2. La baie de Canche	3
II CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL	3
III MORPHOLOGIE	5
III.1. Morphologie actuelle de l'estuaire	5
III.2. Morphologie des dunes	6
 CHAPITRE II : PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES	 9
I INTRODUCTION	9
II CARACTERISTIQUE DES EAUX DE LA MANCHE	9
II.1. Salinité et température	9
II.2. Facteurs météorologiques : les vents	9
II.2.1. Généralités	10
II.2.2. Données relatives au Touquet	10
III FACTEURS OCEANOGRAPHIQUES	12
III.1. La houle	12
III.1.1. Définition	12
III.1.2. Action dynamique de la houle	13
III.1.3. La houle à l'embouchure de la Canche	13
III.1.3.1. En Manche et au bateau-feu de Bassurelle	13
III.1.3.2. Au Touquet	15
III.2. La marée	16
III.3. Les courants	17
III.4. Conclusion	21

CHAPITRE III : EVOLUTION DE LA BASSE CANCHE	23
I MIGRATION DU RIVAGE	23
I.1. Mécanismes d'évolution	23
I.2. Evolution morphologique de l'estuaire	23
I.3. Bilans sédimentologiques	25
II CAUSES ANTHROPIQUES	26
II.1. Importance des travaux sur le site	26
II.2. Travaux dans l'estuaire	28
II.3. Travaux à l'embouchure	28
III CONCLUSIONS	29
PARTIE II : ETUDES SEDIMENTOLOGIQUES	
CHAPITRE I : METHODES	31
I LEVES TOPOGRAPHIQUES D'ESTRAN	31
II BATHYMETRIE	33
III APPROCHE SEDIMENTOLOGIQUE	34
CHAPITRE II : MORPHOLOGIE DES ZONES INTERDIDALES	37
I GENERALITES	37
1.1. Les dunes	37
1.2. La plage	38
1.3. L'avant plage ou plage sous-marine	38
1.4. Le large	38
II SUIVI MORPHOLOGIQUE DE LA PLAGE	38
II.1. Etat de surface de la plage	39
II.1.1. Présentation	39
II.1.1.1. Plage du secteur de Lornel	39
II.1.1.2. Secteur de la pointe de Lornel à Sainte-Cécile	40
II.1.1.3. Bathymétrie au large de l'embouchure	40
II.1.2. Aspects de surface	42
II.1.2.1. Dunes	42
II.1.2.2. La plage	44
II.1.2.3. Conclusion	45
II.2. Description des profils de 1983 à 1986	46
II.2.1. Profil n°1	46
II.2.2. Profil n°2	47
II.2.3. Profil n°3	48
II.2.4. Profil n°4	49
II.3. Formes et mouvements sédimentaires sur les plages de Saint-Gabriel et de Sainte-Cécile (période de nov.1983 à juin 1986)	50
II.4. Formes et mouvements sédimentaires à l'intérieur de la Baie de la Canche	51
II.5. Bilan des mouvements sédimentaires	53
II.5.1. Méthode de calcul	53

II.5. Bilan des mouvements sédimentaires	53
II.5.1. Méthode de calcul	53
II.5.2. Bilan quantitatif sur les radiales d'estran de Saint-Gabriel à Sainte-Cécile (1983-1986)	54
II.5.3. Bilan quantitatif par radiale dans le secteur de Lornel (octobre 1987 - janvier 1988)	58
III CONCLUSION	60
CHAPITRE III : SEDIMENTOLOGIE	61
I APPROCHE GRANULOMETRIQUE	61
I.1. Sédiments de la zone littorale	61
I.1.1. Généralités	61
I.1.2. Variation saisonnière par profil	62
I.1.2.1. Profil A	62
I.1.2.2. Profil B	62
I.1.2.3. Profil C	62
I.1.2.4. Profil D	63
I.1.2.5. Profil E	63
I.1.2.6. Profil F	63
I.1.3. Variations longitudinales du grain moyen	64
I.1.3.1. Août 1986	64
I.1.3.2. Décembre 1986	64
I.1.3.3. Juillet 1987	65
I.1.3.4. Janvier 1988	65
I.1.4. Variations spatiales des proportions en carbonates sur l'estran	65
I.2. Sédiments des fonds au large de l'embouchure	66
II NATURE DES SEDIMENTS	67
II.1. Nature de la fraction sableuse	67
II.2. Nature de la fraction argileuse	67
III CONCLUSION	68
CHAPITRE IV : INTERPRETATION DES RESULTATS	69
I ASPECTS ACTUELS ET EVOLUTION RECENTE	69
II IMPACT POSSIBLE DES AMENAGEMENTS ACTUELS	70
PARTIE III : CONCLUSIONS GENERALES	73
BIBLIOGRAPHIE	77
Liste de figures	81
Liste des tableaux	87
Liste des photographies	89
Table des matières	91
ANNEXES	

PLANCHES
PHOTOGRAPHIQUES

PLANCHES
PHOTOGRAPHIQUES

PHOTO 1 : POINTE DE LORNEL (AOUT 1986)

PHOTO 2 : PROTECTION LITTORALE A SAINT GABRIEL (AOUT 1986)

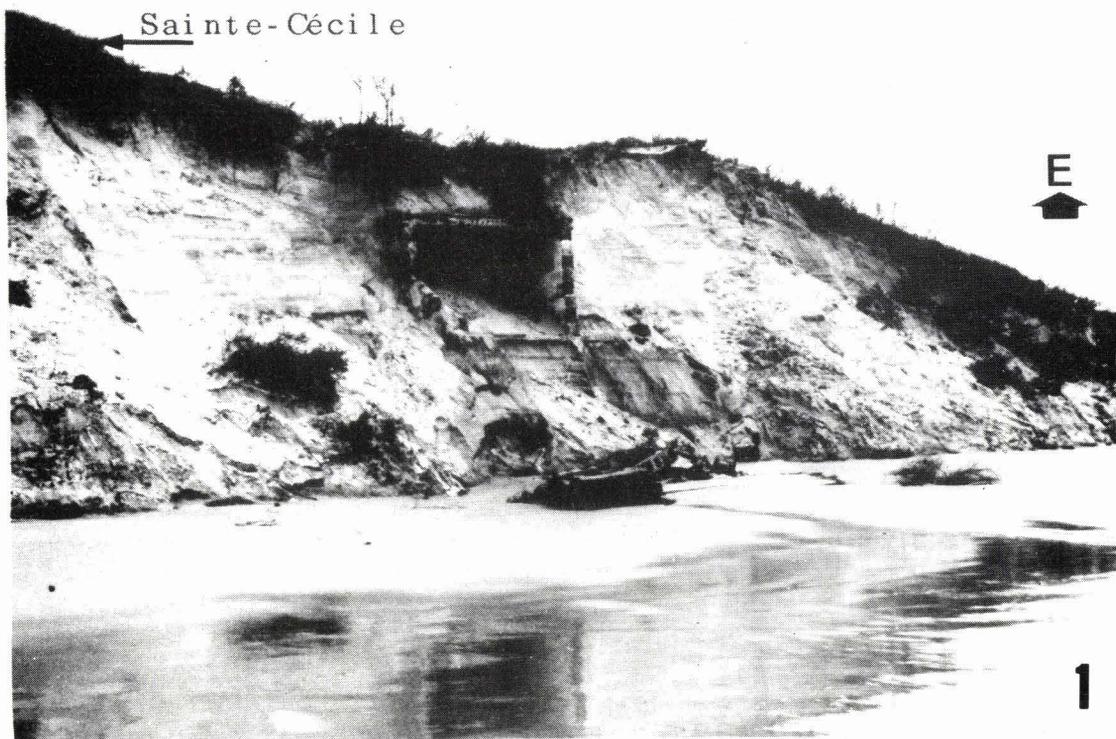
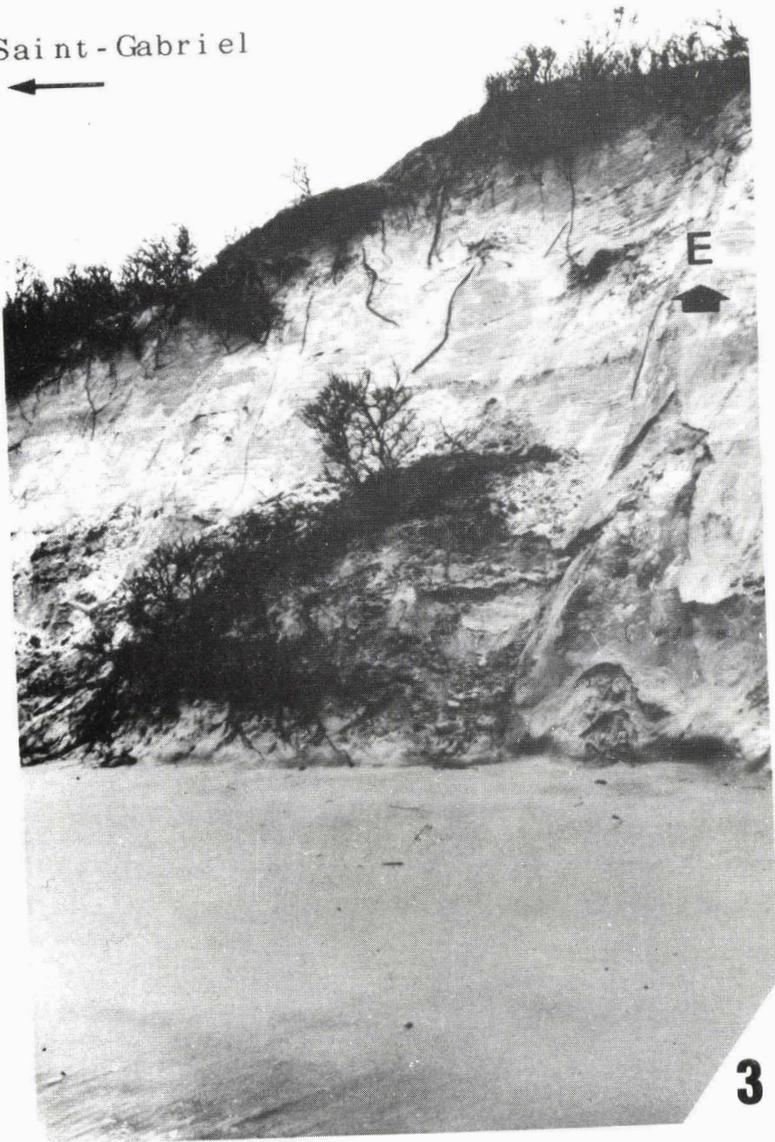


PHOTO 3 : GLISSEMENT D'UN FLANC DE DUNE ENTRE SAINT GABRIEL ET
LA POINTE DE LORNEL (JANVIER 1988)

PHOTO 4 : PROFIL DE MICROFALAISE ENTRE LA POINTE DE LORNEL ET
LE FEU DES DUNES DE CAMIERS (DIT PHARE ARMAND)
(NOVEMBRE 1988)

Saint-Gabriel



3



Pointe de Lornel



W



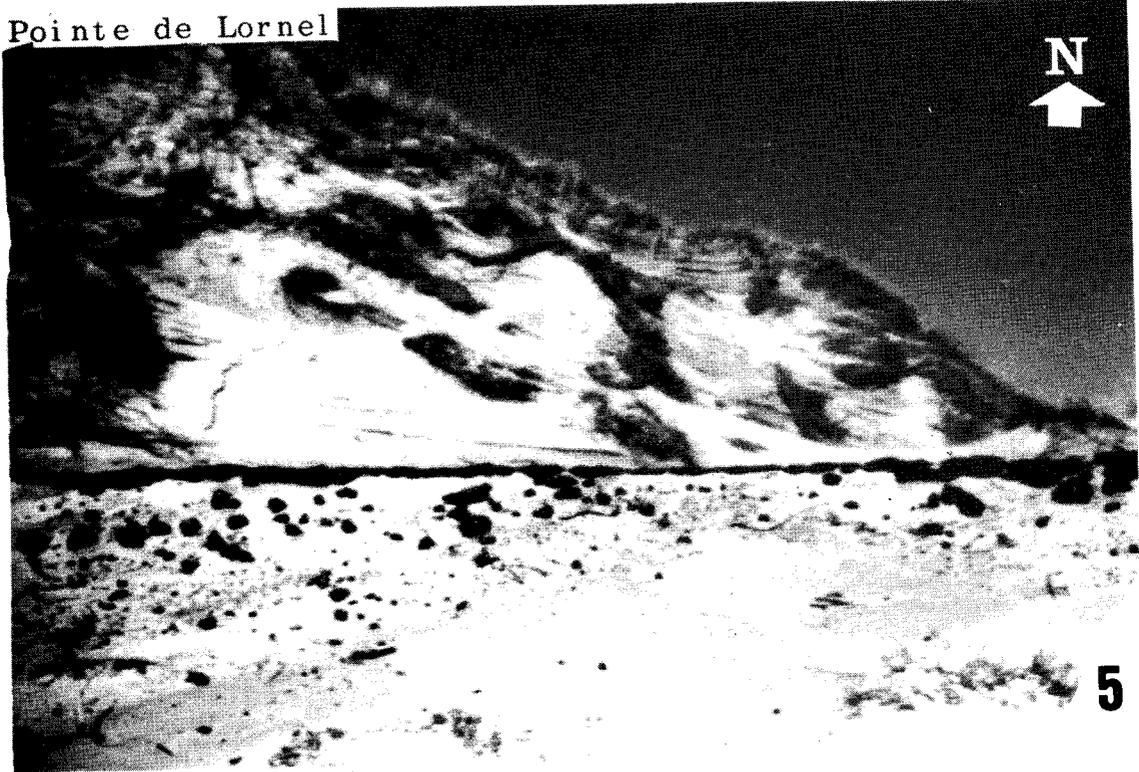
4

PHOTO 5 : RIVE DU SECTEUR DE LORNEL. APPARITION D'ANCIENS SOLS
(AVRIL 1987)



PHOTO 6 : EROSION DE LA DUNE AVEC FRACTIONNEMENT D'ANCIEN SOLS
(AVRIL 1987)

Pointe de Lornel



5



6

PHOTO 7 : FIGURES SEDIMENTAIRES DUES AU VENT (NOVEMBRE 1986)



PHOTO 8 : SECTEUR DU FEU DES DUNES DE CAMIERS (JANVIER 1988)



→
Pointe de Lornel

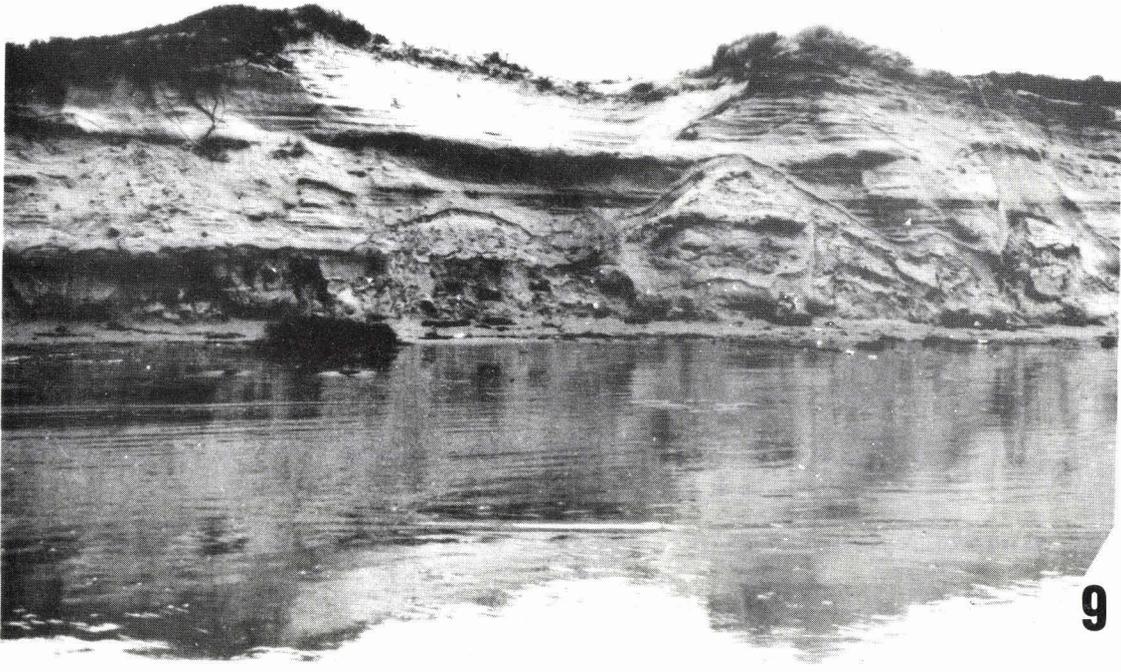


PHOTO 9 : HAUT DE PLAGE ENTRE LA POINTE DE LORNEL ET SAINT
GABRIEL (JANVIER 1988)

PHOTO 10 : LAISSE DE HAUTE MER SUR LA PLAGE DE SAINT GABRIEL
(JANVIER 1988)

N ←

Pointe de Lornel →



9



embouchure

S
↑



10

PHOTO 11 : BARRE LITTORALE SUR LA PLAGE DE SAINTE CECILE
(DEBRIS COQUILLIERS) (AOUT 1986)



PHOTO 12 : MEGARIDES SUR LA PLAGE DE SAINTE CECILE (AOUT 1986)



11



12

PHOTO 13 : MEGARIDES SUR LA PLAGES DE SAINT GABRIEL (AOUT
1986)



PHOTO 14 : DIGUE DANS LE COURS AVAL DE LA CANCHE (AVRIL 1987)

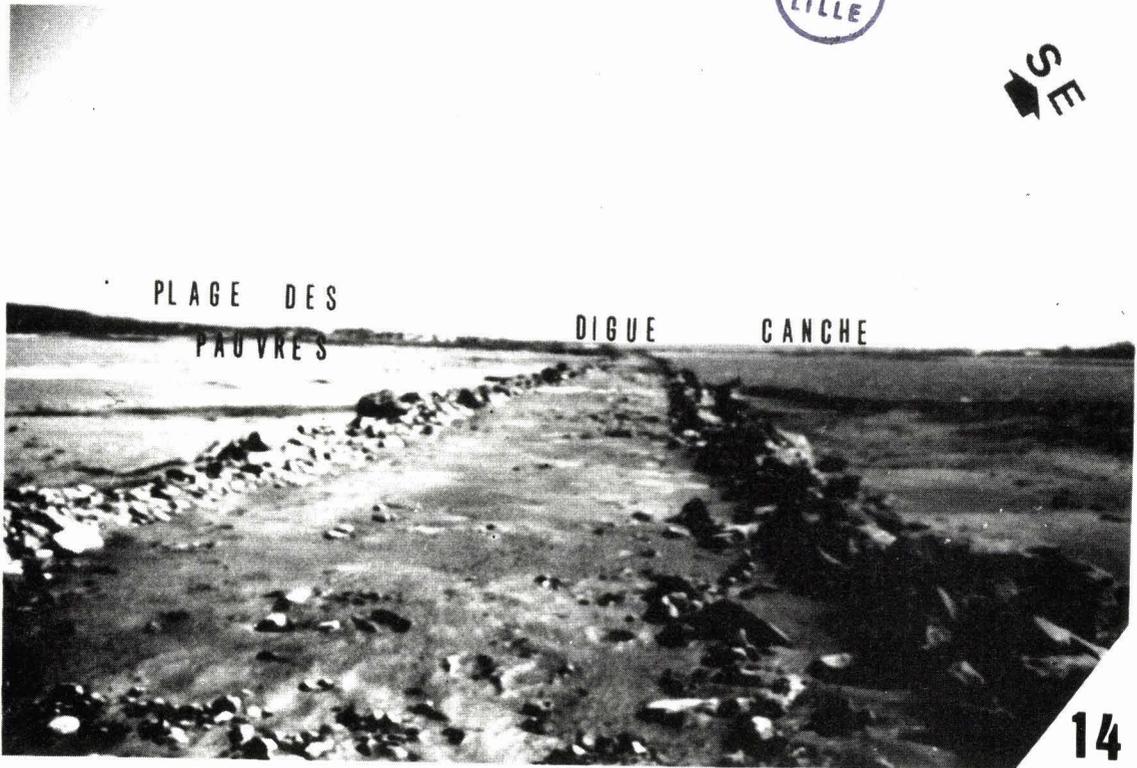
E



13

BU
LILLE

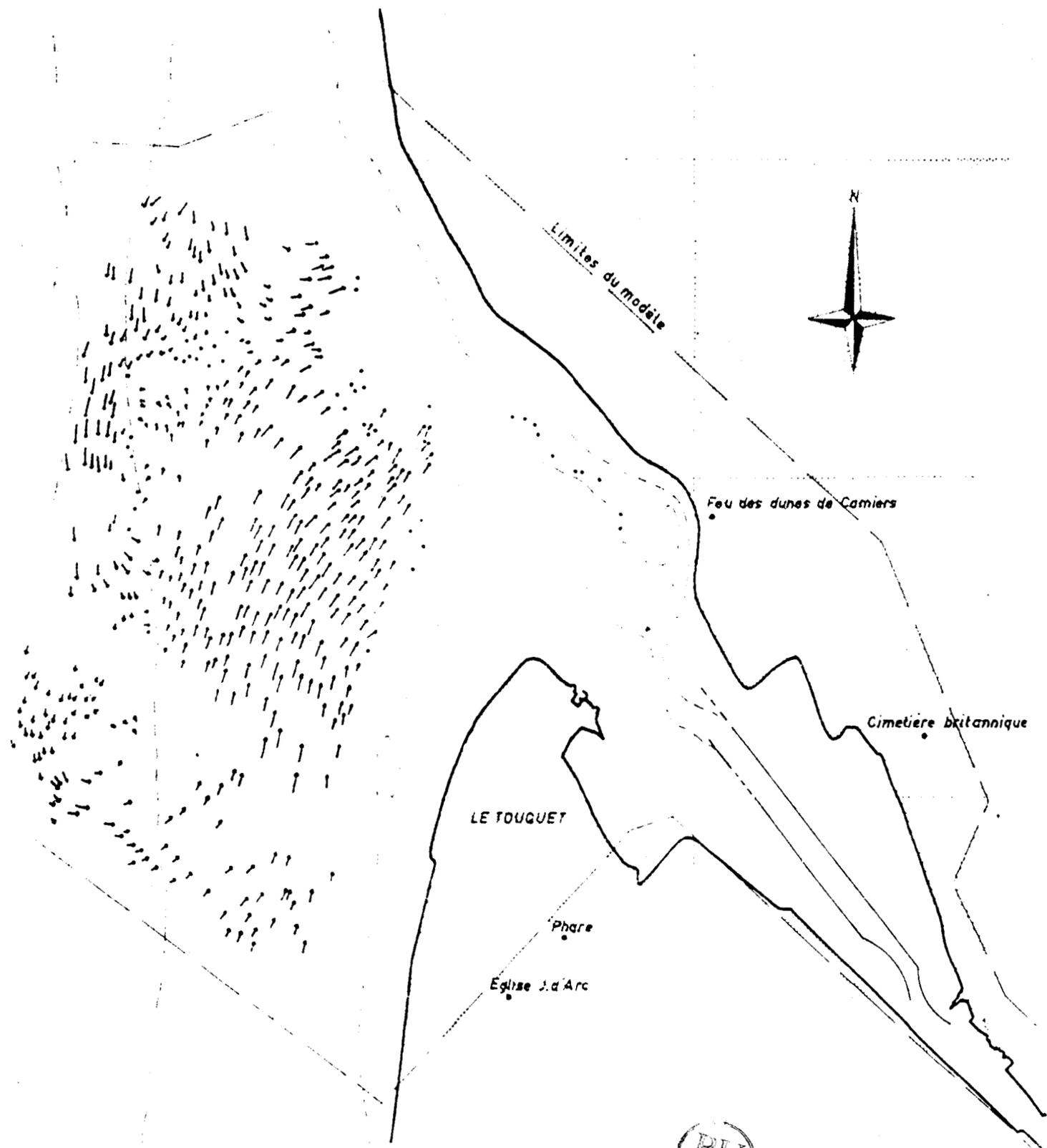
SE



14

ANNEXES

-10 -5 0 +5



ECHELLES

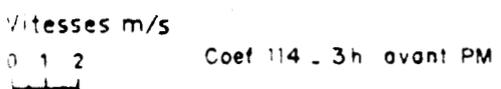
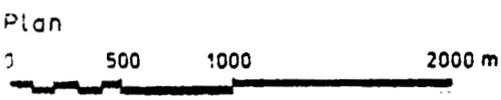
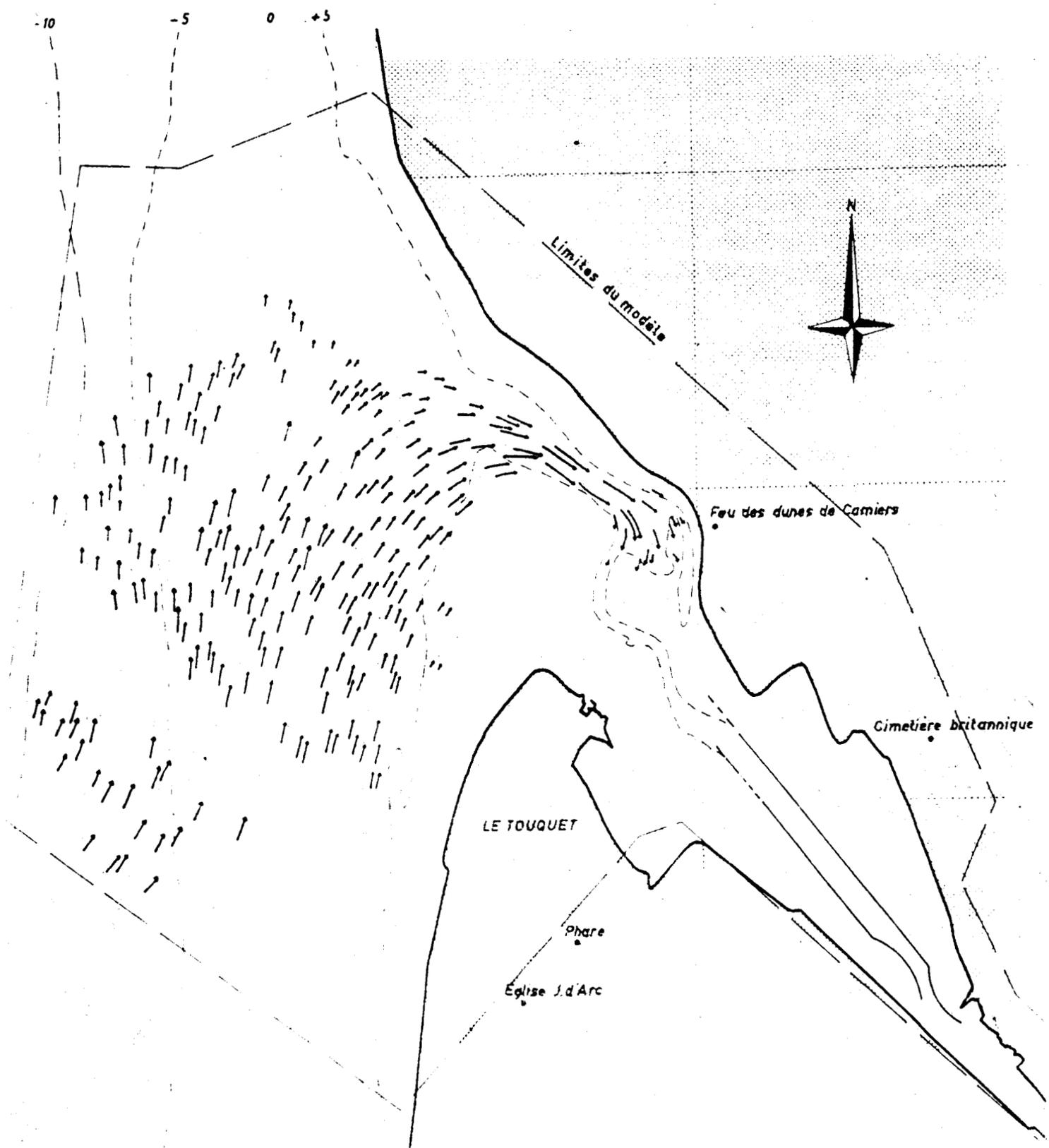
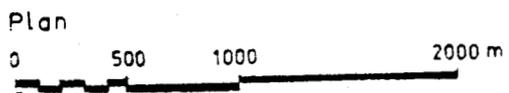


FIGURE 1 : COURANTS DE MAREE A L'EMBOUCHURE DE L'ESTUAIRE DE LA CANCHE PAR GRAND COEFFICIENT (IN BONNEFILLE ET ALLEN, 1967)



ECHELLES



Vitesses m/s

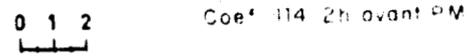
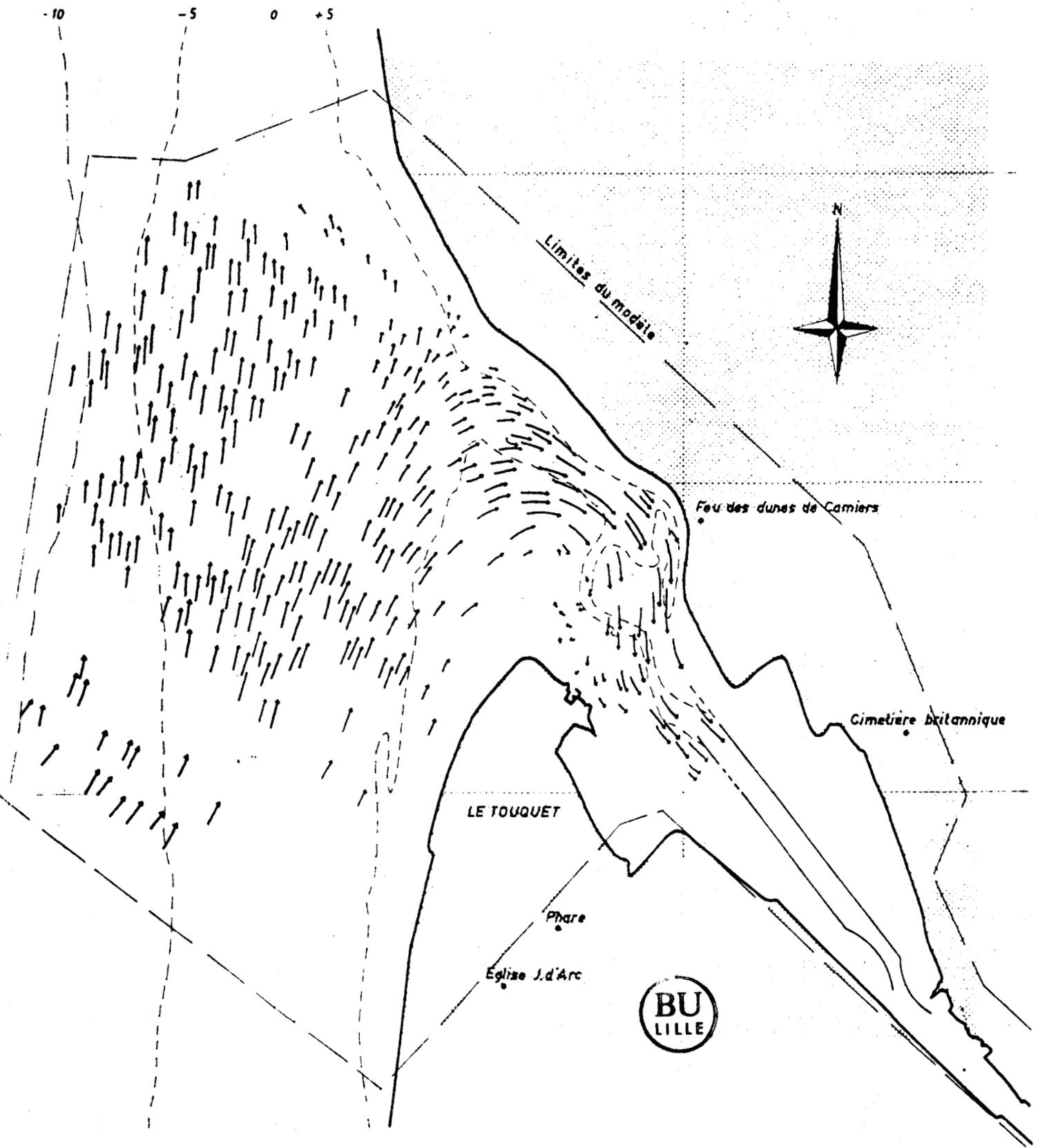
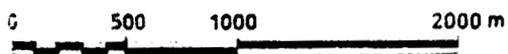


FIGURE II : COURANTS DE MAREE A L'EMBOUCHURE DE L'ESTUAIRE DE LA CANCHE PAR GRAND COEFFICIENT (IN BONNEFILLE ET ALLEN, 1967)



ECHELLES

Plan

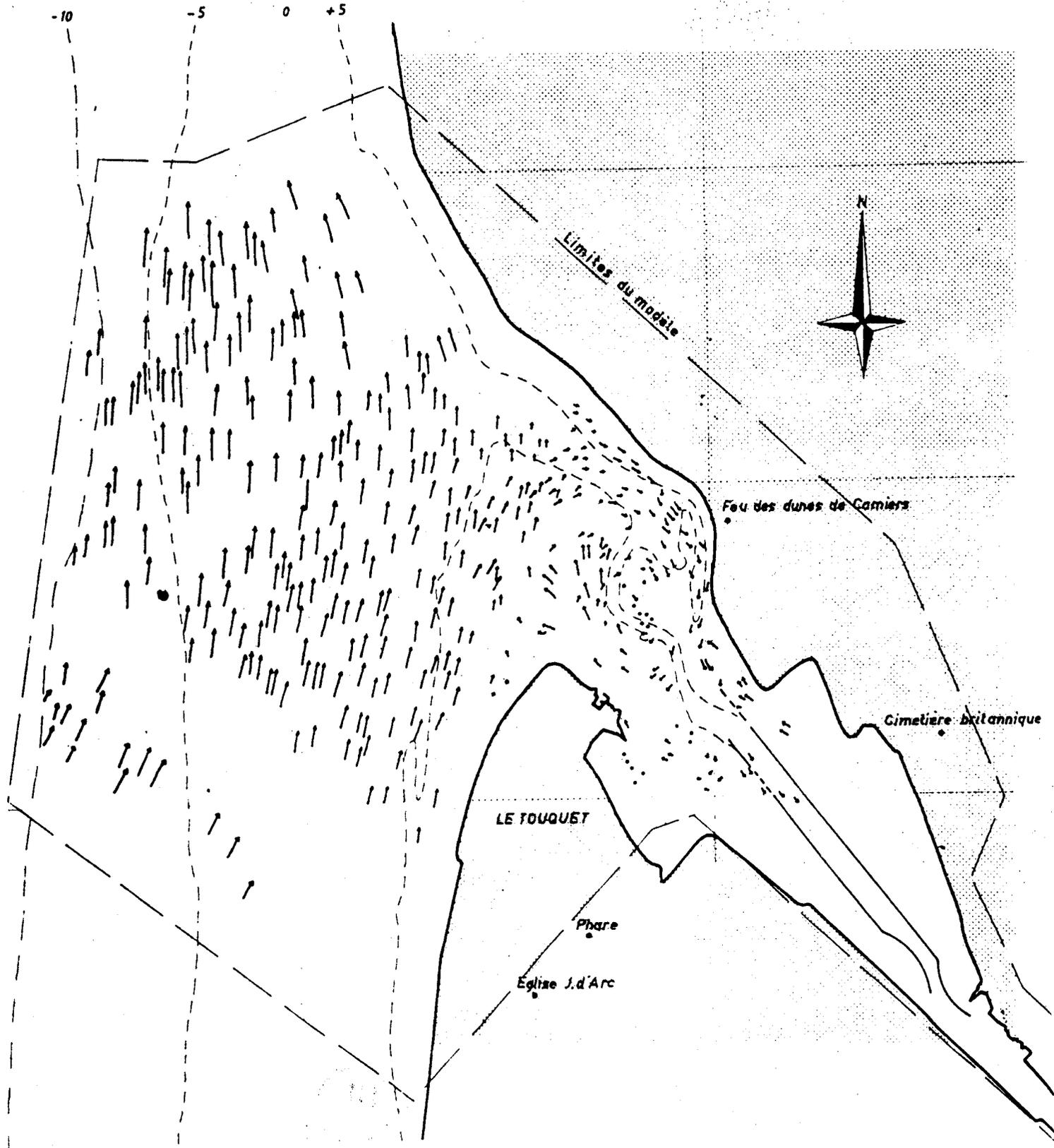


Vitesses m/s



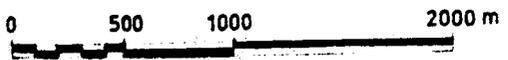
Coef. 114 1h avant PM

FIGURE III : COURANTS DE MAREE A L'EMBOUCHURE DE L'ESTUAIRE DE LA CANCHE PAR GRAND COEFFICIENT (IN BONNEFILLE ET ALLEN, 1967)



ECHELLES

Plan

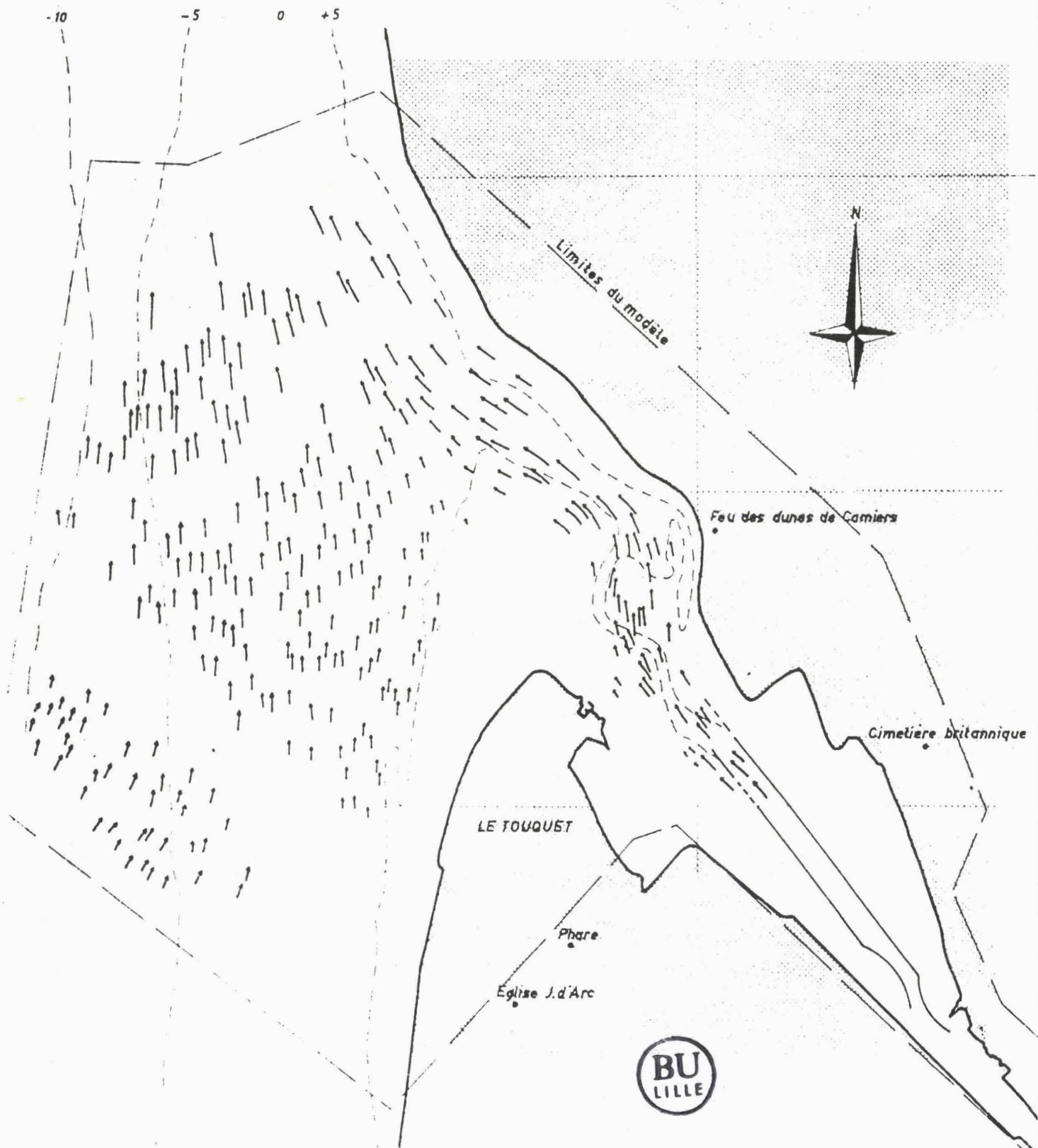


Vitesses m/s



Coef. 114 . PM

FIGURE IV : COURANTS DE MAREE A L'EMBOUCHURE DE L'ESTUAIRE DE LA CANCHE PAR GRAND COEFFICIENT (IN BONNEFILLE ET ALLEN, 1967)



ECHELLES

Plan



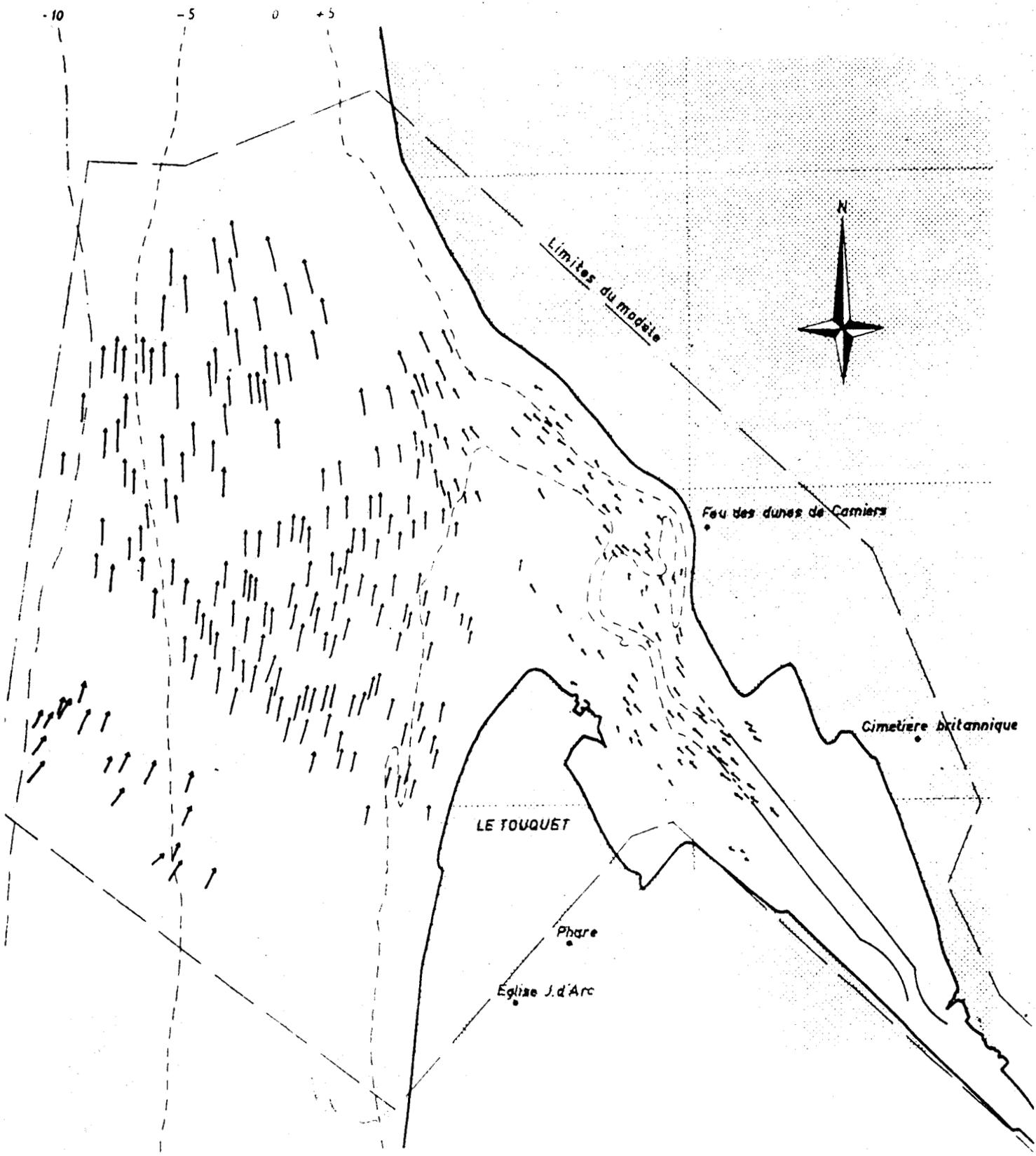
Vitesses m/s

0 1 2

Coef. 114. 2h après PM

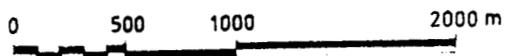


FIGURE V : COURANTS DE MAREE A L'EMBOUCHURE DE L'ESTUAIRE DE LA CANCHE PAR GRAND COEFFICIENT (IN BONNEFILLE ET ALLEN, 1967)



ECHELLES

Plan



Vitesses m/s

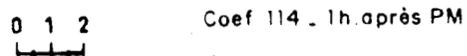
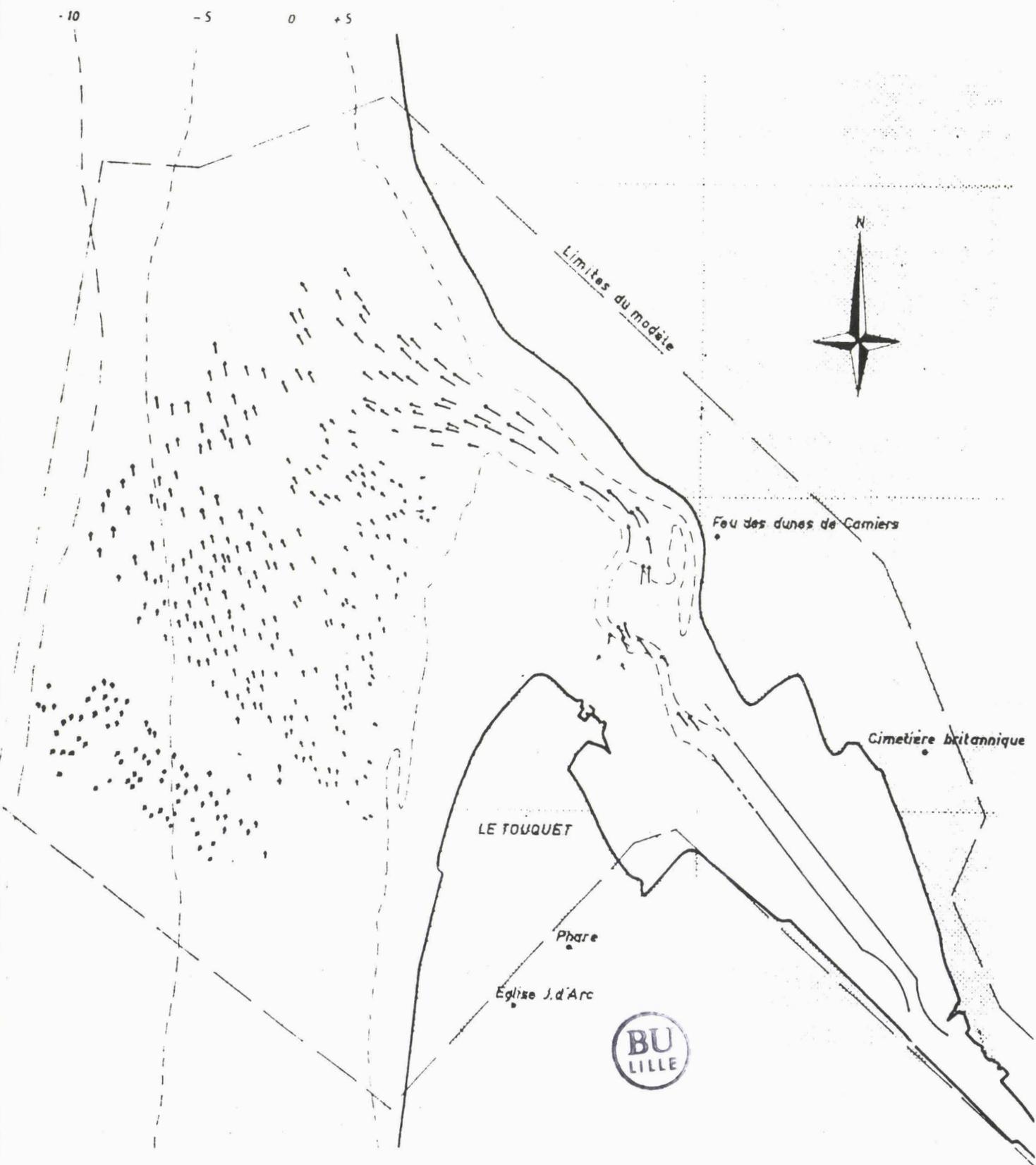


FIGURE VI : COURANTS DE MAREE A L'EMBOUCHURE DE L'ESTUAIRE DE LA CANCHE PAR GRAND COEFFICIENT (IN BONNEFILLE ET ALLEN, 1967)



ECHELLES

Plan



Vitesses m/s

0 1 2 Coef. 114 3h après PM



FIGURE VII : COURANTS DE MAREE A L'EMBOUCHURE DE L'ESTUAIRE DE LA CANCHE PAR GRAND COEFFICIENT (IN BONNEFILLE ET ALLEN, 1967)

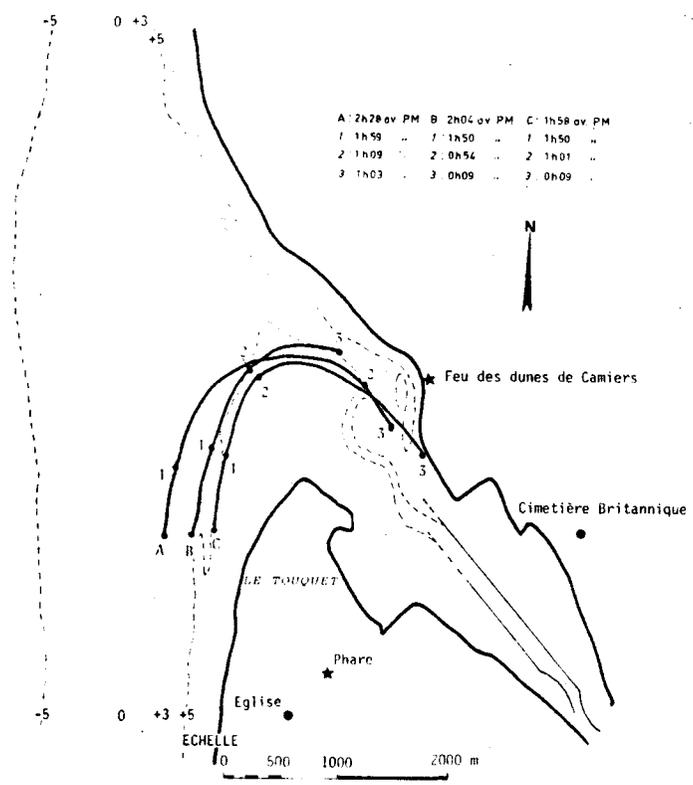


FIGURE VIII : TRAJECTOIRES DE FLOTTEURS D'APRES BONNEFILLE ET ALLEN (1970), MAREE DE COEFFICIENT 76

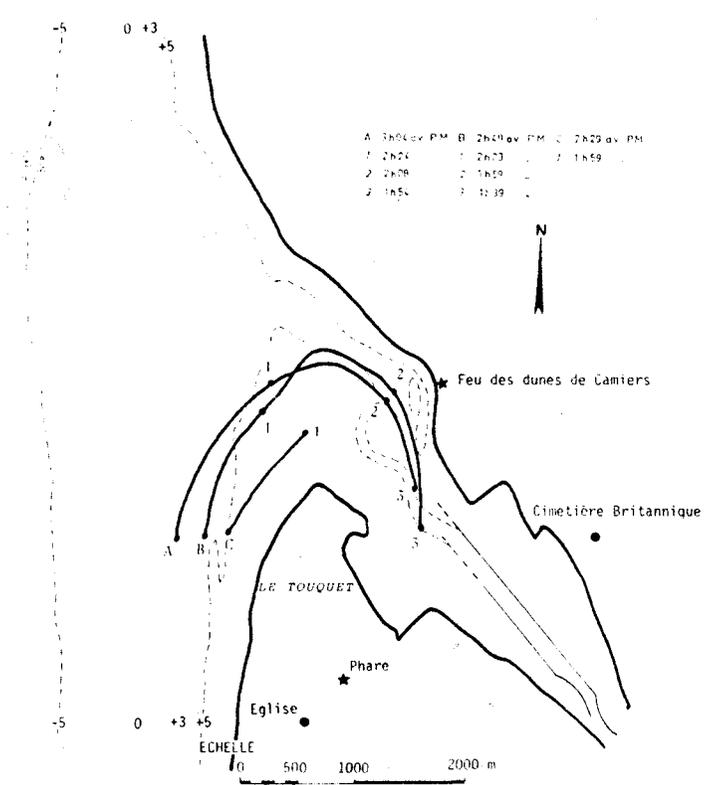


FIGURE IX : TRAJECTOIRES DE FLOTTEURS D'APRES BONNEFILLE ET ALLEN (1970), MAREE DE COEFFICIENT 107

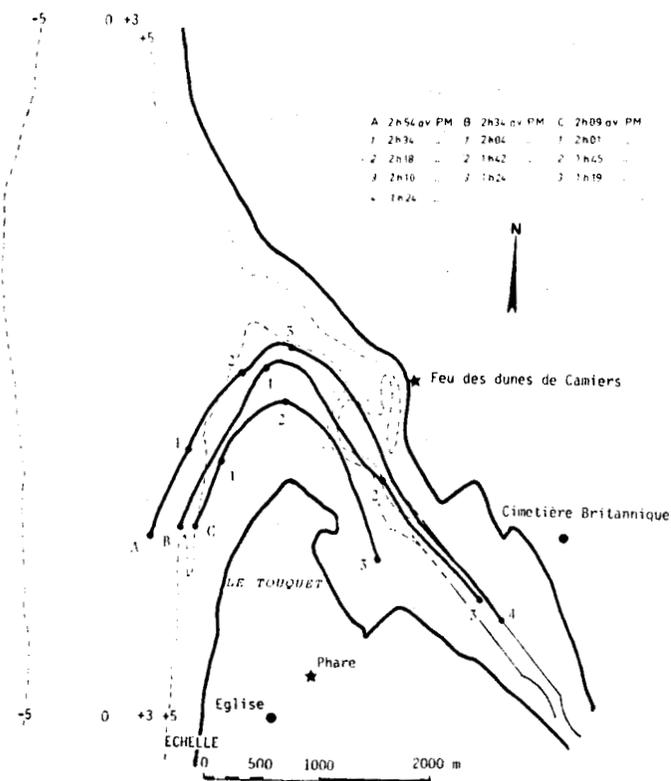


FIGURE X : TRAJECTOIRES DE FLOTTEURS D'APRES BONNEFILLE ET ALLEN (1970), MAREE DE COEFFICIENT 84

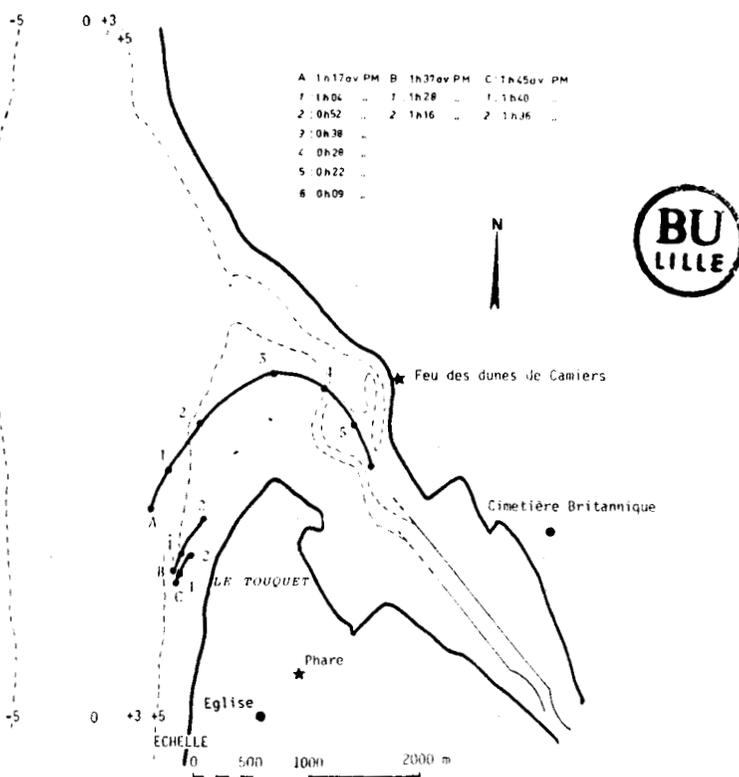


FIGURE XI : TRAJECTOIRES DE FLOTTEURS D'APRES BONNEFILLE ET ALLEN (1970), MAREE DE COEFFICIENT 116

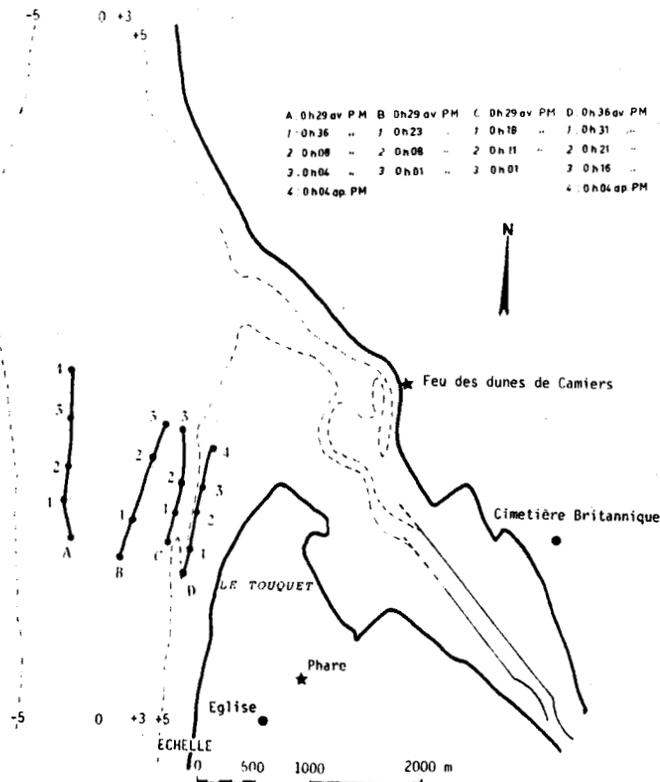


FIGURE XII : TRAJECTOIRES DE FLOTTEURS D'APRES BONNEFILLE ET ALLEN (1970), MAREE DE COEFFICIENT 50

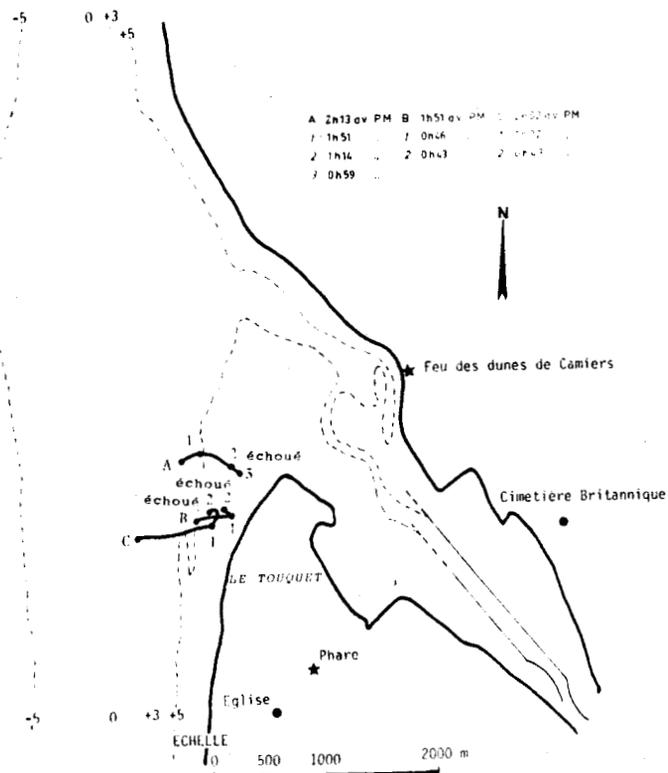


FIGURE XIII : TRAJECTOIRES DE FLOTTEURS D'APRES BONNEFILLE ET ALLEN (1970), MAREE DE COEFFICIENT 46

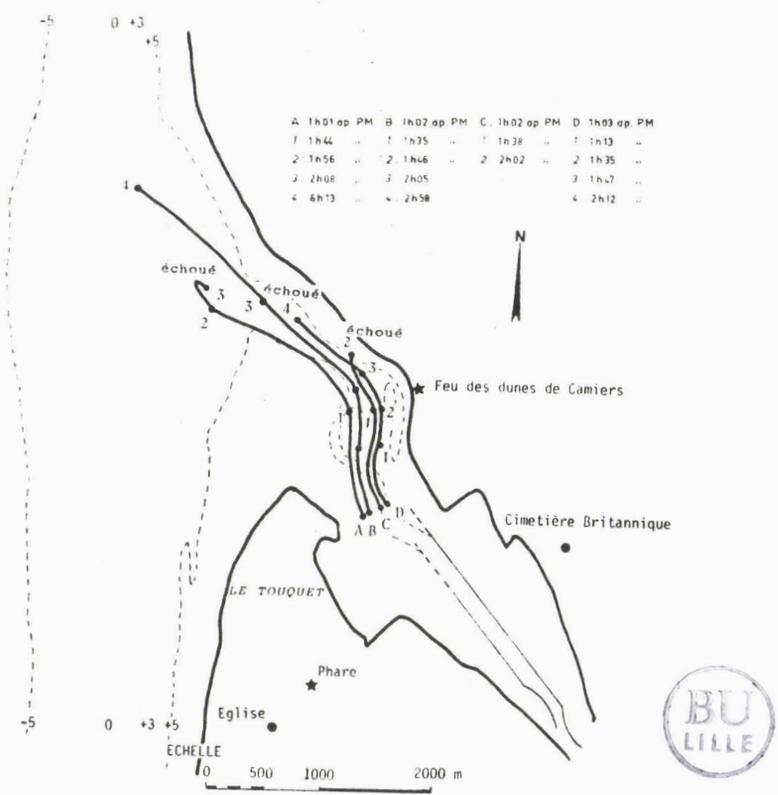


FIGURE XIV : TRAJECTOIRES DE FLOTTEURS D'APRES BONNEFILLE ET ALLEN (1970), MAREE DE COEFFICIENT 60

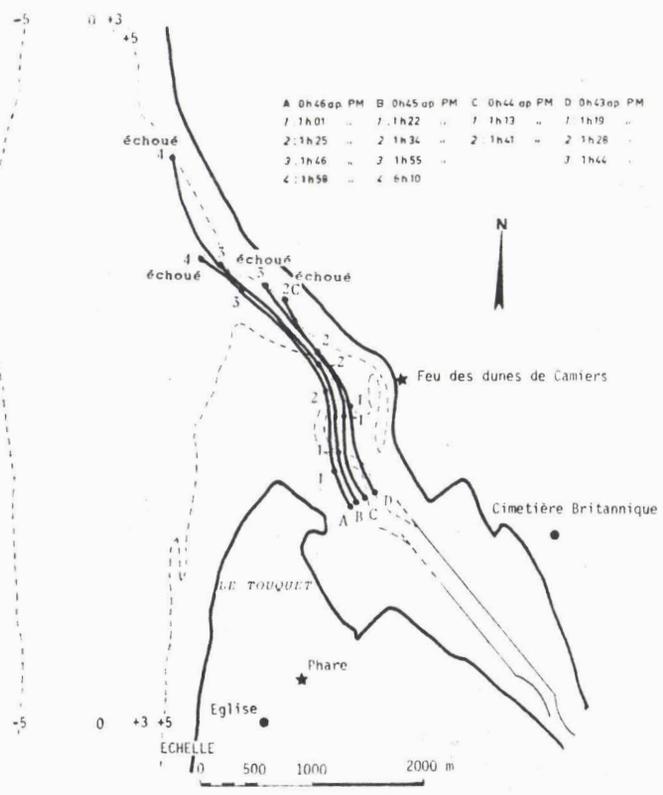


FIGURE XV : TRAJECTOIRES DE FLOTTEURS D'APRES BONNEFILLE ET ALLEN (1970), MAREE DE COEFFICIENT 74

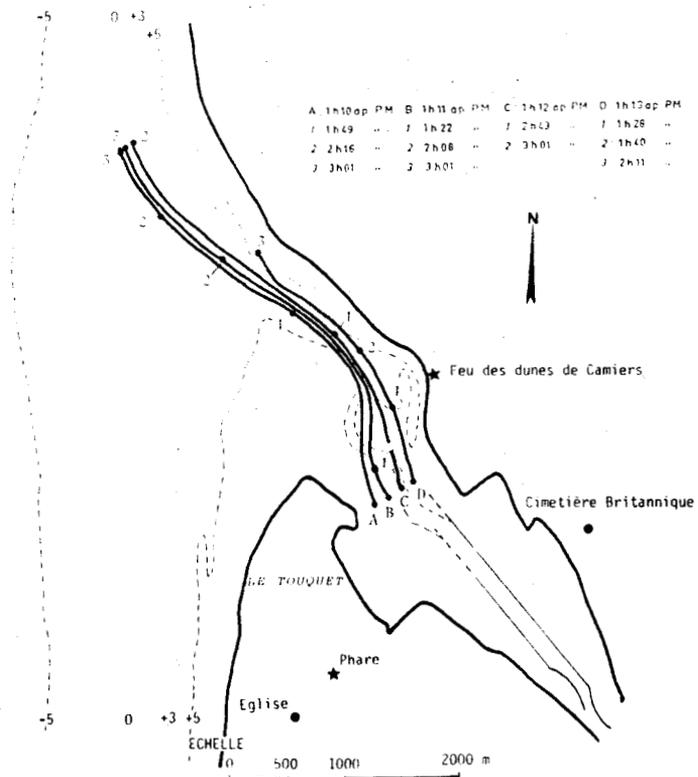


FIGURE XVI : TRAJECTOIRES DE FLOTTEURS D'APRES BONNEFILLE ET ALLEN (1970), MAREE DE COEFFICIENT 106

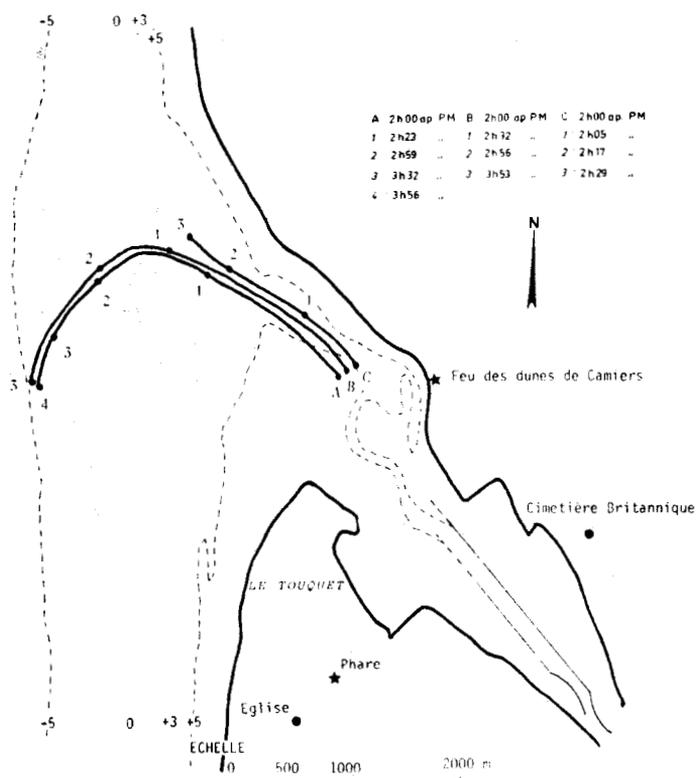


FIGURE XVII : TRAJECTOIRES DE FLOTTEURS D'APRES BONNEFILLE ET ALLEN (1970), MAREE DE COEFFICIENT 119

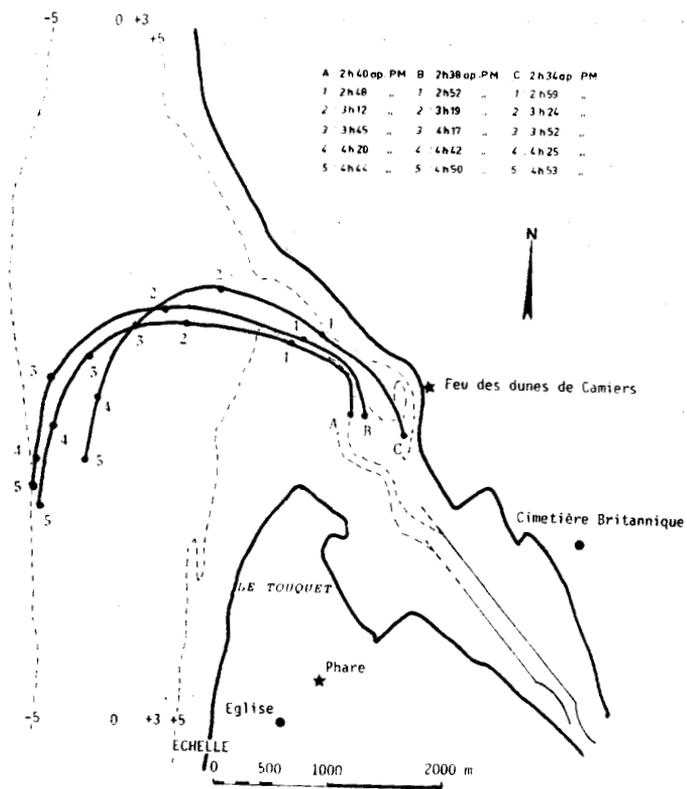


FIGURE XVIII : TRAJECTOIRES DE FLOTTEURS D'APRES BONNEFILLE ET ALLEN (1970), MAREE DE COEFFICIENT 116

NORD

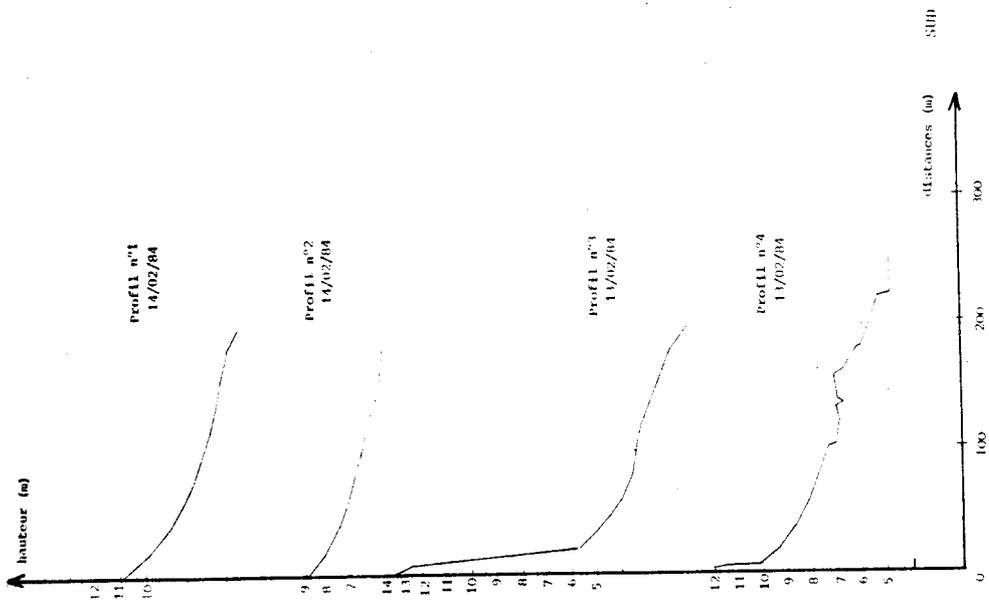


FIGURE XXI : LEVES TOPOGRAPHIQUES EFFECTUES SUR LES PLAGES DE SAINT-GABRIEL ET DE SAINTE-CECILE (MAI, JUILLET 1985)

NORD

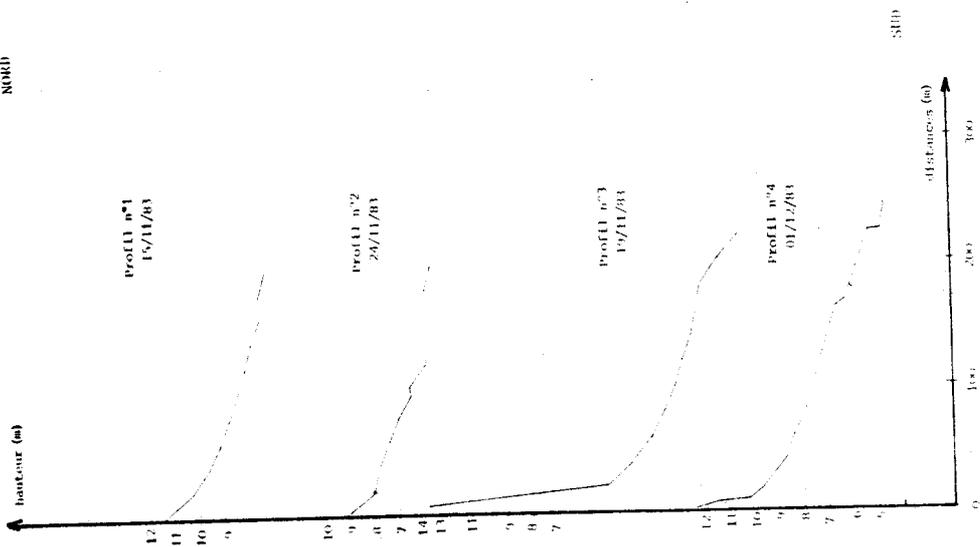


FIGURE XIX : LEVES TOPOGRAPHIQUES EFFECTUES SUR LES PLAGES DE SAINT-GABRIEL ET DE SAINTE-CECILE (NOV., DEC., 1983)

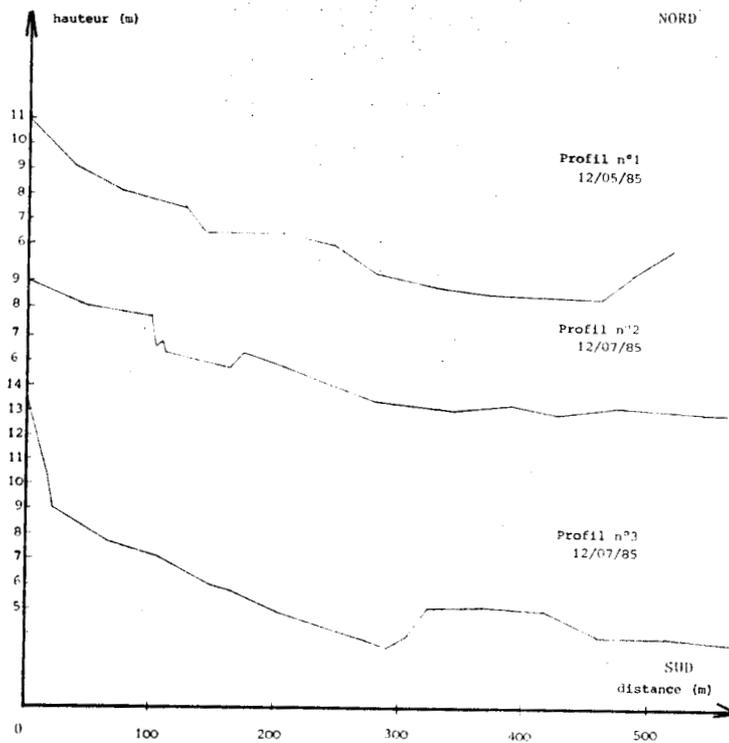


FIGURE XX : LEVES TOPOGRAPHIQUES EFFECTUES SUR LES PLAGES DE SAINT-GABRIEL ET DE SAINTE-CECILE (FEVRIER 1984)

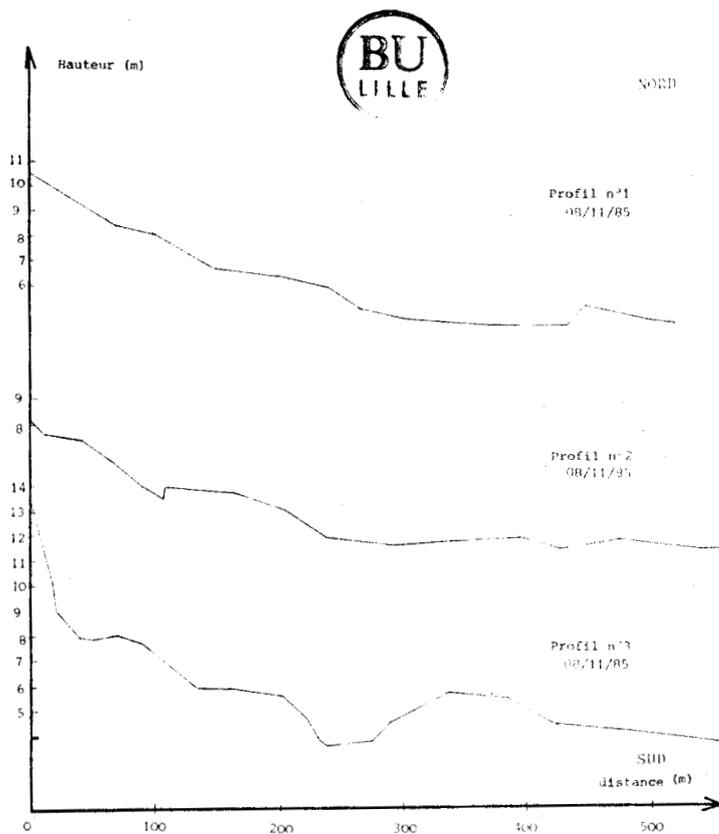


FIGURE XXII : LEVES TOPOGRAPHIQUES EFFECTUES SUR LES PLAGES DE SAINT-GABRIEL ET DE SAINTE-CECILE (NOVEMBRE 1985)

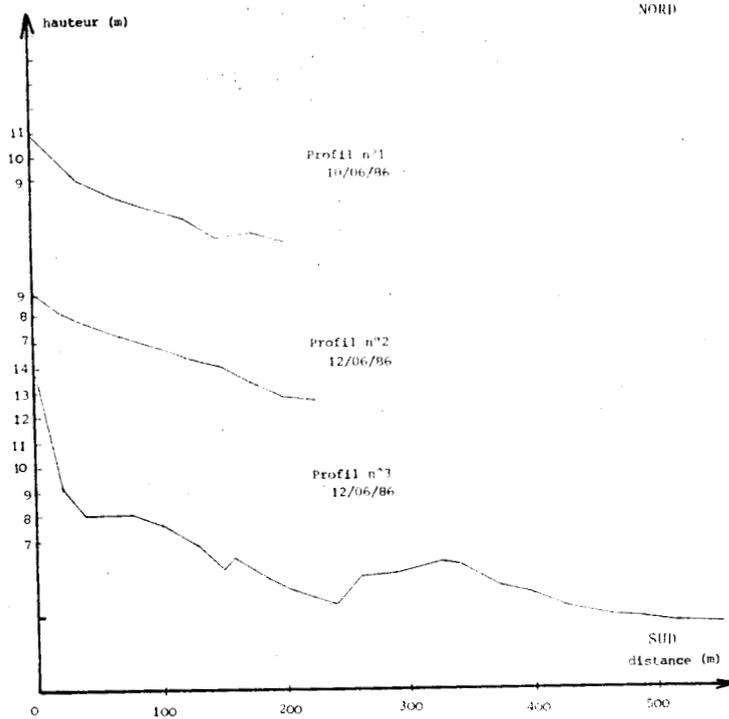


FIGURE XXIII : LEVES TOPOGRAPHIQUES EFFECTUES SUR LES PLAGES DE SAINT-GABRIEL ET DE SAINTE-CECILE (JUN 1986)

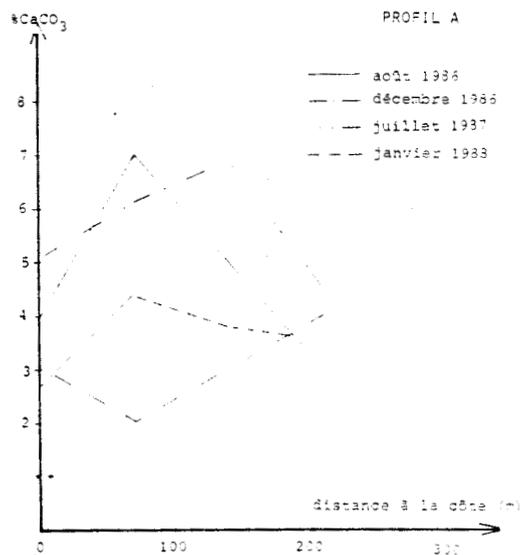


FIGURE XXIV: VARIATION DES PROPORTIONS EN CaCO_3 SUR LE PROFIL A



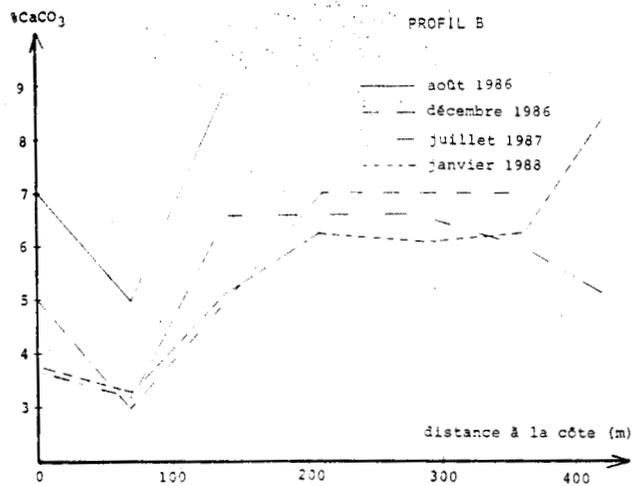


FIGURE XXV : VARIATION DES PROPORTIONS DE CaCO_3 SUR LE PROFIL B

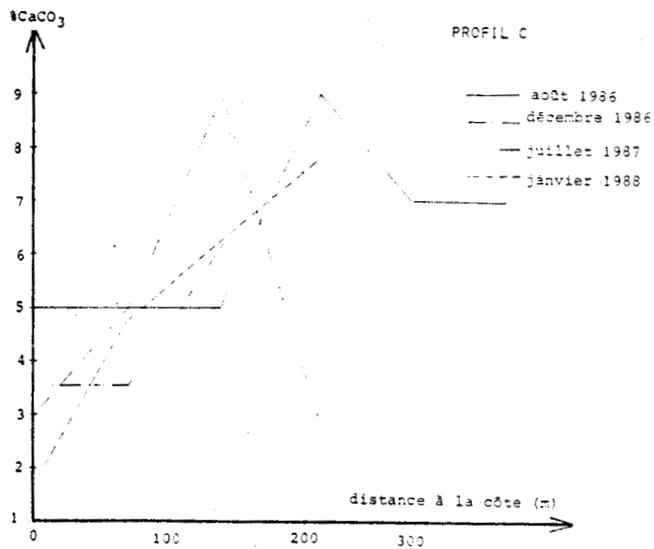


FIGURE XXVI : VARIATION DES PROPORTIONS DE CaCO_3 SUR LE PROFIL C

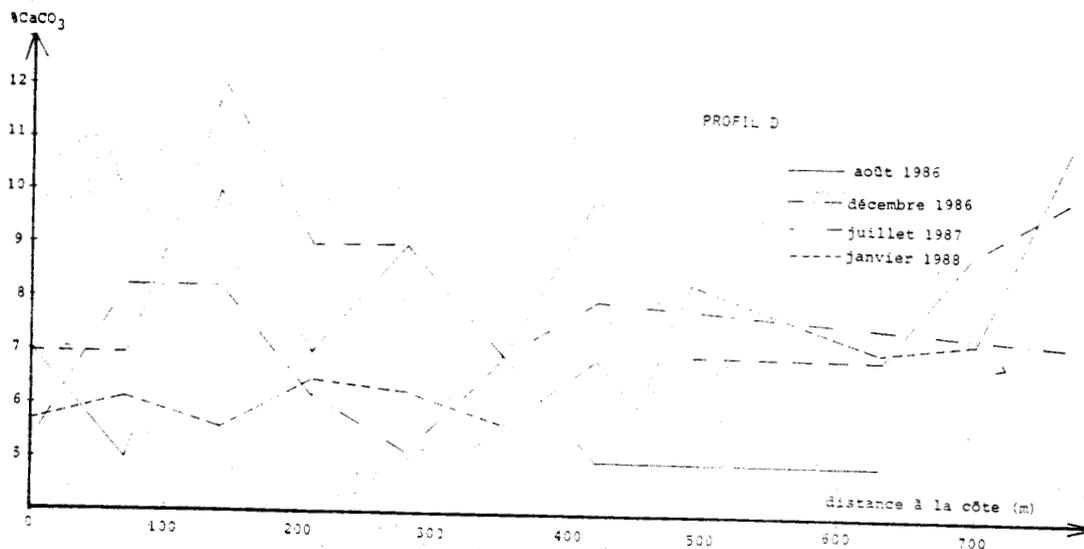


FIGURE XXVII : VARIATION DES PROPORTION DE CaCO_3 SUR LE PROFIL D

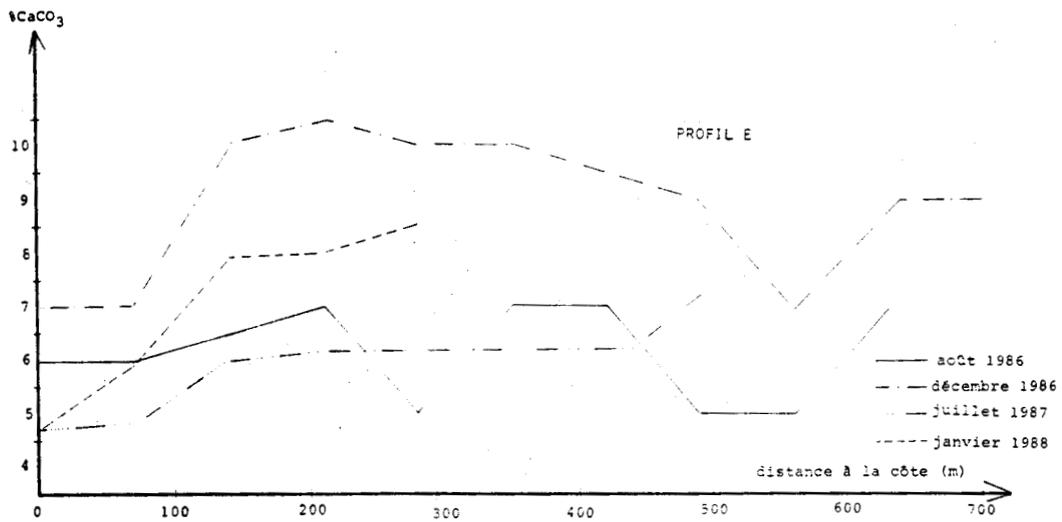


FIGURE XXVIII : VARIATION DES PROPORTIONS DE CaCO_3 SUR LE PROFIL E

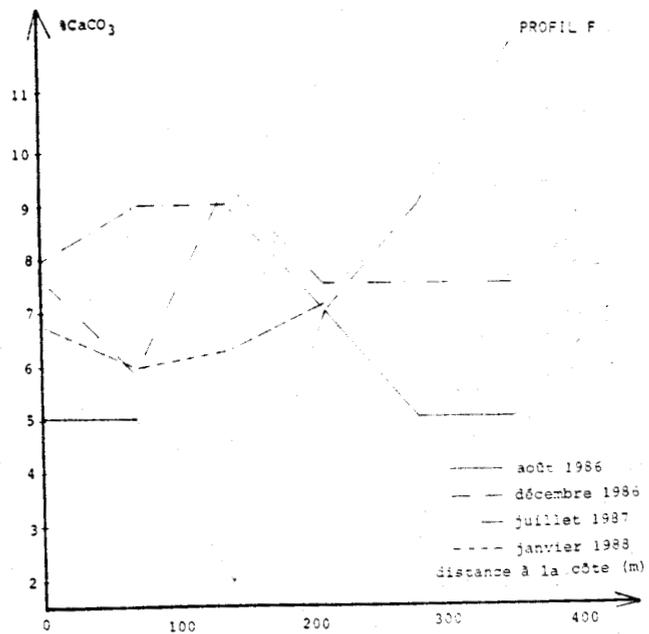


FIGURE XXIX : VARIATION DES PROPORTIONS DE CaCO_3 SUR LE PROFIL F

