

LE DOMAINE MARIN DU NORD-PAS DE CALAIS

Nature, morphologie et mobilité des fonds

LE DOMAINE MARIN DU NORD-PAS DE CALAIS

Nature, morphologie et mobilité des fonds

par

Claude AUGRIS ⁽¹⁾, Philippe CLABAUT ⁽²⁾ ⁽³⁾ et Olivier VICAIRE ⁽³⁾

(1) IFREMER - Département Géosciences marines
BP 70
29280 PLOUZANE - FRANCE

(2) Géologue Consultant
190, route de Lezennes
59650 VILLENEUVE D'ASCQ - FRANCE

(3) Université des Sciences et Techniques de Lille - Flandres Artois
Laboratoire de Dynamique sédimentaire et Structurale
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX - FRANCE

Juillet 1990

Je n'en puis plus d'aimer l'infini paysage,
Sauvagerie des vents et de la mer,
Ton coeur brassé de sable, brasé de ces gris pourpre,
O ma Flandre de ciel !

Flandre à coeur, Emmanuel LOOTEN, Anvers, 1970.

LE DOMAINE MARIN DU NORD-PAS DE CALAIS

Nature, morphologie et mobilité des fonds

Préface

Territoire mouvant au gré du vent et des marées, le domaine de la mer reste encore, malgré les convoitises et les intérêts, mal connu.

Innombrables sont les curiosités des fonds marins et les phénomènes qui régissent leur variété et leur originalité.

Ceux du Nord-Pas de Calais n'échappent pas à cette particularité, avec la caractéristique d'occuper la partie méridionale du détroit entre la Manche et la Mer du Nord, lieu important d'échanges et de communications.

Dans ce cadre si spécifique, des études géologiques ont été menées ces dernières années afin de mieux appréhender l'architecture et l'évolution des ensembles sous-marins.

Le document présenté ici fait la synthèse de ces recherches. Pour qu'elle soit tout à fait complète, les auteurs n'ont pas voulu s'arrêter à un inventaire des différents composants, de leur agencement et de leur mobilité, mais ont souhaité expliquer et faciliter, pour le plus grand nombre, l'accès aux résultats obtenus.

Nous souhaitons que chacun y trouve l'information utile à l'exercice de sa profession, voire de ses loisirs.



Noël JOSEPHE
Président du Conseil Régional
du Nord-Pas de Calais



Pierre PAPON
Président Directeur Général
de l'IFREMER

SOMMAIRE

7 INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE : 9 LE MILIEU NATUREL

- 12 Le domaine marin
 - 13 Le littoral
-

DEUXIEME PARTIE : 15 LES FONDS MARINS

- 18 Les méthodes de reconnaissance en mer
 - 18 *le sonar à balayage latéral*
 - 22 *les prélèvements de sédiments*
 - 23 *la prospection vidéo et la plongée*
 - 24 La nature et la morphologie des fonds marins
 - 24 *le substratum rocheux*
 - 26 *la couverture sédimentaire meuble*
 - 37 Conclusion
-

TROISIEME PARTIE : 39 LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE ET L'EVOLUTION

- 42 Les indicateurs et les techniques
 - 42 *les indicateurs morphologiques*
 - 43 *les indicateurs sédimentologiques*
 - 43 *les indicateurs courantologiques*
 - 45 *la quantification des transits sédimentaires*
 - 47 La mobilité des sédiments et l'évolution des corps sableux
 - 47 *la façade ouest*
 - 52 *la façade nord*
 - 61 Conclusion
-

QUATRIEME PARTIE : 63 L'APPORT AUX ACTIVITES MARITIMES

- 66 L'exploitation des ressources marines
 - 69 Les activités portuaires
 - 70 L'équipement des fonds marins
 - 71 La protection de l'environnement marin
 - 72 La protection et l'aménagement du domaine côtier
 - 77 Conclusion
-

79 CONCLUSION GENERALE

- 83 Références bibliographiques
 - 87 Le domaine marin du Nord-Pas de Calais en chiffres
 - 91 Renseignements complémentaires
-

INTRODUCTION

Les fonds marins proches des côtes ont longtemps été considérés comme le prolongement monotone du relief littoral. La plupart des documents cartographiques ne font d'ailleurs pas de mention particulière de la composition et du modelé sous-marin.

Ce n'est que depuis quelques décennies, au travers des besoins en documents nautiques précis pour la navigation côtière et l'accès aux ports, que les levés hydrographiques ont montré la complexité des formes.

Récemment, grâce au développement de techniques sophistiquées, les fonds marins côtiers sont apparus comme une entité spécifique.

Les études entreprises, ces dernières années, au large des côtes du Nord-Pas de Calais ont conduit à préciser la morphologie particulière en bancs et ont montré sous un jour nouveau la disposition et l'extension des différentes unités ainsi que la dynamique des systèmes sableux.

L'ouvrage présente la synthèse des nombreuses publications : rapports, cartes, thèses d'Université et articles scientifiques, réalisées par les géologues de l'IFREMER et de l'Université de Lille I dans le cadre de la convention de coopération en matière de recherche, signée entre la Région Nord-Pas de Calais et l'IFREMER.

Le document, structuré en quatre parties, présente successivement :

- le cadre géographique des reconnaissances et les principales caractéristiques du milieu naturel ;

- la nature et la morphologie des fonds marins, en différenciant les unités rocheuses des ensembles sableux. Pour ces derniers une large description est faite du modelé superficiel des bancs et des formes sédimentaires plus petites, engendrées par l'hydrodynamisme spécifique du détroit du Pas de Calais ;

- la mobilité des sédiments et l'évolution des corps sableux à partir de l'interprétation des images «acoustiques» et des mesures de transport sédimentaire, de l'analyse des échantillons et de l'examen des documents existants ;

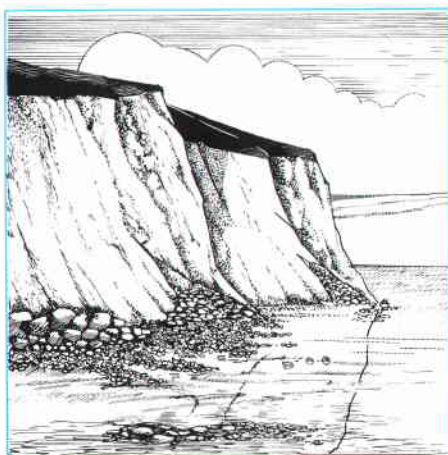
- l'apport des résultats aux utilisateurs du domaine maritime, car ces données modernes sont des informations de base et peuvent se révéler précieuses pour des applications techniques, économiques ou touristiques.

Les résultats et les interprétations sont en outre rassemblés sous forme cartographique : six cartes à l'échelle de 1/200 000 accompagnent le texte (Cartes I à VI).

Les différents travaux récents et les ouvrages de référence sont indiqués en fin de volume ainsi qu'un aperçu, sous forme chiffrée, des caractéristiques principales des fonds marins régionaux.

**PREMIERE
PARTIE**

LE MILIEU NATUREL



Le détroit du Pas de Calais, dont la largeur minimale est de 32 km entre le Cap Gris-Nez et le port de Douvres, met en communication la Manche et la Mer du Nord.

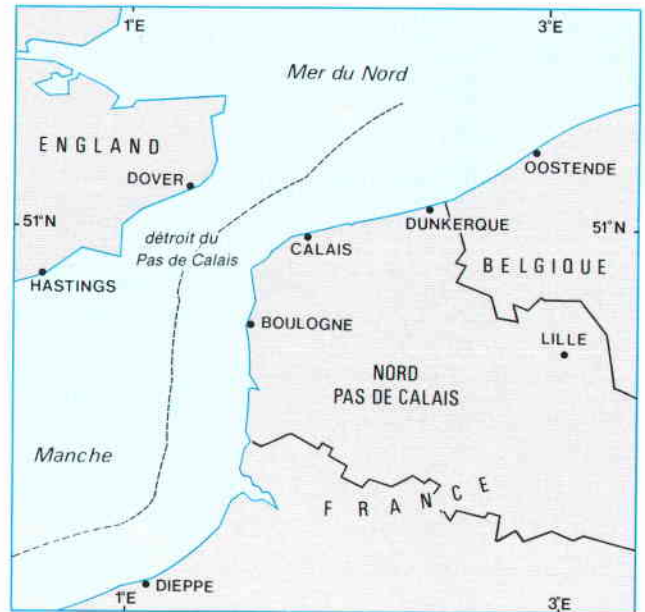


Figure 1 : Cadre géographique.

La façade maritime régionale occupe la partie sud du détroit. Elle s'étend de la Baie d'Authie, au Sud, à la frontière franco-belge, au Nord-Est et, latéralement, de la côte à l'axe médian du détroit, qui limite les eaux territoriales françaises (Fig.1).

L'orientation particulière du littoral régional permet de différencier deux façades quasi-rectilignes :

- **la façade ouest**, orientée N-S, entre la Baie d'Authie et le Cap Gris-Nez ;
- **la façade nord**, orientée SW-NE, entre le Cap Gris-Nez et la frontière franco-belge.

Ces deux façades s'ouvrent respectivement sur la Manche orientale et la Mer du Nord méridionale.

Le domaine marin, spécifique du détroit, se caractérise par :

- **une profondeur faible**, qui n'excède 50 m que dans le chenal du Lobourg, dépression allongée selon un axe nord-sud, sur la façade ouest (Carte 1) ;

- **une morphologie particulière**, dominée par la présence de nombreux bancs sableux : 3 sur la façade ouest, 13 sur la façade nord (Cartes I et II). Ces derniers appartiennent à l'ensemble des Bancs de Flandre, qui se prolonge jusque devant les côtes belges ;

- **un hydrodynamisme fort**, marqué par un marnage important, pouvant atteindre 7,7 m en marée de vive-eau moyenne (coefficient 95). Maximal au Touquet et à Boulogne-sur-mer, il décroît ensuite vers Calais et Dunkerque (Fig.2).

L'onde de marée est soumise à une double

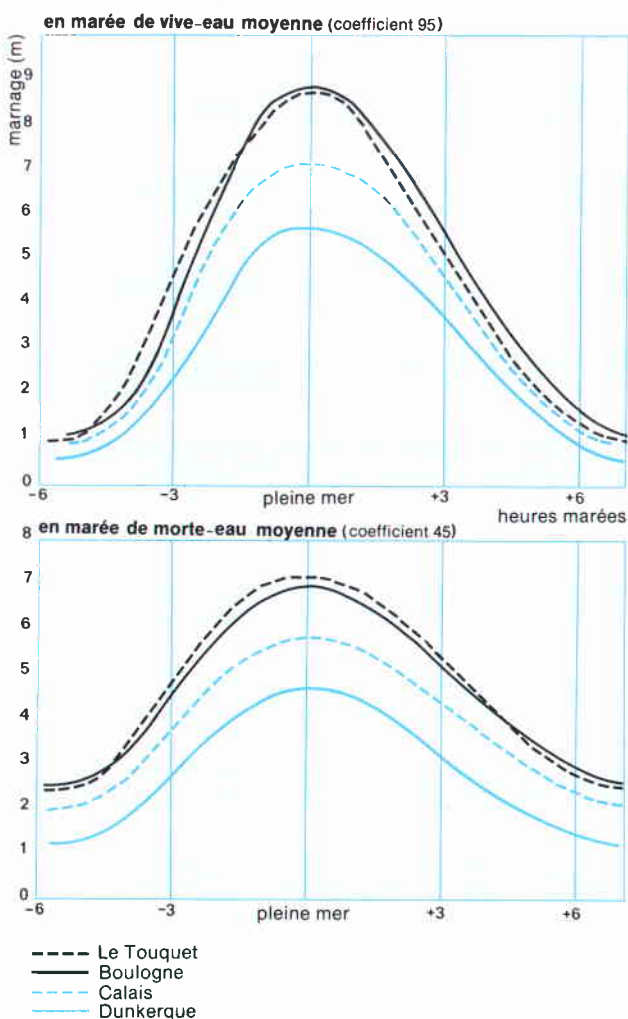
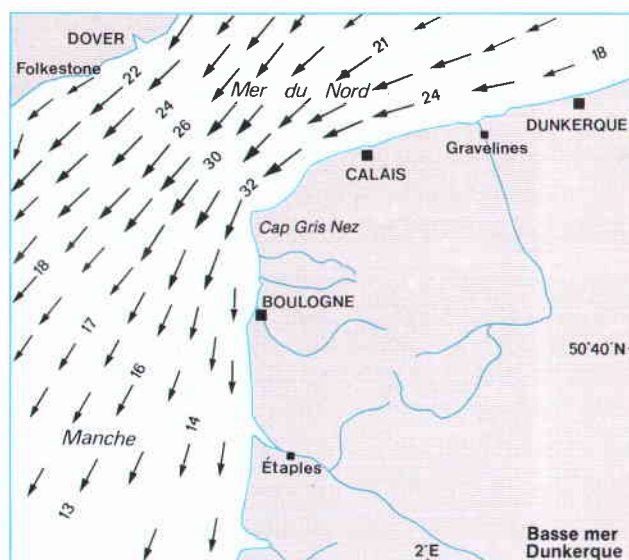


Figure 2 : Courbes de marée caractéristiques (Port de référence : Dunkerque) [1].

périodicité bi-mensuelle (cycle morte-eau/vive-eau) et bi-journalière (cycle pleine mer-basse mer).

La vitesse des courants associés est importante et se renforce du Sud vers le Nord pour atteindre, en marée de vive-eau, 4 noeuds (soit 2 m/s environ) aux abords du Cap Gris-Nez. Ensuite elle diminue vers le NE (Fig. 3).



→ sens du courant
13: vitesse en dixième de noeuds

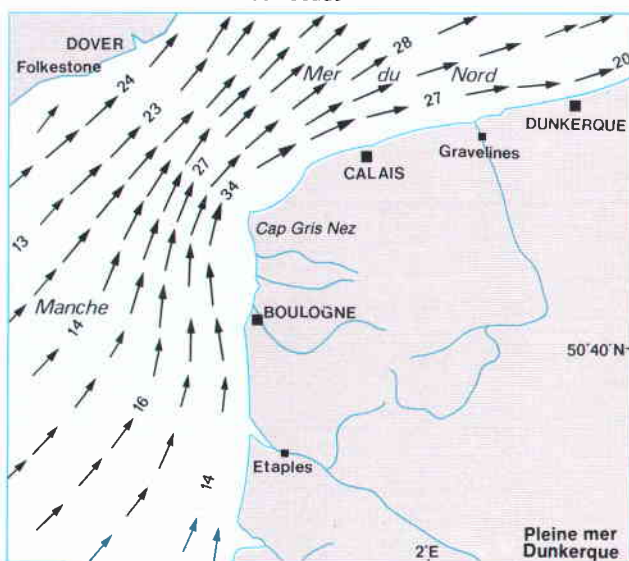


Figure 3 : Cartes des courants de surface dans le détroit du Pas de Calais [2].

Les courants ont un caractère alternatif très marqué : le flot, qui porte vers la Mer du Nord, est diamétralement opposé au jusant, qui porte vers la Manche.

Les vents dominants, de secteurs SW et NE, engendrent des houles de SSW à WSW dominant sur la façade ouest, de N à NW sur la façade nord. Leur période moyenne est de 6 à 6,5 secondes.

Le littoral, d'une longueur totale de 140 km, dont 25% environ urbanisés [3], se compose de deux secteurs sableux encadrant un secteur rocheux (*Cartes I et II*).

- **la partie méridionale**, entre la Baie d'Authie et Equihen, au Sud de Boulogne-sur-mer, est formée de plages bordées par un cordon dunaire large qui se prolonge jusqu'en Baie de Somme.

Ces dunes, appartenant à l'ensemble des dunes picardes, sont échancrées par les estuaires de l'Authie et de la Canche.

- **la partie médiane**, entre Equihen (Cap d'Alprech) et Sangatte (Cap Blanc-Nez), est marquée par des falaises qui s'interrompent à plusieurs niveaux :

- au port de Boulogne-sur-mer, édifié autour de l'estuaire de la Liane ;

- devant les petits estuaires du Wimereux et de la Slack, ce dernier étant bordé dans sa partie sud par un massif dunaire ;

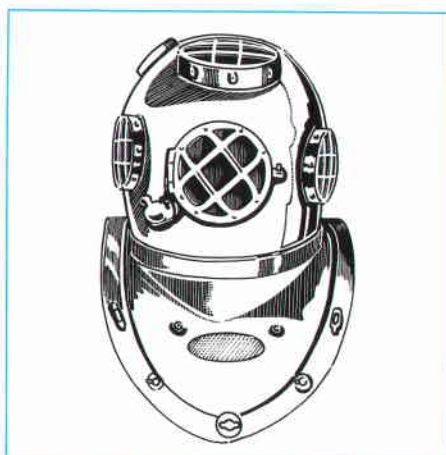
- face à la Baie de Wissant, ourlée par un étroit cordon dunaire, d'une longueur de 4 km, en arrière duquel se trouve le marais de Tardinghen.

- **la partie orientale**, entre Sangatte et la frontière belge, est constituée par de larges plages accompagnées d'un cordon dunaire étroit qui protège la plaine maritime flamande de l'influence marine. Ce cordon, appartenant à l'ensemble des dunes flamandes, est interrompu par le port de Calais, l'estuaire de l'Aa, mais surtout par le complexe industriel et portuaire de Dunkerque qui occupe le littoral sur une longueur de 20 km.

A l'Est de Dunkerque, se succèdent en alternance des secteurs dunaires et urbanisés.

DEUXIEME PARTIE

LES FONDS MARINS



LES METHODES DE RECONNAISSANCE EN MER

La démarche cartographique générale repose essentiellement sur la mise en oeuvre du sonar à balayage latéral et l'analyse d'échantillons récoltés à la benne. Une prospection par méthode vidéo sur quelques secteurs complète les informations morphologiques, de même que les observations et prélèvements en plongée.

LE SONAR A BALAYAGE LATERAL

permet de réaliser en continu la cartographie des fonds marins. Il en fournit une image «acoustique», appelée sonogramme, comparable à une photographie aérienne (Fig. 5).

Il se compose d'un engin remorqué de forme fuselée, nommé «poisson», relié à un enregistreur graphique par l'intermédiaire d'un câble électroporteur. Un enregistreur numérique complète le dispositif et permet le stockage des données sur bande magnétique.

Les sonogrammes indiquent la répartition des différentes formations et la morphologie détaillée du fond. Ils ne donnent, par contre, aucune information sur sa nature, ce qui impose un calibrage des images par des prélèvements ponctuels.

La portée latérale du sonar était fixée, lors des travaux à la mer, à 100 m de part et d'autre du poisson, ce qui donne des enregistrements originaux à l'échelle de 1/1 000.

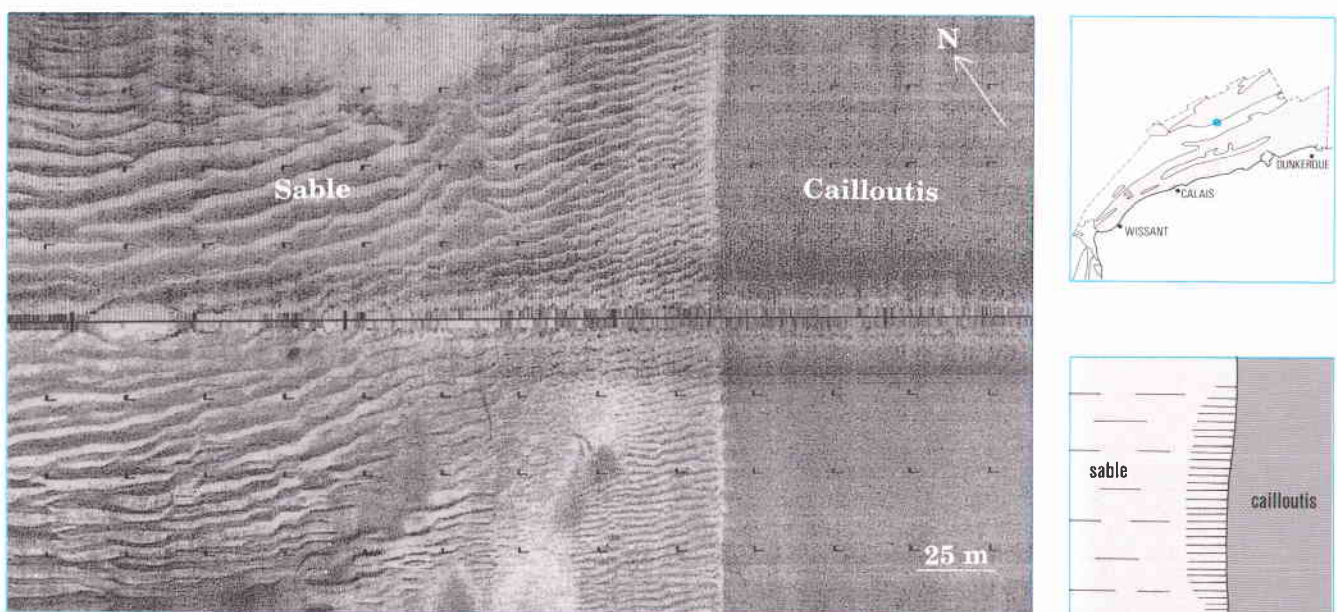
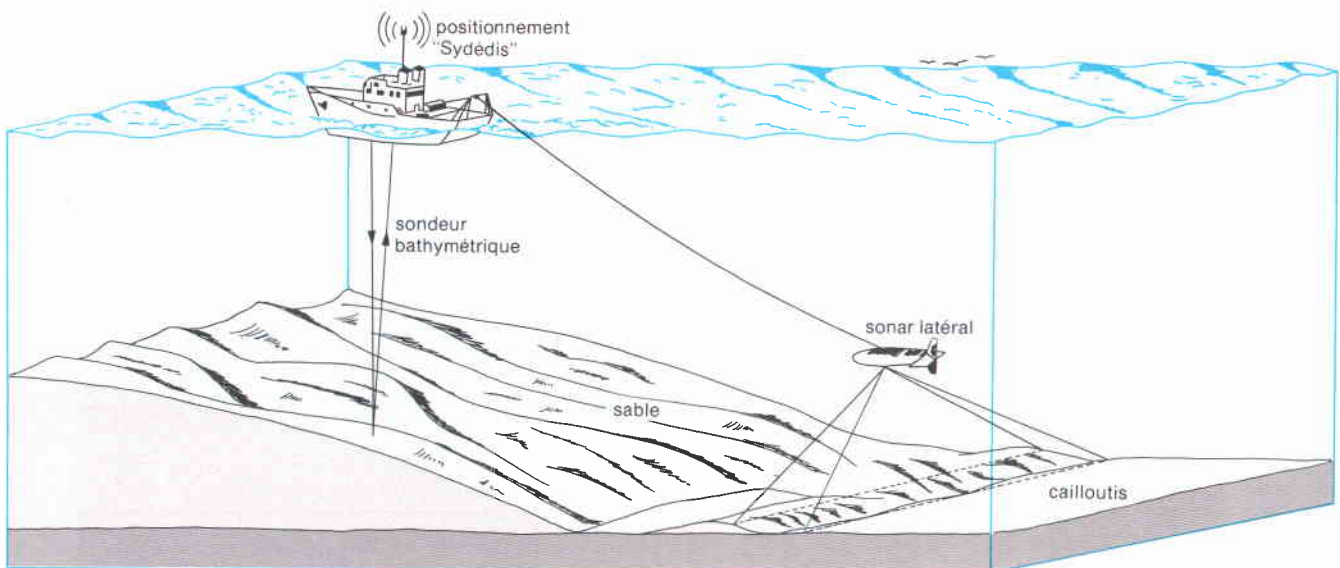


Figure 5 : Schéma de fonctionnement du sonar latéral et exemple d'enregistrement (sonogramme).

Le principe du sonar à balayage latéral repose sur la variation du coefficient de rétrodiffusion du fond. Le signal acoustique, de fréquence 105 kHz, émis par les deux transducteurs logés dans le «poisson», est renvoyé avec plus ou moins d'intensité selon les caractéristiques de nature et de forme du fond (Fig. 6).

L'enregistreur assure plusieurs types de corrections automatiques :

- correction de l'obliquité des rayons liée à l'altitude du poisson par rapport au fond ;
- correction de la compression de l'image par asservissement du déroulement du papier à la vitesse-fond du navire ;
- suppression du trajet des ondes dans l'eau, permettant de juxtaposer les deux voies sur l'enregistrement graphique.

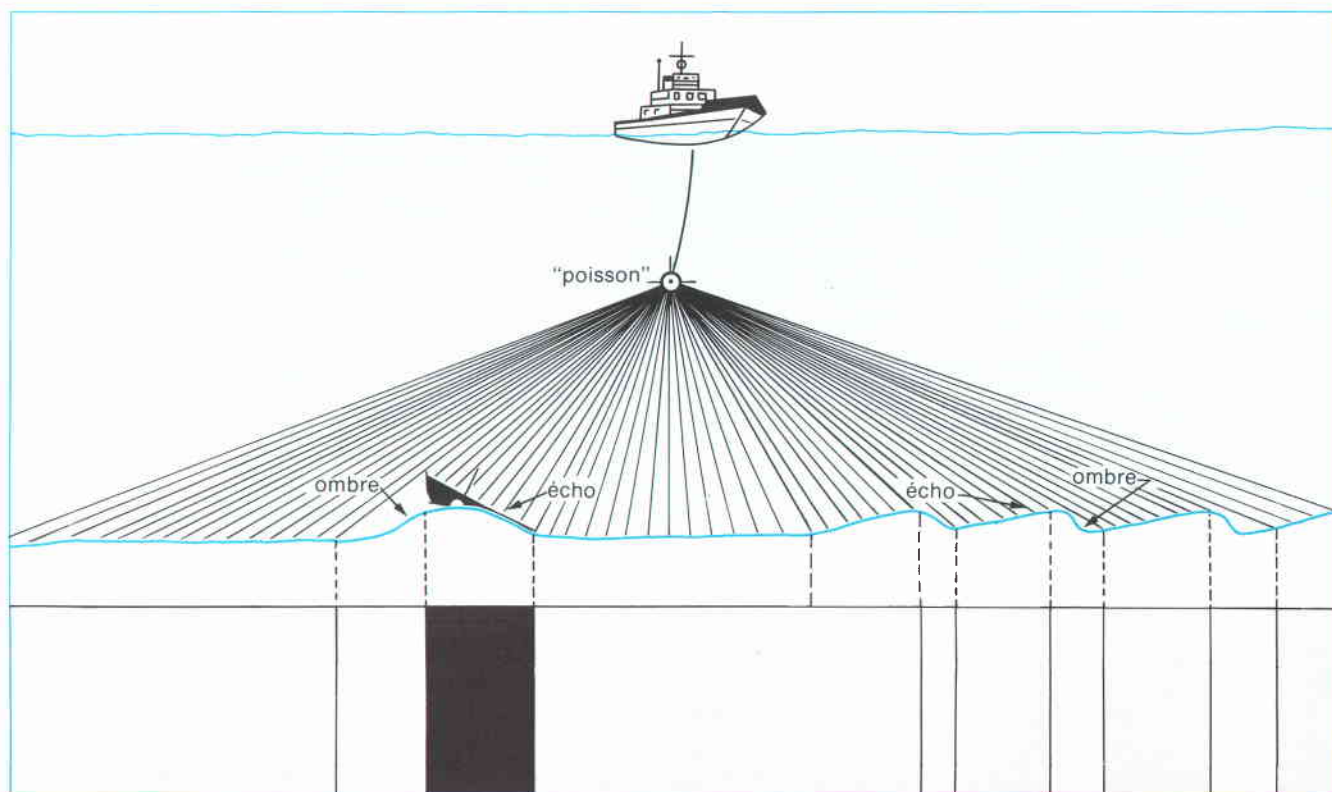


Figure 6 : Mode de formation des images sonar.

Un sondeur bathymétrique fournit simultanément le profil vertical du fond (Fig. 5).

Les sonogrammes présentés dans cette deuxième partie du document sont reproduits à l'échelle de 1/2 500.

Chacun d'entre eux est accompagné d'un schéma de localisation et d'un croquis indiquant le mode de représentation des informations adopté sur les cartes III et IV.

Lors des missions, 2 800 km de profils ont été parcourus ; ce qui correspond à une couverture réelle comprise entre 25% et 50% selon les secteurs (Fig. 7 et 8).

Les corrélations entre profils sont facilitées, dans les secteurs à couverture lâche, par les 900 km de levés bathymétriques complémentaires. L'ensemble des routes a été repéré grâce au système de radiolocalisation SYLEDIS, spécialement implanté pour la circonstance ; sa précision est de l'ordre de quelques mètres.

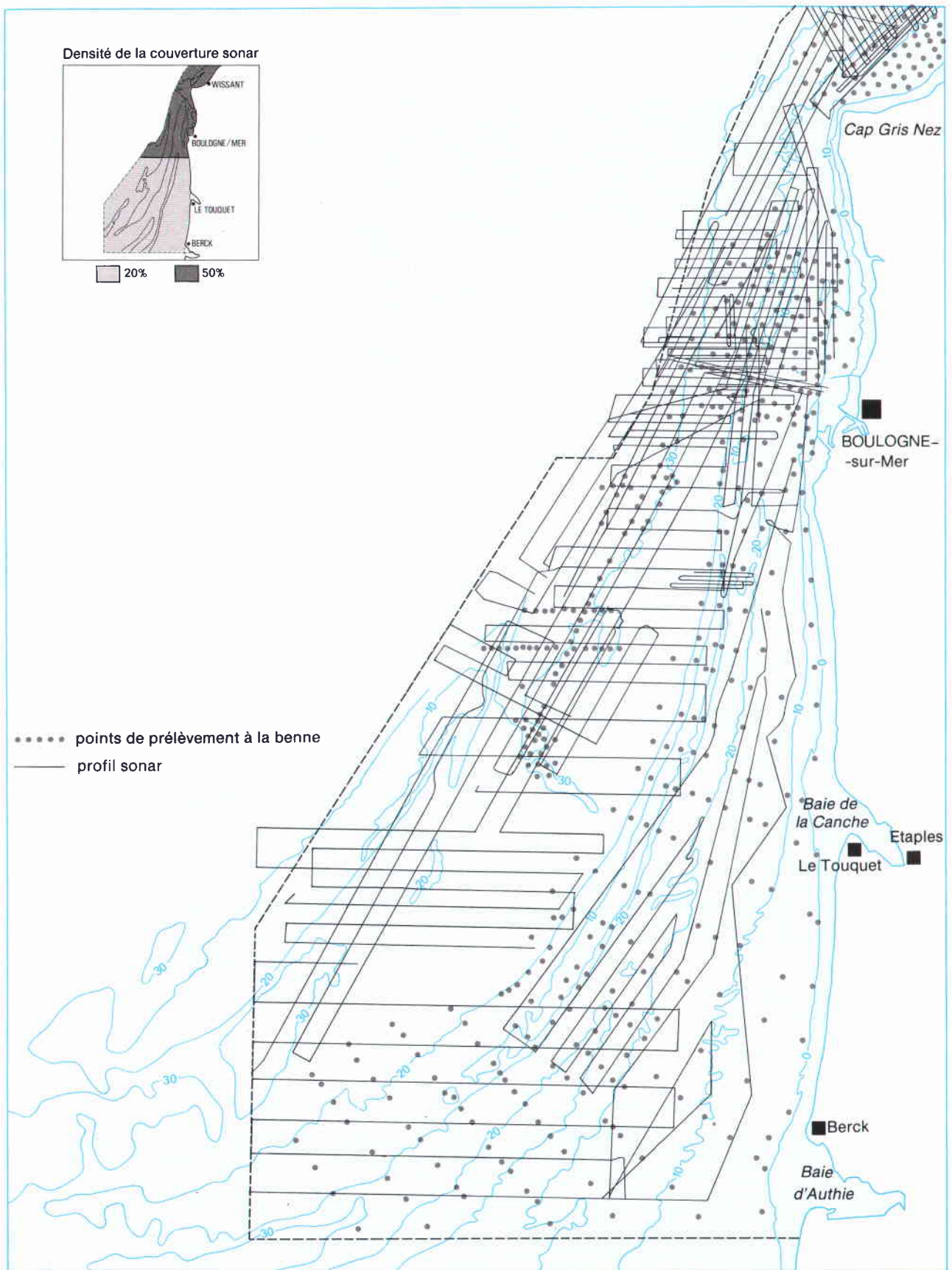


Figure 7 : Carte des routes suivies avec le sonar latéral et des prélèvements de sédiment (façade ouest).

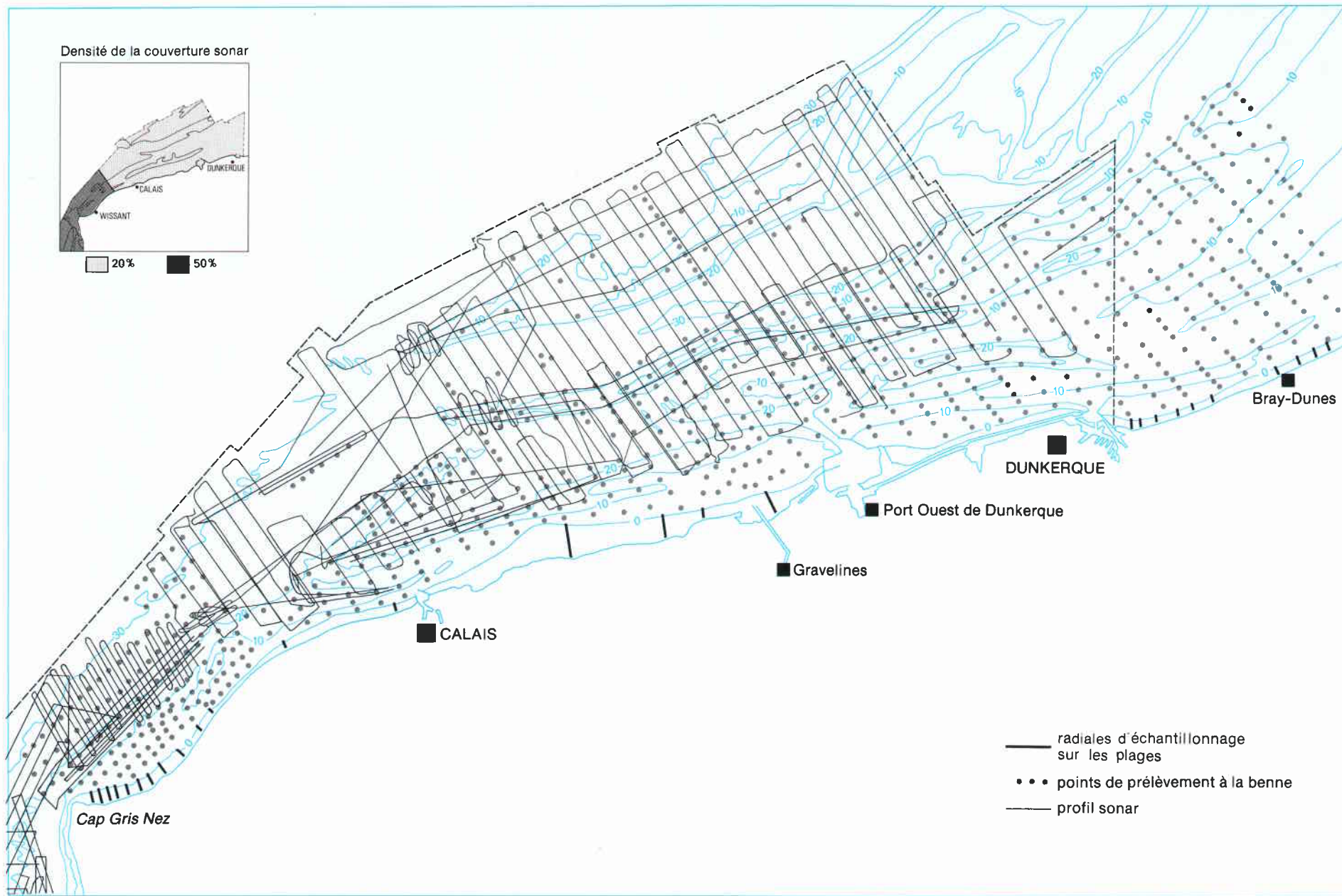


Figure 8 : Carte des routes suivies avec le sonar latéral et des prélèvements de sédiment (façade nord).

LES PRELEVEMENTS PONCTUELS DE SEDIMENTS ont pour but de récupérer un échantillon représentatif du fond, qui fera l'objet d'analyses.

En domaine marin, les résultats obtenus permettent d'associer aux différentes réponses acoustiques (teintes des sonogrammes) des classes de sédiments et ainsi d'étalonner les images reçues.

Les sédiments doivent être le moins perturbés possible, notamment en ce qui concerne les particules les plus fines, facilement remises en suspension ou lessivées lors du prélèvement. Les échantillons recueillis font l'objet d'une analyse granulométrique (tamisage) et calcimétrique.

L'engin utilisé varie selon la taille des constituants :

- la benne Shipeck, légère (60 kg), employée pour les sables, est composée de deux godets articulés et d'un système de déclenchement automatique au contact du fond (Fig. 9). La surface échantillonnée est de 4 dm².



Figure 9 : Benne Shipeck.

- la benne Hamon, plus lourde (150 kg), employée pour les cailloutis, comporte un seul godet prolongé par un bras de levier qui bascule par traction d'un câble depuis le navire (Fig. 10). La surface échantillonnée est de 25 dm².

Au total, 1100 échantillons ont été prélevés en domaine marin (Fig. 7 et 8).



Figure 10 : Benne Hamon.

Sur le littoral, seules les plages de la façade nord ont fait l'objet de prélèvements systématiques. 500 prises d'échantillons y ont été effectuées le long de 27 profils transversaux à la plage (Fig. 8).

Le tamisage à sec des échantillons, sur une colonne vibrante, permet de quantifier l'importance des différentes fractions, et de définir, à partir de l'histogramme et de la courbe cumulative :

- des paramètres de position : mode, médiane et grain moyen ;

- des paramètres de dispersion : indice de classement (So de Trask) et indice d'asymétrie (Sk).

Ces indices expriment, sous forme numérique, la taille des sédiments et leur homogénéité ; ils sont utilisés pour la comparaison des échantillons.

Un dosage des carbonates complète ces analyses et permet la corrélation avec les critères granulométriques.

LA PROSPECTION VIDEO ET LA PLONGEE rendent possible l'observation directe des fonds à une échelle complémentaire de celle du sonar.

La prospection vidéo est réalisée grâce à une caméra fixée sur un bâti rigide, appelé «troïka», remorqué sur le fond à vitesse faible (1 noeud, soit 1,8 km/h) Elle autorise l'observation d'éléments de taille décimétrique à centimétrique. La forte turbidité de l'eau limite la profondeur du champ d'observation à 1 m environ.

Les plongées, difficiles dans cette région, ont permis l'examen détaillé de structures spécifiques et d'apprécier les mouvements particuliers du fond.

L'ensemble des informations morphologiques et sédimentologiques recueillies dans le

cadre du programme d'étude régional est représenté sur les «*cartes des sédiments superficiels au large de Boulogne-sur-mer et de Calais-Dunkerque*», éditées conjointement par l'IFREMER et la Région Nord-Pas de Calais.

Ces cartes sont établies à l'échelle de 1/43 400 (latitude 50°50' N) correspondant à celle des cartes marines du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), auxquelles elles empruntent le gabarit (découpage) et les courbes bathymétriques.

Leur réalisation a nécessité une analyse des sonogrammes et des profils bathymétriques, un report des informations morphologiques et sédimentologiques sur un plan de navigation et une interprétation géologique.

Les *cartes III et IV* (hors texte) reproduisent ces documents sous une forme réduite, à l'échelle de 1/200 000, et monochrome.

Le levé bathymétrique des fonds marins dans les eaux territoriales françaises relève des compétences du SHOM. Ce service, dont l'établissement principal est implanté à Brest, a pour mission d'établir des cartes de navigation dites cartes marines.

Deux types de documents sont établis :

- *des minutes bathymétriques, dressées à l'échelle de 1/10 000 ou 1/5 000, non éditées ;*
- *des cartes marines, établies à différentes échelles : l'une proche de 1/50 000, couramment utilisée par l'ensemble des usagers de la mer, une autre à 1/150 000 (dite carte «routière»), et à 1/20 000 pour les entrées de ports.*

Les cartes marines sont périodiquement mises à jour par le SHOM en fonction des levés effectués et des modifications morphologiques constatées.

Par ailleurs, les services portuaires assurent un suivi morphologique régulier des chenaux et des passes d'accès aux ports.

NATURE ET MORPHOLOGIE DES FONDS MARINS

Les fonds marins du Nord-Pas de Calais se composent de deux entités principales (Fig. 11) :

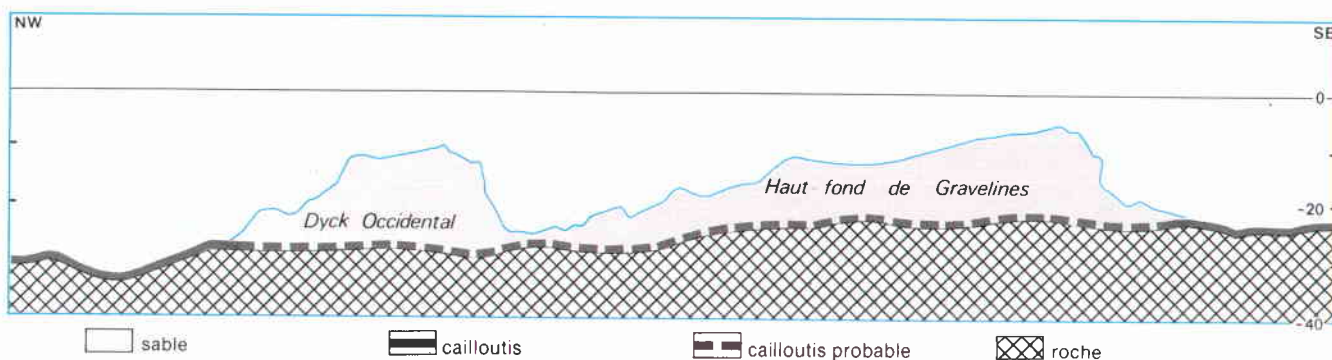


Figure 11 : Répartition verticale des formations superficielles (au large du port ouest de Dunkerque).

LE SUBSTRATUM ROCHEUX affleure uniquement au large des falaises du Boulonnais, entre Equihen et Sangatte (Cartes III et IV).

La taille et la forme des affleurements dépendent de leur degré d'induration et de leur structure.

Près des côtes ces affleurements se présentent sous des formes variables :

- Devant le Cap d'Alprech, le talus littoral rocheux, abrupt, passe rapidement vers le large à un platier rocheux.

- Devant le Cap Gris-Nez, des crêtes rocheuses de plusieurs mètres de hauteur prolongent en mer les affleurements observés sur l'estran. Elles correspondent à des bancs durs redressés, dont la direction WSW-ENE est conforme à celle des structures géologiques connues à terre. Leur hauteur, de 8 m près de la côte, diminue progressivement vers le large où elle atteint 2 m (Fig. 12). Cette unité rocheuse est la plus étendue de la façade maritime régionale.

- Devant le Cap Blanc-Nez, les roches des Gardes, des Quénocs et du Rouge-ridin constituent également des reliefs importants, de 5 à 8 m de hauteur.

- un substratum rocheux, d'âge secondaire ou tertiaire,

- une couverture sédimentaire meuble, comprenant deux ensembles très différenciés : les cailloutis de base et les édifices sableux.

Au large, les affleurements rocheux sont disséminés et de taille généralement modeste.

Face au secteur Boulogne-sur-mer/Audres-selles, des platiers et des petits pointements rocheux sont identifiés. Ces derniers résultent de phénomènes d'érosion différentielle dans l'alternance de niveaux durs et tendres du Jurassique.

Les terrains tendres du Crétacé inférieur (Wealdien), devant la Baie de Wissant, et les terrains tertiaires, au Nord de Gravelines, montrent des surcreusements de faible amplitude.

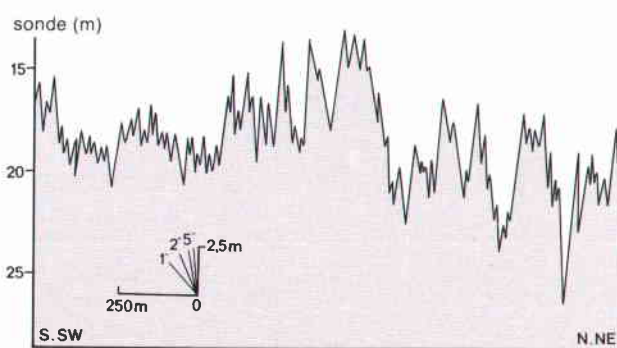


Figure 12 : Profil bathymétrique des affleurements rocheux au large du Cap Gris-Nez.

La structure géologique du domaine littoral et marin devant le Nord-Pas de Calais se compose de 3 unités (Fig. 13) :

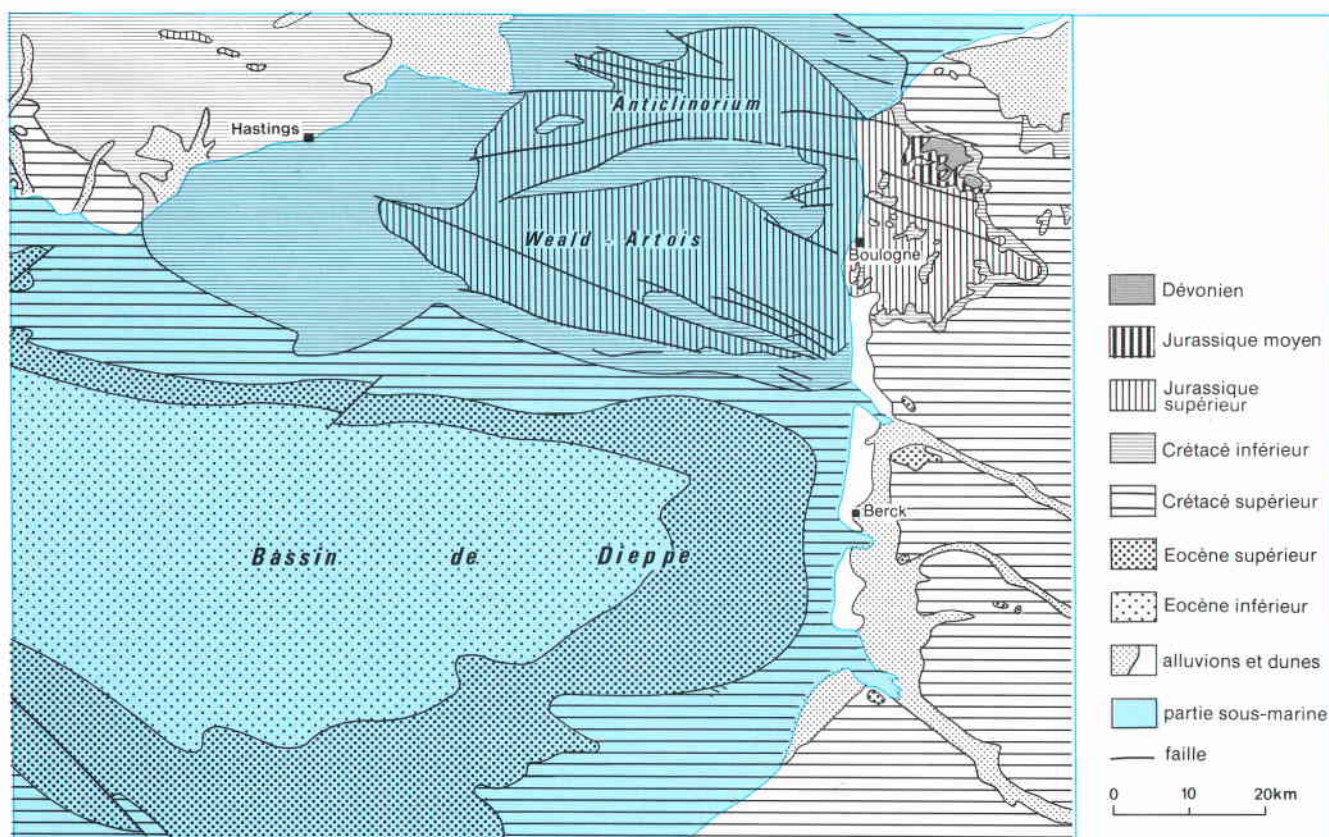
- dans la partie médiane, de la latitude de la Canche à celle de Wissant, un anticlinorium jurassique de direction WSW-ENE,
- de part et d' autre, les bassins crétacés et tertiaires : bassin de Dieppe en Manche orientale, bassin belge en Mer du Nord méridionale.

Les terrains d' âge jurassique supérieur (Kimmeridgien et Portlandien) qui constituent les falaises entre le cap d' Alprech et le cap Gris-Nez affleurent en domaine sous-marin à la faveur de grands anticlinaux, dont l' axe plonge vers l' WSW. Ces terrains sont caractérisés par de multiples alternances de couches dures (grès glauconieux, calcaires argilo-gréseux) et tendres (marnes). Les synclinaux intercalés sont occupés par des terrains tendres (argiles et sables) d' âge wealdien.

Les flancs de l' anticlinorium sont discordants sous les terrains d' âge crétacé et tertiaire : le flanc sud plonge sous la craie basale du bassin de Dieppe, qui affleure au large à la latitude de la Canche et le flanc nord sous le plateau crayeux qui compose la partie méridionale de la Mer du Nord (Fig. 13). La limite entre les couches crétacées et les couches tertiaires qui constituent l' extrémité sud-ouest du bassin tertiaire belge se situerait approximativement au niveau des terminaisons occidentales des bancs du Dyck et du Ruytingen [5].

Cette série, qui a enregistré depuis la fin du Jurassique les rejeux des failles hercyniennes, a été érodée au Quaternaire pour former un plateau légèrement incliné vers le large et entaillé par le paléochenal du Lobourg.

De même, les trois fosses situées au large d' Hardelot et du Touquet, dont la profondeur peut atteindre 15 m, ont probablement une origine fluviale ; elles appartiendraient au paléochenal de la Canche, creusé en période de bas niveau marin. Des levés par sismique réflexion, donnant la morphologie du soubassement rocheux et l' épaisseur des sédiments meubles, ont montré l' existence de chenaux fossiles dans ce secteur.



LA COUVERTURE SEDIMENTAIRE MEUBLE

L'unité inférieure de la couverture sédimentaire quaternaire est constituée d'un épandage peu épais de cailloutis (quelques dizaines de centimètres à 1 m).

Le terme général de «cailloutis» regroupe des éléments de taille variable parmi lesquels les galets sont les plus abondants (Fig. 14). Il s'y ajoute, en proportion variable, des blocs, des graviers et une fraction sableuse mineure.

TYPE DE FOND	COMPOSANTS	TEINTE SUR LES SONOGRAMMES
Cailloutis	Blocs sup. à 20 cm	sombre et homogène
	Galets 2 à 20 cm	
	Graviers 2 mm à 2 cm	
Sables	Sables grossiers 0,5 à 2 mm	claire et homogène
	Sables moyens 0,2 à 0,5 mm	
	Sables fins 0,063 à 0,2 mm	
Sédiments fins	Silts 0,002 à 0,063 mm	variable
	Vases inf. à 0,002 mm	

Figure 14 : Granularité des composants de la couverture sédimentaire meuble et teinte sur les sonogrammes.

Les cailloutis se composent :

- d'une fraction terrigène, principalement constituée de silex et de débris de roches d'origine locale (calcaires ou grès),
- d'une fraction biogène, composée de coquilles plus ou moins fragmentées, en quantité variable (10 à 40 %).

Ils apparaissent entre les bancs :

- sur la façade ouest (Carte III), au Nord du Vergoyer, entre celui-ci et la Bassure de Baas, entre l'ensemble Battur-Bassure de Baas et le talus côtier, ainsi qu'entre la Bassure de Baas et le Battur. Leur surface d'affleurement croît nettement du Sud vers le Nord.

- sur la façade nord (Carte IV), dans deux petits secteurs situés entre le Ruytingen et le rail de navigation, entre les bancs du Ruytingen et du Dyck, entre l'ensemble Dyck-Ridens de Calais et le talus littoral, et entre les Ridens de la Rade et le talus littoral. L'importance des affleurements de cailloutis décroît d'Ouest en Est de la façade.

La continuité des épandages caillouteux sous les bancs sableux est très probable dans la plupart des cas. Par contre, il n'existe pas d'informations disponibles sur l'extension de ces cailloutis sous le talus littoral et sur leur relation avec les cordons de galets littoraux.

L'unité supérieure de la couverture sédimentaire meuble est composée de vastes édifices sableux. Ce sont principalement :

- au large, les bancs et les corps sableux comme les rubans, les traînées et les marques d'obstacles ;
- vers la côte, le talus littoral, qui assure la transition entre le domaine des bancs du large et les plages et dunes littorales.

Les corps sableux cités ci-dessus sont, pour la plupart, modelés en surface par des mégarides. Il s'agit de figures sédimentaires de hauteur comprise entre 5 cm et 1,5 m et de longueur d'onde variant de 2 à 20 m (Fig. 15, A et B).

Des rides élémentaires, de hauteur inférieure à 5 cm, se forment sur l'ensemble des secteurs sableux, seules ou surimposées aux figures d'amplitude plus forte, mégarides et vagues de sable (Fig. 15, B et C). En raison de leur taille, inférieure à la limite de détection du sonar latéral, ces rides marines ne peuvent être observées qu'en vidéo ou en plongée. Elles sont comparables à celles observées sur les plages (Fig. 15, D).

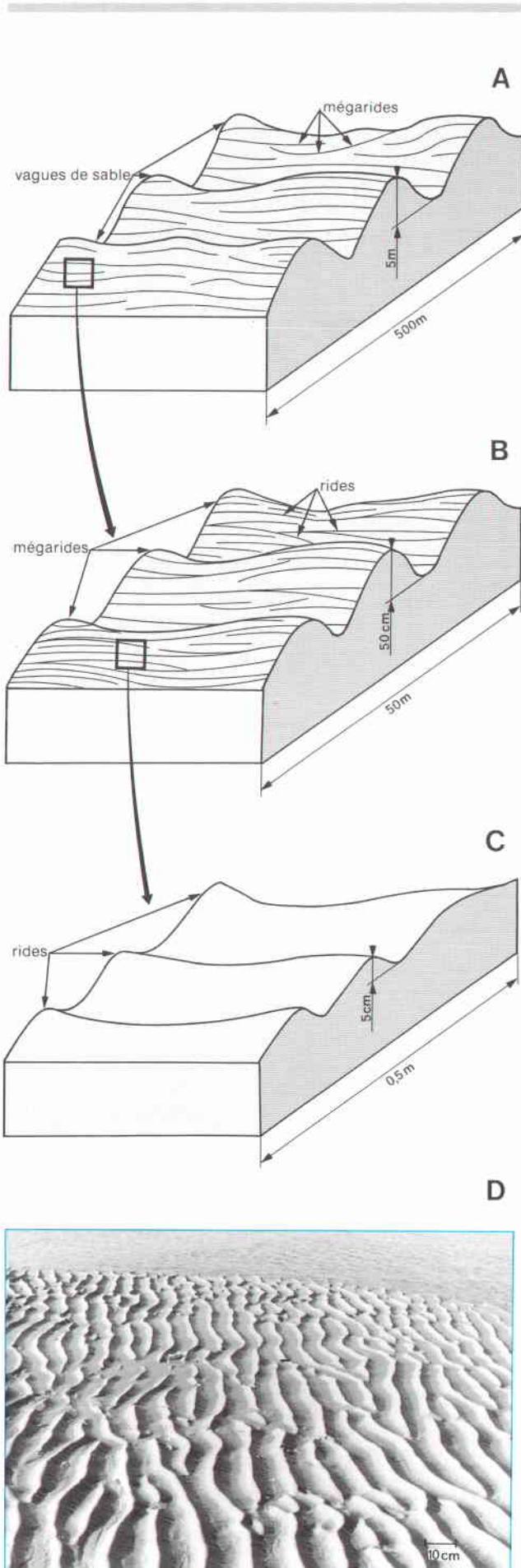


Figure 15 : Echelle et organisation des figures sédimentaires transversales et exemple de rides (plage de Wissant).

Les bancs sableux sont les édifices majeurs de la façade maritime régionale : leur longueur est comprise entre 3 et 70 km, leur largeur entre quelques centaines de mètres et plusieurs kilomètres, pour une hauteur variant de 10 à 30 m (Fig. 16).

NOM DU BANC	LONGUEUR	LARGEUR	ORIENTATION*	HAUTEUR D'EAU SUR LE SOMMET DU BANC **
Bassure de Baas	75 km	1,5 à 6 km	10 ° à 60°	5 à 15 m
Battur	25 km	2,5 km	30°	10 à 15 m
Vergoyer	35 km	4 km	45°	5 à 15 m
Banc à la Ligne	3,5 km	2 km	60°	1 m
Out Ruytingen	35 km	1 à 5 km	30° à 80°	5 à 10 m
Dyck	60 km	1 à 3,5 km	30° à 80°	1 m
Ridens de Calais	11 km	1,3 km	50°	10 à 15 m
Ridens de la Rade	9 km	1,5 à 2 km	65° à 80°	1 m
In Ratel	22 km	2,5 km	60°	0 à 1 m
Buiten Ratel	22 km	3 km	40°	2 à 3 m
Ht Fond de Gravelines et Breedt	32 km	3 km	45° à 75°	0 à 1 m
Smal	28 km	3 km	40° à 60°	0 m
Snouw	10 km	1,5 km	80°	2 à 3 m
Braek	8 km	1,5 km	80°	0 à 1 m
Hills	9,5 km	2,7 km	65°	émergé de 1 m

* l'orientation se lit à partir du Nord vers l'Est
 ** les cotes indiquées sont rapportées au zéro hydrographique

Figure 16 : Caractéristiques géométriques des bancs de la zone d'étude.

Ils sont généralement composés, en surface, de sable moyen de taille comprise entre 0,2 et 0,5 mm, bien à très bien classé, propre (teneur en particules fines inférieure à 0,5 %), contenant en moyenne 12 à 15 % de débris coquilliers (Fig. 17).

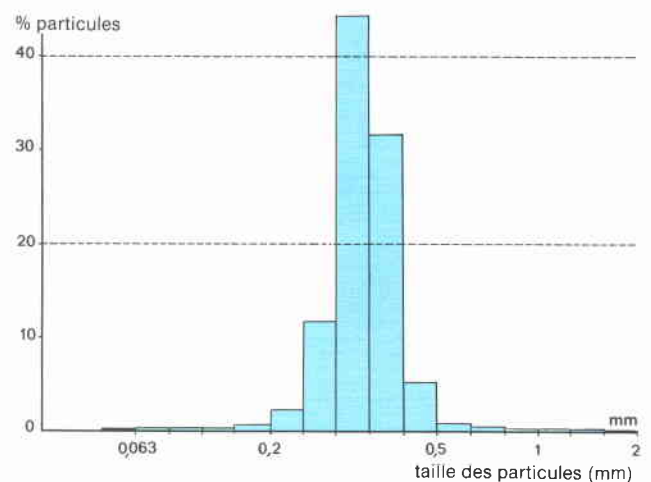


Figure 17 : Granularité moyenne des sables des bancs.

La description proposée ci-après ne s'intéresse qu'aux édifices majeurs : bancs sableux, talus littoral et vagues de sable associées. Les autres figures sédimentaires sont surtout utilisées comme indicateurs du sens ou de la direction des transits sédimentaires (Cf. 3^{ème} partie).

Les bancs sableux peuvent être festonnés par des vagues de sable («ridens»), structures dont la hauteur varie de 1,5 à 15 m dans la zone étudiée. Leur crête, de forme rectiligne, sinueuse, bifurquée ou anastomosée, a une longueur comprise entre 100 m et 2 km (valeurs maximales mesurées) (Fig. 18, 19, 20).

Ces vagues de sable peuvent également s'associer en «champs» de structures coalescentes, situés en périphérie ou en terminaison des grands bancs du large ou à la base du talus littoral.

Des formes isolées, dénommées «barkhanes» par analogie aux formes observées dans les déserts, ont été reconnues au large de Sangatte et de la Baie de Wissant.

Les caractéristiques géométriques et sédimentologiques des vagues de sable diffèrent selon leur localisation. Les hauteurs moyennes des formes surimposées aux bancs sont généralement homogènes et comprises entre 1,5 et 4 m. Les structures de grande taille (10 à 15 m), peu abondantes, se rencontrent le plus souvent en bordure des bancs (Ridens de Calais, Out Ruytingen), ou dans les champs de vagues de sable comme à la périphérie du Vergoyer, du Dyck et du Ruytingen.

Les sédiments des vagues de sable isolées ou coalescentes sont généralement plus grossiers et plus hétérogènes que ceux des formes surimposées aux bancs, notamment en raison de la présence de coquilles moins fragmentées. Les cailloutis affleurant dans les «creux» renforcent l'hétérogénéité.

Des granoclassements décroissants du creux vers la crête de la structure peuvent être observés.

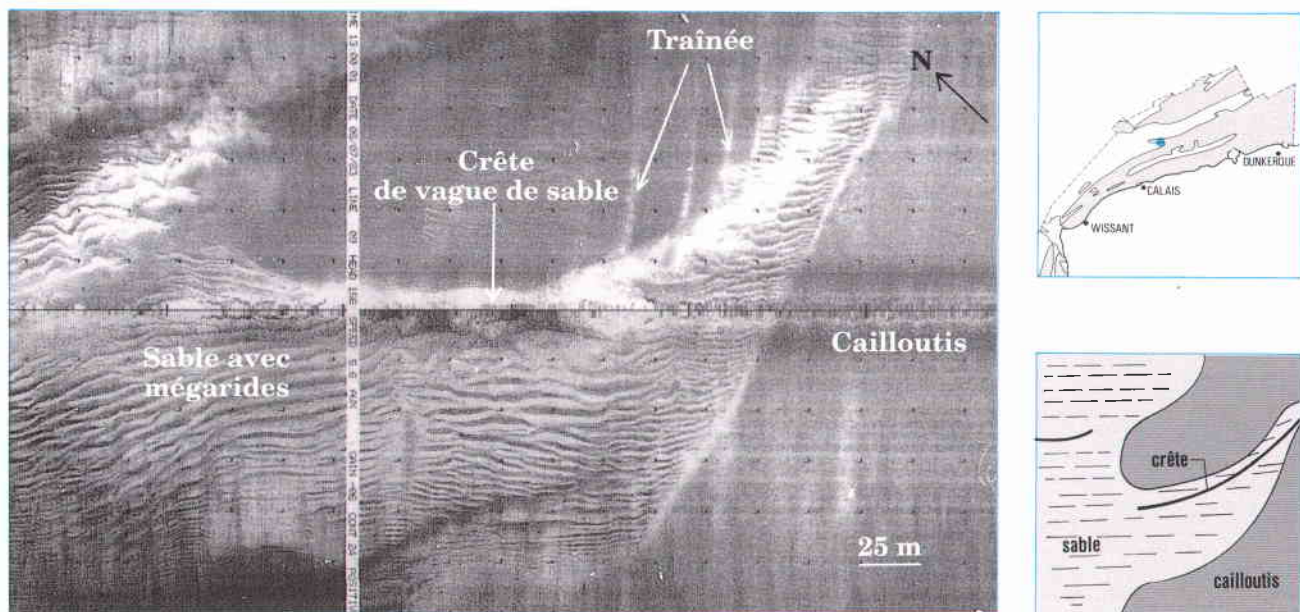


Figure 18 : Sonogramme montrant deux crêtes de vagues de sable de forme arquée.

Ces vagues de sable, à crête arquée, confèrent à la bordure sud de la terminaison occidentale du Dyck son aspect irrégulier. Leur dissymétrie est indiquée par l'orientation vers le NE du flanc abrupt et la forme concave de leur crête longue de 200 m environ. Elles sont modelées par des mégarides de longueur d'onde voisine de 5 m. Des traînées sableuses, surimposées aux cailloutis (teinte sombre sur l'enregistrement) prolongent l'extrémité de la structure au bord du banc.

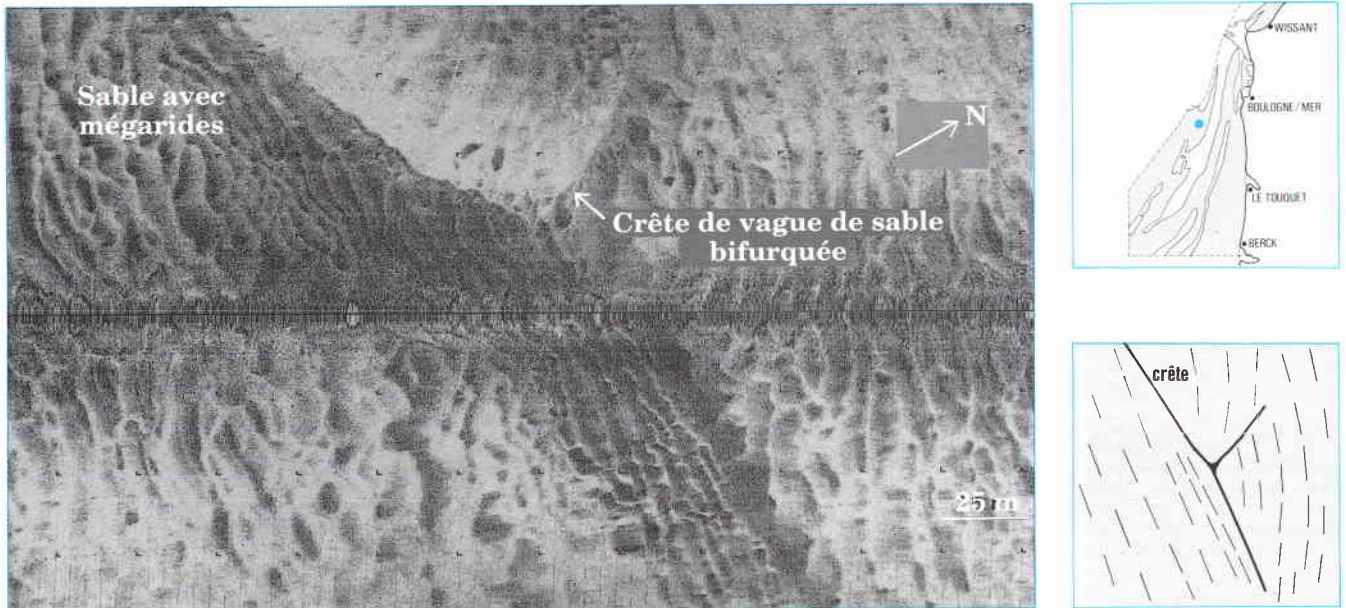


Figure 19 : Sonogramme montrant une crête de vague de sable bifurquée.

Cette structure, de 8 m de haut, se situe à l'intérieur du «champ» de vagues de sable qui prolonge le Vergoyer vers le NE. Les mégarides surimposées au flanc doux ont une longueur d'onde moyenne de 10 m qui diminue jusqu'à 5 m près du sommet. A cet endroit, elles prennent une orientation oblique par rapport à la crête.

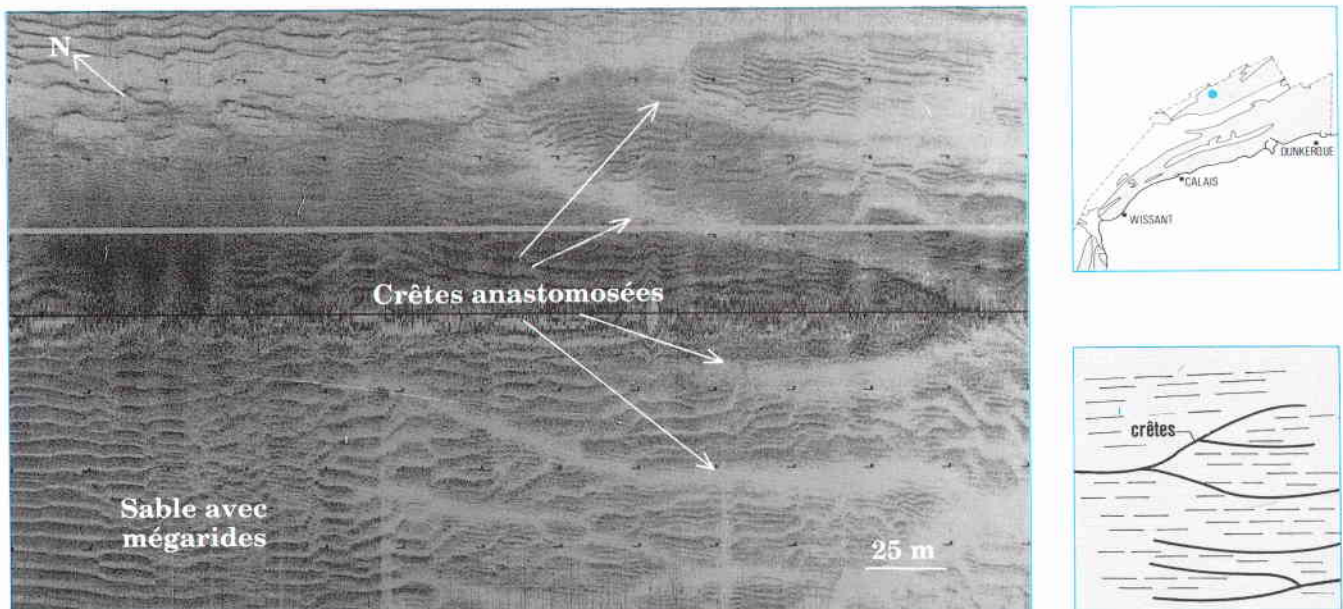


Figure 20 : Sonogramme montrant des crêtes de vagues de sable anastomosées.

Ces vagues de sable, de 2 m de haut, se situent sur le banc du Ruytingen. Elles se distinguent par de nombreuses bifurcations sur une faible distance et une asymétrie peu marquée. Elles sont elles-mêmes modelées par des mégarides de longueur d'onde inférieure à 5 m.

La façade ouest présente seulement trois bancs (*Carte I*) :

- *Le Vergoyer*, orienté SW-NE, se prolonge largement vers la Manche centrale en s'incurvant. N'ayant été que partiellement cartographié lors des levés par sonar latéral, les informations sur sa morphologie, en particulier la présence de vagues de sable, sont incomplètes. Les deux «champs» qui le jouxtent vers le Sud et le Nord-Est ont par contre fait l'objet de plus d'attention. Ils s'interrompent au niveau des fosses vestiges du paléochenal de la Canche. Le domaine sableux du «champ» sud relie le Vergoyer et la Bassure de Baas. L'autre «champ» se prolonge quant à lui vers le NE par un ensemble de rubans sableux de plusieurs kilomètres de long.

- *La Bassure de Baas*, de forme incurvée, s'étend sur une longueur de 70 km environ, de la latitude de la Baie de Somme (en Picardie) à celle d'Audresselles. Sa largeur diminue nettement du Sud vers le Nord. Son sommet se caractérise par la présence alternée de secteurs pourvus et dépourvus de vagues de sable. Au Nord de Boulogne-sur-mer, les vagues de sable se répartissent en trois familles situées sur les deux flancs et le sommet du banc. La hauteur moyenne de ces structures est comprise entre 2 et 5 m.

Ce banc présente un gradient granulométrique transversal, surtout marqué dans sa partie méridionale, où les sables fins du flanc externe (vers le large) passent progressivement à des sables moyens de granularité plus forte vers le flanc interne.

- *Le Battur*, qui se soude à la Bassure de Baas à la latitude de Merlimont, est également festonné de vagues de sable.

Ces trois bancs ont un profil transversal généralement asymétrique, le flanc abrupt regardant vers la côte.

Leur sommet se situe à des profondeurs de 5 à 15 m sous le niveau des basses mers de vive-eau (*Carte I*).

La façade nord est occupée par 13 bancs qui se regroupent, d'Ouest en Est, en plusieurs ensembles (*Carte II*) :

- *Le Banc à la Ligne*, isolé, est soudé à la côte à l'Est du cap Gris - Nez. Il se caractérise par un niveau élevé, une pente forte vers le large et une atténuation rapide vers le NE, où il se prolonge par des vagues de sable.

Il est composé, dans sa partie externe, d'un sédiment hétérogène, sablo - caillouteux, et de sables fins à moyens à son sommet et sur son flanc interne.

- *Les bancs de Calais*, composés par les *Ridens de Calais* et les *Ridens de la Rade*, se rejoignent à leur extrémité occidentale en formant un angle de 30°.

Les *Ridens de la Rade* limitent vers le large le chenal d'accès au port de Calais et se soudent au talus côtier à l'Est de Calais. Leur morphologie est relativement simple ; seules quelques vagues de sable ont été observées à leur périphérie.

Les *Ridens de Calais* se différencient des précédents par la présence de nombreuses vagues de sable ; les plus importantes, situées sur les flancs du banc, atteignent des hauteurs de 15 m. C'est le dénivelé maximal mesuré dans la zone reconnue.

Ce banc, qui s'estompe vers l'Est, est relié au *Dyck* par un placage sableux ; les cartes marines récentes ne laissaient pas supposer une telle liaison sédimentologique entre les deux bancs.

- *Les bancs du large : Dyck et Out Ruytingen* sont les unités principales de la façade nord. Leur allure générale est incurvée, la concavité étant tournée vers le Nord. Bien individualisés dans leur partie occidentale, ils se soudent au droit de Dunkerque, où ils rejoignent l'ensemble des Bancs de Dunkerque. Leur largeur s'accroît d'Ouest en Est, allant de pair avec une élévation du niveau de leur sommet (*Fig. 16*).

La morphologie de l'*Out Ruytingen* est marquée par de nombreuses vagues de sable, d'amplitude moyenne de 3 à 5 m, rectilignes, sinueuses ou anastomosées pour les formes de petite taille. En périphérie du banc, deux «champs» de vagues de sable, de plusieurs dizaines de kilomètres carrés de superficie ont été identifiés (*Fig. 21*).

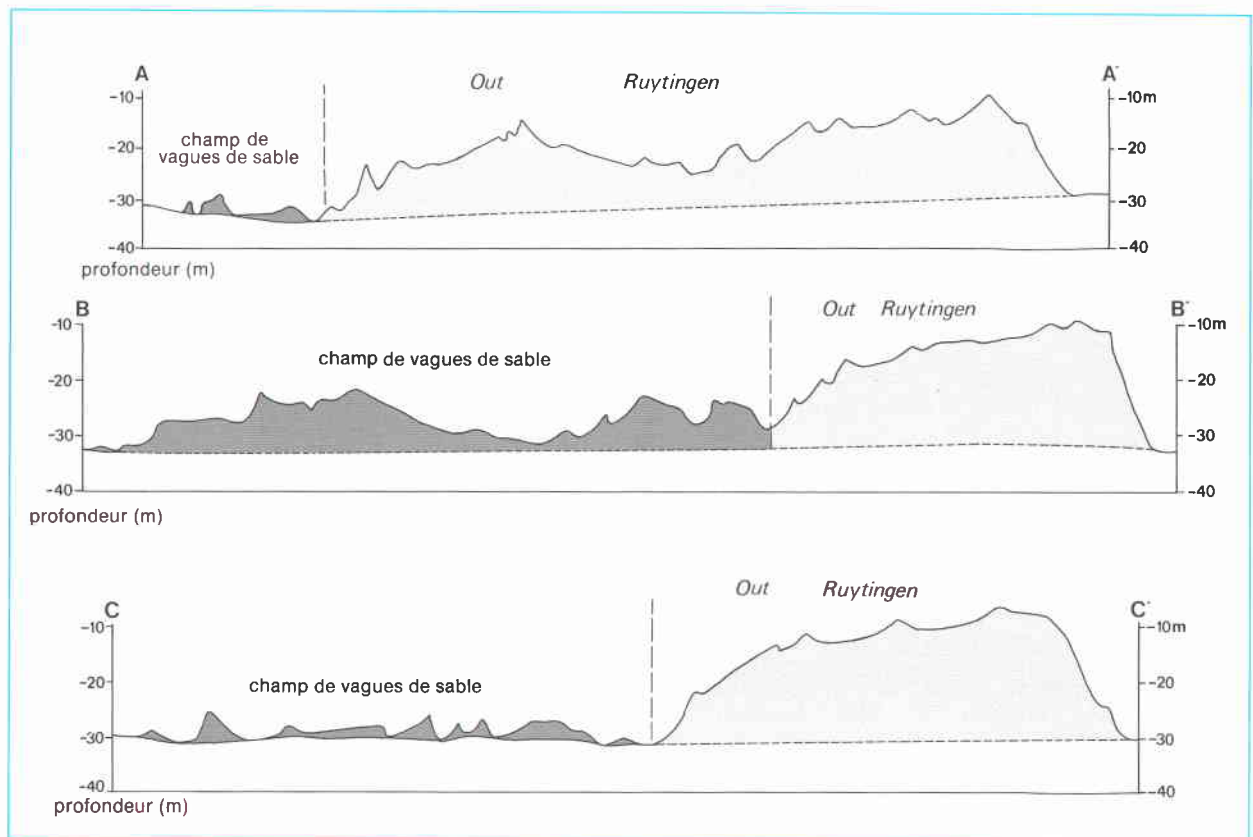
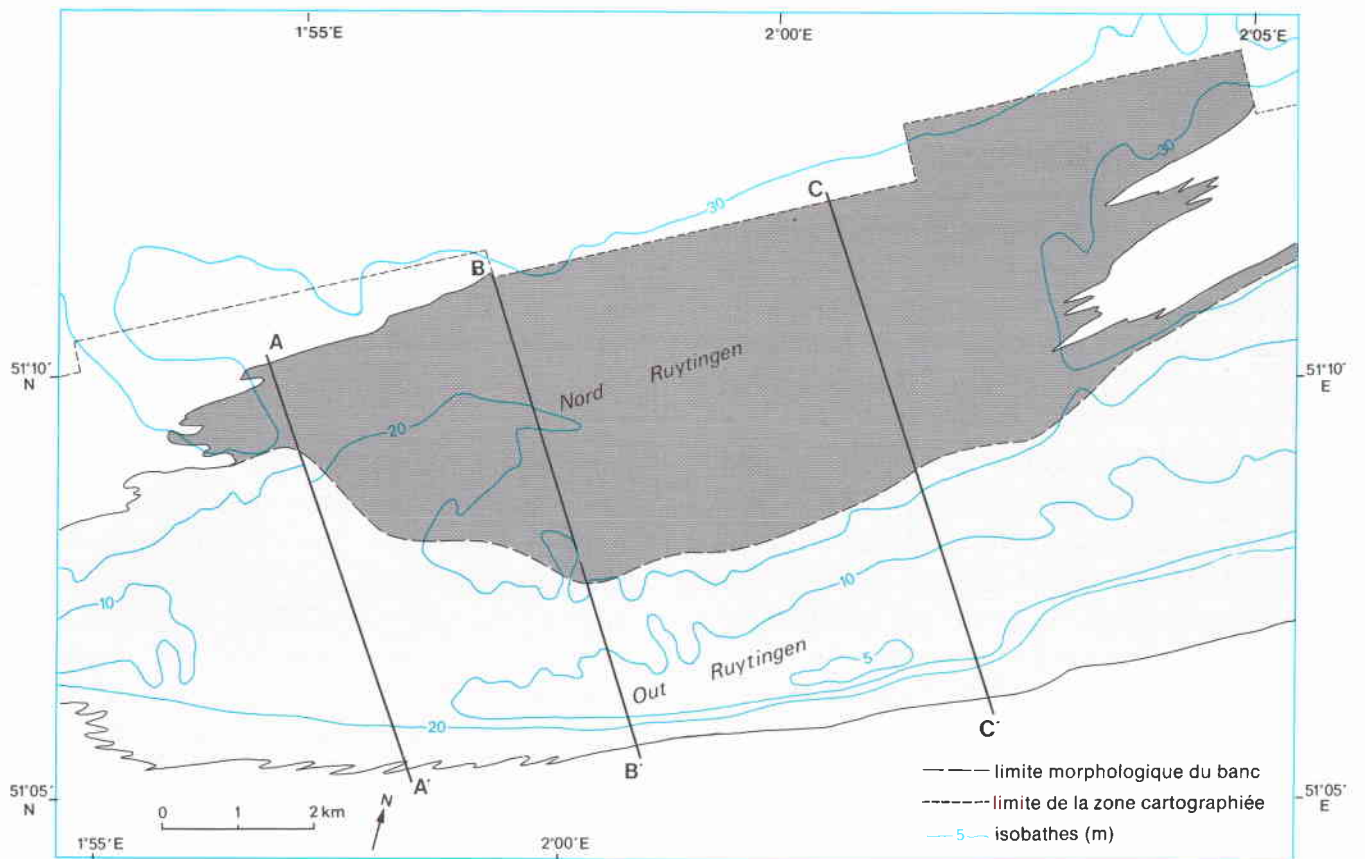


Figure 21 : Morphologie du banc du Ruytingen et des "champs" de vagues de sable associés.

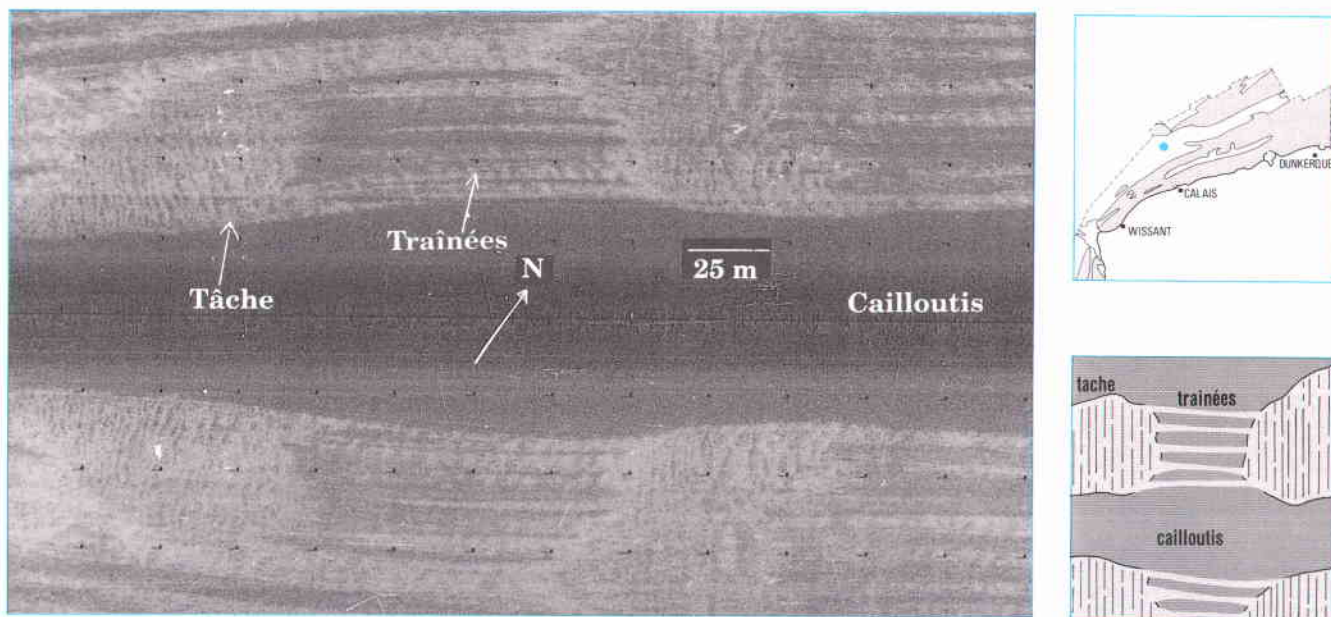


Figure 25 : Sonogramme montrant un enchaînement de taches et de trainées sableuses.

Les taches sableuses (teinte claire sur l'enregistrement) sont modelées par des mégarides de courte longueur d'onde. Les trainées sableuses de largeur métrique relient ces taches ; l'ensemble, surimposé aux cailloutis, se situe au large de Calais.

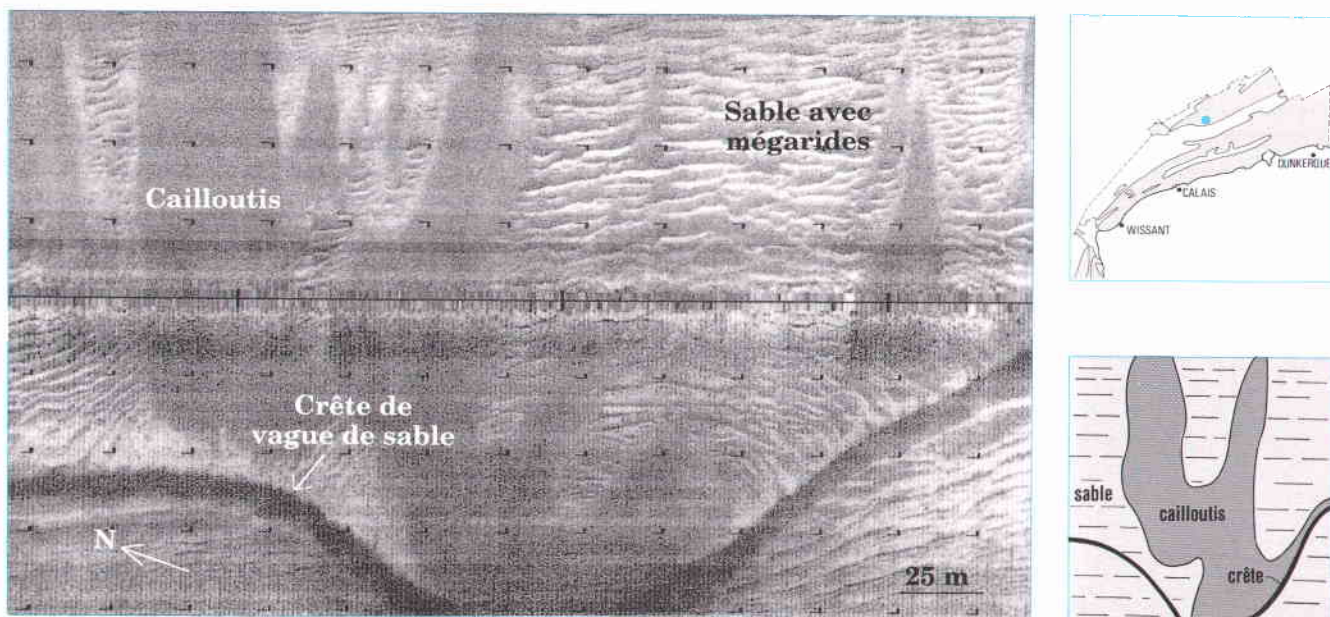


Figure 26 : Sonogramme montrant une fenêtre caillouteuse.

Cette marque d'obstacle érosive, située sur le banc du Ruytingen, se dispose au pied du flanc abrupt d'une vague de sable de direction moyenne NNW-SSE. Le cailloutis est « mis à jour » au sein d'une couverture sableuse modelée par des mégarides.

Le talus littoral prolonge la plage vers le large, jusqu'à une profondeur de 15 à 20 m selon les secteurs. Sa morphologie est très influencée par le type de côte auquel il est associé :

Devant les plages sableuses il est bien développé et se subdivise en 2 unités (Fig. 29) :

- une partie inférieure composée de sables moyens, modelée par des mégarides. Celle-ci est festonnée de vagues de sable à crête sub-rectiligne, dont la hauteur peut localement dépasser 10 m.

- une partie supérieure composée de sables fins gris, parfois envasés, dépourvue de figures sédimentaires, probablement en raison de la faible taille des sédiments. Un taux d'envasement, exceptionnellement élevé (jusqu'à 85%), est observé ponctuellement au débouché de l'Aa, ainsi que devant Malo-les-bains et Bray-dunes.

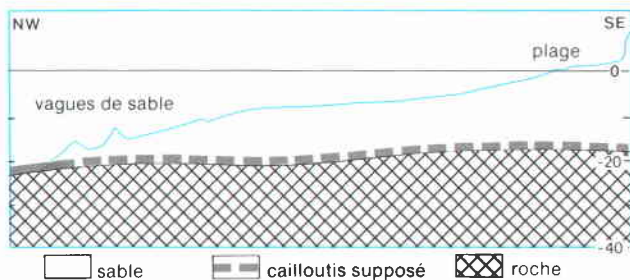


Figure 27 : Morphologie d'un talus littoral simple (devant Gravelines).

Ce type de talus se rencontre de la Baie d'Authie à Hardelot, avec une largeur décroissante du Sud vers le Nord, et de Calais au port ouest de Dunkerque (Fig. 27).

Devant la Baie de Wissant, devant Calais et à l'Est de Dunkerque, le talus littoral est mal individualisé, en raison de la présence de bancs sableux à proximité immédiate de la côte (Banc à la Ligne, Ridens de la Rade, Snouw, Braek, Hills), qui sont séparés du littoral par une étroite dépression (Fig. 28).

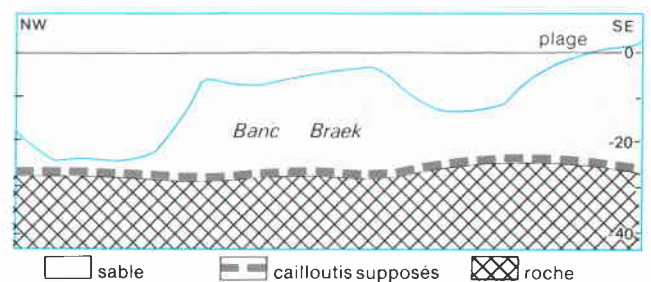


Figure 28 : Morphologie d'un talus littoral mal individualisé (à l'Est de Dunkerque).

Devant les côtes rocheuses, le talus littoral présente une pente plus forte : 2 à 3°. La roche qui le constitue peut affleurer ou être surmontée d'un placage de cailloutis ou de sable. C'est le cas entre Wimereux et le Cap Gris-Nez.

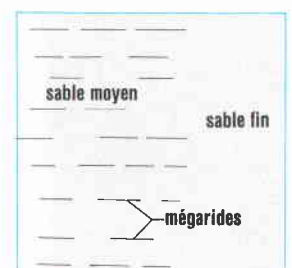
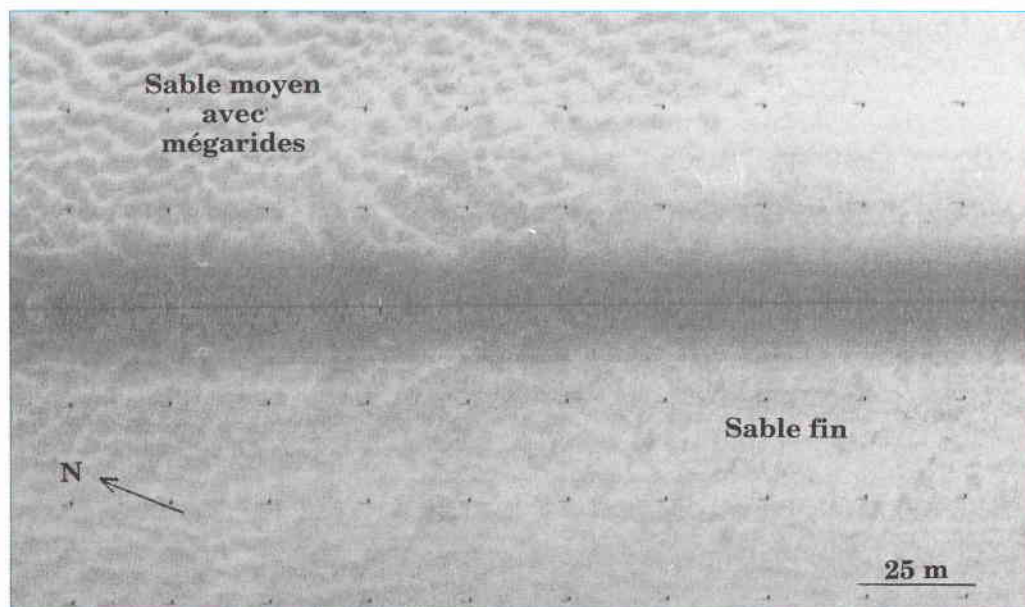


Figure 29 : Sonogramme montrant le passage des sables fins non ridés aux sables moyens ridés sur le talus littoral.

Morphologie littorale

De la Baie d'Authie au Cap d'Alprech, les plages sableuses sont larges (plusieurs centaines de mètres) et constituées d'un sable moyen très bien classé.

Les dunes littorales de ce secteur, appelées dunes picardes, ont une largeur importante, en raison de leur orientation oblique par rapport aux vents dominants de secteur SW.

Du Cap d'Alprech au Cap Gris-Nez, les plages sont assez étroites. Leur substrat, en général rocheux, est recouvert temporairement de sédiments sableux ou caillouteux.

Du Cap Gris-Nez à la frontière franco-belge, les plages sont à nouveau sableuses, larges et avec une pente faible.

Elles laissent affleurer localement, de manière plus ou moins permanente selon les secteurs, des bancs de tourbe (à Tardinghen) ou de craie (au Cap Blanc-Nez).

Les plages de la façade nord sont constituées de sables moyens, très bien classés, propres, du Cap Gris-Nez à Dunkerque.

A l'Est de Calais, s'étend un secteur de plage particulier par sa largeur (1 800 m) et ses sédiments sableux et vaseux. A l'Est de Dunkerque, les plages sont constituées de sables fins homogènes ; la présence de sédiments envasés, contenant jusqu'à 15% de fraction inférieure à 0,063 mm, est signalée dans les bâches de ce secteur.

La morphologie des plages étudiées se caractérise par une succession de barres sableuses séparées par des bâches. Ces structures parallèles à la côte, également reconnues sur les plages de la façade ouest [6], ont une largeur de 50 à 100 m et une hauteur comprise entre quelques décimètres et plus d'un mètre.

CONCLUSION

Les fonds marins régionaux, dont la profondeur n'excède pas 50 m, sont constitués d'un ensemble sédimentaire meuble, caillouteux et sableux, qui se raccorde à la côte par l'intermédiaire d'un talus littoral.

L'unité inférieure, mince nappe de cailloutis, occupe environ 40% de la superficie de la façade maritime.

On l'observe principalement entre Boulogne-sur-mer et Calais ; vers l'Est, elle disparaît progressivement sous les sables.

Elle repose sur un substratum rocheux, d'âge jurassique supérieur à tertiaire, légèrement incliné vers le large, visible sur seulement 5% des fonds à proximité du Cap Gris-Nez.

L'unité supérieure, sableuse, occupe 55% de la superficie de la façade maritime régionale.

Les édifices majeurs en sont les bancs, dont l'épaisseur peut atteindre 20 m, pour une longueur de plusieurs dizaines de kilomètres. Ils sont modelés principalement par des vagues de sable auxquelles peuvent s'associer des mégarides, elles-mêmes surmontées par des rides centimétriques.

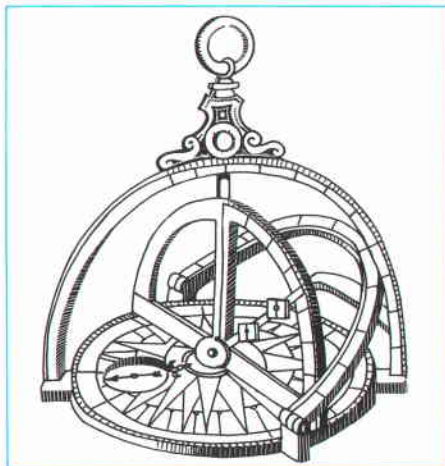
D'autres formes sédimentaires, peu épaisses et de plus faible extension (rubans, traînées et taches) se surimposent également au cailloutis.

L'ensemble de cette unité est constituée de sables moyens (0,2-0,5 mm), bien classés et propres, analogues à ceux des plages, à l'exception de celles de Dunkerque à la frontière belge, à granularité plus fine.

Par contre, la partie supérieure du talus littoral est composée de sables fins (0,1-0,2 mm), localement très envasés.

TROISIEME PARTIE

LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE ET L'EVOLUTION



LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE ET L'EVOLUTION

L'étude de la dynamique sédimentaire représente la seconde phase de la caractérisation des fonds marins du Nord-Pas de Calais.

La mobilité des sédiments résulte d'interactions complexes entre les sédiments superficiels et les mouvements de la masse d'eau près du fond.

La détermination du transport sédimentaire (direction et sens) repose sur l'analyse d'indicateurs relatifs à chacun des éléments morphologiques et sédimentologiques d'une part, courantologiques d'autre part.

Les résultats fournissent une information qualitative sur la direction ainsi que sur le sens des mouvements des masses d'eau et des sédiments de chaque façade.

La quantification des phénomènes fait l'objet de deux types d'approche : des mesures *in situ* par suivi de sédiments marqués et des calculs à l'aide de formules numériques.

L'ensemble des résultats est porté sur les cartes V et VI.

L'évolution, à l'échelle décennale ou centennale, des corps sédimentaires eux-mêmes, c'est à dire la mise en évidence de déplacements, d'érosion ou d'engraissement des bancs, est basée sur la comparaison des cartes bathymétriques actuelles et anciennes.

Le site de Wissant a fait l'objet d'une étude détaillée, dans le but de définir les relations entre l'évolution du littoral et celle des fonds marins proches. Les résultats obtenus permettent de corréler les phénomènes, d'identifier les causes possibles du processus et de dresser un bilan de l'érosion.

INDICATEURS ET TECHNIQUES

LES INDICATEURS MORPHOLOGIQUES

Les données cartographiques acquises sont essentielles pour l'étude des transits sédimentaires. En effet, les différentes catégories de figures peuvent être considérées comme des indicateurs morphologiques de ces mouvements. Elles donnent une information immédiate sur la direction et le sens des transits sableux à l'interface eau-sédiment pour toute la façade maritime régionale.

La direction du transit sédimentaire résultant est exprimée par les formes longitudinales (rubans sableux, traînées sableuses, marques d'obstacle), allongées parallèlement au courant qui les engendre (Fig. 30).

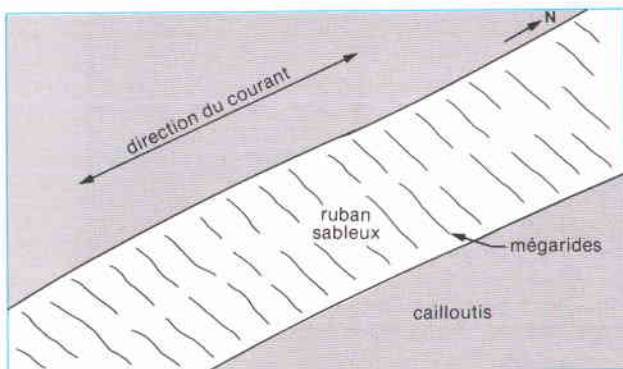


Figure 30 : Orientation d'un ruban sableux par rapport au courant.

Les taches sableuses, sans orientation marquée, ne sont utilisables que lorsqu'elles présentent une forme étirée.

Le sens du transit sédimentaire résultant est indiqué par les marques d'obstacle qui s'édifient en aval de l'objet par rapport au courant dominant. Les plus nombreuses sont les fenêtres caillouteuses observées entre certaines vagues de sable et dues à des turbulences locales en avant de leur flanc abrupt.

Parmi les figures transversales (vagues de sable, mégarides et rides), dont la crête est perpendiculaire au courant (Fig. 31), les vagues de sable

sont les structures les plus utilisées. La polarité des formes asymétriques est considérée comme un indicateur de choix : le transport résultant est dirigé du flanc doux vers le flanc raide de la structure (Fig. 32).

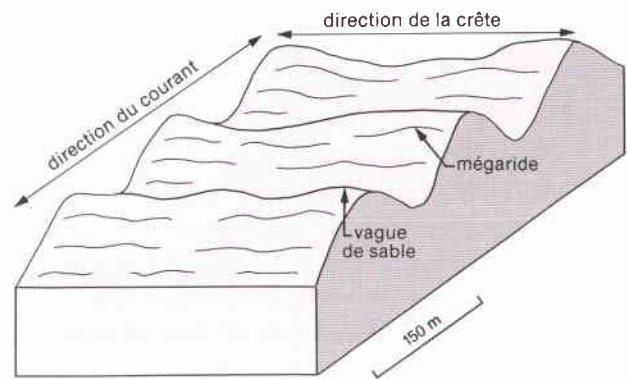


Figure 31 : Orientation des crêtes de vagues de sable et de mégarides par rapport au courant.

Les mégarides et les rides élémentaires n'indiquent que le sens du courant et du transit sédimentaire instantanés ; leur polarité peut s'inverser au cours d'un cycle de marée. Les mégarides peuvent avoir pour origine soit les courants de marée soit la houle. La distinction des deux types repose sur un examen précis de leur forme et sur la connaissance de la direction de propagation des courants et des houles.

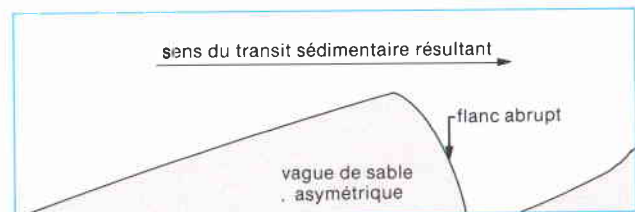


Figure 32 : Relation entre la polarité d'une vague de sable et le sens du transit sédimentaire résultant.

Les bancs sableux, de direction parallèle ou légèrement oblique à celle des courants, indiquent également, par la morphologie de leurs terminaisons, le sens du transit sédimentaire résultant : celui-ci est orienté de l'extrémité large et arrondie vers l'extrémité étroite et effilée.

L'enchaînement des figures sédimentaires exprime des gradients courantologiques. Ainsi l'étirement progressif des taches sableuses vers des formes plus allongées traduit une accélération des courants, alors que la jonction de rubans sableux et, plus généralement, le passage d'une couverture sableuse discontinue à une couverture continue, indique le sens de décroissance des courants.

LES INDICATEURS SEDIMENTOLOGIQUES

L'analyse sédimentologique des échantillons fournit également des indications sur les transits sédimentaires, notamment dans les zones où la faible profondeur rend impossible la cartographie des figures par sonar latéral.

Les indicateurs recherchés sont ceux qui expriment les variations spatio-temporelles de composition ou de granularité et qui montrent en particulier :

- l'atténuation de l'énergie d'un courant (de marée ou de houle) dans une direction privilégiée ;
- la dilution d'éléments (fraction granulométrique ou débris coquilliers) avec l'éloignement de la source d'apports ;
- la variation dans le temps (saisonnier par exemple) de l'énergie des courants, par l'observation d'une évolution granulométrique entre des échantillonnages successifs d'un même site.

LES INDICATEURS COURANTOLOGIQUES

Le principal indicateur courantologique utilisé est le sens du courant le plus intense mesuré en marée de vive-eau moyenne ; il correspond généralement, sur le fond, au sens du transit sédimentaire résultant (Fig. 33).

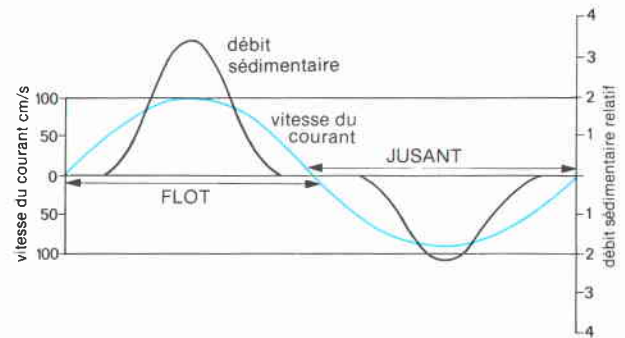


Figure 33 : Variation relative du débit sédimentaire en fonction de la vitesse des courants [7].

La durée des mesures, la profondeur d'enregistrement et les conditions de marée variables entre les différents sites rendent difficiles la comparaison des résultats et le calcul des transits sédimentaires. Leur utilisation s'est limitée à la détermination du sens du mouvement résultant des masses d'eau de surface et à une comparaison avec les indications fournies sur le fond par les figures sédimentaires.

TAILLE DU GRAIN	VITESSE CRITIQUE D'ENTRAÎNEMENT (à 1 m au-dessus du fond)
10 mm	220 cm/s
5 mm	160 cm/s
1 mm	80 cm/s
0,5 mm	50 cm/s
0,2 mm	30 cm/s

Figure 34 : Vitesse critique d'entraînement des sables [8].

La courbe de variation relative du débit sédimentaire en fonction de la vitesse des courants (Fig.33) montre que le mouvement des sédiments ne débute qu'au-delà d'un seuil de vitesse appelé vitesse critique de début d'entraînement, qui varie avec la taille du grain. Des vitesses de 30 à 50 cm/s (1 à 1,8 km/h) à 1 m au-dessus du fond, sont nécessaires pour mettre en mouvement un sable de diamètre compris entre 0,2 et 0,5 mm (Fig. 34).

Elle montre également, dans le cas simple d'un flot et d'un jusant d'égale durée, que ce débit est nettement orienté dans le sens du courant de flot, plus intense. Une différence de 5% entre les vitesses des deux phases suffit à déterminer une orientation nette du transit sédimentaire résultant.

Ce résultat s'accorde avec les formules numériques de calcul du débit sédimentaire, en particulier celles qui indiquent qu'il est proportionnel à la vitesse du courant maximal, à laquelle on soustrait la vitesse critique de début d'entraînement.

Les mesures de courant disponibles, effectuées par le SHOM en de nombreux sites de la façade régionale (Fig. 35), concernent essentiellement les dix mètres supérieurs de la tranche d'eau. Elles ne peuvent être utilisées pour la quantification des mouvements sédimentaires sur le fond qu'à l'aide de formules numériques appropriées.

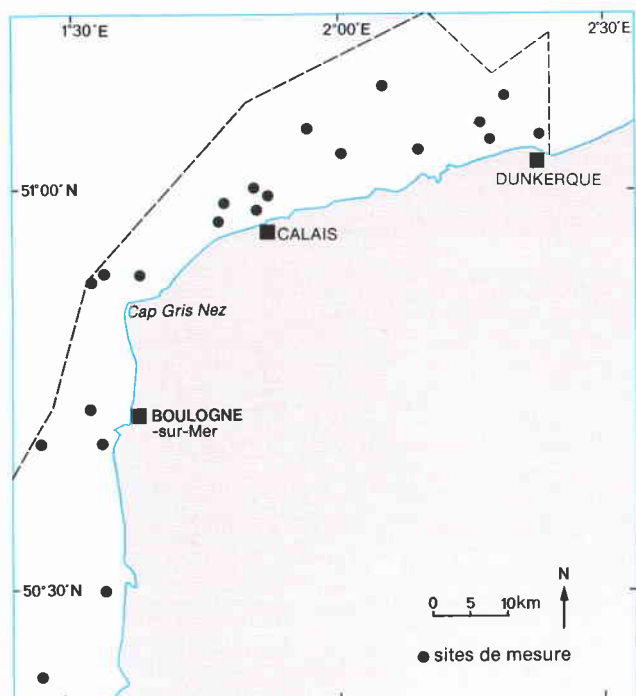


Figure 35 : Localisation des sites de mesure des courants de surface (SHOM).

Ces données ont été complétées, dans le cadre du programme d'études régional, par des mesures courantologiques près du fond, en plusieurs sites où les figures sédimentaires faisaient défaut ou étaient orientées de manière particulière (Fig. 36).

Deux types d'appareils ont été utilisés pour ces mesures :

- un courantomètre enregistreur de type Aanderaa, fixé à une potence métallique immergée sur le fond (Fig. 37) ; il se compose d'un boîtier étanche contenant le système de mesure de vitesse, le compas, l'appareillage électronique, et d'un aileron qui s'oriente selon le courant en pivotant librement autour d'un axe support. Il donne les caractéristiques du courant à 1 m au-dessus du fond.

- un courantomètre de type Braystocke, à lecture directe, composé d'un corps fuselé, muni d'une hélice et d'un compas. Les indications de vitesse et de direction du courant sont transmises en temps réel à un boîtier portable, par l'intermédiaire d'un câble conducteur.

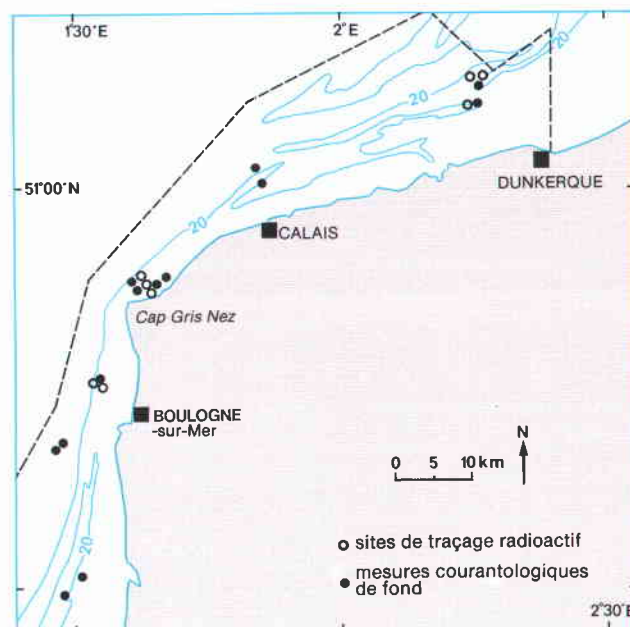


Figure 36 : Localisation des sites de mesure des courants et des points d'immersion de traceur radioactif.

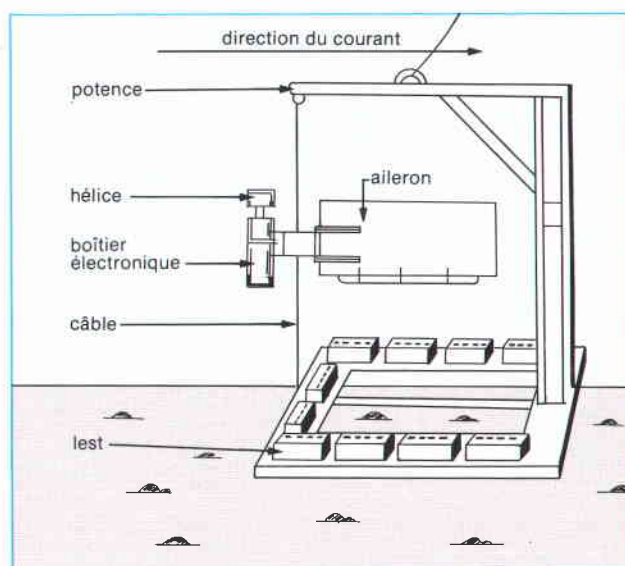


Figure 37 : Le courantomètre Aanderaa.

Les trois types d'indicateurs, morphologiques, sédimentologiques et courantologiques, sont interdépendants ; la présence de figures sédimentaires est conditionnée à la fois par la quantité et la taille de sédiment mobilisable, et la vitesse des courants.

De ce fait, on peut associer à chaque forme des conditions dynamiques (Fig. 38).

STRUCTURE SEDIMENTAIRE	VITESSE DES COURANTS DE SURFACE ASSOCIES	TAILLE DES SEDIMENTS	QUANTITE DE SEDIMENT MOBILISABLE
Rides	sup. à 20 cm/s	inf. à 0,6 mm	importante
Mégarides	sup. à 50 cm/s	sup. à 0,17 mm	importante
Vagues de sable	50 à 150 cm/s	inf. à 0,5 mm et moins de 15 % inf. à 0,063 mm	importante
Bancs sableux	sup. à 50 cm/s	sables fins	importante
Rubans et Traînées	sup. à 80 cm/s	à sables	faible
Taches	inf. à 50 cm/s	moyens	faible

Figure 38 : Conditions de formation des figures sédimentaires.

LA QUANTIFICATION DES TRANSITS SEDIMENTAIRES

La quantification des transits sédimentaires passe soit par le calcul soit par le suivi de sédiments marqués et incorporés au milieu.

Le débit sédimentaire par charriage sur le fond (Q) peut être calculé, dans le cas d'un courant unidirectionnel, par l'équation suivante [9] :

$$Q \text{ (g/cm/s)} = \beta (U - U_c)^3, \text{ dans laquelle}$$

U (m/s) est la vitesse du courant à 1 m du fond,

U_c (m/s) est la vitesse critique de début d'entraînement,

β est une constante de calibrage.

La technique du traçage de sédiments consiste à introduire dans le milieu des matériaux aisément détectables et ayant même comportement hydrodynamique que le sédiment naturel. Mise en oeuvre par le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA), elle permet de déterminer la direction, le sens et les modalités du transport, et de quantifier les vitesses de déplacement, le débit solide et le taux de dilution du sédiment.

Les résultats obtenus représentent la somme de toutes les forces ayant eu une action sur le sédiment marqué pendant la durée de l'expérience. Ils prennent en compte des effets inconnus ou négligés dans les modèles physiques et lors des calculs à l'aide de formules de transport.

Cette opération a été réalisée sur huit sites de la façade maritime régionale (Fig. 36).

L'immersion de matériaux activés dans le milieu naturel est soumise à l'autorisation préalable de la Commission Interministérielle des Radioéléments, à laquelle un dossier complet de description de l'étude est remis.



Figure 39 : Photographie de la sonde de détection du traceur radioactif.

L'évolution des corps sableux est mise en évidence par l'examen des cartes bathymétriques actuelles et anciennes :

- la stabilité ou les déplacements sont évalués par confrontation des isobathes principales (10 m, 20 m) de levés successifs;

- l'évolution volumétrique est mise en évidence par la comparaison de profils transversaux régulièrement espacés et par une estimation des volumes sédimentaires déposés ou érodés le long de chaque profil. Cette technique est seulement utilisée pour les bancs à morphologie de surface simple, sans vagues de sable.

Les matériaux utilisés sont des particules de verre, irradiées et broyées à la taille des sédiments naturels du site. Le traceur doit avoir une durée de vie supérieure à la durée de l'expérience, tout en étant limitée pour ne pas contaminer inutilement le milieu.

Dans notre cas, le traceur utilisé est l'Iridium 192 (Ir 192), dont la période est de 74 jours. La masse de sédiment marqué immergé à chaque point est de 250 à 500 g environ, pour une activité moyenne de 1 curie.

En domaine marin, les immersions sont conduites de telle sorte que les particules radioactives se répartissent en une couche peu épaisse étendue sur quelques centaines de mètres carrés.

Les détections sont effectuées à l'aide d'un ensemble de mesure composé d'une sonde à scintillation, fixée sur un traîneau remorqué sur le fond, et des enregistreurs reliés à la sonde par un câble électroporteur (Fig. 39 et 40).

Les prospections périodiques permettent d'observer l'évolution, dans l'espace et dans le temps, du nuage de particules radioactives.

Les résultats se présentent sous forme de réseaux de courbes « isochocs » et de diagrammes de répartition du traceur selon l'axe du transport. Ces derniers permettent la détermination du centre de gravité du nuage.

Sur les plages, la chaîne de détection est fixée sur un engin motorisé.

Ces résultats sont utilisés pour calculer, dans le cas d'un transport par charriage*, le débit volumique, l'épaisseur de la couche mobile et la vitesse moyenne de propagation.

* Le terme de charriage désigne ici un déplacement des grains sableux essentiellement au contact du fond. Dans le cas d'une suspension, le sédiment se déplace dans la masse d'eau.

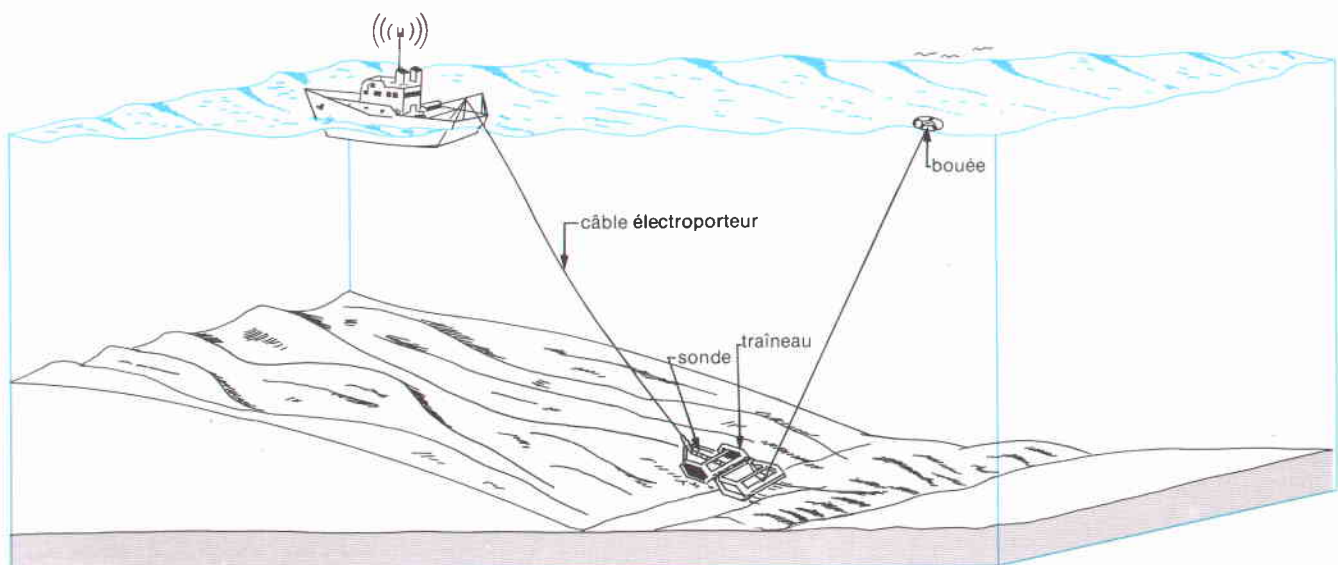


Figure 40 : Détection en mer du traceur radioactif.

LA MOBILITE DES SEDIMENTS ET L'EVOLUTION DES CORPS SABLEUX

La façade maritime régionale est le siège d'un intense transit sédimentaire.

Au large, il est déterminé par l'action de courants de marée parallèles à la côte, dont la résultante porte vers la Mer du Nord. Leur vitesse maximale est partout supérieure à 1,5 noeud (0,75 m/s) en surface ; elle atteint 4 noeuds aux abords du Cap Gris-Nez. Ces courants sont, en raison de leur vitesse élevée et de la faible profondeur, peu modifiés dans la tranche d'eau ; leur direction et leur sens sont conservés, leur vitesse diminue de 20 à 30 %, depuis la surface jusqu'à 1 m du fond, en marée de vive-eau. Près du Cap Gris-Nez, des vitesses maximales de 1,2 m/s ont été mesurées à cette profondeur.

De telles vitesses sont largement suffisantes pour déplacer, en flot comme en jusant, les sables moyens, composants majeurs des corps sédimentaires, dont la mise en mouvement nécessite des vitesses de 30 à 50 cm/s à 1 m du fond. Leur déplacement est donc alternatif, le transit résultant étant orienté dans le sens du courant le plus intense.

Les corps sédimentaires formés reflètent l'action prédominante des courants sur le fond.

Les grands bancs sableux se rencontrent généralement dans des zones où les courants de surface sont de l'ordre de 1 m/s, les rubans à plus de 75 cm/s, les taches sableuses à moins de 50 cm/s [7].

Près des côtes, c'est à dire au niveau du talus littoral, les courants de marée sont atténués, leur direction est modifiée par la morphologie côtière et les aménagements. La présence de sables fins et de vase, déposée par décantation à la partie supérieure du talus, témoigne de la diminution de l'énergie des courants à des profondeurs inférieures à 10 m. La granularité des sables, proche de la taille critique de formation des figures sédimentaires, et leur teneur en particules fines, localement élevée, conjuguées à

l'atténuation des courants, ne permettent pas la formation de mégarides dans ce secteur.

A mesure qu'on s'approche du littoral, l'action des houles sur les sédiments devient prépondérante par rapport à celle des courants de marée (Fig. 41).

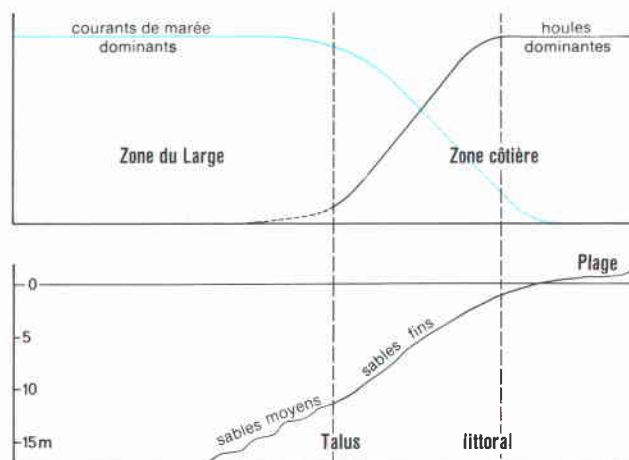


Figure 41 : Variation relative de l'énergie des courants de marée et de la houle, du large vers la côte.

Ainsi, sur chaque façade, on différencie une **zone du large**, soumise à des courants de marée non perturbés, et une **zone côtière** influencée à la fois par les courants de marée atténués et les houles (Cartes V et VI).

La limite entre les deux zones correspond selon les secteurs :

- soit à la base du talus littoral (limite cailloutis-sable),
- soit à la base de son unité supérieure (limite sable moyen-sable fin),
- soit encore à la dépression qui sépare le talus et le premier banc sableux dans le cas d'un talus littoral mal individualisé (Fig. 28).

LA FACADE OUEST

Sur cette façade, la limite entre la zone côtière et la zone du large se situe à une profondeur de 7 à 8 m entre les estuaires de la Canche et de l'Authie, et à une profondeur voisine de 10 m au Nord. Elle correspond dans le premier cas à la base des sables fins, dans le second à la base du talus littoral.

La zone du large se caractérise par une inflexion progressive des directions des courants

Au large de la Bassure de Baas, le renforcement de la vitesse des courants du Sud vers le Nord, surtout sensible aux abords du Cap Gris-Nez (Cf. Fig. 3), se traduit par une évolution progressive des taches sableuses vers des formes plus étirées comme les rubans sableux.

Entre le banc et le talus littoral, la direction des rubans oscille de quelques degrés autour d'une direction moyenne N-S, parallèlement à la côte.

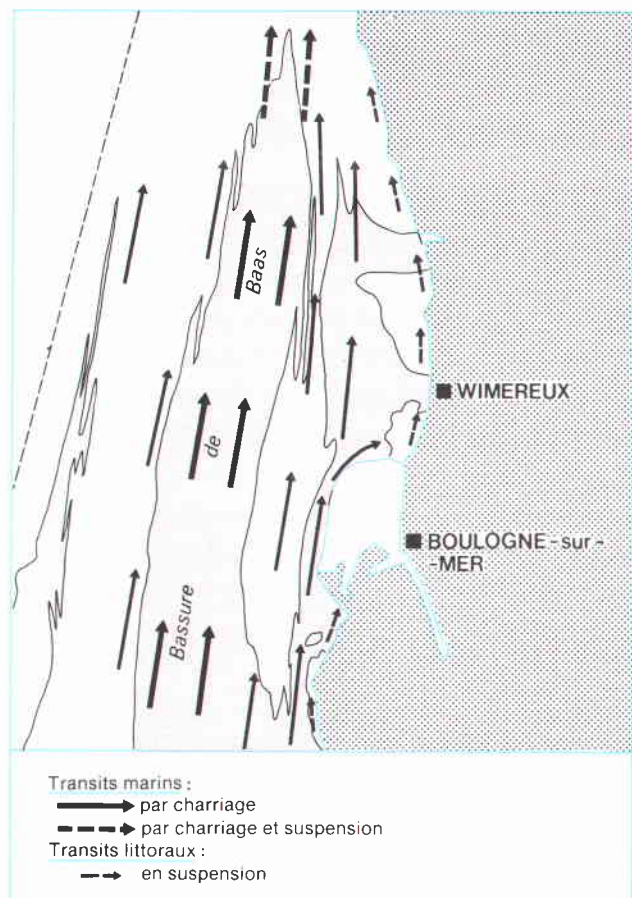


Figure 43 : Transits sédimentaires aux abords de la Bassure de Baas, au Nord de Boulogne-sur-mer.

Sur le Battur et la partie inférieure du talus littoral, entre Berck et Hardelot, les vagues de sable à polarité NNE indiquent des transits sédimentaires de même sens.

Une évaluation du transit sédimentaire par charriage basée sur l'équation de Bagnold modifiée [9] donne une valeur de l'ordre de $150 \text{ m}^3/\text{m}/\text{an}$; elle paraît surestimée par rapport aux résultats obtenus par traçage radioactif sur la Bassure de Baas.

Cette dernière est calculée à partir de l'inversion de polarité des mégarides (Fig. 44).

Les conditions moyennes définies pour cette estimation sont les suivantes :

- coefficient de marée de 70,
- durée du flot 6h,
- durée du jusant 7h,
- vitesse maximale au cours du flot 80 cm/s,
- vitesse maximale au cours du jusant 70 cm/s,
- taille du sédiment 0,2 mm,
- vitesse critique d'entraînement du sable 17 cm/s.

La constante de calibrage β (Cf. p. 45) est calculée à partir d'observations directes de l'inversion de polarité de mégarides au cours d'un cycle de marée (Fig. 44). Sa valeur dépend du volume sédimentaire déplacé, lors de l'inversion, et du laps de temps au cours duquel les sédiments sont effectivement transportés. Cette inversion n'est complète que si la vitesse du courant atteint 60 cm/s.

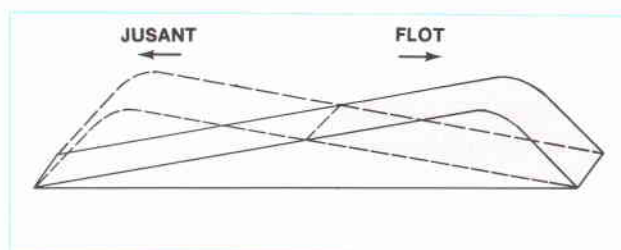


Figure 44 : Inversion de la polarité des mégarides au cours d'un cycle de marée.

Les transits sédimentaires, homogènes depuis la base du talus littoral jusqu'au large de la Bassure de Baas, se différencient nettement aux abords du rail de navigation.

Sur le Vergoyer, les transits sédimentaires sont orientés vers le NE sur le flanc ouest et le sommet du banc. Ils seraient par contre orientés vers le SW sur le flanc est [10]. L'absence d'observations de vagues de sable à polarité vers le SW ne permet pas de vérifier cette affirmation.

Toutefois, les courants semblent très perturbés aux abords du banc ; leur orientation varie sur de courtes distances, à sa terminaison NE. La cause de ces variations pourrait être la légère obliquité du banc par rapport aux courants, qui détermine une atténuation du flot sur le flanc est, suffisante pour que le jusant devienne prédominant.

A une échelle plus réduite, les vagues de sable produisent un effet similaire, qui se traduit par une orientation différente des mégarides de part et d'autre de la crête.

Le schéma de circulation des sédiments sur le Vergoyer, différent de celui de la Bassure de Baas (*Carte V*), s'apparente à celui des bancs de la Mer du Nord méridionale [11].

Sur les «champs» de vagues de sable associés au Vergoyer, certaines structures ont une polarité inverse par rapport au courant résultant général, ce qui pourrait être le résultat d'une inversion locale du transit sédimentaire.

A la limite externe de la zone étudiée, entre Boulogne-sur-mer et le Cap Gris-Nez, l'asymétrie flot-jusant et l'absence d'indicateurs morphologiques de polarité témoignent d'un transit résultant faible.

Les transits sédimentaires, dirigés vers le Nord ou le Nord-Est sur la majeure partie de la façade ouest, s'amortissent en bordure du rail de navigation, à la limite externe de la zone étudiée. Les mesures courantologiques réalisées dans le rail de navigation par le SHOM, indiquant la prédominance du courant de jusant dans l'axe du détroit, complètent nos résultats. Ils permettent de caractériser cette zone, à transit sédimentaire réduit, comme un secteur de passage entre deux domaines à mouvement sédimentaire opposé (*Carte V*).

La comparaison des minutes bathymétriques de 1934 et 1975, en particulier de leurs isobathes de référence (10 et 20 m), met en évidence sur la Bassure de Baas un déplacement, soit vers le large soit vers la côte, au plus de 200 m pendant la période considérée. Le manque de cohérence du sens de migration semble lié à l'incertitude sur la position des levés anciens.

Le Vergoyer se serait également déplacé de 200 m environ vers le NE, de 1898 à 1979.

Les faibles valeurs de déplacement obtenues et l'incertitude sur le repérage des levés anciens traduisent une relative stabilité positionnelle des bancs du large.

La mise en évidence d'un déplacement significatif nécessiterait une observation à une échelle de temps supérieure et un moyen précis de navigation.

L'évolution verticale du banc ne peut être abordée avec les documents dont nous disposons, en raison de la morphologie complexe engendrée par les vagues de sable de plusieurs mètres de hauteur, non identifiées sur les cartes bathymétriques.

La zone côtière, de largeur comprise entre 500 et 2 500 m (*Carte V*) se caractérise par une diminution générale des courants de marée, qui permet d'une part le maintien, sur le fond, des sables fins et, d'autre part, le passage progressif de l'influence dominante des courants à celle des houles.

Les digues du port de Boulogne-sur-mer provoquent une accélération des courants de marée, exprimée sur le fond par la disparition des sables fins, qui composent les secteurs adjacents du talus littoral, au profit de sables moyens.

Au Nord de ces digues, le courant de flot est dévié vers l'intérieur du port ou vers la côte, où sa vitesse décroît, permettant ainsi le dépôt de sédiment marin fin dans le port et sur le talus littoral (*Fig. 43*).

L'action des houles n'a été mise en évidence que localement, entre Boulogne-sur-mer et Wimereux, à une profondeur de 10 m, et probablement de façon temporaire. Elle se traduit par la formation, en période de tempête, de mégarides de houle, de direction N-S et de longueur d'onde de 2 à 3 m. Ces structures symétriques témoignent d'un remaniement sur place des sédiments par la houle, mais ne prouvent pas un déplacement important.

Ce même dépôt a pour conséquence l'évolution rapide du corps sableux édifié en aval de la digue nord du port par rapport au courant de flot dominant, et appuyé sur le talus littoral de Boulogne-sur-mer à Wimereux. Celui-ci, d'une superficie de 8 km², s'est développé de manière significative depuis plusieurs décennies. La migration de l'isobathe 10 m vers le Nord observée sur les minutes bathymétriques de 1934 et 1975 (*Fig. 45*) témoigne de l'extension du banc.

LA FACADE NORD

L'examen des profils bathymétriques transversaux (Fig. 46) indique une augmentation du volume du banc, estimée à 5 millions de mètres cubes pendant le même laps de temps. Celle-ci correspond à une élévation moyenne de 1 cm/an, maximale près de la digue et décroissante vers le Nord.

Sur cette façade, la limite entre la zone côtière et la zone du large correspond d'Ouest en Est aux traits morphologiques suivants :

- le pied du Banc à la Ligne ;
- la dépression entre les Ridens de la Rade et le talus littoral, qui constitue le chenal d'accès au port de Calais ;
- l'isobathe 10 m entre Calais et Dunkerque ;
- la dépression entre le talus littoral et les bancs les plus côtiers, à l'Est du port ouest de Dunkerque (Carte VI).

La zone du large se caractérise par une direction moyenne SW-NE des courants de surface et de fond, qui s'infléchit progressivement d'Ouest en Est de la façade. La vitesse des courants de surface passe, en marée de vive-eau moyenne, de plus de 4 noeuds, devant le site des Caps, à 1,5 noeud devant la frontière franco-belge (Cf. Fig. 3).

La variation de vitesse n'est cependant pas régulière. En effet, les courants, décroissants du Cap Blanc-Nez à Calais, s'accélèrent devant Dunkerque en raison de la place importante prise par les bancs sableux dans la masse d'eau. Leur vitesse atteint 2,5 noeuds dans les chenaux ; elle est nettement inférieure sur les bancs.

Comme sur la façade ouest, la zone à transit sédimentaire orienté vers le NE, sous l'action du courant de flot dominant, passe, vers le centre du détroit, à une zone influencée surtout par le jusant, qui porte au SW (Fig. 47). Leur limite se situe à environ 7 à 8 km de la côte.

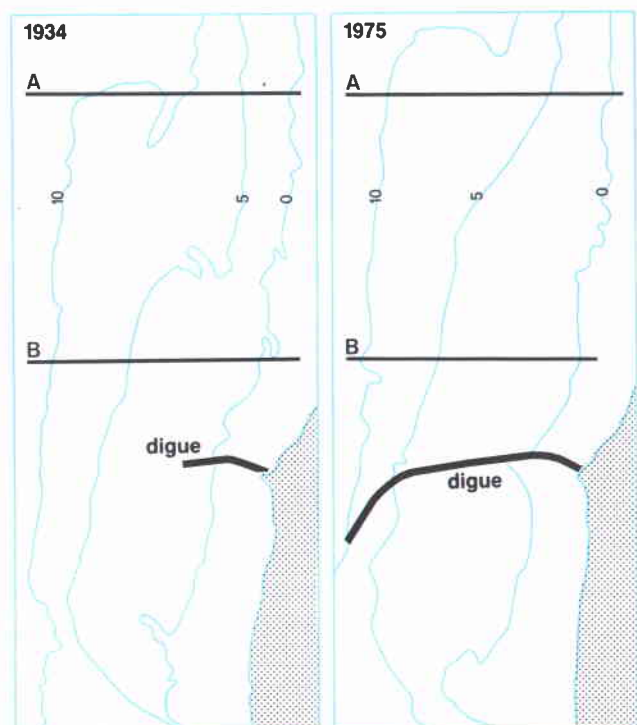


Figure 45 : Evolution des fonds marins au Nord des digues de Boulogne-sur-mer (extraits de cartes bathymétriques de 1934 et 1975).

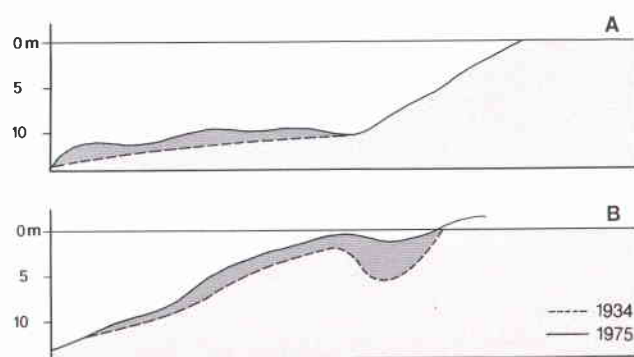


Figure 46 : Evolution des fonds marins au Nord des digues de Boulogne-sur-mer (comparaison de profils bathymétriques transversaux).

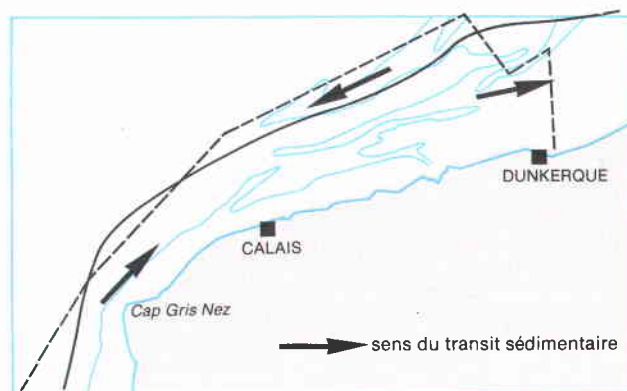


Figure 47 : Schéma de l'orientation générale des transits sédimentaires sur la façade nord.

Elle coïncide avec la limite du rail de navigation à l'Ouest du Cap Blanc-Nez et avec le sommet du Dyck à l'Est.

Les transits sédimentaires sont en fait compliqués par une légère obliquité des bancs par rapport aux courants, ce qui provoque des inversions locales de ces mouvements.

Le schéma classique des transits sédimentaires sur les bancs de cette façade, valable pour de nombreux bancs de la Mer du Nord méridionale [11], montre que le courant (de flot ou de jusant) qui prédomine sur un flanc est freiné par le sommet du banc, et se trouve atténué lorsqu'il aborde l'autre flanc ; ainsi le courant opposé y devient prédominant. Cette circulation a deux types de conséquences (Fig. 48) :

- une polarité différente des vagues de sable sur chacun des flancs du banc ;
- une composante du transit sédimentaire transversale au banc, qui permet le passage des sédiments d'un flanc à l'autre. Si les transits sédimentaires, sous l'action du flot et du jusant, se différencient nettement, ceci peut déterminer à terme une asymétrie du banc.

D'Ouest en Est de la façade nord on peut identifier, d'après les transits sédimentaires, trois secteurs :

Au pied du Banc à la Ligne, la vitesse des courants à 1 m du fond atteint 1,2 m/s lors des marées de vive-eau. Cette vitesse permet le déplacement de sédiments de la taille de petits graviers (2 à 5 mm).

Le complexe de rubans et de vagues de sable (flanc abrupt dirigé vers le NE) qui longe la base du banc, des abords du Cap Gris-Nez à ceux du Cap Blanc-Nez, indique clairement la direction SW-NE du transit sédimentaire. La jonction progressive des rubans vers le NE traduit la décroissance des courants dans cette direction.

La rapide dispersion des traceurs radioactifs selon un axe SW-NE, identique à la direction des rubans, confirme les observations précédemment énoncées. Soixante quatorze jours après l'immersion, le traceur s'étend sur une longueur de 2800 m, et une largeur de 500 m. Le centre de gravité de la tache se situe à plus de 800 m à l'Est du point d'immersion. Sa répartition est nette-

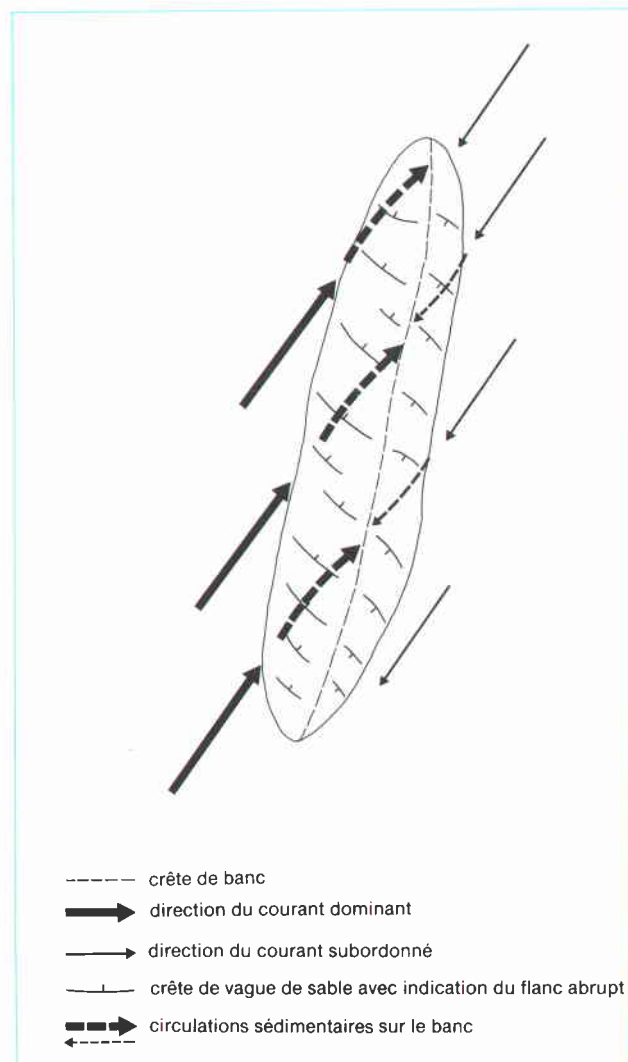


Figure 48 : Schéma des transits sédimentaires sur les bancs sableux de la façade nord. [11].

ment différente de celle observée sur la Bassure de Baas (façade ouest). Les auréoles de concentration sont discontinues ; le traceur s'est réparti en trois îlots indépendants (Fig. 49). Cette disposition est interprétée comme le résultat d'un mode de transport mixte des sédiments : par un charriage sur le fond et par une mise en suspension.

Cette dernière, qui se produit probablement au niveau des crêtes de vagues de sable, détermine une vitesse de transport élevée (11 m/jour), nettement supérieure à celle mesurée dans le cas d'un charriage seul.

Cette mise en suspension des sables (de taille 0,2 à 0,25 mm) est également soupçonnée à proximité du Cap Gris-Nez, où les courants sont plus violents encore qu'au pied du Banc à la Ligne. Un tel mode de transport permet le passage du sédiment au dessus des crêtes rocheuses sous-marines qui prolongent le cap, et un rapide déplacement vers le NE.

Devant le cap Blanc-Nez, le massif rocheux des Quénocs forme une barrière qui s'oppose au courant de flot ; à l'Est de ces roches, le flot est atténué, le jusant y devient alors dominant. La polarité des figures sédimentaires est donc inversée de part et d'autre du massif ; le flot devient à nouveau dominant plus à l'Est, dès que l'on s'écarte de la zone d'influence des roches.

Au large de Sangatte, la migration d'une barkhane (carte IV) a été suivie lors de levés bathymétriques successifs. Son déplacement vers le NE est de 70 m/an [12].

Du Cap Blanc-Nez à Dunkerque-ouest, l'obliquité des Bancs de Calais, du Dyck et du Ruytingen par rapport aux courants détermine un transit sédimentaire opposé sur leurs flancs.

Le flanc sud et le sommet du Dyck sont principalement soumis au flot, alors que son flanc nord est dominé par le jusant.

Le Ruytingen montre un schéma inverse : le jusant domine sur la plus grande partie du banc, à l'exception du flanc sud protégé du jusant.

Les Bancs de Calais sont également soumis à des influences différentes : les ridens de Calais ont un flanc nord exposé au flot et un flanc sud au jusant ; c'est l'inverse sur les ridens de la Rade.

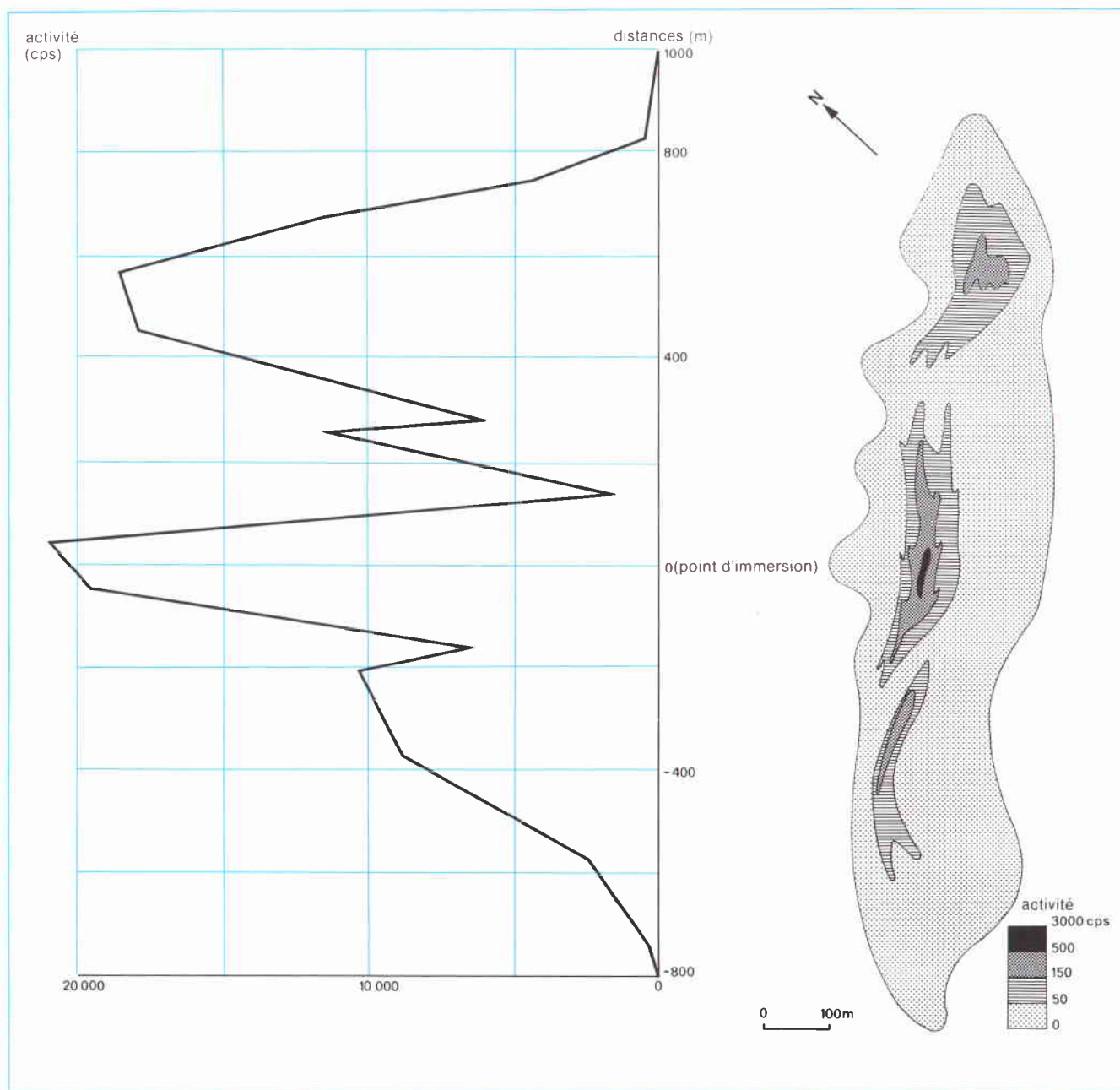


Figure 49 : Répartition du traceur radioactif au pied du Banc à la Ligne.

Le traçage radioactif réalisé sur le sommet du Dyck central, à une profondeur de 4,5 m, a montré un mode de transport des sédiments différent de celui identifié sur la Bassure de Baas ; une importante partie du sédiment y est très rapidement mise en suspension (75 % dispersés en 24 heures). Le reste transite par charriage sous la double influence du flot et du jusant.

Le transport résultant porte au NE, avec une vitesse de 1,5 m/jour.

Le débit moyen du transport par charriage est de 0,1 à 0,3 m³/m/jour. Il atteint 0,44 m³/m/jour pour un coefficient de marée élevé (114).

L'une des causes pouvant être invoquées pour expliquer cette mise en suspension importante est la position très élevée de ce banc faiblement immergé.

A l'Est de Dunkerque-ouest, les bancs sont contigus, séparés par des chenaux sableux sur toute la largeur de la zone étudiée. De plus, les vagues de sable y sont peu abondantes par rapport aux autres secteurs. L'absence relative d'indicateurs morphologiques, dans ce secteur où les courants de surface indiquent des variations rapides du sens du courant dominant, nous a conduits, une nouvelle fois, à étudier les transits sédimentaires par traçage radioactif.

Le suivi des traceurs immergés en deux sites, dans les chenaux sableux qui séparent le Dyck et le Breedt d'une part, l'In Ratel et le Breedt d'autre part, a montré un étalement rapide et important, sous l'influence des courants, pour les deux sites (Fig. 50). Le transport s'effectue essentiellement en suspension sous l'action des courants de marée, en direction de l'Est.

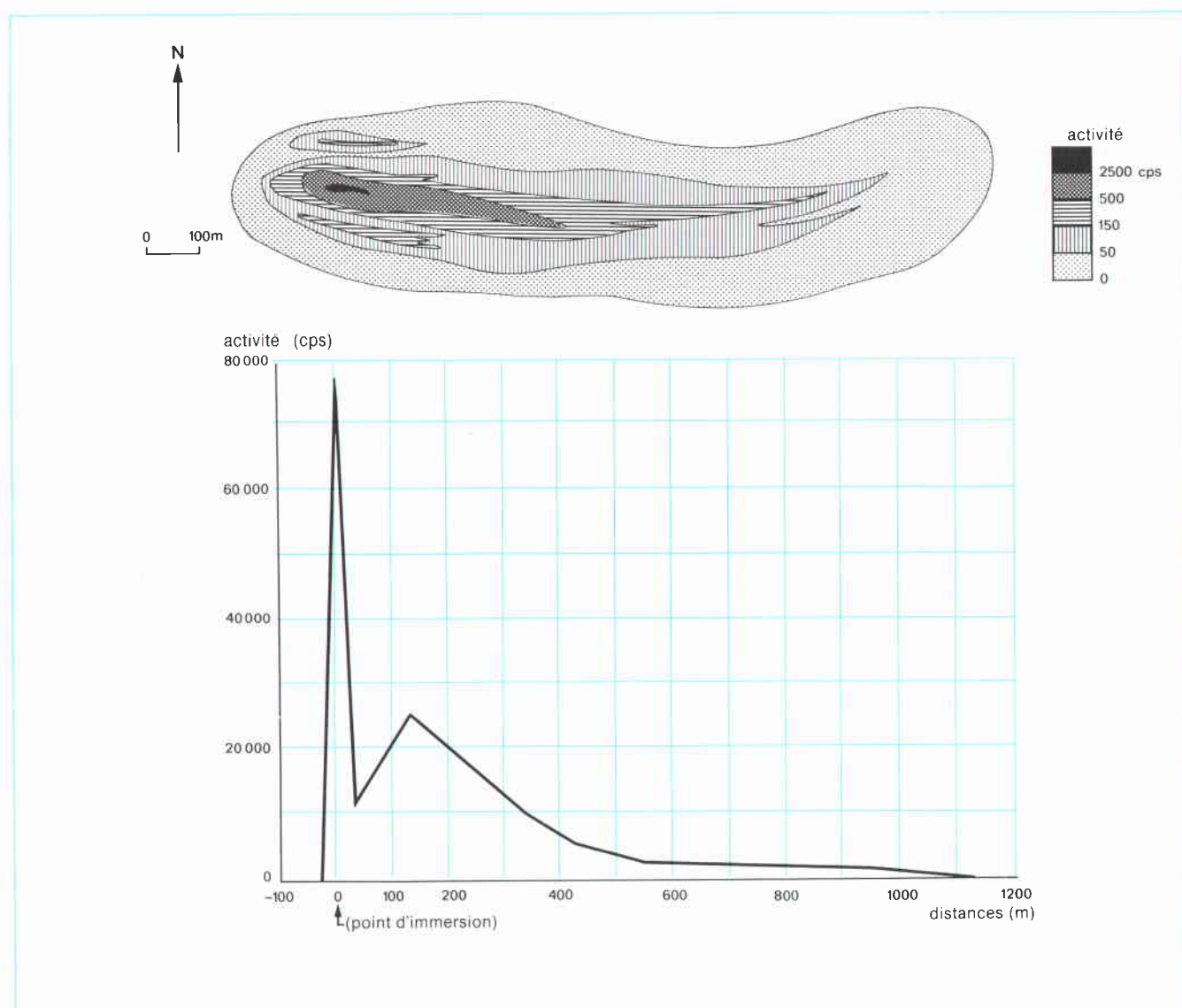


Figure 50 : Répartition du traceur radioactif dans les chenaux entre les bancs de Dunkerque.

Les autres particules transitent par charriage, à une vitesse moyenne de 1,5 m/jour, sur une épaisseur faible (1 à 2 cm). Le sens du transport est opposé sur chaque flanc des bancs.

Les directions du transit sédimentaire ne sont ici parallèles ni à l'orientation des bancs, ni à celle des courants.

Les transports sédimentaires, de direction moyenne WSW-ENE sur la façade nord, sont complexes : leur orientation varie d'un flanc à l'autre des bancs, en raison de leur obliquité par rapport aux courants. Le mode de transport par suspension des sables moyens marqués devient ici dominant vers l'Est, dans les chenaux sableux comme sur les bancs ou les rubans.

Le débit du transport par charriage est comparable à celui de la façade ouest. Ceci permet de définir une valeur régionale moyenne de ce débit : 0,2 m³/m/jour soit 73 m³/m/an.

Les mouvements résultants sont orientés, à l'échelle de la façade, vers la Belgique près des côtes, vers la Manche plus au large (Fig. 47).

La comparaison de documents cartographiques, issus des archives du SHOM, établis entre 1836 et la période actuelle montre que la plupart des bancs de la façade nord n'ont subi que peu ou pas d'évolution spatiale. Les variations qui sont constatées d'une carte à l'autre ne sont pas significatives.

Au Nord de Calais, l'évolution des Ridens de la Rade est beaucoup plus importante. GARLAN (communication personnelle) indique une vitesse moyenne de migration du corps sableux vers le Sud comprise, selon les époques, entre 3 et 33 m/an pendant la période 1911-1988.

En fait, on assiste à un déplacement de la position du flanc abrupt du banc par accumulation de sédiments, alors que le flanc doux est moins mobile. La position de la crête du banc s'est ainsi déplacée d'environ 1 km en 77 ans. Il en résulte un rétrécissement et un comblement progressif du chenal d'accès au port de Calais.

La zone côtière de cette façade se caractérise par des transits sédimentaires spécifiques, particulièrement en Baie de Wissant.

Le changement d'orientation de la côte au niveau du Cap Gris-Nez provoque une modification importante des courants dans la baie, située

immédiatement en aval du cap par rapport au courant de flot dominant.

Les courants de marée, orientés SW-NE au large, sont déviés vers la côte à l'approche de celle-ci. Cette déviation s'accroît près du cap jusqu'à former un tourbillon centré sur le sommet du Banc à la Ligne.

Ce phénomène s'accompagne d'une diminution de vitesse d'environ 30% par rapport à celle mesurée au pied du banc. La durée des phases de courant est également modifiée, par l'apparition d'un contre courant portant au SW à la fin du flot.

Les vagues de sable indiquent une orientation vers l'Est des transits sédimentaires en face de Wissant (Carte IV).

Néanmoins sur le Banc à la Ligne lui-même, en particulier à son sommet et sur son flanc interne, aucun indicateur morphologique n'est identifié.

Par contre, les sables fins de ce flanc subissent un mouvement vers l'Ouest dans cette partie du banc. Près du cap, ils sont repris et dispersés vers le NE par les courants du large (Fig. 51).

Le Banc à la Ligne est un «banner bank» ou «banc en drapeau». Ce type de banc, édifié en arrière d'un cap, d'un obstacle ou d'un îlot, se différencie de ceux du large par une taille plus réduite, mais surtout par un mode de mise en place différent : c'est une marque d'obstacle de grande taille (Cf. p. 33).

Le traçage radioactif réalisé à l'extrémité nord-orientale du Banc à la Ligne indique l'action dominante d'un courant de flot dévié vers l'Est, à une profondeur de 5 m. Le déplacement du centre de gravité de la tache est en moyenne de 1,4 m/jour. Le transport sédimentaire s'effectue principalement par charriage sur le fond, avec un débit assez élevé : 0,34 m³/m/jour. L'épaisseur de sédiment remanié est également importante, environ 30 cm.

L'action des houles se traduit par des modifications saisonnières de la répartition des sables fins et moyens sur le banc.

La Baie de Wissant doit être considérée comme un secteur indépendant de la zone du large, comme l'indiquent les directions de transport parallèles au pied du banc (Fig. 51).

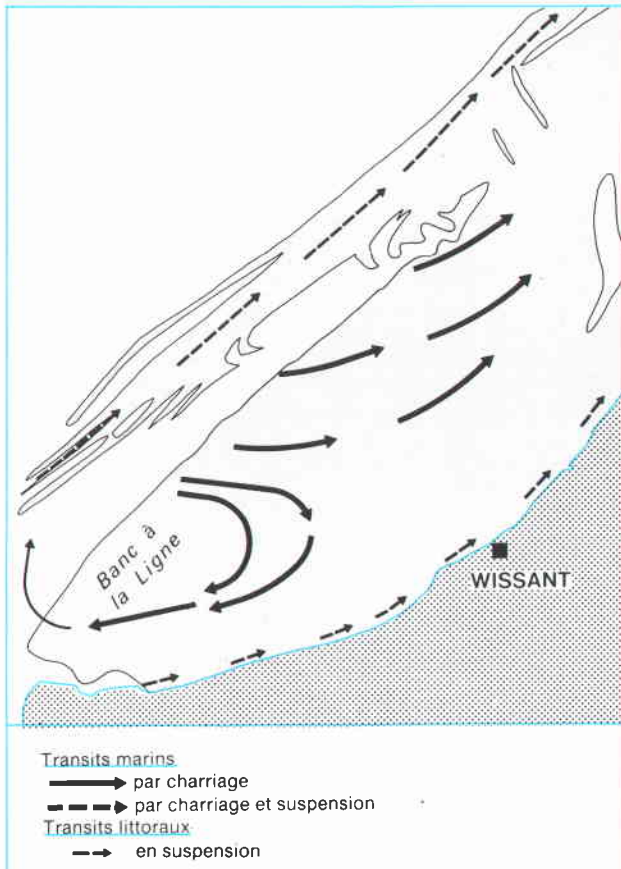


Figure 51 : Orientation des transits sédimentaires en Baie de Wissant.

Les plages sont le siège d'un processus appelé «dérive littorale», qui a pour effet de déplacer les sédiments parallèlement à la côte, sous l'action de houles incidentes obliques.

L'estran de Wissant est soumis à une dynamique intense, qui se traduit par deux phénomènes principaux (Fig. 52) :

- un abaissement hivernal important de l'estran (0,5 à 1,5 m), qui met à l'affleurement des niveaux de tourbe, à Tardinghen ;
- un recul rapide du cordon dunaire, entre Wissant et le Cap Gris-Nez.

Le traçage radioactif réalisé au milieu de l'estran a mis en évidence des transits sédimentaires très différents de ceux observés sur les sites marins : l'immobilité initiale du traceur, pendant plus d'un mois, indique l'absence d'effet des courants de marée sur les transits littoraux.

Par contre, lors de la première tempête, de secteur SW, le traceur s'est rapidement déplacé, sous l'action des houles. Il s'est réparti de manière complexe, liée, sans doute, à la morphologie très irrégulière de l'estran (Fig. 53).

Les transits sédimentaires, sous l'action conjuguée des houles et du vent de même direction, sont orientés vers le NE. Une autre direction de transit (SSE-NNW), transverse à la plage, est mise en évidence mais n'a pu être quantifiée.

L'épaisseur de sable remanié en un seul cycle de marée est importante, de l'ordre de 50 cm. Le débit total, sous l'action des houles et du vent, est de 1,6 m³/m/jour. Cette valeur est 5 à 10 fois supérieure à celle mesurée sur l'ensemble des sites marins de la façade régionale.

La vitesse de déplacement du traceur est aussi plus importante, de l'ordre de 9 m/jour.

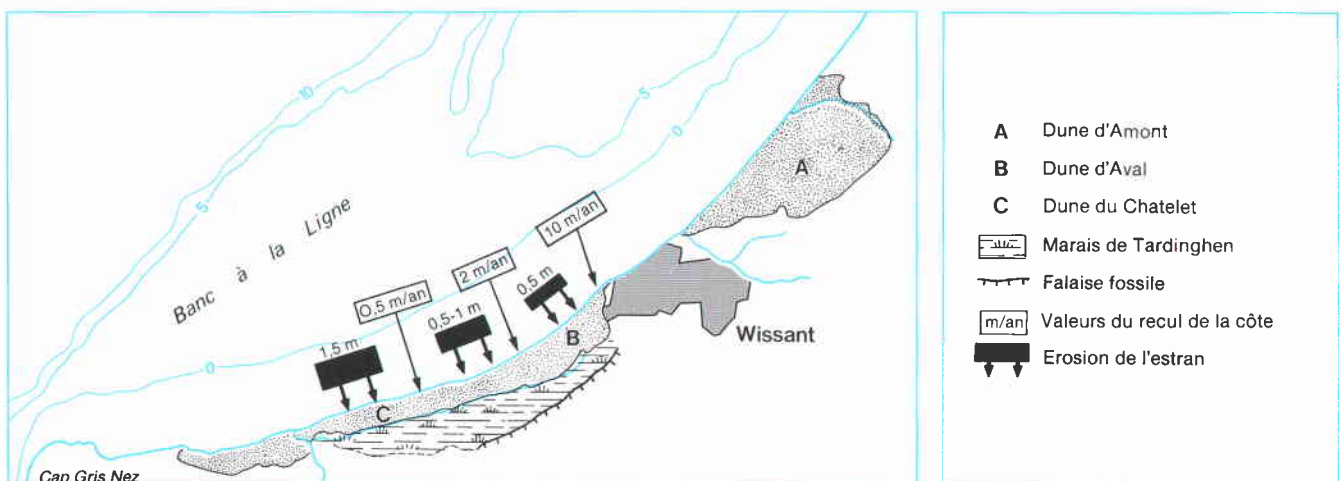


Figure 52 : Evolution du littoral de Wissant au cours de l'hiver 1983-1984.

Ce traçage met en évidence les différences fondamentales entre les transits sédimentaires marins, périodiques, liés à la cyclicité des courants de marée, et les transits littoraux, indépendants des courants, temporaires mais brutaux, liés aux tempêtes. La comparaison des vitesses de dispersion du traceur en mer (plusieurs mois) et à la côte (quelques jours) illustre bien cette différence.

Il montre également que la dérive littorale des sédiments s'accompagne d'échanges entre la plage et le Banc à la Ligne, qui n'ont pu être quantifiés de façon rigoureuse.

Ces résultats permettent d'imputer aux seules tempêtes le recul du cordon dunaire et l'abaissement de la plage.

L'analyse de la direction principale de transport sédimentaire permet de déduire les relations entre la plage et le cordon dunaire. Parallèle à l'ensemble Dune d'Aval-Dune du Châtelet, situé à l'Ouest de Wissant (Fig. 52), elle ne permet pas d'apport de sédiment à ces dunes fortement

érosées. Par contre, la dune d'Amont, oblique par rapport à la direction de transport, capte une partie des sables enlevés à la plage, ce qui contribue à son engraissement actuel.

La juxtaposition des informations disponibles sur l'évolution du Banc à la Ligne et celle du littoral de Wissant apporte des précisions sur les relations actuelles entre les deux domaines marin et littoral. Elle montre également la complexité des phénomènes sédimentaires côtiers.

L'évolution morphologique du Banc à la Ligne est mise en évidence par la comparaison des minutes bathymétriques (échelle : 1/10 000) de 1911 et de 1975 (Fig. 54) ; entre ces deux époques, il s'est produit un amaigrissement important du sommet du banc et une réduction de la largeur de l'estran.

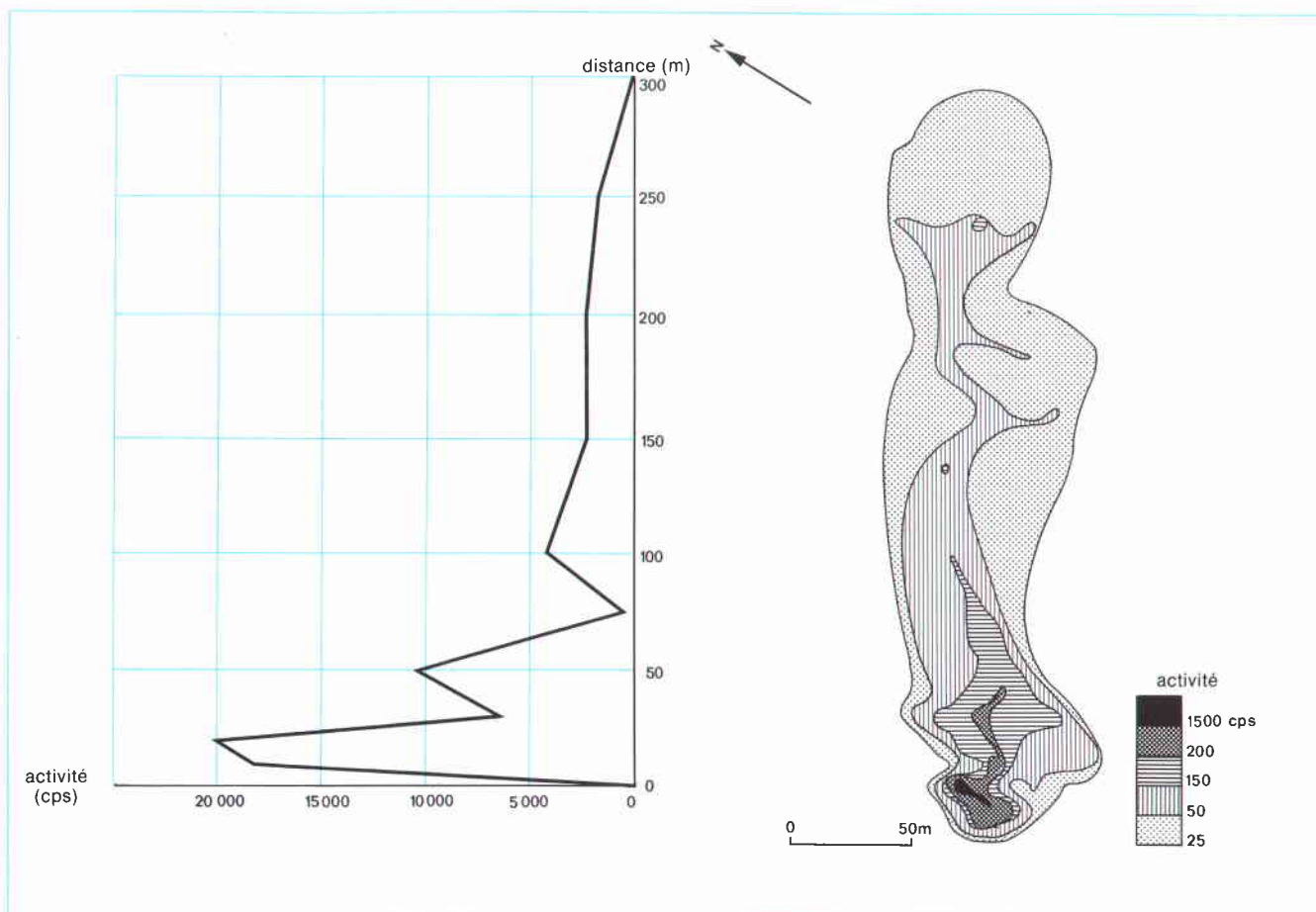


Figure 53 : Répartition du traceur radioactif sur l'estran de Wissant après une tempête de secteur SW.

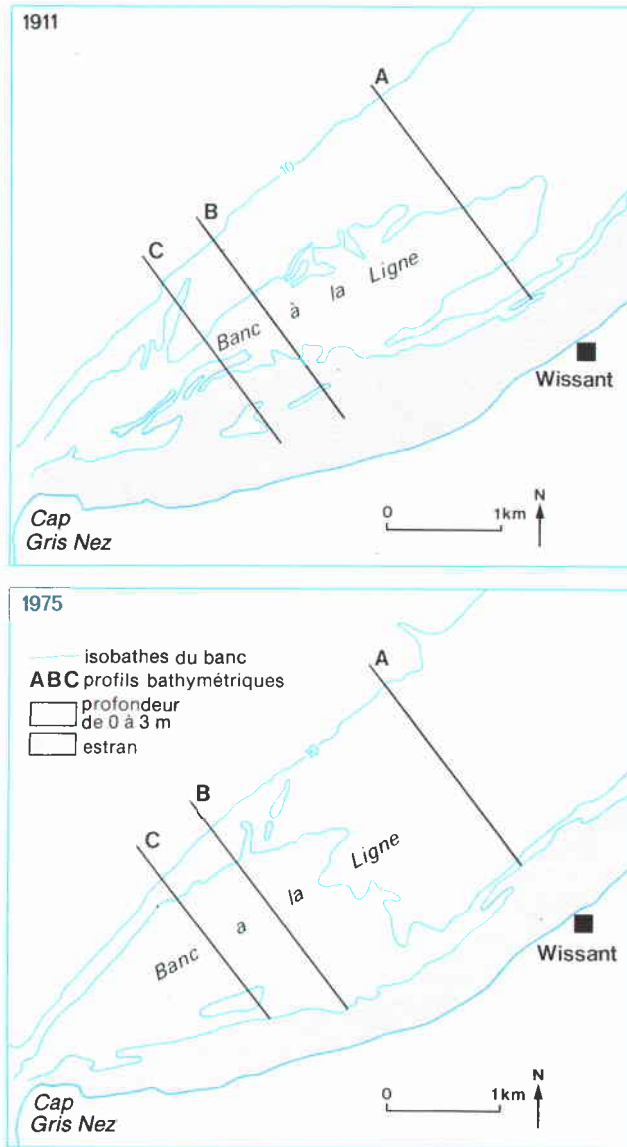


Figure 54 : Evolution du Banc à la Ligne - extraits de cartes bathymétriques de 1911 et 1975.

Les profils transversaux donnent une idée plus précise des variations, dans chacun des secteurs du banc (Fig. 55) :

- dans la partie orientale (profil A), le flanc externe du banc s'est déplacé de 400 m environ ; l'abaissement du sommet de banc est de 1 à 3 m.
- dans la partie centrale du banc, l'évolution est comparable ; il s'y ajoute une forte réduction de l'estran, pouvant atteindre 1100 m (profil B).
- dans la partie occidentale (profil C), les variations sont plus faibles.

Au total, pour la seule partie supérieure du Banc à la Ligne, l'amaigrissement est de 13 millions de mètres cubes en 64 ans, soit un abaissement moyen de 2 cm/an, ou encore une perte de 100 000 m³/an.

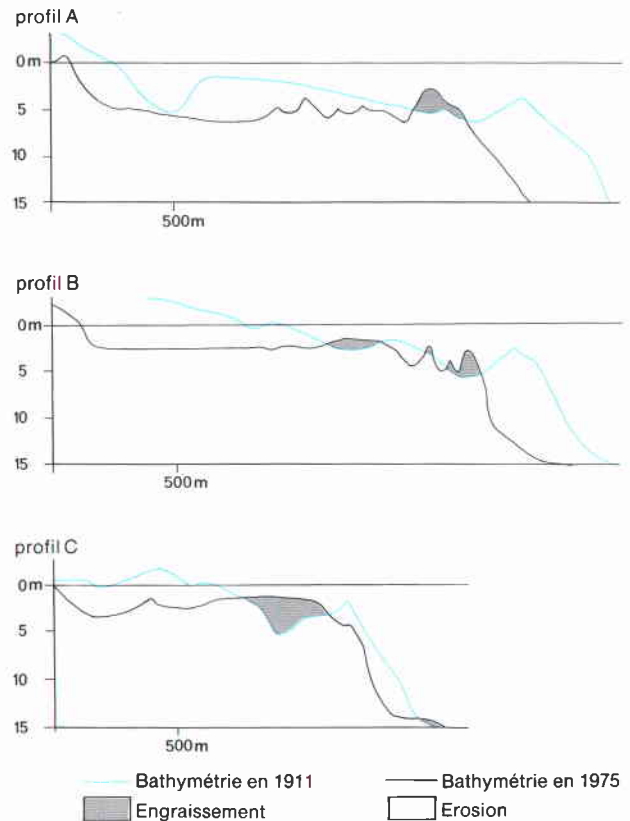


Figure 55 : Evolution du Banc à la Ligne - comparaison des profils bathymétriques transversaux.

Les variations ne sont pas homogènes sur l'ensemble de la partie supérieure du banc (Fig. 56) : la zone située entre son sommet et la plage s'est fortement érodée. L'érosion est maximale dans deux secteurs proches de Wissant, où elle atteint 8 cm/an. Seul le sommet du banc s'est globalement élevé entre 1911 et 1975.

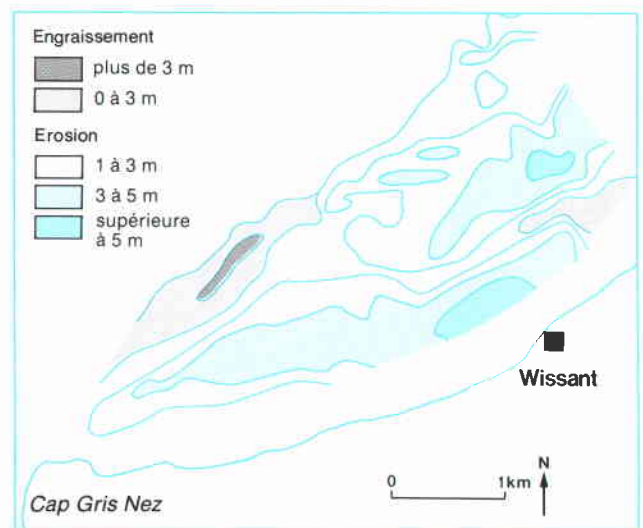


Figure 56 : Bilan de l'évolution du sommet du Banc à la Ligne entre 1911 et 1975.

Le bilan sédimentaire du Banc à la Ligne est donc, comme celui de la plage et du cordon dunaire, nettement négatif.

L'érosion, visible sur le littoral, s'étend à toute la zone côtière de Wissant.

Les sédiments déplacés, vers le NE sur la plage et dans les dunes, sous l'action des houles et du vent, ou vers le large sur une partie du Banc à la Ligne, par les courants de marée, sont perdus pour la baie.

Les apports de la dérive littorale sont les seuls à alimenter la baie : les sédiments issus de la façade ouest transitent parallèlement au pied du Banc à la Ligne, en direction des Bancs de Flandre. Ces apports sont insuffisants pour compenser les pertes, ce qui détermine un déséquilibre et l'amaigrissement des corps sédimentaires côtiers.

Cette phase récente d'évolution du Banc à la Ligne, qui a débuté au début du siècle, succède à une phase de migration du banc, du large vers la côte, et d'engraissement du littoral [13].

La soudure du banc à la côte, et la phase suivante d'amaigrissement s'accompagnent d'un déplacement vers l'Ouest de la zone littorale érodée selon la chronologie suivante :

- de 1883 à 1926, la zone érodée se situe au NE de Wissant, au niveau de la Dune d'Amont [14] ;

- en 1930, l'érosion touche la digue de Wissant ;

- de 1947 à 1986, l'érosion affecte les dunes d'Aval et du Chatelet, à l'Ouest de Wissant, alors qu'à l'Est, la Dune d'Amont engraisse ;

- depuis 1986, elle touche à nouveau la digue de Wissant.

Ces observations montrent que les modifications du domaine marin : amaigrissement du Banc à la Ligne, creusement d'une dépression parallèle à la côte entre le sommet de banc et la plage par le contre-courant créé, se sont répercutées sur le littoral.

Toute la zone située entre Wissant et le cap Gris-Nez est passée d'une situation excédentaire, au début du siècle, au déficit sédimentaire actuel.

CONCLUSION

La façade maritime régionale est le siège d'un important transport de sédiment.

Au large sous l'action de forts courants de marée (moyenne 2,5 noeuds), les sables migrent de la Manche vers la Mer du Nord jusqu'à une distance de 7 à 8 km de la côte, dans le sens opposé au-delà.

Le mouvement, parallèle à la côte, se produit principalement sur les bancs sableux, où la quantité de sédiment mobilisable est importante. Les débits sédimentaires par charriage sont de l'ordre de 70 m³/m/an.

Ce transit n'affecte qu'une mince couche de quelques centimètres à la surface du banc.

L'orientation des bancs par rapport aux courants de marée détermine le mécanisme de circulation du sédiment sur l'ensemble de la structure sableuse :

- sur un banc strictement parallèle aux courants, comme la Bassure de Baas, les transits sont orientés dans le même sens sur les deux flancs du banc ;

- pour le Vergoyer et la plupart des bancs de la façade nord, légèrement obliques, les transits sont inversés sur chacun des flancs.

Au transit par charriage sur le fond, s'ajoute un phénomène de mise en suspension qui disperse rapidement les sables dans des secteurs à très fort courant (Cap Gris-Nez, chenaux inter-bancs), ou en sommet des bancs sous faible profondeur d'eau.

Les bancs du large, en particulier la Bassure de Baas, peuvent être considérés comme des édifices stables à l'échelle décennale voire centennale, mais en perpétuel renouvellement dans leur couche superficielle.

Ce résultat s'accorde avec ceux des travaux effectués devant les côtes belges, qui ont montré une oscillation faible de la position et du volume des bancs de Flandre autour d'une position moyenne [15].

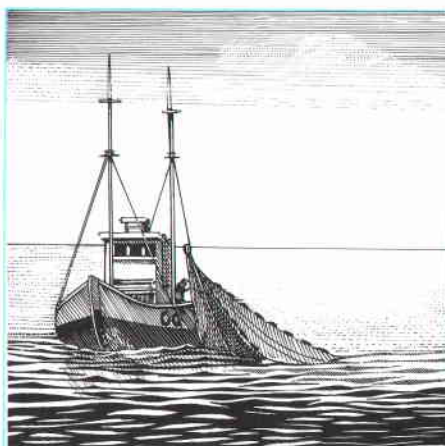
Le maintien de ces bancs suppose un important flux de sédiment provenant du Sud pour compenser les volumes déplacés vers le Nord ou l'Est.

En zone côtière, les phénomènes sont plus complexes ; ils intègrent la diminution de l'intensité des courants de marée, la modification de leur direction, et l'augmentation de l'influence des houles vers la côte, provoquant des transits sédimentaires parallèles à celle-ci par dérive littorale.

L'étude détaillée de la Baie de Wissant, où l'érosion littorale atteint, pour la région, sa valeur maximale, met en évidence les relations sédimentaires étroites entre les trois compartiments du domaine côtier (dune, plage et petits fonds), leur interdépendance, et surtout leur fragilité, liée à un déficit sédimentaire exprimé par leur évolution rapide lors des tempêtes.

QUATRIEME PARTIE

L'APPORT AUX ACTIVITES MARITIMES



L'exploitation des ressources marines

La pêche

Le domaine étudié est le territoire privilégié de la pêche artisanale, et plus précisément de la «petite pêche».

Elle est pratiquée par des unités de longueur généralement inférieure à 12 m pour des sorties de moins de 24 heures et jusqu'à 12 milles nautiques des côtes [16].

Les *cartes des sédiments superficiels*, établies à l'échelle des cartes de navigation (SHOM) couramment utilisées par les pêcheurs, sont susceptibles d'apporter à chaque métier des informations relatives à son activité propre, notamment en ce qui concerne la nature et l'extension des différents types de fond.

Les indications morphologiques portées sur ces cartes, en particulier sur les fonds sableux, ont un intérêt pour le sens du chalutage : sur les Ridens de Calais certaines vagues de sables ou «ridins» ont une dénivellation de 15 m (pente 15 à 20°). Quant aux affleurements rocheux, ils sont des abris pour les poissons, mais peuvent aussi causer des dommages aux chaluts.

Les cartes ne mentionnent pas la localisation des épaves, abris privilégiés, bien que plusieurs d'entre elles aient été repérées (Fig. 57).

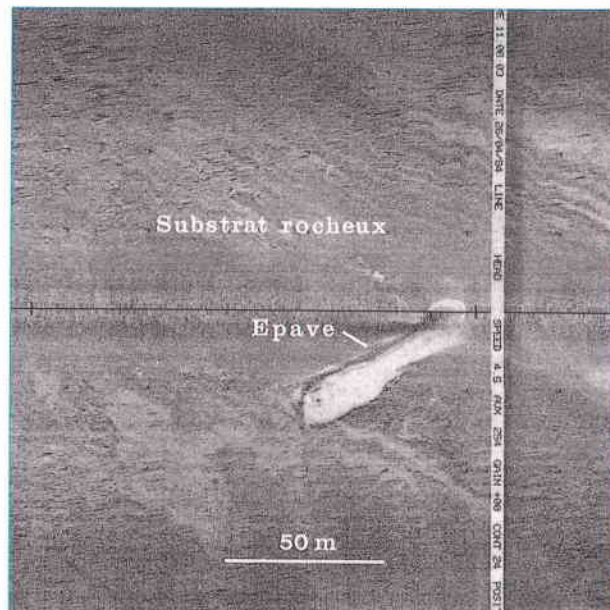


Figure 57 : Sonogramme montrant une épave de navire au large de Boulogne-sur-mer.

L'intensité de l'effort de chalutage dans certains secteurs s'exprime, sur le fond, par des marques caractéristiques aisément détectables au moyen du sonar latéral (Fig. 58).

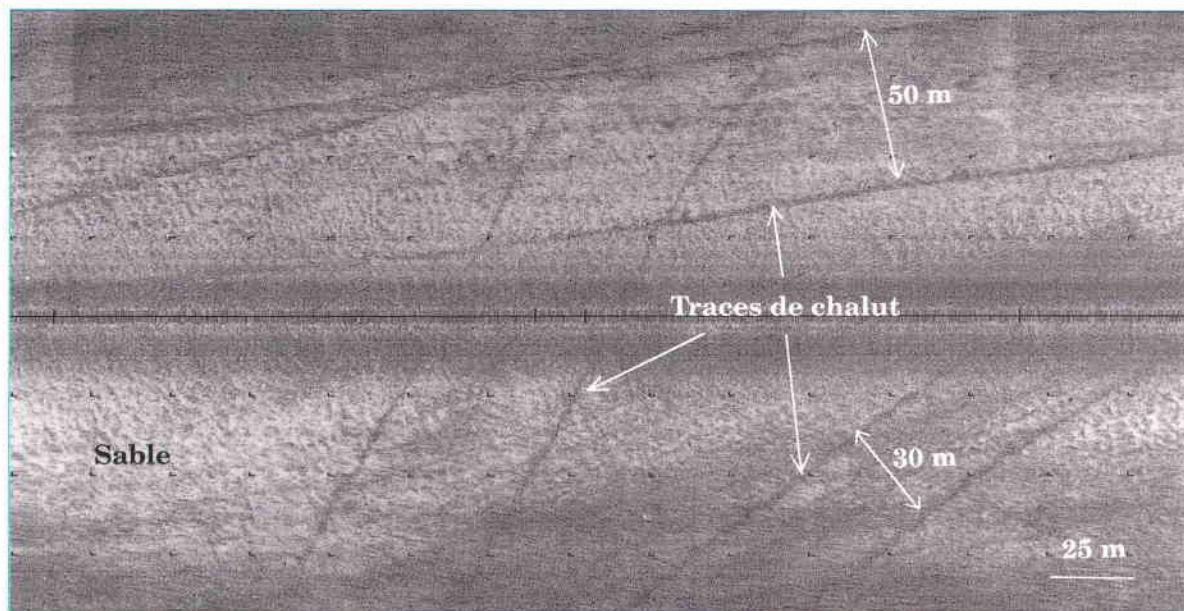


Figure 58 : Sonogramme montrant des traces de panneaux de chalut au large de Dunkerque.

La «petite pêche» regroupe plusieurs types d'activité ou «métiers» :

- les arts dormants, qui consistent à poser des filets calés essentiellement sur les fonds sableux, ou des casiers sur les fonds rocheux. Les espèces visées sont respectivement les poissons plats, la morue et les crustacés.

Ils sont pratiqués par plus d'une centaine de bateaux, basés à Dunkerque, Grand-Fort-Philippe, Calais, Boulogne et Etaples [16].

- les arts traînants (en particulier le chalutage de fond), sont pratiqués, à une distance de la côte supérieure à 3 milles, par environ 120 bateaux basés dans les ports de la façade régionale.

La zone des 3 milles fait l'objet d'un chalutage spécifique à la crevette ou à l'anguille. Cette activité intéresse environ 20 bateaux d'Etaples, Grand-Fort-Philippe et Dunkerque.

L'extraction de matériaux

L'apport des documents cartographiques aux activités d'extraction de sables et graviers marins revêt plusieurs aspects :

- la délimitation précise des secteurs exploitables en individualisant les ensembles sableux, dont les constituants sont recherchés à l'usage du bâtiment et des travaux publics ;

- la définition d'un état de référence des fonds marins directement concernés par le projet d'exploitation et environnants. Cette démarche inclue la connaissance des conditions hydrodynamiques (courants, houles) et des directions de transit sédimentaire permettant d'évaluer le risque de l'extraction sur la stabilité du littoral ;

- l'apport d'informations pratiques pour le dragage : morphologie et courant sur le fond.

L'évaluation du gisement nécessite des levés spécifiques par sismique réflexion pour estimer le volume et par carottage pour connaître sa nature interne.

L'impact des exploitations anciennes est mis en évidence dans les sédiments grossiers (cailloutis) ; les traces demeurent visibles pendant plusieurs années après la fin de l'activité (Fig. 59). Ces marques témoignent de la faible mobilité des sédiments grossiers, qui ne permet pas le comblement des sillons. En domaine sableux, par contre, les traces de l'extraction sont rapidement effacées.

Le domaine marin du Nord-Pas de Calais a été le siège de quelques extractions de matériaux de 1971 à 1980. Les sites concernés ont été la Bassure de Baas pour l'emprunt de sables et le large de Wissant pour les sables et graviers.

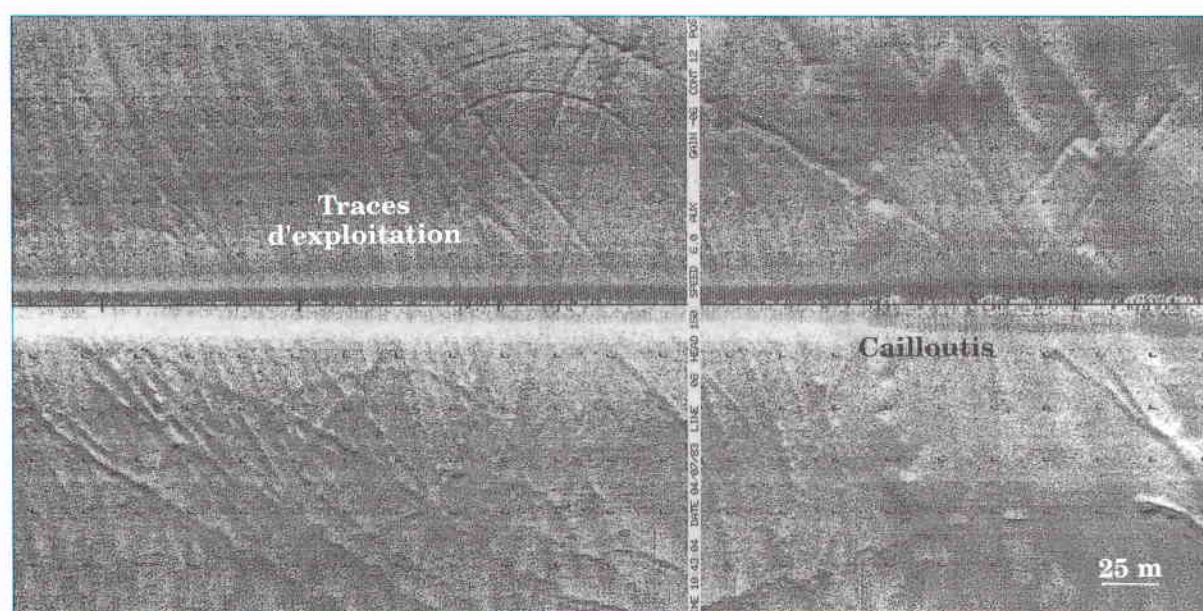


Figure 59 : Sonogramme montrant des traces d'exploitation de granulats marins au large de Wissant.

Les granulats du domaine public maritime, situés à l'intérieur des 12 milles, sont considérés comme produits de mines et dépendent d'une juridiction régie par la loi 76-646 du 16 juillet 1976 «relative à la prospection, à la recherche et à l'exploitation des substances minérales non visées à l'article 2 du code minier et contenues dans les fonds marins du domaine public métropolitain», et par son décret 80-470 du 18 juin 1980.

C'est au titre de l'uniformisation territoriale du régime appliqué aux extractions marines, que les matériaux de construction et de viabilité se trouvent rattachés à la catégorie des substances des mines. Pourtant le législateur en a exclu les sédiments calcaires marins (le maërl et les sables calcaires en Bretagne), les petites exploitations terrestres (quantité inférieure à 100 000 T) prolongées en mer et les extractions entreprises pour des travaux maritimes (création d'un ouvrage public maritime, entretien d'un chenal d'accès,...). Il est intéressant de constater le respect des traditions de la population côtière et des prérogatives des administrations compétentes sur le domaine public maritime.

Les extractions de granulats sur le domaine public maritime sont subordonnées à l'obtention conjointe de deux documents :

- un titre minier, en application du décret 80-204 du 11 mars 1980 ;

- une autorisation domaniale : autorisation d'occupation temporaire du domaine public maritime en vue de l'extraction de matériaux, en application du décret 80-330 du 7 mai 1980. Cette autorisation, instruite par le service maritime de l'Équipement et délivrée par le Préfet du département, est subordonnée à l'octroi du titre minier. Elle mentionne en particulier le tarif de la redevance domaniale déterminé par le Ministre chargé des Domaines. Celui-ci fixe tous les deux ans le tarif minimum et le tarif maximum applicables aux quantités extraites selon la nature des substances. Le directeur des services fiscaux du département établit, dans cet écart, le tarif applicable dans son département.

Actuellement le tarif minimum est 2,43 F/m³ et le tarif maximum 4,86 F/m³.

La fixation de la redevance n'ayant pas lieu à l'échelon central, elle n'est pas uniforme sur tout le territoire national et peut varier de façon conséquente entre deux départements voisins.

D'autre part la loi 76-646 introduit deux éléments essentiels intégrant les dispositions prises, pour la protection de l'environnement, par la loi 76-629 du 10 juillet 1976 et son décret 77-1141 du 12 octobre 1977, qui sont :

- l'obligation pour le pétitionnaire de présenter un dossier complet avec une étude d'impact qui permet de prendre en compte la spécificité du milieu marin ;

- la consultation des maires des communes concernées, des associations et du public par une enquête d'utilité publique d'une durée d'un mois.

La procédure de demande de permis d'exploitation de granulats marins est régie par l'arrêté ministériel du 29 juin 1982.

Le demandeur adresse son dossier au Préfet du département où se situera l'exploitation et, le cas échéant, au Directeur du Port Autonome concerné. Après consultation du Préfet maritime, le Préfet charge la Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche (D R I R) de l'instruction du dossier. Celle-ci, après s'être assurée de la «recevabilité» de la demande, consulte les services indiqués dans le décret 85-448 du 23 avril 1985 : IFREMER, Equipement (instruction domaniale), Affaires maritimes, Télécommunications, Environnement, Services fiscaux.

Les avis de ces services font l'objet d'un rapport établi par la D R I R et remis au Préfet qui convoque en commission les organismes consultés ainsi que, pour audition, les maires des communes concernées et les demandeurs. Cette commission doit statuer sur les conditions de délivrance du titre minier et de l'autorisation domaniale et, éventuellement, sur le programme des travaux d'exploitation.

Enfin le Préfet présente au ministre chargé des Mines un projet d'arrêté pour l'octroi ou le rejet de la demande de titre minier. L'ensemble de la procédure nécessite un délai minimum d'un an.

Lorsque les deux documents sont obtenus, l'entreprise adresse une demande d'ouverture de travaux au Préfet du département concerné, conformément au décret 80-330 du 7 mai 1980 ; à la réception de l'avis d'autorisation, il est seulement possible de commencer l'exploitation.

Les activités portuaires

Les passes d'accès aux ports de la région, en particulier à Calais et Dunkerque sont des chenaux naturels, bordés de corps sableux importants. Les phénomènes sédimentaires (transport, érosion, dépôt) et la mobilité des corps sableux eux-mêmes, qui font l'objet de mesures et de levés du SHOM, sont ici déterminants pour l'activité portuaire et la sécurité de la navigation.

A titre d'exemple, la migration des Ridens de la Rade vers la côte, observée depuis plusieurs dizaines d'années, tend à réduire la largeur du chenal d'accès à Calais.

C'est le cas des ports situés à l'intérieur d'estuaires, dont l'embouchure est réduite par le dépôt, en rive sud, de sables marins (exemple : la Canche à Etaples [6], [17]).

Parallèlement, les acquis du programme régional tels que les directions et sens du transport et les volumes en transit sur les bancs peuvent compléter utilement les travaux du SHOM, en situant l'évolution des accès portuaires dans un contexte régional.

De même, la connaissance des phénomènes littoraux, notamment les quantités déplacées par la dérive littorale, peut s'avérer utile aux autorités portuaires.

Les chenaux et passes d'accès des ports de Boulogne, Calais et Dunkerque nécessitent un entretien régulier par dragage. En moyenne 1,5 million de m³ de sédiments vaseux et sableux, dont environ 1 million pour le seul port de Dunkerque [18], sont enlevés chaque année.

Ces déblais de dragage sont rejetés par clappe au large, sur 4 sites définis par les conventions internationales (Commission d'Oslo) [19].

Les levés effectués à l'aide du sonar latéral ont recoupé à plusieurs reprises le dépôt de clappe de Boulogne, situé face au port, au pied du flanc externe de la Bassure de Baas.

Sur les sonogrammes obtenus (*Fig. 60*), les rejets se présentent sous la forme de «massifs» sombres de forme circulaire, contrastant avec le sable de teinte claire qu'ils recouvrent.

L'intensité variable des «massifs» laisse supposer la présence de dépôts récents (plus sombres) et plus anciens (moins contrastés et laissant apparaître le sable).

La détermination de leurs composants est effectuée par méthode vidéo. Elle montre essentiellement des blocs ou des galets de vase compactée, ainsi que divers débris : câbles, objets métalliques.

Le devenir des rejets de dragage est déterminé par la nature des déblais : les sédiments

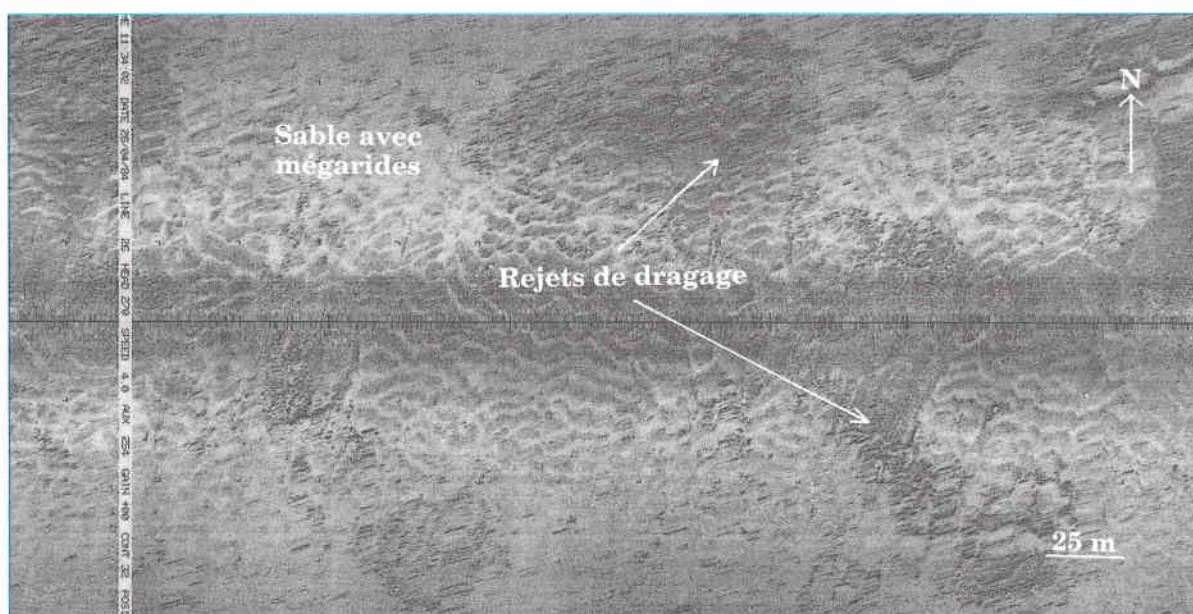


Figure 60 : Sonogramme montrant des rejets de dragage portuaire au large de Boulogne-sur-mer.

meubles «dissociés» sont dispersés par les courants lors de leur clapage, les vases compactées formant des «galets mous» se déposent sur le fond et sont ensuite déplacées ou incorporées au sédiment, sans que l'on observe d'accumulation importante sur le site. Seuls les macrodéchets métalliques restent sur place, à la surface du banc.

Le type d'engin utilisé conditionne fortement la dispersion des rejets : les dragues aspiratrices en marche compactant peu le sédiment, celui-ci est rapidement dispersé en mer ; cela n'est pas le cas des sédiments prélevés par les dragues à godets.

Les rejets de dragage portuaire, riches en particules fines sur lesquelles sont adsorbés des polluants métalliques et organiques, représentent des vecteurs de pollution. Ils sont de ce fait contrôlés par les Cellules de lutte contre les pollutions marines, implantées dans chaque département.

Les éléments cartographiques et dynamiques fournis pourraient être utilisés dans le choix des sites de clapage.

L'équipement des fonds marins

Actuellement, les seuls équipements immergés sur les fonds du détroit du Pas de Calais sont des câbles téléphoniques ou électriques, reliant la France et la Grande Bretagne.

Ces câbles sont soit posés directement sur le fond (Fig. 61), soit ensouillés à une profondeur de l'ordre de 1 mètre ; la tranchée étant ensuite comblée naturellement par des sédiments. C'est le

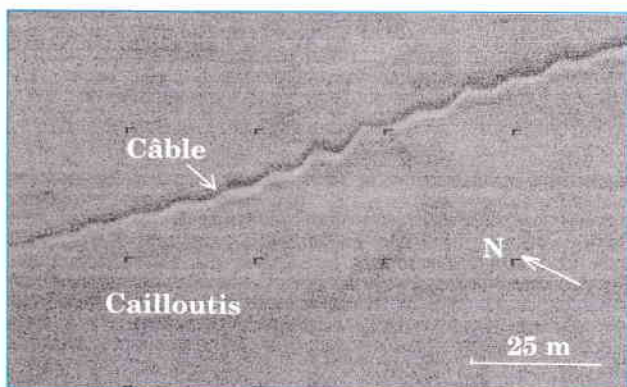


Figure 61 : Sonogramme montrant un câble sous-marin au large de Sangatte.

cas pour les câbles électriques posés récemment (1985) au droit de Sangatte. Cette seconde technique assure une meilleure protection des câbles et les met à l'abri de tout risque de choc, pouvant entraîner des dommages ou une rupture.

Les études géologiques récentes fournissent diverses informations, directement utilisables lors des études préalables aux travaux, et pouvant contribuer au choix du tracé :

- la nature et la morphologie des fonds conditionnent le type de technique à mettre en oeuvre pour le creusement de la souille ;

- la mobilité des sédiments meubles influe sur la stabilité de la souille et sur la vitesse de son comblement naturel, par piégeage des sédiments en transit ;

- les teneurs en fraction fine des formations superficielles, susceptible d'être remise en suspension lors des travaux d'ensouillage et ainsi de créer un panache, dont le devenir est lié aux facteurs courantologiques et météorologiques, sont également à prendre en compte.

La pose de câbles sous-marins est soumise au décret 79-518 du 29 juin 1979, relatif aux concessions d'utilisation des dépendances du domaine public maritime hors des circonscriptions des Ports Autonomes.

Ces concessions sont possibles lorsque les dépendances du domaine public maritime doivent être affectées à l'usage du public, à un service publique ou à une opération d'intérêt général.

La demande de concession fait l'objet d'une instruction administrative par le service maritime de l'Équipement. Lorsque le projet intéresse une superficie égale ou supérieure à un seuil fixé par arrêté, l'instruction est complétée par une enquête publique.

La protection de l'environnement marin

En raison de l'intensité du trafic maritime, et notamment de celui des cargaisons dangereuses, le risque de pollution accidentelle n'est pas négligeable dans le détroit du Pas de Calais, bien que la circulation des navires soit parfaitement définie par le système des rails de navigation.

En cas d'accident maritime qui entraînerait la perte d'un navire ou de sa cargaison, avec dépôt sur le fond, la connaissance précise du milieu pourrait aider à élaborer la stratégie d'intervention.

La nature et la morphologie des fonds interviennent sur la position de l'objet immergé (épave, conteneurs,...), son devenir dans le temps (dérive, ensouillage, ou blocage par un relief), et le choix du mode d'intervention possible (accessibilité, portance des fonds).

En cas de pollution menaçant directement la côte, ou les fonds marins, la connaissance de leur nature pourrait fournir des données utiles pour évaluer le comportement immédiat du polluant (concentration, migration, fixation, dilution), sa persistance et son évolution ultérieure (sédimentation, biodégradation) et les moyens de lutte et de restauration des sites pollués.

Le Réseau National d'Observation (R N O), créé en 1972 par le Comité Interministériel d'Action pour la Nature et l'Environnement (C I A N E), est un outil d'évaluation des niveaux et tendances des polluants, et des paramètres généraux de qualité du milieu marin. Depuis 1987, il développe des méthodes pour apprécier l'état de santé de la faune et de la flore marines par la mesure de la réponse de ces organismes à des perturbations du milieu. Il est mis en oeuvre par l'IFREMER pour le compte du Secrétariat d'Etat chargé de l'Environnement.

Les sites de prélèvement régionaux se dénomment «Littoral de Calais et Dunkerque», «Littoral de Boulogne», «Embouchure de la Canche», «Embouchure de l'Authie».

Les partenaires régionaux du R N O sont la Cellule départementale de lutte contre la pollution du département du Nord, le Port Autonome de Dunkerque, l'Institut Pasteur de Lille et le laboratoire Flandres-Analyses de Dunkerque. Les données acquises, centralisées par l'IFREMER (Brest), concernent l'eau depuis 1976, la matière vivante et le sédiment depuis 1979.

La prévention et les modalités d'intervention sur un site pollué font l'objet du plan POLMAR, mis en place par le Préfet maritime pour le domaine marin et par le Préfet du département pour le domaine terrestre. Pour ces actions les Préfets peuvent se faire assister par le CEDRE (Centre de Documentation de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux), dont les missions sont ainsi définies :

- faire progresser les moyens et les techniques de lutte par la recherche et l'expérimentation ;*
- assister les autorités françaises chargées de lutter contre les pollutions accidentelles des eaux ;*
- agir comme conseiller technique des administrations nationales dans les diverses instances internationales ;*
- informer ;*
- former le personnel appelé à intervenir en cas de pollution.*

Le CEDRE est engagé dans la révision des plans POLMAR afin de les adapter aux nouvelles modalités d'intervention et à l'évolution du tissu économique départemental.

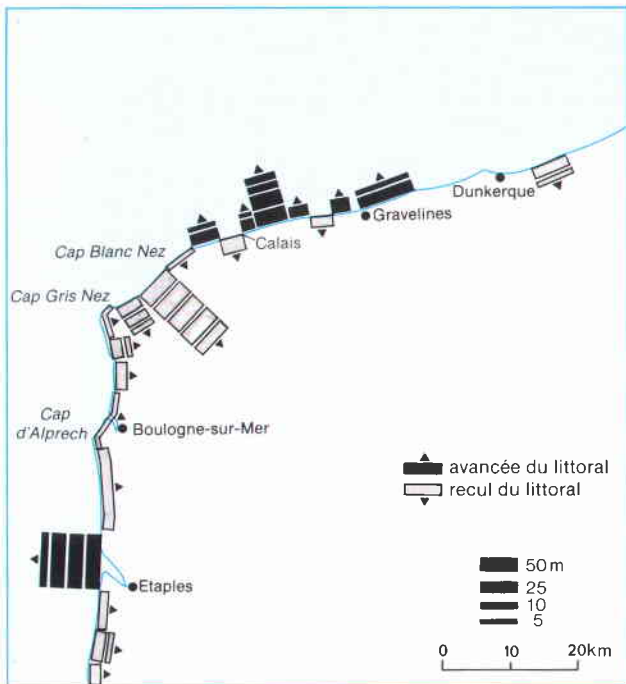
Cette révision doit permettre d'intégrer dans les plans POLMAR :

- les enseignements tirés des pollutions récentes et des exercices effectués sur le littoral ;*
- les progrès techniques réalisés pour la protection du littoral et la lutte contre les pollutions ;*
- les modifications survenues dans les activités économiques côtières.*

Les plans des départements du Pas-de-Calais, des Côtes d'Armor, du Finistère, du Morbihan et de la Vendée ont été ainsi révisés.

La protection et l'aménagement du domaine côtier

Le littoral régional, qui fait l'objet de nombreux projets d'aménagement, industriels et touristiques, est soumis à une érosion marine, d'intensité variable selon les secteurs (Fig. 62).



Ce phénomène, qui toucherait actuellement, d'après l'Union Géographique Internationale, 70% des plages mondiales [20], [21], constitue une menace majeure pour la conservation du littoral et de son potentiel économique, pouvant aller jusqu'à la destruction de plages et d'ouvrages de front de mer.

Le site de Wissant, le plus touché du littoral régional, a fait l'objet d'études récentes sur les mécanismes et les effets de l'érosion et sert de référence locale pour l'identification des causes du phénomène. L'érosion y affecte les trois compartiments du domaine côtier, en l'occurrence le cordon dunaire, la plage et les petits fonds marins.

Les processus sédimentaires identifiés tels qu'un important transit sédimentaire sur la plage, parallèlement à la côte, lorsque les vents de secteurs SW engendrent de fortes houles ou des

échanges (non quantifiés) entre l'estran et les petits fonds, sont à l'origine des modifications morphologiques de la plage. Ces dernières sont en principe réversibles à l'échelle annuelle, si les accumulations sédimentaires disponibles dans les petits fonds marins le permettent.

La plage s'amaigrit sous l'action de houles hivernales, hautes et cambrées. Le départ de sédiment est en partie compensé par le sable de la dune, qui a un rôle de réservoir.. En période de beau temps, le sable revient sur la plage sous l'action de houles peu cambrées, et peut être accumulé sur la dune par action éolienne.

Le recul du cordon dunaire n'est pas un phénomène régulier, il se produit essentiellement lorsque des vents violents accompagnent les marées de fort coefficient.

A Wissant, la valeur moyenne du recul du rivage est de plusieurs mètres par an. On a pu constater que l'essentiel du processus s'était en réalité produit lors de tempêtes survenues en période de marées de vive-eau.

A titre d'exemple, les phénomènes météorologiques de janvier et février 1990 (vitesse instantanée du vent : 160 km/h, coefficient de marée : 106) ont durement affecté la dune provoquant un recul atteignant 50 m.

Par contre, les courants de marée, bien que très forts et modifiés près du cap Gris-Nez, n'ont pas d'influence directe sur le transport des sables de plage (Cf. résultats du traçage radioactif).

Dans le cas de Wissant, les phénomènes généraux (liés au contexte actuel de remontée du niveau marin [20] et de faible apport par les fleuves) ne peuvent expliquer à eux seuls la rapidité du processus d'érosion par rapport à l'ensemble de la façade régionale, ni surtout le passage, au début du siècle, d'une phase d'engraissement à une phase d'amaigrissement.

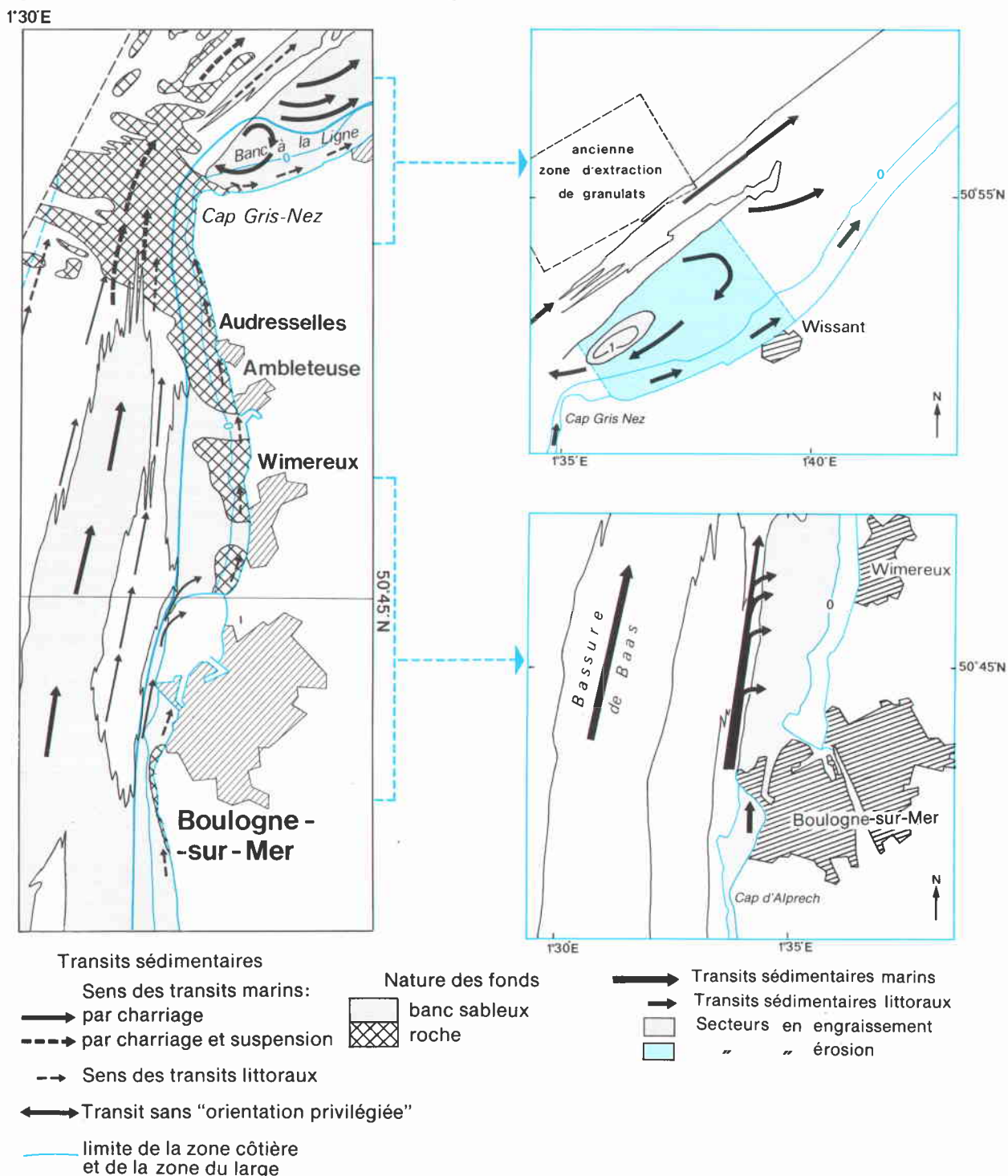


Figure 63 : Processus sédimentaires affectant le domaine côtier de Boulogne-sur-mer à Wissant.

A ces causes générales s'additionnent certainement des causes locales (Fig. 63) :

- l'extraction de granulats, effectuée au large de la baie de 1978 à 1981, et qui a parfois été mise en cause. Sa situation au large, dans une zone dépourvue d'échanges directs avec le secteur érodé, ainsi que sa profondeur moyenne de 20 m, à partir de laquelle l'action des houles sur les sédiments est peu importante, rendent peu probable son lien avec l'érosion.

De plus, les volumes prélevés (130 000 m³ environ) sont nettement inférieurs au déficit sédimentaire global du banc, et l'érosion bien antérieure aux extractions.

- l'accumulation de sable qui se produit au Nord du port de Boulogne-sur-mer est susceptible de soustraire des volumes importants au transit sédimentaire, qui feraient défaut à Wissant en particulier.

Les causes de l'érosion sont multiples [20], [21], [22] :

- la remontée du niveau marin moyen, liée à des modifications climatiques globales. Sa vitesse moyenne serait de 15 cm/siècle, soit 1,5 mm/an ;*
- une augmentation possible de l'intensité et de la fréquence des tempêtes. Malgré la succession de mauvaises conditions météorologiques qui a touché l'Europe du Nord au début de l'année 1990, un tel phénomène climatique général n'est pas prouvé ;*
- la faiblesse des apports sédimentaires actuels des grands fleuves ;*
- les aménagements côtiers et les ouvrages de protection, qui apportent des solutions locales, mais peuvent, pour certains, créer un déséquilibre sédimentaire au-delà de la zone aménagée.*

Ainsi :

- les ouvrages transversaux à la côte peuvent intercepter le transit littoral, et provoquer un déficit en aval de l'ouvrage et une érosion. C'est le cas pour les ouvrages portuaires, nécessaires au développement économique ;*
- les ouvrages longitudinaux ou frontaux tels que les perrés et les digues stabilisent le trait de côte, mais suppriment la capacité d'échange sédimentaire entre la dune et la plage. De plus, ils constituent un obstacle fixe à la houle qui, libérant son énergie, provoque un abaissement de plage devant l'ouvrage ;*
- les brise-lames, édifiés à quelque distance de la côte, obligent les vagues à déferler, mais peuvent repousser l'érosion au-delà.*

Cette hypothèse s'appuie à la fois sur :

- la direction et le sens des transits sédimentaires (parallèles à la côte et portant vers le Nord, c'est à dire de Boulogne-sur-mer vers Wissant) ;
- l'ordre de grandeur comparable des volumes annuels (environ 100 000 m³/an) accumulés à Boulogne-sur-mer et perdus sur le Banc à la Ligne.

Ce bilan sédimentaire ne prend toutefois pas en compte les sédiments déposés dans le port de Boulogne, ni ceux érodés sur la plage de Wissant.

Elle est confortée par les données historiques, en particulier le prolongement des digues du port de Boulogne-sur-mer réalisé dans les années 1930 [23], période à laquelle le Banc à la Ligne est passé d'une phase d'engraissement à une phase d'amaigrissement.

L'érosion de la Baie de Wissant résulterait à la fois de causes générales, naturelles, et de causes locales, liées à des aménagements.

Les études commencées en 1984 fournissent donc, pour le site de Wissant, des informations complètes sur les effets et les causes de l'érosion et sur les phénomènes sédimentaires mis en jeu, susceptibles d'être utilisées dans le cadre de travaux d'aménagement.

Elles mettent en évidence l'importance des échanges et des déficits sédimentaires côtiers et conduisent à recommander la plus grande prudence dans le domaine de l'aménagement littoral, en raison de sa fragilité et des répercussions possibles sur les secteurs voisins.

L'aménagement du littoral est régi en France par la loi 86-2 du 3 janvier 1986, dite loi «littoral», relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral.

Celle-ci stipule en particulier que :

- «en dehors des espaces urbanisés, les constructions ou installations sont interdites sur une bande littorale de cent mètres à compter de la limite haute du rivage....., le plan d'occupation des sols pouvant porter la largeur de cette bande littorale à plus de cent mètres, lorsque des motifs liés à la sensibilité des milieux ou à l'érosion des côtes le justifient» ;

- «les nouvelles routes de transit sont localisées à une distance minimale de 2 000 mètres du rivage ; la construction de nouvelles routes sur les plages, cordons lagunaires, dunes ou en corniche est interdite» ;

- «l'extension de l'urbanisation doit se réaliser soit en continuité avec les agglomérations et villages existants, soit en hameaux nouveaux intégrés à l'environnement» ;

- «les installations, constructions, aménagements de nouvelles routes et ouvrages nécessaires à la sécurité maritime et aérienne, à la défense nationale, à la sécurité civile et ceux nécessaires au fonctionnement des aéroports et des services publics portuaires autres que les ports de plaisance ne sont pas soumis à ces dispositions lorsque leur localisation répond à une nécessité technique impérative».

Le décret 89-694 du 20 septembre 1989 définit les dispositions particulières au littoral en matière d'urbanisme et la liste des aménagements, ouvrages et travaux devant être précédés d'une enquête publique.

L'ensemble des résultats obtenus peut être utilisé comme base pour l'aménagement, la protection du littoral et de la mer. Ils peuvent également apporter des informations dans le cadre de l'élaboration des Schémas de Mise en Valeur de la Mer et dans le choix des sites à acquérir par le Conservatoire du littoral.

Le Conservatoire National du littoral et des rivages lacustres, créé le 10 juillet 1975, a pour vocation de racheter les espaces littoraux menacés, en vue de maintenir, de protéger ou de restaurer les milieux naturels et de les ouvrir au public. Il dispose d'une dotation de l'Etat pour ses acquisitions.

Le Conservatoire n'étant pas habilité à gérer les terrains, il a passé des conventions dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais avec l'Espace Naturel Régional et les collectivités locales (communes, communauté urbaine), auxquelles est confiée la gestion des terrains.

Le Conservatoire de l'espace littoral et ses partenaires institutionnels (Office National des Forêts, Départements et Communauté Urbaine de Dunkerque) ont acquis environ 2 500 hectares sur le littoral régional, auxquels s'ajoutent 6 500 hectares placés en zone de préemption et ainsi soustraits aux éventuelles spéculations.

Le décret 86-1252 du 5 décembre 1986 définit le contenu et les modalités d'élaboration des schémas de mise en valeur de la mer.

Ces schémas, composés d'un rapport complété par des documents graphiques et des annexes, décrivent la situation existante dans le périmètre délimité, notamment l'état de l'environnement et les conditions d'utilisation de l'espace marin et littoral.

Ils indiquent les perspectives d'évolution de ce milieu, ils définissent et justifient les orientations retenues en matière de développement, de protection et d'équipement à l'intérieur du périmètre.

Ils précisent les vocations des différentes zones et les conséquences qui en découleraient pour l'utilisation des diverses parties du littoral qui lui sont liées.

Ils mentionnent les projets d'équipement et d'aménagement liés à la mer et les mesures de protection du milieu marin.

Les documents graphiques joints à ce rapport décrivent :

- les caractéristiques du milieu marin ;*
- l'utilisation des espaces maritimes et terrestres ;*
- la vocation des différents secteurs ;*
- les espaces bénéficiant d'une protection particulière ;*
- l'emplacement des équipements existants et prévus.*

Les annexes comprennent notamment une note sur l'érosion marine.

L'élaboration d'un schéma se fait selon le déroulement suivant :

- un arrêté du Préfet du département pris avec l'accord du Préfet maritime, et précédé de la consultation des conseils municipaux, des conseils généraux et régionaux concernés, détermine la liste des communes intéressées par l'élaboration d'un schéma ;*
- l'élaboration et l'instruction du projet de schéma sont conduites, sous l'autorité du Préfet, par le responsable d'un service de l'Etat désigné ;*
- le projet est soumis par le Préfet à un groupe de travail, puis communiqué pour avis aux conseils municipaux, généraux et régionaux, et mis simultanément à la disposition du public pendant une période de deux mois ;*
- il est ensuite transmis au Ministre chargé de la mer et approuvé par décret en conseil d'Etat.*

CONCLUSION

Cette partie du document montre essentiellement l'intérêt que peuvent présenter les études sédimentologiques réalisées pour les principales activités maritimes (exploitation des ressources, aménagement, ...), voire pour l'établissement de leur réglementation.

Les applications pratiques des données marines, directes pour les unes (aménagement littoral), indirectes pour d'autres (protection de l'environnement) se rapportent à la fois au domaine marin et au littoral.

En domaine marin, les informations concernant les sédiments et leur dynamique sont susceptibles d'être utilisées pour l'exploitation des ressources minérales et vivantes, la pose de câbles, la protection de l'environnement.

En domaine côtier, elles débouchent essentiellement sur l'aménagement et sur la protection. Elles montrent en particulier la continuité des phénomènes côtiers sur des distances importantes, de l'ordre de la dizaine de kilomètres.

Les acquis peuvent également s'inscrire en complément d'autres résultats scientifiques, notamment :

- les données sur la qualité de l'eau, pour laquelle le sédiment superficiel est une source potentielle de polluants. Des échanges chimiques peuvent se produire à l'interface eau-sédiment, à la faveur de la remise en suspension de particules fines ;

- ceux concernant la faune benthique, associée au sédiment ;

- ou bien encore le calibrage d'images satellitaires et, plus précisément l'identification de formes ou de phénomènes de surface par les informations morphologiques. Ainsi les photos du satellite SEASAT de la région de Dunkerque [24] permettent d'observer des déformations de la surface de l'eau, liées à la présence de vagues de sable sur le fond. Les scènes du satellite SPOT sont quant à elles plus adaptées à l'étude du domaine littoral [25].

Ces études fournissent également une référence actuelle de zone à régime macrotidal et à fort courant, caractérisée par une grande variété de figures sédimentaires et de rapides variations latérales de faciès, pour la reconstitution d'environnements sédimentaires anciens.

CONCLUSION GENERALE

Les études de Géologie marine entreprises dans la région Nord-Pas de Calais de 1984 à 1989 marquent une étape importante dans la connaissance des fonds marins autant par la définition précise de leur nature et de leur morphologie spécifique, que par la mise en évidence des processus qui règlent leur évolution.

La bordure méridionale du détroit, qui relie la Manche et la Mer du Nord, se caractérise principalement par une amplitude de marée forte, induisant des courants violents. Ces conditions particulières contrôlent la répartition des sédiments superficiels. Constitués de deux ensembles principaux, sableux et caillouteux, ils reposent sur un substratum rocheux visible, essentiellement sous forme de platiers et pointements, au voisinage du cap Gris-Nez.

Au large, les fonds marins sont caractérisés par la présence de grands bancs de sable d'épaisseur décamétrique et de longueur plurikilométrique. Les figures sédimentaires de taille variable (vagues de sables et mégarides), qui les modèlent, et les autres corps sableux, isolés ou d'extension plus réduite, surimposés aux cailloutis, témoignent de l'hydrodynamisme intense de cette région. Ces unités permettent de préciser le sens des transports sédimentaires, parallèles à la côte et dirigés de la Manche vers la Mer du Nord.

Les bancs du large, bien différenciés le long de la façade ouest, deviennent coalescents à l'Est de Dunkerque.

Un important transit de sédiment par charriage de la couche superficielle des bancs, sans cesse renouvelée par le jeu des courants, a été estimé à 70 m³/m/an grâce au traçage radioactif ; il s'y ajoute, en particulier sur certains bancs peu immergés, une rapide dispersion du sédiment en suspension.

Malgré cela, divers indicateurs servant à définir les mouvements des systèmes sableux montrent une relative stabilité positionnelle des bancs du large, à échelle décennale, voire centennale.

La connaissance des processus affectant le domaine du large est directement liée à la compréhension des phénomènes touchant le domaine côtier.

La zone côtière, principalement sableuse, qui s'étend dans la région des fonds de 15 m aux dunes littorales, est le siège de phénomènes plus complexes, en particulier, sous l'effet croissant de la houle au fur et à mesure que l'on se rapproche de la côte. L'action des houles sur les sédiments ne devient dominante qu'à des profondeurs de 5 m environ.

Il se produit alors une perturbation des transits sédimentaires identifiés au large, qui sont modifiés autant dans leur orientation que dans leur intensité et, surtout une évolution rapide des corps sableux observable à l'échelle décennale, due en partie aux aménagements.

Dans cette zone côtière, les limites des techniques spécifiques au domaine marin sont atteintes. L'amélioration des connaissances passe par l'utilisation d'outils plus adaptés, tels les satellites SEASAT ou ERS-1, utilisable dans un proche avenir.

Les recherches en Géologie marine sont comparativement moins nombreuses sur le plateau continental qu'en haute mer, alors que les activités y sont plus diversifiées et concernent une population plus grande, avec des implications mettant en jeu des intérêts économiques parfois considérables.

Cette étude, la première réalisée de façon complète sur une façade maritime avec la mise en oeuvre de techniques modernes d'investigation, serait inachevée si les résultats scientifiques obtenus n'étaient pas rapportés aux différents secteurs d'activités maritimes (économique, touristique, culturel), comme informations de base ou pour une meilleure gestion du domaine marin.

Il apparaît, après l'expérience de ces cinq années de recherche et la publication des résultats à caractère fondamental et appliqué, que ce type d'approche est essentiel pour disposer de la connaissance scientifique nécessaire à l'exploitation rationnelle des ressources, utile pour l'aménagement et la préservation de ce domaine particulier.

Ainsi l'exploitation des ressources minérales, dont le passage au stade industriel est probable à plus ou moins long terme, bénéficie d'études sur les gisements et d'évaluation de l'impact de leur extraction sur le milieu.

Dans le domaine de l'aménagement côtier, des données fiables sur une période la plus longue possible sont indispensables pour passer du stade d'observation et d'analyse des phénomènes au stade de prévision de l'évolution, nécessaire à l'anticipation des actions érosives. La prévention des risques sur l'environnement devient alors envisageable.

D'une façon générale, les moyens et les méthodes actuelles permettent d'aborder la cartographie et l'étude des mers épicontinentales de manière presque aussi systématique et précise qu'en domaine terrestre, malgré les difficultés de travail inhérentes au milieu marin.

L'effort entrepris par la Région Nord-Pas de Calais est, dans ce domaine, unique en France ; toutefois l'intérêt de l'étude dépasse largement le cadre régional. La multiplication d'activités concurrentes liées à la mer, le long des côtes françaises, et la volonté de préserver, plus que jamais, l'environnement marin côtier, laissent à penser que l'amélioration de la gestion du domaine maritime deviendra prochainement une des grandes priorités des régions littorales. Ces préoccupations rejoignent l'article 25 de l'Acte Unique Européen et les recommandations du groupe directeur d'experts de la Commission Océanographique Intergouvernementale de l'UNESCO.

D'ailleurs la nécessité «d'une base scientifique et technologique pour l'exploration, l'exploitation, la gestion et la protection des mers côtières et régionales européennes» a conduit récemment la Commission des Communautés Européennes à élaborer un programme de recherche et de développement en matière de Science et Technologie Marines (MAST), en complément d'un programme pour «la collecte, la coordination et la mise en cohérence de l'information» sur l'environnement (CORINE), incluant notamment le thème «érosion côtière».

Dans ce contexte, gageons que la démarche adoptée puisse servir de référence.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

TRAVAUX RECENTS (1984-1989)

- AUGRIS C. (1986) - Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais. *Rapport IFREMER-DERO/GM*, 50 p., 6 cartes h.t. et annexes.
- AUGRIS C., CLABAUT P., DEWEZ S. et AUFFRET J.P. (1987) - Carte des sédiments superficiels au large de Boulogne-sur-mer. Echelle 1/43 400. *Edition IFREMER - Région Nord-Pas de Calais*.
- AUGRIS C., VICAIRE O. et CLABAUT P. (1989) - Carte des sédiments superficiels au large de Calais-Dunkerque. Echelle 1/43 100. *Edition IFREMER - Région Nord-Pas de Calais*.
- CLABAUT P. (1984) - Dynamique sédimentaire du littoral de Wissant et de ses abords. *DEA de l'Université de Lille I*, 51 p..
- CLABAUT P. et CHAMLEY H. (1986) - Observations sédimentologiques sur le littoral de Wissant (Site des Caps, Boulonnais). *Annales de la Société Géologique du Nord*, CV, pp.169-178.
- CLABAUT P. (1988) - Dynamique sédimentaire dans le détroit du Pas de Calais (Large des côtes françaises). *Thèse de l'Université de Lille I*, 251 p..
- DEWEZ S. (1985) - Dynamique sédimentaire et rejets de dragage au large de Boulogne-sur-mer. *DEA de l'Université de Lille I*, 51 p..
- DEWEZ S. (1988) - Sédimentation et dynamique en Manche orientale (De la Baie d'Authie au Cap d'Alprech). *Thèse de l'Université de Lille I*, 276 p..
- DEWEZ S., CLABAUT P., VICAIRE O., BECK C., CHAMLEY H. et AUGRIS C. (1989) - Transits sédimentaires résultants aux confins Manche - Mer du Nord. *Bulletin de la Société Géologique de France*, (8), t.V, pp. 1043-1053.
- HOSLIN R. (1987) - Mesure, par traceurs radioactifs, des déplacements sédimentaires aux abords du Cap Gris-Nez. *Rapport du Commissariat à l'Energie Atomique*, 50 p..
- HOSLIN R. (1989) - Etude, au moyen de traceurs radioactifs, du transit sédimentaire au large de Dunkerque. *Rapport du Commissariat à l'Energie Atomique*, 46 p..
- VICAIRE O. (à paraître) - Dynamique hydrosédimentaire en Mer du Nord méridionale (Du Cap Blanc-Nez à la frontière belge). *Thèse de l'Université de Lille I*.

OUVRAGES DE REFERENCE

- [1] - SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) (1968) - Courants de marée dans la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique. *S.H. 550*, Imprimerie Nationale, Paris, 287 p..
- [2] - MAUPAS A. (1977) - Courants de marée, cahier n°1 (Manche orientale). *Editions cartographiques maritimes*, 14 p..
- [3] - IPLI (Inventaire Permanent du Littoral) (1985) - Guide pratique de l'inventaire permanent du littoral Nord - Pas de Calais. *Edition Région Nord-Pas de Calais - IPLI*, 44 p..
- [4] - BOILLOT G. et LEFORT J.P. (1974) - Carte géologique de la Manche à 1/1 000 000. *Edition Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, Orléans, France.
- [5] - ROBERT J.P. (1969) - Géologie du plateau continental français. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, n°XXIV, 4, pp. 380 - 440.
- [6] - DESPEYROUX Y. (1989) - Hydrodynamique sédimentaire dans la Baie de Canche : Aspects fondamentaux et appliqués. *Thèse de l'Université de Lille I*, 93 p..
- [7] - STRIDE A.H. (1982) - Offshore tidal sands. Processes and deposits. *Edition Chapman and Hall*, London, 222 p..
- [8] - BELLESSORT B. (1983) - Facteurs dynamiques intervenant sur l'évolution du littoral et des fonds marins, Laboratoire Central d'Hydraulique de France, Journées «érosion des côtes», ASTEO.
- [9] - GADD P.E., LAVELLE J.W. et SWIFT D.J.P. (1978) - Estimates of sand transport on the New-York shelf using near-bottom current meter observations. *Journal of Sedimentary Petrology*, 48, 1, pp. 239-252.
- [10] - LE FOURNIER J. (1980) - Modern analogue of transgressive sand bodies off eastern English Channel. *Bulletin des Centres de recherche et d'exploration-production Elf-Aquitaine*, 4, n° 1, pp. 99-118.
- [11] - CASTON V.N.D. (1972) - Linear sand banks in the southern North Sea. *Sedimentology*, 18, pp. 63-78.
- [12] - BERNE S. (1989) - Essai de synthèse sur les dunes hydrauliques géantes tidales actuelles. *Bull. Soc. géol. France*, (8), t. V, n°6, pp. 1145-1160.
- [13] - BRIQUET A. (1930) - Le littoral du Nord de la France et son évolution morphologique. *Thèse de Sciences naturelles*, Orléans, 439 p..
- [14] - DUTERTRE A.P. (1926) - Les formations quaternaires du bassin de Wissant (Pas de Calais). *Annales de la Société Géologique du Nord*, LI, pp. 260-265.
- [15] - DE MOOR G. (1985) - Shelf bank morphology off belgian coast : recent methodological and scientific developments. In *M. Van Molle (éd)*, Recent trends in physical geography in Belgium. Brussel, study series of the V.U.B., n.s. 20, pp. 47-90.
- [16] - LEMOINE M. (1989) - Les pêcheries artisanales de Manche Orientale : flottilles et ressources halieutiques de la Région Nord-Pas de Calais. *Rapport IFREMER-Région Nord-Pas de Calais*, 88 p..

-
- [17] - CLIQUE P.M. (1986) - Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Manche et de la Mer du Nord. A : De la frontière belge à la Baie de Somme. Direction Etudes et Recherches d'Electricité de France. Laboratoire National d'Hydraulique. Laboratoire Central d'Hydraulique de France, 133 p..
- [18] - GREGOIRE M. et MARIETTE M. (1989) Dunkerque, grand port de la Mer du Nord, confronté en permanence aux problèmes de dragage et toujours soucieux de son environnement. Séminaire international sur les aspects environnementaux liés aux activités de dragage, Nantes.
- [19] - CHAUSSEPIED M., ARNAL O., GROSSEL H., DELATTRE J.M. et WARTEL M. (1989) - Le littoral de la Région Nord-Pas de Calais - Apports à la mer - Rapport Scientifique et Technique de l'IFREMER n°15. Edition IFREMER - Région Nord-Pas de Calais.
- [20] - PASKOFF R. (1984) - Erosion et protection des plages : une nouvelle approche. Société Hydrotechnique de France. Actes du colloque «XVIII^e journées de l'hydraulique», Marseille, question n°III, rapport n° 7.
- [21] - BELLESSORT B. (1984) - Le littoral français. Vue d'ensemble sur les impacts des divers types d'aménagements. Principes d'aménagement. Société Hydrotechnique de France. Actes du colloque «XVIII^e journées de l'hydraulique», Marseille, question n° V, rapport n° 2.
- [22] - GERLIER P. (1989) - Littoral : un équilibre fragile. *La Nouvelle revue maritime*, n° hors-série : les Français et la mer, pp. 104-109.
- [23] - BOUVIER J.A. (1968) - Le port en eau profonde de Boulogne-sur-mer, *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 245, pp. 710-764.
- [24] - WADSWORTH A. et PIAU P. (1984) - Morphologie radar des fonds marins. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, vol. 39, n° 2, pp. 161-174.
- [25] - SIMON N. (1987) - Télédétection : méthodologie et application. Etude d'une scène SPOT enregistrée sur la façade Manche et Mer du Nord. *D E A des Universités de Lille 1 et d'Orsay*, 87 p. et annexes.

***LE DOMAINE MARIN
DU NORD-PAS DE CALAIS
EN CHIFFRES***

GENERALITES

Superficie reconnue dans la façade maritime :
2350 km²

Longueur de côte : 140 km

côte rocheuse : 30 km (22 %)

côte sableuse : 110 km (78 %)

Taux d'urbanisation du littoral : 25 %

LES FONDS MARINS

Profondeur maximale : 50 m

Profondeur moyenne : 20 m

Pente moyenne : 0,5 % (entre 0 et 30 m)

Nature des fonds

Répartition

Fonds rocheux : 5 %

Fonds caillouteux : 40 %

Fonds sableux : 55 %

Sables marins du large

Taille moyenne : 0,125 à 0,63 mm

Taille dominante : 0,2 à 0,4 mm

Teneur en coquilles :

moyenne : 10 à 35 %

maximale : 80 %

Fraction inférieure à 0,063 mm : 0 à 1 %

Sables côtiers

Taille moyenne : 0,1 à 0,3 mm

Taille dominante : 0,16 à 0,25 mm

Teneur en coquilles : 15 à 20 %

Teneur en fraction inférieure à 0,063 mm :
0 à 60 %

Morphologie des fonds

Bancs sableux

Longueur : 2 à 75 km

Largeur : 1 à 6 km

Hauteur : 10 à 25 m

Vagues de sable

Hauteur : 1,5 à 15 m

Longueur d'onde : 50 à 400 m

Mégarides

Hauteur : 10 cm à 1,5 m

Longueur d'onde : 2 à 25 m

Rubans sableux

Longueur : 30 m à 5 km

Largeur : 20 à 100 m

Epaisseur : 1 à 50 cm

Trainées sableuses

Longueur moyenne : 50 m

Largeur : inférieure à 20 m

Taches de sable

Taille moyenne : 50 à 100 m

Epaisseur mesurée : 10 à 40 cm

Reliefs rocheux

Hauteur maximale : 8 m

Estrans

Largeur : 200 à 1 800 m

LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE ET L'EVOLUTION

Courants de marée

Vitesse de surface (coefficient 95) :
maximale : 4 noeuds (cap Gris-Nez)
moyenne : 2,5 noeuds
Vitesse à 1 m du fond (coefficient 95) :
au large de Wissant : 2,4 noeuds
Direction générale :
façade ouest : S - N
façade nord : WSW - ENE

Transits sédimentaires

Au large

Volumes déplacés : 0,2 m³/m/jour
Sens général du transit résultant :
façade ouest : vers le Nord
façade nord : vers l'Est-Nord-Est

Sur l'estran (Wissant)

Volumes déplacés : 1,6 m³/m/jour de tempête
Sens du transit résultant : vers l'Est-Nord-Est

Evolution des corps sableux

Bancs du large : position stable
Bancs côtiers (Banc à la Ligne) :
déplacement mesuré : plusieurs mètres/an
variation verticale : 1 à 2 cm/an
Barkhanes (Sangatte) : 70 m/an

***RENSEIGNEMENTS
COMPLEMENTAIRES***

Les documents originaux de cette étude ne sont actuellement répertoriés dans aucune base de données. Il nous a donc paru utile d'en préciser la forme et le mode d'archivage, afin d'en faciliter l'examen éventuel par les personnes intéressées.

La navigation

Les plans de positionnement existent, sur papier, à l'échelle des cartes sédimentologiques publiées (1/43 000 environ). Stockées sur bande magnétique, les positions peuvent être tracées à une autre échelle.

Le réseau Sylédis

Les vingt stations du réseau, spécialement implanté pour ces reconnaissances, sont portées sur le plan joint (ci-contre). Leurs coordonnées géographiques sont disponibles.

Le sonar latéral

Les enregistrements ont été obtenus lors de 6 missions à la mer, de 1983 à 1989. Ils se présentent sous forme de rouleaux de papier électro-sensible, de largeur 28 cm. L'échelle d'enregistrement est le 1/1 000. La longueur totale des enregistrements représente, pour l'ensemble des travaux, 2,8 km.

La bathymétrie

Les enregistrements bathymétriques réalisés simultanément au sonar latéral se présentent sous deux formes :

- stockage numérique des mesures non corrigées ;
- enregistrement papier.

Les enregistrements bathymétriques complémentaires sont uniquement sur support en papier.

Pour ces documents, contacter :
IFREMER
Département Géosciences marines
B P 70
29280 PLOUZANE
M. Claude AUGRIS

Les échantillons de sédiment

Au nombre de 1600, ils sont repérés le plus souvent par le système DECCA (précision 50 m). Leur position est reportée sur des plans à l'échelle de 1/43 000 environ.

Pour chacun d'entre eux, les éléments archivés sont :

- un échantillon séché de 100 à 250 g ;
- les refus de tamis de la fraction tamisée ;
- les fiches de tamisage, qui indiquent les poids et pourcentages de chaque fraction, les poids et pourcentages cumulés, les valeurs des paramètres suivants : indice de classement S_o de Trask, indice d'asymétrie S_k , grain moyen, moyenne, médiane, écart-type, quartiles (Q25, Q50, Q75), centiles (Q10, Q20...) et teneur en carbonates.

Ces informations existent également sur support magnétique (classement par échantillon ou par paramètre).

- les fiches d'analyse, comprenant l'histogramme et la courbe cumulative de chaque échantillon. Certaines courbes cumulatives ont été enregistrées sous forme numérique.

Le traçage radioactif

Les suivis de traceurs radioactifs ont été réalisés en deux phases :

- de septembre à novembre 1986, pour les sites de la Bassure de Baas (Boulogne-sur-mer) et de Wissant (Banc à la Ligne et estran) ;
- de juin à novembre 1988, pour les sites de Dunkerque.

Les informations concernant les coordonnées des sites, la taille des traceurs, la répartition des auréoles de dispersion pour chaque levé et les formules de calcul sont regroupées dans les rapports du C E A et reprises dans les mémoires de thèse.

Les mesures courantologiques

Les mesures courantologiques réalisées lors du programme régional, en complément des mesures du SHOM, ont une durée comprise entre 12 heures et 4 jours.

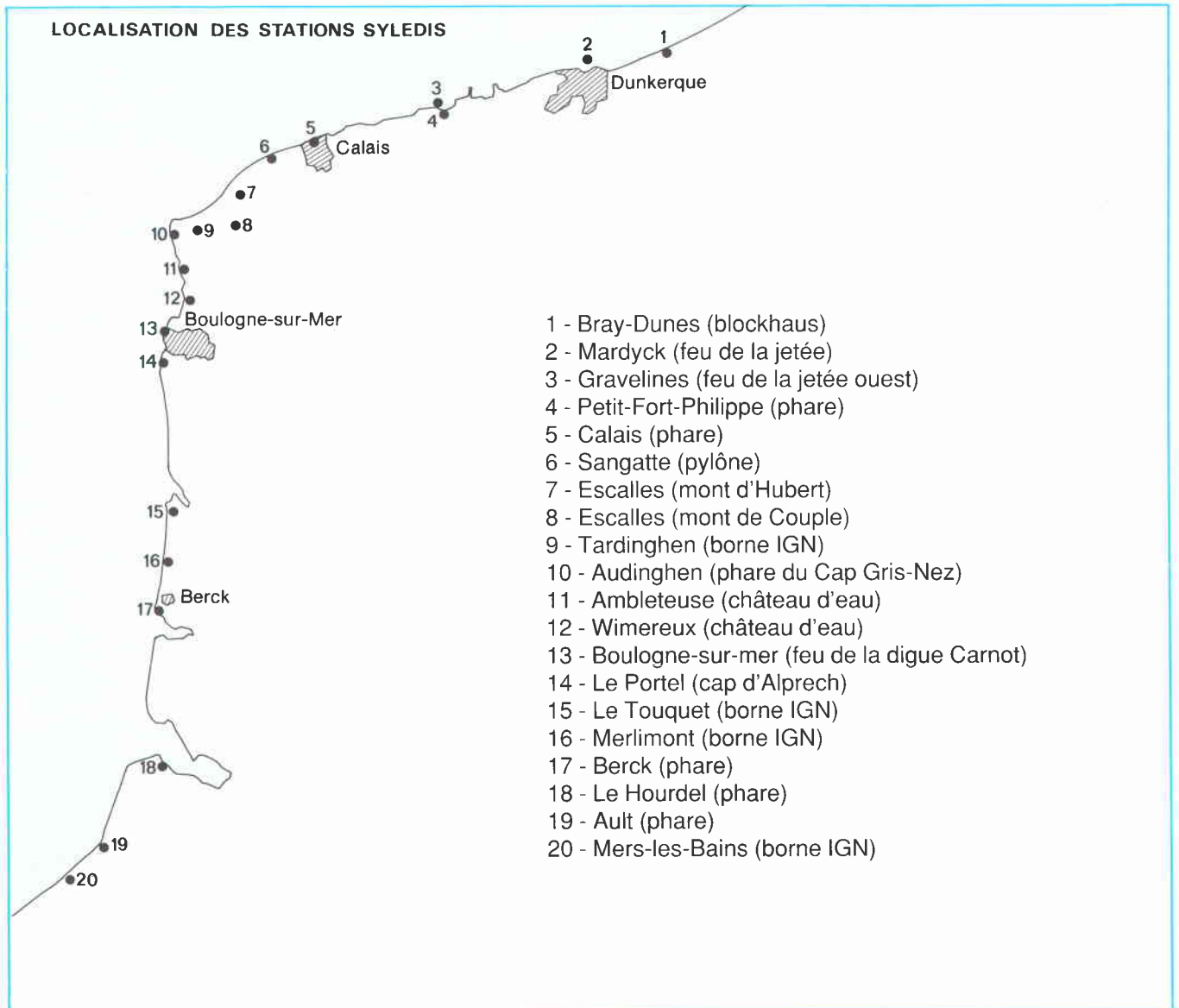
Elles se présentent sous la forme de listes de valeurs de direction et de vitesse, complétées par des graphes et courbes de variation pour les mesures réalisées à l'aide du courantomètre Anderaa.

Les enregistrements par vidéo

Les observations morphologiques effectuées par méthode vidéo sont enregistrées sur des cassettes VHS.

Pour ces documents, contacter :

Université des Sciences et Techniques de
Lille-Flandres-Artois
U F R des Sciences de la Terre
59655 VILLENEUVE D'ASCQ Cedex
M. Hervé CHAMLEY
ou M. Philippe CLABAUT



Les mémoires de thèse ou de DEA, les publications scientifiques peuvent également être obtenues, dans la limite des tirages disponibles et sur simple demande, au laboratoire cité ci-dessus ou auprès de leurs auteurs.

Les cartes des sédiments superficiels sont en vente à l'IFREMER : 150 quai Gambetta, B P 699, 62321 Boulogne-sur-mer.

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement M. le professeur Hervé CHAMLEY, Mlle Anne BOUQUILLON, M. Stéphane DEWEZ, M. Eric HOULGATTE, M. François LEFEBVRE et M. Bruno SAVOYE pour leur contribution à la lecture et à la critique du manuscrit.

De même, la quatrième partie du document a bénéficié des remarques de M. Jean-Paul DELPECH, M. Jacques DENIS, M. Jean SPARFEL, M. Michel JOANNY et M. Christophe LEFEBVRE.

Conception et Réalisation : Etudes et Cartographie
6-8 rue Léon Trulin
59800 - LILLE

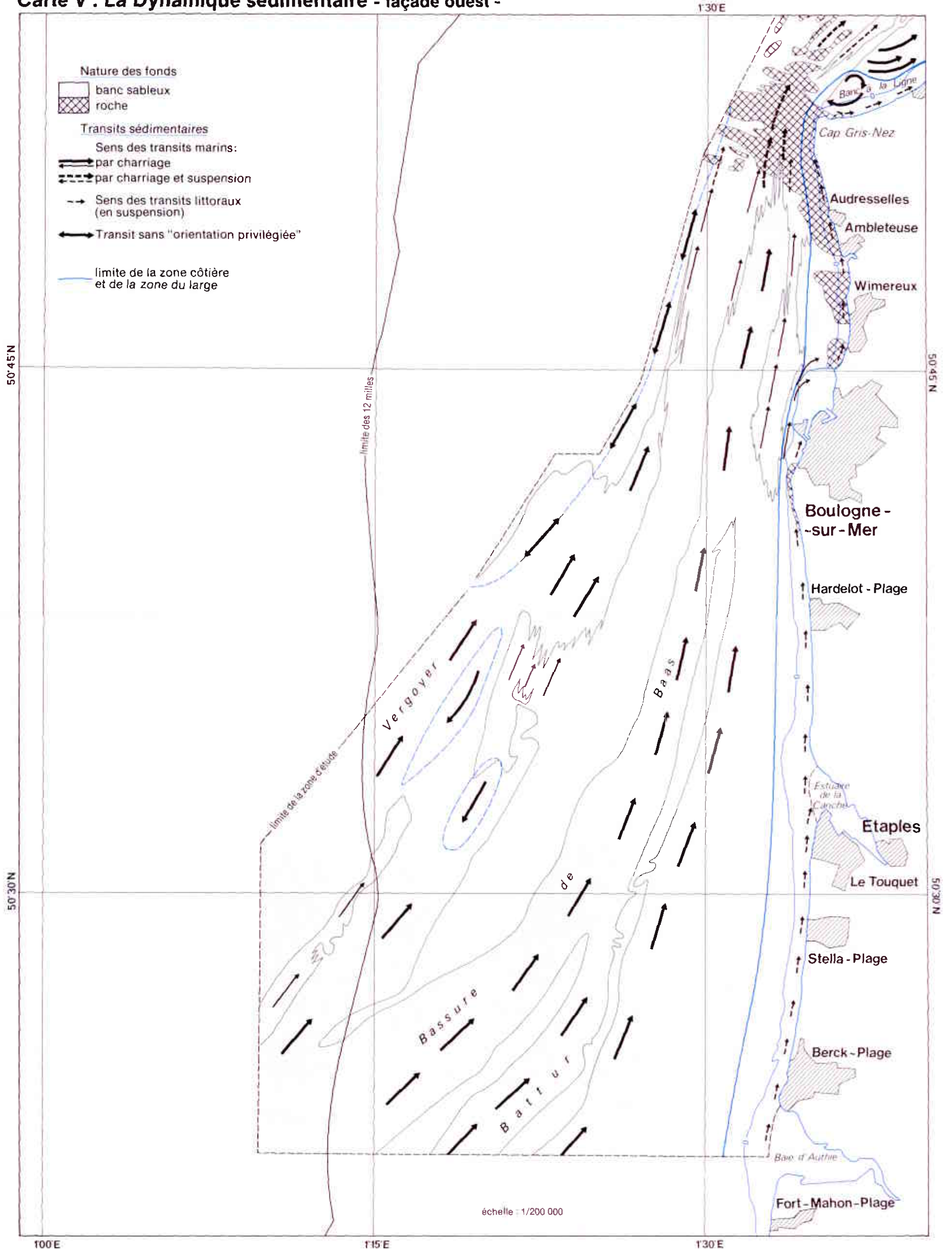
Impression : Douriez Bataille
7 rue Jacquemars-Giélée
59800 - LILLE

Première de couverture : cliché Cl. AUGRIS

Dépôt légal : n° 489 Juillet 1990

LE DOMAINE MARIN DU NORD - PAS DE CALAIS

Carte V : La Dynamique sédimentaire - façade ouest -



LE DOMAINE MARIN DU NORD - PAS DE CALAIS

Carte IV : Les Fonds Marins - façade nord -

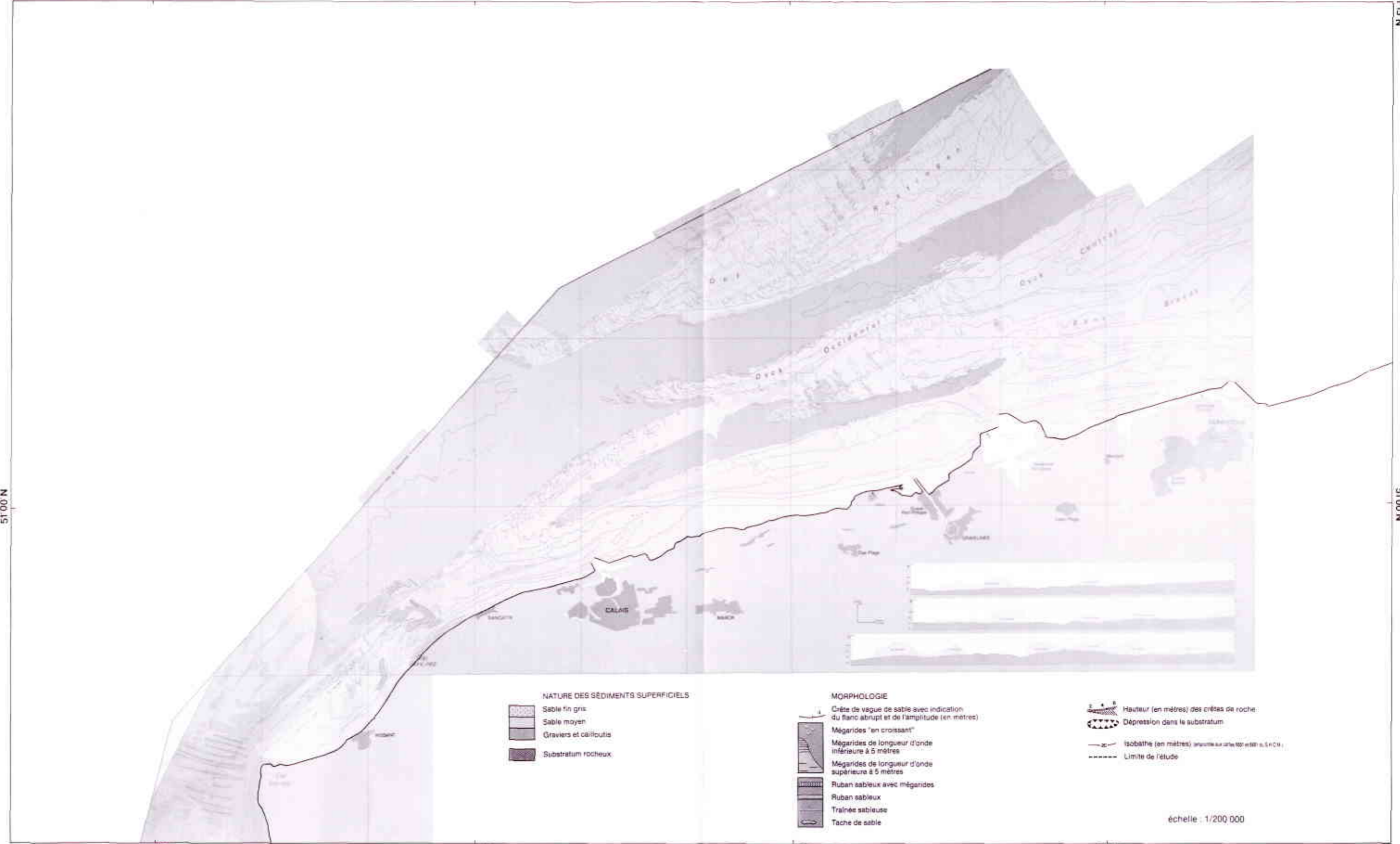
2'00 E

2'15 E

51'15 N

51'00 N

51'00 N



NATURE DES SÉDIMENTS SUPERFICIELS

- Sable fin gris
- Sable moyen
- Gravier et coquilles
- Substratum rocheux

MORPHOLOGIE

- Crête de vague de sable avec indication du flanc abrupt et de l'amplitude (en mètres)
- Mégarides de longueur d'onde inférieure à 5 mètres
- Mégarides de longueur d'onde supérieure à 5 mètres
- Ruban sableux avec mégarides
- Ruban sableux
- Trainée sableuse
- Tache de sable

- Hauteur (en mètres) des crêtes de roche
- Dépression dans le substratum
- isobathe (en mètres) portée au 1/200 000
- Limite de l'étude

échelle : 1/200 000

130 E

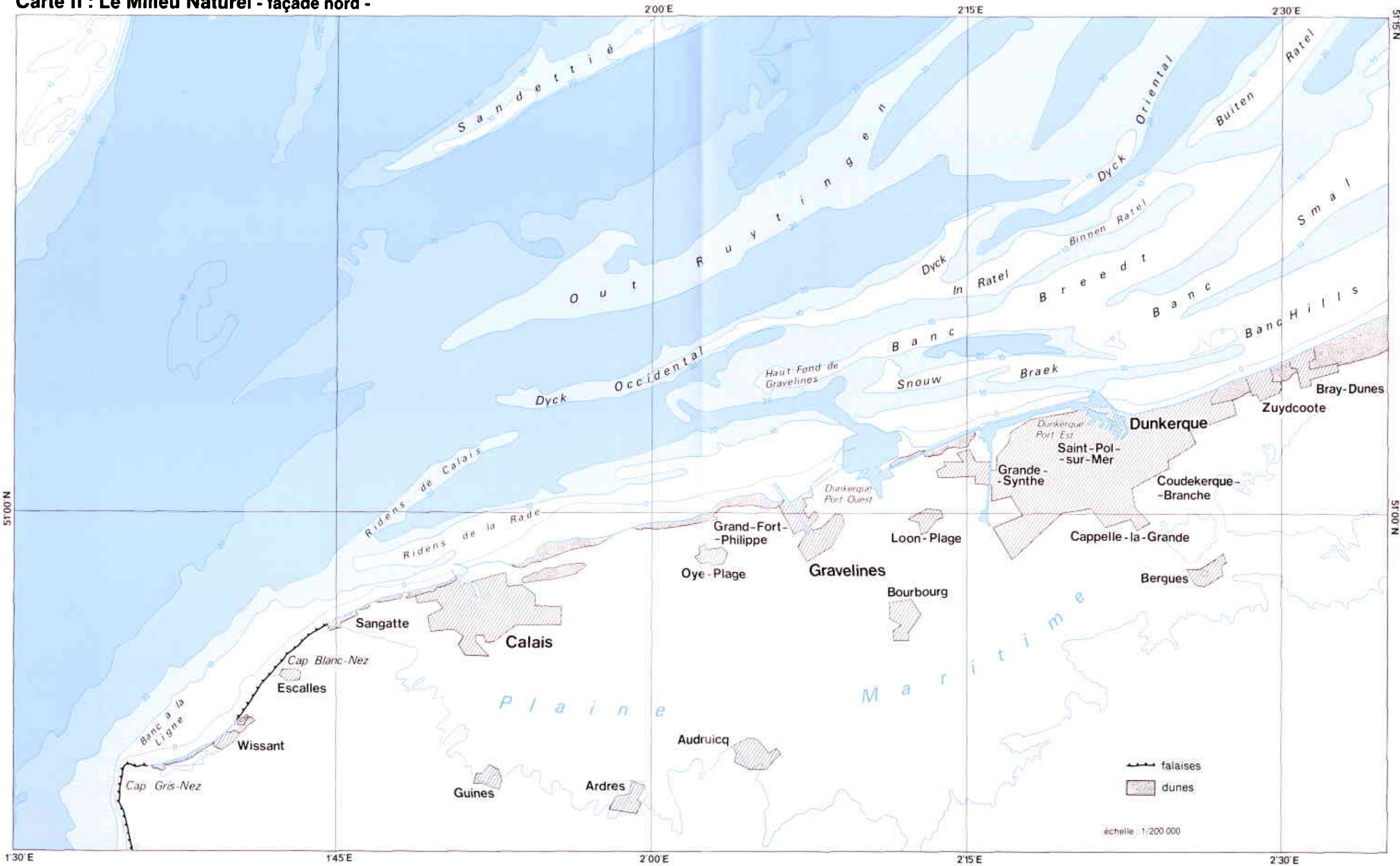
145 E

200 E

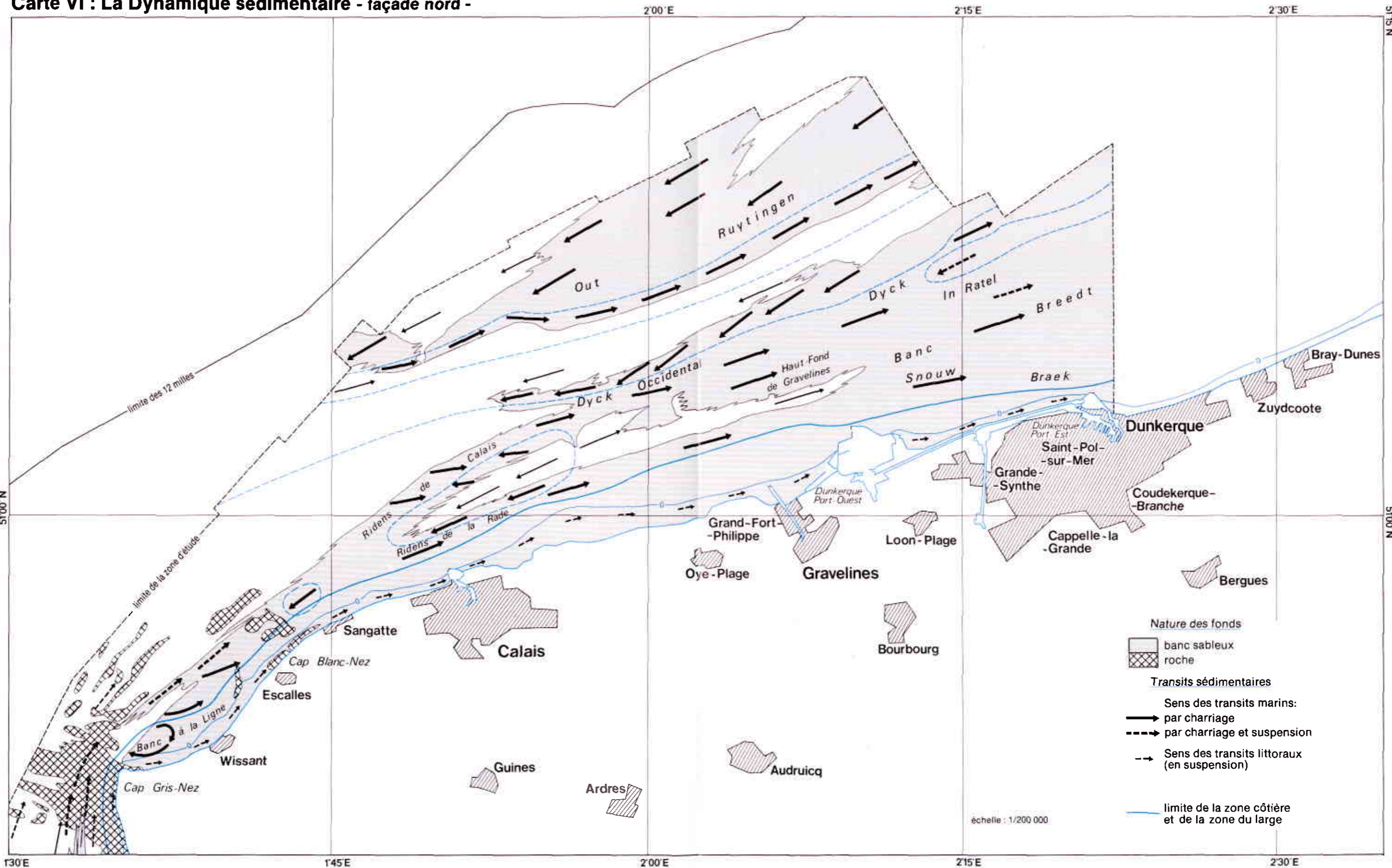
215 E

LE DOMAINE MARIN DU NORD - PAS DE CALAIS

Carte II : Le Milieu Naturel - façade nord -

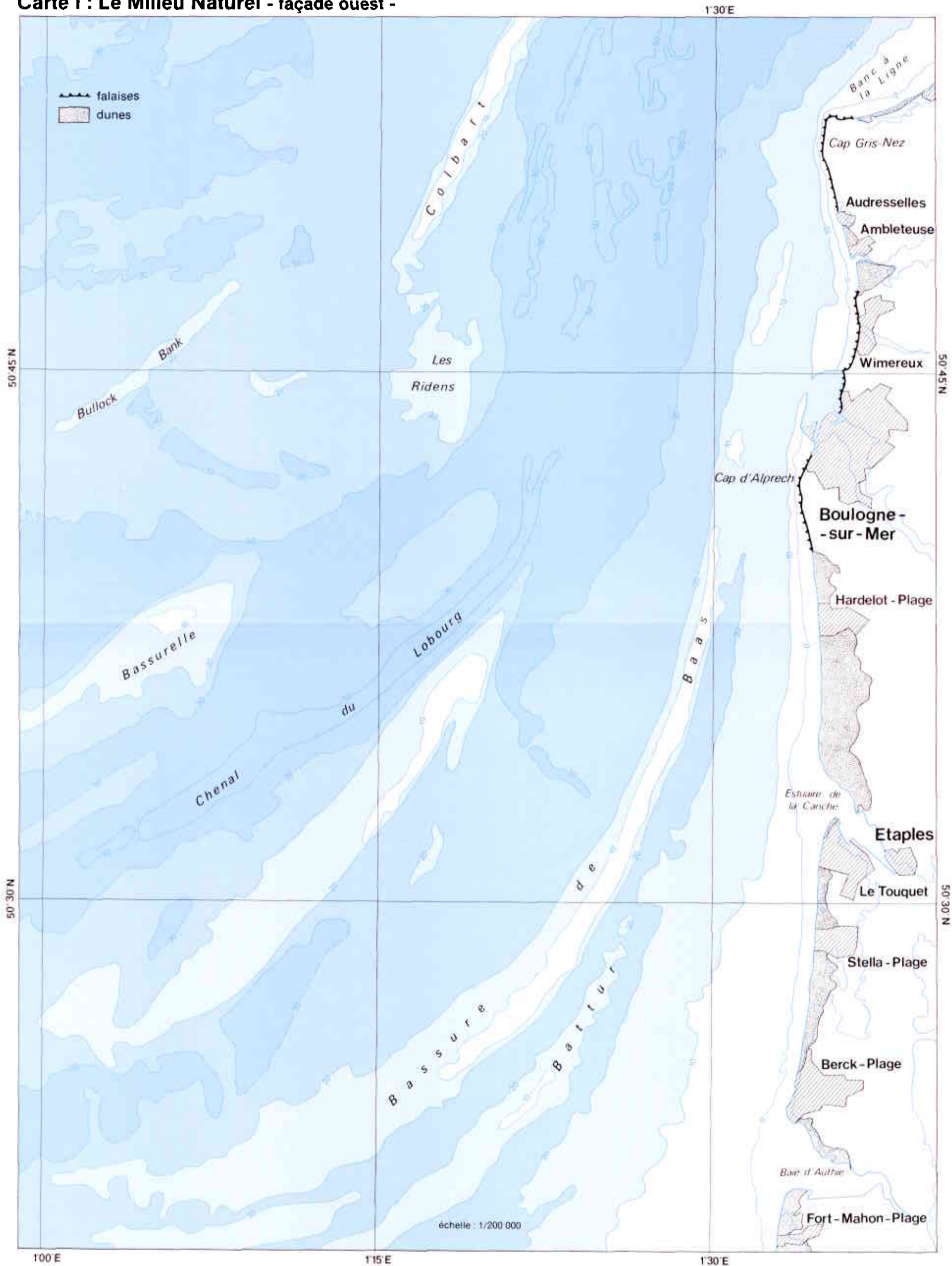


LE DOMAINE MARIN DU NORD - PAS-DE-CALAIS
Carte VI : La Dynamique sédimentaire - façade nord -



LE DOMAINE MARIN DU NORD - PAS DE CALAIS

Carte I : Le Milieu Naturel - façade ouest -



LE
DOMAINE
MARIN
DU
NORD
PAS
DE
CALAIS

Carte I
Le Milieu Naturel
- façade ouest -

Carte II
Le Milieu Naturel
- façade nord -

Carte III
Les Fonds Marins
- façade ouest -

Carte IV
Les Fonds Marins
- façade nord -

Carte V
La Dynamique sédimentaire
- façade ouest -

Carte VI
La Dynamique sédimentaire
- façade nord -

Echelle : 1/200 000

Projection Mercator

Ellipsoïde Hayford

LE DOMAINE MARIN DU NORD - PAS DE CALAIS

Nature, morphologie et mobilité des fonds

Ce document présente la synthèse des travaux et des résultats de cinq années de recherches menées, au large du Nord - Pas de Calais, par les géologues de l'IFREMER et de l'Université de Lille I.

La nature et la morphologie des fonds marins sont reconnues principalement grâce au sonar latéral. Les résultats concernent particulièrement les ensembles sableux de toute taille.

Les phénomènes sédimentaires qui régissent l'évolution des corps sableux marins et du littoral sont identifiés à partir d'indicateurs morphologiques, sédimentologiques et courantologiques, et quantifiés par traçage radioactif.

Les données obtenues sont situées par rapport aux activités maritimes et tiennent lieu d'informations de base, en vue d'applications techniques et économiques.

Results are summarized about a research program carried out during five years by the geologists of IFREMER and the University of Lille I, in the marine domain located off the Nord - Pas de Calais french region.

The nature and morphology of the seabed were mainly identified by side scan sonar. The results concern essentially the morphology of variously - sized bedforms.

The sedimentary processes controlling the evolution of sandy bedforms are identified from morphological, sedimentological and marine current data, and quantified by radioactive tracing.

The data obtained represent useful basic information for various types of human activity at sea and along the coast.