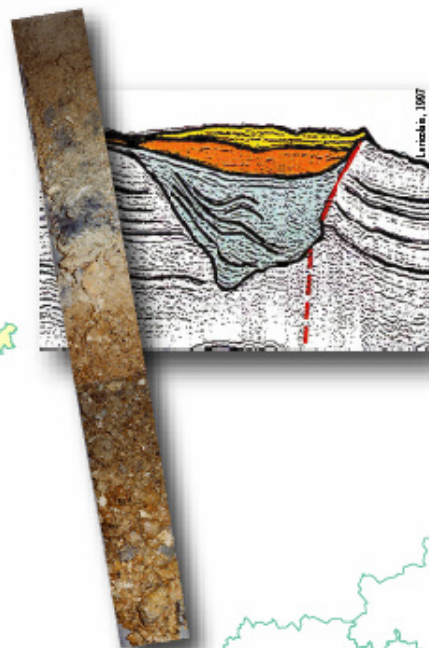




Inventaire des ressources en matériaux marins



Inventaire des ressources en matériaux marins

Façades « Manche-Est » et « Loire-Gironde »

Coordination
Claude Augris (1)

Rédaction
Laure Simplet (1)

Cartographie
Jean-Pierre Mazé (1)

Dessin
Laëtitia Morvan (1)

Information géographique
Catherine Satra Le Bris (1)
Nadège Fitamant (1)

Géostatistique
Jean-François Bourillet (1)

Archivage
Michèle Stéphan (1)

Bibliographie (faune benthique)
Michel Blanchard (2)

Bibliographie (ressources halieutiques et pêcheries)
Jean-Paul Delpech (3)
Yves Désaunay (4)
Bruno Ernande (5)
Jean-Pierre Léauté (6)
Michel Lemoine (5)
Cécile Nassiet (4)
Sandrine Vaz (3)

- 2006 -

(1) Ifremer

Département Géosciences marines
Technopôle Brest-Iroise
BP 70
29280 Plouzané

(2) Ifremer

Département Dynamiques de l'Environnement Côtier
Technopôle Brest-Iroise
BP 70
29280 Plouzané

(3) Ifremer

Laboratoire Ressources Halieutiques
150, Quai Gambetta
BP 699
62321 Boulogne-sur-mer

(4) Ifremer

Département Ecologie et Modèles pour l'Halieutique
Rue de l'Île d'Yeu
BP 21105
44311 Nantes cedex 3

(5) Ifremer

Avenue du Général de Gaulle
14520 Port-en-Bessin

(6) Ifremer

Laboratoire Ressources Halieutiques
Place du Séminaire
BP 7
17137 L'Houmeau

Sommaire

Introduction	- 5 -
1. Inventaire national des granulats marins	- 9 -
1.1. Granulats marins : quelques rappels	- 9 -
1.2. Techniques mises en œuvres lors de l'inventaire national	- 12 -
1.2.1. Sismique réflexion	- 12 -
1.2.1.1. Système « Sparker » (« Étinceleur »)	- 13 -
1.2.1.2. Système « Boomer »	- 14 -
1.2.2. Carottiers	- 15 -
1.2.2.1. Vibrofonceuse IFP/DB vibro driver	- 15 -
1.2.2.2. AMdrill	- 18 -
1.2.2.3. Vibro-carottier Zenkovitch du BRGM	- 19 -
1.2.2.4. Carottiers gravitaires : CNEXO-Ville et Stetson Hill	- 20 -
1.2.3. Moyens de positionnement	- 20 -
2. Recensement et analyse qualitative des données géologiques existantes	- 21 -
2.1. Façade « Manche-Est »	- 21 -
2.1.1. Recensement des données	- 21 -
2.1.1.1. Campagnes océanographiques réalisées dans le cadre de l'inventaire national des granulats marins	- 21 -
2.1.1.2. Campagnes « hors inventaire » : GRANOR (1984-1985)	- 25 -
2.1.1.3. Travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national des granulats marins	- 26 -
2.1.2. Analyse qualitative des données	- 26 -
2.1.2.1. Présentation des informations relatives aux campagnes de l'inventaire national des granulats marins	- 26 -
2.1.2.2. Présentation des informations relatives aux campagnes « hors inventaire » : GRANOR (1984-1985)	- 34 -
2.1.2.3. État de l'archivage	- 36 -
2.1.2.4. Travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national des granulats marins	- 39 -
2.1.2.5. Consultation de documents inédits et/ou confidentiels	- 42 -
2.2. Façade « Loire-Gironde »	- 44 -
2.2.1. Recensement des données	- 44 -
2.2.1.1. Campagnes océanographiques réalisées dans le cadre de l'inventaire national des granulats marins	- 44 -
2.2.1.2. Travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national des granulats marins	- 49 -
2.2.2. Analyse qualitative des données	- 50 -
2.2.2.1. Présentation des informations relatives aux campagnes de l'inventaire national des granulats marins	- 50 -
2.2.2.2. État de l'archivage	- 56 -
2.2.2.3. Travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national des granulats marins	- 58 -
2.2.2.4. Consultation de document inédit et/ou confidentiel	- 62 -
3. Principaux résultats des campagnes	- 63 -
3.1. Façade « Manche-Est »	- 63 -
3.1.1. Résultats des campagnes de l'inventaire national des granulats marins	- 63 -
3.1.1.1. Manche centrale et orientale (1969)	- 63 -
3.1.1.2. Boulogne-sur-mer et Wissant (1971)	- 64 -
3.1.1.3. Baie de Seine et Manche orientale (1972)	- 65 -
3.1.1.4. Baie de Seine (1976)	- 66 -
3.1.2. Campagne « hors inventaire » : GRANOR (1984-1985)	- 67 -
3.1.2.1. Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais : étude bibliographique (1984)	- 67 -
3.1.2.2. Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais (1986)	- 68 -
3.1.3. Récapitulatif des résultats des campagnes de l'inventaire national des granulats marins	- 69 -
3.1.4. Résultats des travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national	- 70 -
3.1.4.1. Paléo-vallées et bancs sableux de la Manche orientale (1982)	- 70 -

3.1.4.2.	Sédiments superficiels au large du Nord-Pas de Calais (1995)	- 71 -
3.1.4.3.	Thèse de G. Lericolais (1997)	- 71 -
3.2.	Façade « Loire-Gironde »	- 74 -
3.2.1.	Résultats des campagnes de l'inventaire national des granulats marins	- 74 -
3.2.1.1.	Sud Bretagne (1973)	- 75 -
3.2.1.2.	Saint-Nazaire (1974 et 1975)	- 76 -
3.2.1.3.	Pertuis charentais (1976 et 1977)	- 77 -
3.2.1.4.	Gironde (1978 et 1979)	- 81 -
3.2.2.	Résultats des travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national	- 85 -
3.2.2.1.	Pertuis charentais	- 85 -
3.2.2.2.	Embouchure de la Gironde	- 93 -
3.2.2.3.	Large du bassin d'Arcachon	- 96 -
4.	Synthèse des résultats – Évaluation des ressources	- 99 -
4.1.	Évaluation des ressources à l'échelle de la façade « Manche-Est »	- 99 -
4.1.1.	Épaisseurs sédimentaires	- 99 -
4.1.2.	Nature des sédiments	- 101 -
4.1.3.	Quantification des ressources	- 109 -
4.1.3.1.	Méthode graphique à partir du logiciel ArcView (Système d'Information Géographique)	- 109 -
4.1.3.2.	Méthode géostatistique	- 110 -
4.1.4.	État des exploitations et des projets en cours	- 112 -
4.2.	Évaluation des ressources à l'échelle de la façade « Loire-Gironde »	- 117 -
4.2.1.	Épaisseurs sédimentaires	- 117 -
4.2.1.1.	Secteur de Saint-Nazaire	- 117 -
4.2.1.2.	Secteur des pertuis charentais	- 117 -
4.2.1.3.	Secteur de l'embouchure de la Gironde	- 118 -
4.2.2.	Nature des sédiments	- 119 -
4.2.3.	Quantification des ressources	- 129 -
4.2.3.1.	Méthode graphique à partir du logiciel ArcView (Système d'Information Géographique)	- 129 -
4.2.3.2.	Méthode géostatistique	- 129 -
4.2.4.	État des exploitations et des projets en cours	- 130 -
4.3.	Bilan des ressources	- 131 -
5.	Élaboration de la base de données sous Système d'Information Géographique (SIG)	- 133 -
5.1.	Architecture du SIG	- 133 -
5.2.	Métadonnées	- 136 -
5.2.1.	Métadonnées générales du SIG pour la façade « Manche-Est »	- 136 -
5.2.2.	Métadonnées générales du SIG pour la façade « Loire-Gironde »	- 137 -
5.2.3.	Métadonnées à renseigner pour chaque couche	- 138 -
6.	Recensement bibliographique des études à caractère halieutique et environnemental	- 141 -
6.1.	Panorama des connaissances dans le domaine de l'halieutique	- 141 -
6.1.1.	Façade Manche-Est »	- 141 -
6.1.2.	Façade « Loire-Gironde »	- 147 -
6.2.	Panorama des connaissances dans le domaine des peuplements benthiques	- 149 -
6.2.1.	Façade « Manche-Est »	- 149 -
6.2.2.	Façade « Loire-Gironde »	- 153 -
	Conclusion	- 157 -
	Références bibliographiques	- 159 -

Introduction

En France, alors que la consommation de granulats est en croissance régulière, passant de 347 millions de tonnes en 1996 à 425 millions de tonnes en 2000 (source : UNPG), la part de granulats alluvionnaires ne cesse de décroître (68% en 1970, 55% en 1990, 42% en 2000) au profit des granulats issus du concassage. Cette évolution, à priori irréversible, génère une série de problèmes techniques au niveau de certains usages (bétons) et du transport. La recherche de matériaux de substitution aux granulats alluvionnaires est à l'origine d'un intérêt croissant porté aux ressources en granulats marins.

La demande croissante de permis d'exploration et d'exploitation de granulats marins a fait prendre conscience aux décideurs publics de la nécessité de prévenir les réactions que pourraient provoquer ces projets vis-à-vis des autres activités maritimes, en particulier la pêche.

C'est dans ce contexte que le premier ministre avait confié, en 2001 au député D. Dupilet (député du Pas-de-Calais), une mission sur « le règlement des conflits d'usage dans la zone côtière, entre pêche professionnelle et autres activités ». Parmi les propositions inscrites au rapport, l'une préconisait la réalisation « *d'une étude conjointe Ifremer-BRGM sur la ressource en granulats, visant à délimiter les zones d'extractions favorables en intégrant les préoccupations d'ordre halieutique et les impératifs économiques et techniques d'approvisionnement en granulats marins* ».

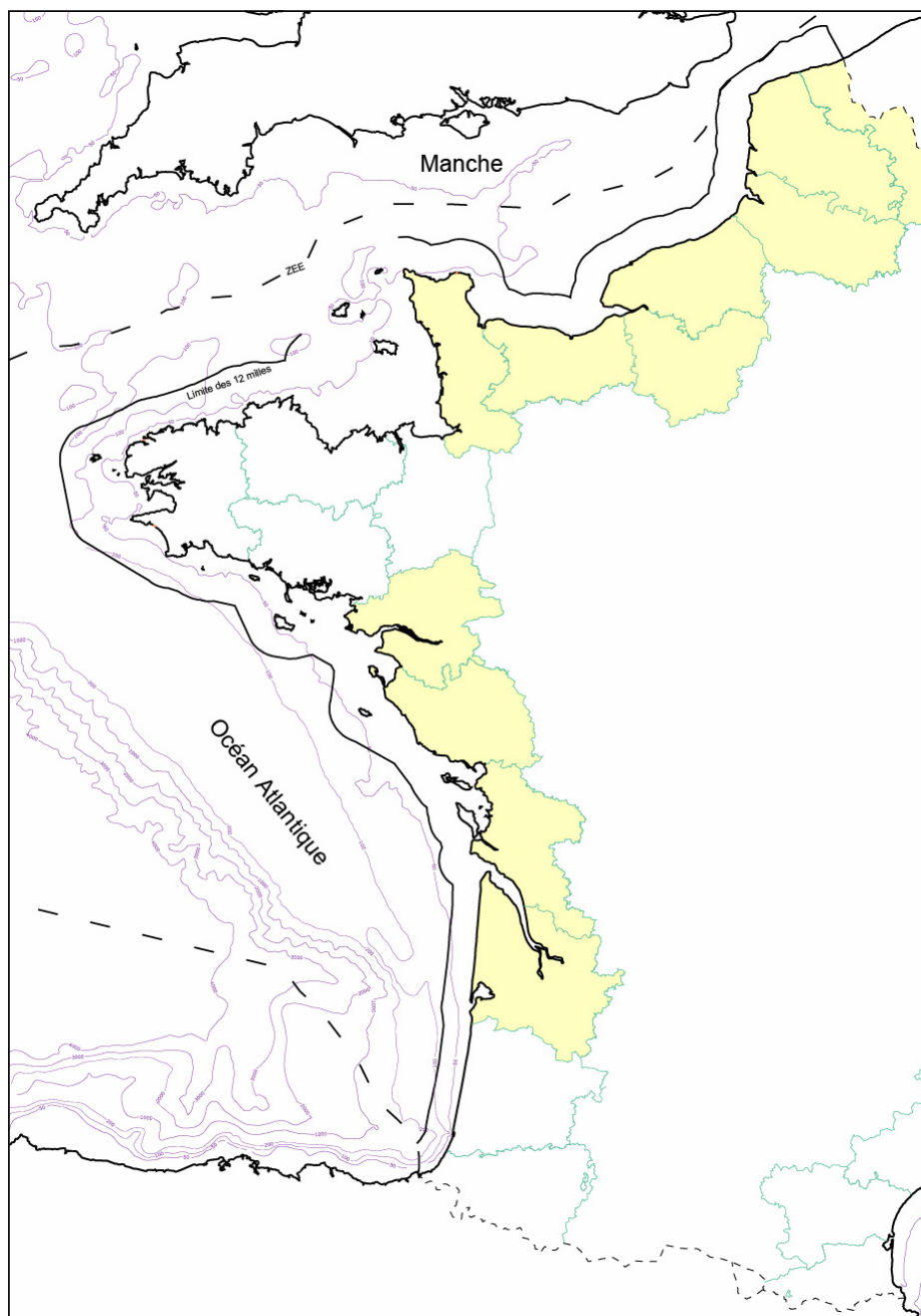
C'est ainsi qu'a été élaboré un projet visant à :

- déterminer la place que pourrait prendre les granulats marins dans l'approvisionnement des territoires à façade maritime et des grands bassins de consommation ;
- évaluer les contraintes environnementales existantes sur les secteurs reconnus comme offrant des ressources en matériaux marins.

Ces études confiées à l'Ifremer pour le domaine marin et au BRGM pour le domaine terrestre portent sur deux secteurs ayant été jugés comme prioritaires : la façade « Manche-Est », constituée des sept départements du Nord, du Pas-de-Calais, de la Somme, de la Seine-Maritime, de l'Eure, du Calvados et de la Manche, et la façade « Loire-Gironde » constituée des quatre départements de la Loire-Atlantique, la Vendée, la Charente-Maritime et la Gironde.

A l'instar des Schémas départementaux des Carrières, des schémas régionaux seront élaborés. Ils prendront en compte l'ensemble des matériaux (marins et terrestres), les contraintes liées à leur exploitation respective et leur destination. Ils serviront d'aide à la décision pour gérer l'accès à la ressource de certains matériaux en fonction des différentes contraintes nécessairement évolutives dans le temps : environnementales, économiques, géotechniques,...

Un Système d'Information Géographique doit intégrer la totalité de l'information existante sur les formations sédimentaires meubles quaternaires, à terre comme en mer, permettant de faciliter l'actualisation de l'inventaire des ressources nationales en roches meubles.



Les deux façades et les onze départements concernés par le projet.

L'objectif final du projet correspond à l'identification de zones de moindre contrainte où l'exploitation des granulats marins sera possible.

Pour répondre à cet objectif, l'Ifremer a proposé une action décomposée en cinq étapes principales :

- le recensement des données et analyses qualitatives ;
- l'inventaire minier marin, à partir des données existantes et des résultats déjà obtenus ;
- l'identification des zones à protéger ;
- la synthèse des zones identifiées correspondant aux sites de « moindre contrainte » ;
- la construction d'un SIG garantissant l'intégration des données et leur harmonisation.

Les cinq étapes ont été groupées en trois volets étalés sur trois années.

Selon les modalités de l'annexe technique de la convention n°2004-00258-00-07, le premier volet, faisant l'objet du présent rapport, comprend trois phases :

- un recensement et analyse qualitative des données géologiques existantes. Les sources d'informations disponibles ont été identifiées : rapports d'études publiés dans le cadre de l'inventaire national des granulats marins, mais à diffusion limitée ; éléments cartographiques existants et issus de synthèses ou de publications ; bibliographie scientifique (thèses, articles,...) faisant état de connaissances nouvelles dans les disciplines concernées.

Leur analyse qualitative s'est attachée à examiner les modalités d'acquisition des données, la précision obtenue, les incertitudes liées aux systèmes de positionnement, l'état de conservation des archives anciennes et les moyens de restauration, la disponibilité de documents et enfin la nature et les limites de leur accessibilité ;

- un inventaire minier marin à partir des données existantes et des résultats déjà obtenus. Il a permis de décrire et de localiser les travaux réalisés à l'époque de l'inventaire national et d'établir l'état des ressources (localisation, nature, contexte morpho-bathymétrique) ;
- un recensement bibliographique des données halieutiques et environnementales qui a établi, pour ces deux domaines, une liste bibliographique des divers travaux publiés notamment sous forme d'articles, de cartes, de thèses et de rapports.

Le présent rapport expose les résultats relatifs à ces trois phases.

Une autre partie, préambule à la cinquième étape du projet, sera consacrée à la mise en forme des résultats et l'élaboration de la base de données sous Système d'Information Géographique pour les deux façades concernées « Manche-Est » et « Loire-Gironde ».

Enfin, cinq cartes hors texte accompagnent ce rapport :

- inventaire des ressources en matériaux marins, façade « Manche-Est » - Travaux réalisés (échelle 1/250 000, deux feuilles) ;
- inventaire des ressources en matériaux marins, façade « Manche-Est » - Épaisseur des sédiments meubles (paléo-chenaux) (échelle 1/250 000, deux feuilles) ;
- inventaire des ressources en matériaux marins, façade « Manche-Est » - Épaisseur des sédiments meubles (bancs sableux) (échelle 1/250 000, deux feuilles) ;
- inventaire des ressources en matériaux marins, façade « Loire-Gironde » - Travaux réalisés (échelle 1/250 000) ;
- inventaire des ressources en matériaux marins, façade « Loire-Gironde » - Épaisseur des sédiments meubles (paléo-chenaux) (échelle 1/250 000).

1. Inventaire national des granulats marins

A sa création, en 1967, le CNEOX reçoit des missions déclinées en cinq thèmes dont celui intitulé « Ressources minérales et fossiles » lui donnant comme mandat « les études et les recherches tendant à l'exploitation des ressources contenues dans leur masse, leur sol et leur sous-sol ».

Dès 1969, démarre le programme « Sables et graviers marins » qui a pour objectif l'inventaire des ressources en matériaux sur le plateau continental français. D'abord métropolitain, il s'étendra ensuite aux Antilles à partir de 1985.

Le thème sera poursuivi par l'Ifremer créé en 1984 par la fusion du CNEOX et de l'ISTPM.

L'inventaire national des granulats marins a donc été conduit, de 1969 à 1981, sous budget d'État. Il a été suivi, à l'initiative conjointe de l'Ifremer et de collectivités territoriales, d'un inventaire régional : Nord-Pas de Calais (1984-1986, granulats siliceux), Bretagne (1987-1990, maërl), Guadeloupe (1985-1992, granulats siliceux) et Martinique (en cours).

Les ressources reconnues, en métropole, avaient été évaluées à 33 milliards de m³ (50 milliards de tonnes) dont 600 millions de m³ étaient considérées comme réserves exploitables. Des sites favorables pour l'exploitation des matériaux ont ensuite été identifiés.

1.1. Granulats marins : quelques rappels

Parmi les substances minérales extraites en France, les granulats tiennent, en quantité, la première place.

Les vallées alluvionnaires situées près des grands centres industriels et des zones urbanisées sont activement exploitées, et on assiste à une diminution voire un épuisement des ressources, qui dans certaines régions posent un réel problème d'approvisionnement.

A la fermeture de certains gisements alluvionnaires terrestres, on peut substituer, dans certaines conditions, des sites marins. Ainsi les travaux de prospection réalisés, sur le plateau continental français (métropole et départements antillais d'outre-mer), depuis 1969, par l'Ifremer, avaient pour objectif de favoriser ce transfert géographique d'activités.

En France, la part des matériaux marins dans la production totale de granulats reste faible : 1,5 % ce qui représente environ 6 millions de tonnes (source UNPG, 2003). A titre de comparaison, la Grande Bretagne fait entrer environ 21 %, soit 22,2 millions de tonnes (source : BMAPA, 2003) de sables et graviers siliceux marins, dans son approvisionnement. Le Japon en produit 80 millions de tonnes (chiffre ancien).

Les substances sous-marines extraites actuellement en France sont les sables siliceux et calcaires, et les algues calcaires (maërl). Elles se sont accumulées à la faveur de processus continentaux ou marins.

Dans le premier cas (processus continental), il s'agit le plus souvent d'alluvions. Ils résultent de l'altération et de l'érosion de roches, puis de leur transport et dépôt dans les vallées d'un ancien réseau fluvial, creusé au cours des phases de régressions (périodes glaciaires) du Quaternaire, lorsque le plateau continental était émergé.

Dans le second cas (processus marin), ce sont des dunes hydrauliques, d'importance variable, dues aux courants de marée qui ont redistribué une partie des sédiments.

Dans les régions à hydrodynamisme fort (la Manche, par exemple), les fonds sont composés de graviers et galets dans lesquels vivent des organismes dont les tests calcaires sont, à la mort de l'animal, repris par les courants et déposés dans des zones de moindre énergie. Ces accumulations prennent la forme de dunes et sont essentiellement calcaires.

Il peut s'agir également d'anciens cordons littoraux établis aux cours de ces régressions et témoins des différents niveaux de remontée de la mer. Ces dépôts sont constitués de galets ou de sables graveleux, et sont plus importants sur les plateaux continentaux ayant un gradient de pente faible.

Évolution récente de la Manche et conditions de dépôt

Les sédiments lithoclastiques présents en Manche résultent d'apports anté-holocènes en domaine péri-glaciaire (Larsonneur, 1971). Alors que le niveau marin était, il y a 18 000 ans BP (Before Present, référencé à l'année 1950), 120 m en dessous du niveau actuel, de puissants fleuves parcouraient les fonds de la Manche, à l'époque exondée (figure 1-1), y déposant un grand volume de sédiments formés de nappes gravelo-caillouteuses jusqu'à des suspensions silto-argileuses (Alduc et al., 1979 ; Auffret et al., 1980 ; Quesney, 1983).

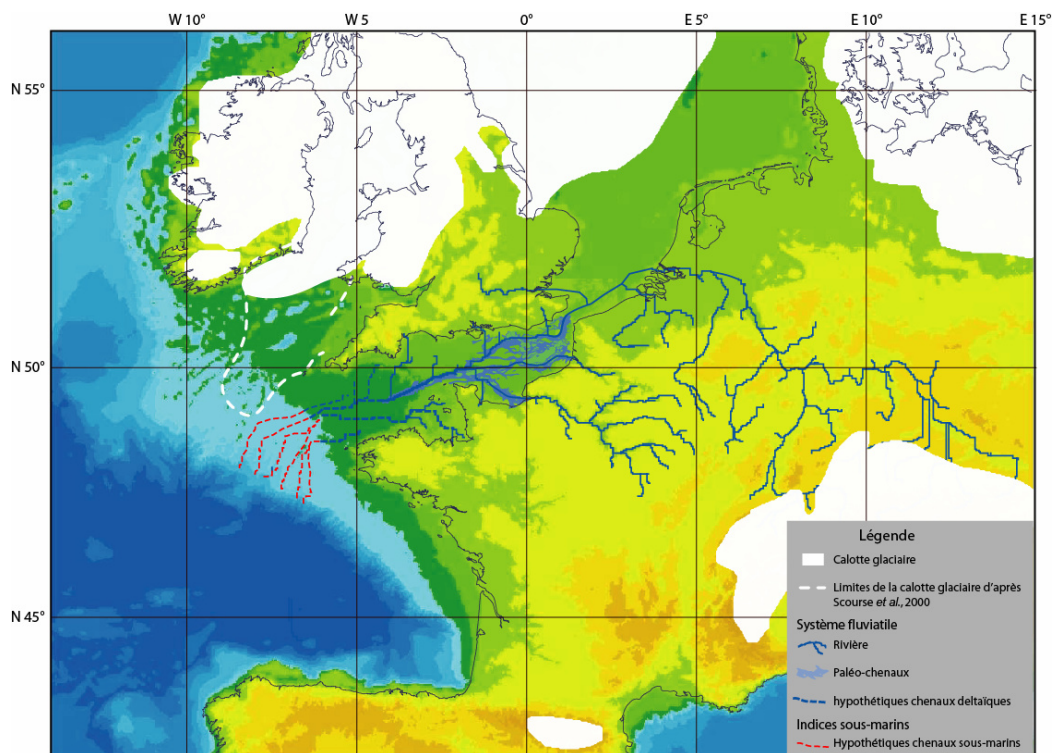


Figure 1-1 : Contexte paléo-environnemental de la Manche il y a 18 000 ans (Bourillet et al., 2003).

Les conditions climatiques post-glaciaires, encore sévères, ont favorisé les actions éoliennes et permis le dépôt localisé de quelques gros blocs transportés par radeaux de glace. L'ensemble de ces apports terrigènes a été

remanié par la transgression flandrienne, débutant à 18 000 ans BP. Après une longue évolution continentale, sous climat froid en domaine péri-glaciaire, la mer a envahi la Manche et a remanié les dépôts terrigènes issus des grands fleuves venus de l'Est (Tamise et Seine). Vers 9 000 ans BP, la jonction s'opère avec la mer du Nord dans le Pas-de-Calais, et le niveau marin est 40 m en dessous de l'actuel. La transgression est particulièrement rapide jusque 6 000 ans BP, et atteint le niveau -10 m. Dès lors, la morphologie côtière et sous-marine est proche de la configuration actuelle.

Le matériel bioclastique, formé de débris d'origine animale et végétale, généralement calcaire, est d'âge holocène (Vaslet et al., 1978). Sa mise en place s'est effectuée lors de la transgression flandrienne et a progressivement contaminé superficiellement les dépôts lithoclastiques anté-holocènes.

La répartition actuelle des sédiments est contrôlée par les courants de marée et les houles. Toutefois, une zonation existe ; il est possible de reconnaître trois domaines :

- le domaine du large, où dominant les courants de marée, la répartition des sédiments superficiels est liée à celle des vitesses de courant. Ainsi, les sédiments grossiers correspondent aux secteurs où les courants sont les plus forts. Depuis ces zones, et conformément à la réduction des vitesses de courant, il existe un gradient d'affinement induisant la mise en place de sédiments graveleux, sableux, et parfois vaseux. Les grands bancs sableux présents dans ce domaine sont fortement liés aux conditions hydrodynamiques ambiantes, elles-mêmes induites par la morphologie côtière et sous-marine. Ces bancs linéaires qui s'allongent dans le sens des courants résultent de cette évolution holocène ;

- le domaine côtier ouvert, où les houles et les courants de marée sont actifs. La transgression flandrienne a entraîné le recul de la ligne de rivage et a poussé devant elle un grand volume de matériaux. Ils ont été disposés le long du littoral actuel et déblayés depuis que le niveau marin s'est partiellement stabilisé (environ 2 500 ans BP) au niveau que l'on connaît aujourd'hui ;

- le domaine côtier d'abri où les courants de marée redeviennent prépondérants (sédimentation dans les estuaires, les baies, voire les ports). Ces espaces de sédimentation où les courants sont souvent chenalisés ont été déblayés voire surcreusés lors de la dernière période glaciaire. Ce n'est que depuis la dernière transgression marine flandrienne que ces secteurs fonctionnent comme des pièges à sédiments aboutissant à leur colmatage progressif.

Les travaux entrepris dans le cadre de l'inventaire national (1969-1981) n'ont porté que sur une partie des zones côtières comprises entre 10 et 50 m de profondeur. Même si les ressources sont abondantes, les réserves exploitables sont beaucoup plus faibles et tiennent compte de :

- la profondeur d'eau accessible aux dragues françaises actuelles ;
- la présence d'activités humaines, que la mise en exploitation du gisement pourrait gêner (pêche, conchyliculture, câbles, routes maritimes, défense nationale, ...) ;
- l'existence de secteurs réservés, reconnus comme essentiels à l'équilibre écologique du milieu marin (aires de ponte, flore et faune benthiques assurant le renouvellement de la nourriture des espèces commerciales) ;
- la nature des sédiments, qui doivent pouvoir être utilisés en l'état. Les rejets d'un éventuel traitement en mer risquant d'entraîner une pollution du gisement et des perturbations du milieu.

1.2. Techniques mises en œuvres lors de l'inventaire national

En 1969, le CNEXO a initié la prospection du plateau continental français afin de dresser l'inventaire des ressources en matériaux grâce à des méthodes d'investigation indirectes et directes.

Les méthodes indirectes correspondaient à la réalisation d'une prospection par sismique réflexion visant à déterminer l'épaisseur de sédiments meubles reposant sur le substratum rocheux ainsi que la morphologie de ce dernier. Cette investigation a permis d'établir des cartes d'isobathes du toit du substratum et d'épaisseurs de sédiments meubles conduisant à une évaluation volumétrique des ressources identifiées.

Les méthodes directes consistaient à la calibration par carottage des accumulations sédimentaires mises en évidence lors de l'investigation « indirecte ».

Grâce à la corrélation entre les carottes, dont la composition est connue, avec les résultats de la sismique réflexion, qui localisent les différents niveaux sédimentologiques et leur épaisseur, il a été permis d'établir l'état des ressources c'est-à-dire, leur localisation, leur nature ainsi que leur contexte morpho-bathymétrique

1.2.1. Sismique réflexion

La sismique réflexion permet de déterminer l'épaisseur et la structure des sédiments meubles ainsi que la morphologie du substratum rocheux sur lequel ils reposent.

L'appareillage mis en œuvre crée immédiatement, sous la surface de l'eau, une onde acoustique qui se propage d'une manière identique à une onde lumineuse. En arrivant sur le fond, une partie de l'onde est réfléchi, tandis que l'autre pénètre dans les sédiments ; le phénomène de réflexion se produit à chaque interface séparant les différents niveaux (figure 1-2).

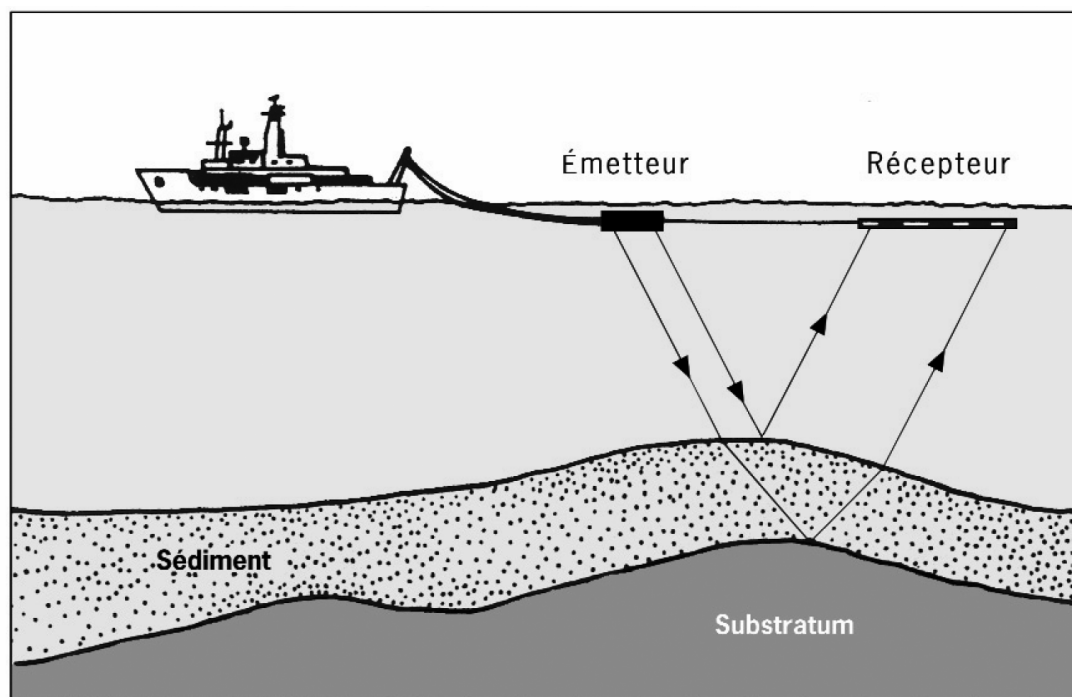


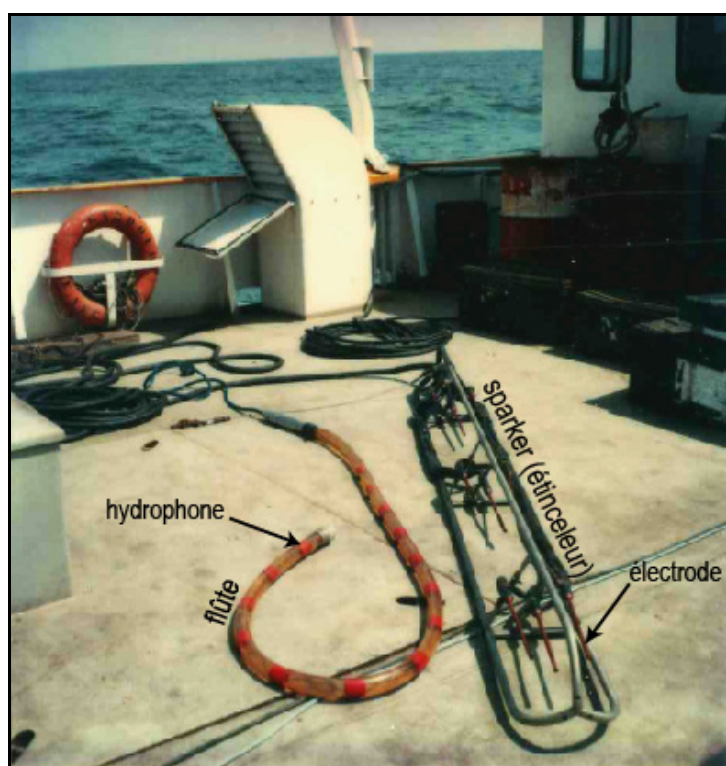
Figure 1-2 : Principe de la sismique réflexion.

Selon le type de reconnaissance envisagée, les sources sismiques sont différentes. Durant les missions de l'inventaire national des granulats marins du CNEXO pour la façade « Manche-Est », l'appareil utilisé était un « Sparker ». La façade « Loire-Gironde » a été reconnue avec un « Sparker » ou un « Boomer ».

1.2.1.1. Système « Sparker » (« Étinceleur »)

Ce système comporte trois ensembles (photographie 1-3) :

- L'émetteur ou source, avec son alimentation et sa commande de déclenchement ;
- Les récepteurs (hydrophones) ;
- L'enregistreur qui est synchronisé avec la commande de déclenchement de l'émetteur.



Photographie 1-3 : Appareillage de sismique réflexion.

La source « Sparker » est constituée d'un ensemble d'électrodes (photographie 1-3) qui permettent l'émission d'énergie acoustique de haute fréquence grâce à des décharges électriques régulières fournies par des condensateurs. Ce dispositif a l'avantage de réduire au maximum la formation de bulles gazeuses provoquées par électrolyse de l'eau lors de la décharge des condensateurs. L'alimentation est assurée par une batterie de capacité chargée par un groupe électrogène de 110 Volts à travers un ensemble transformateur redresseur. L'énergie émise dans le milieu liquide, de l'ordre de quelques kilojoules ou dizaines de kilojoules dans la gamme de fréquences de 150 Hz à 3 000 Hz (sismique « légère »), permet d'atteindre des profondeurs de quelques centaines de mètres avec une très bonne résolution.

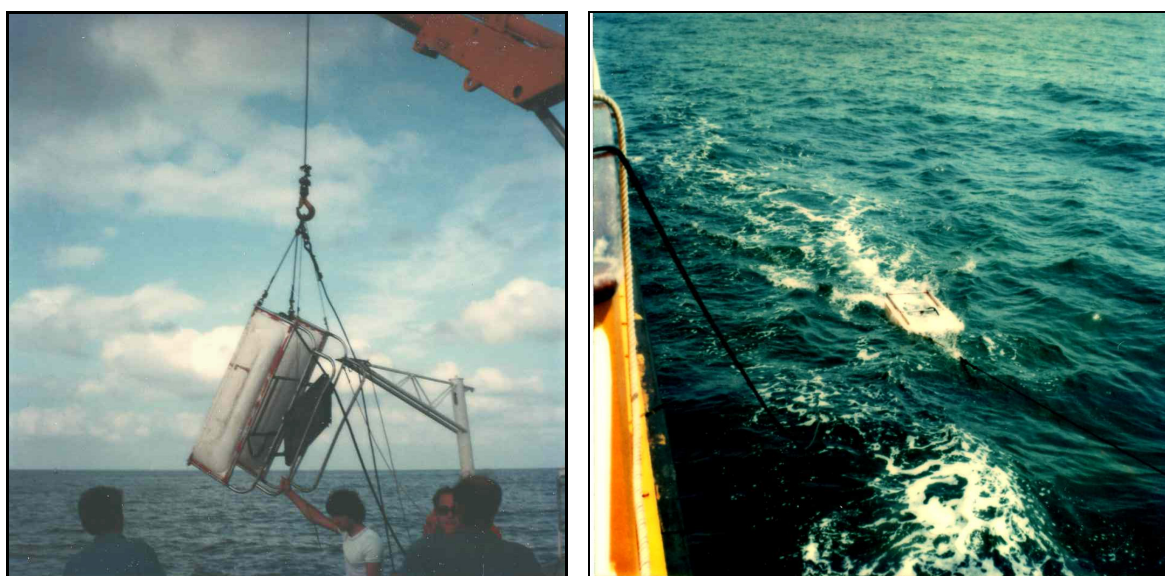
Les récepteurs sont des hydrophones montés en série dans des tuyaux de caoutchouc rempli d'huile minérale, ce qui leur assure une flottabilité très légèrement négative. Ces tuyaux appelés « flûtes » comprennent des sismographes dont les informations sont transmises à un amplificateur situé à la tête des flûtes, ce qui réduit au maximum les distorsions.

Les flûtes (photographie 1-3) sont traînées à fleur d'eau et disposés de manière à éviter les bruits du navire. Elles sont débordées du bateau par un tangon, qui les place en dehors du sillage ; le « Sparker » est fixé à l'arrière du navire du même côté que les flûtes. Il découle de ce dispositif un certain déport ou écart entre l'émetteur et le récepteur qui est pris en compte pour le calcul des profondeurs.

L'enregistreur reçoit les signaux électriques créés dans les flûtes par les variations de pression et fournit une coupe temps des formations géologiques traversées. La mesure des intervalles de temps entre les échos successifs enregistrés, et la prise en compte d'une estimation sur les vitesses de propagation de l'onde dans les sédiments traversés permettent de déterminer l'épaisseur des formations. La précision obtenue dépend du choix des vitesses de propagation et de la détermination des échos successifs, eux-mêmes dépendant de la qualité du signal émis par la source et du bruit de fond lié à l'état de la mer.

1.2.1.2. Système « Boomer »

Le Boomer est une source utilisée pour sa faible pénétration et sa haute résolution. Il est constitué par une bobine d'induction contre laquelle un système de ressorts applique une plaque d'aluminium ; l'ensemble étant monté sur un petit catamaran (photographie 1-4). A chaque décharge d'énergie envoyée par le déclencheur, les courants de Foucault induits dans la plaque conductrice la repousse violemment de la bobine, ce qui oblige les ressorts à la renvoyer. Le mouvement de la plaque produit l'onde acoustique.



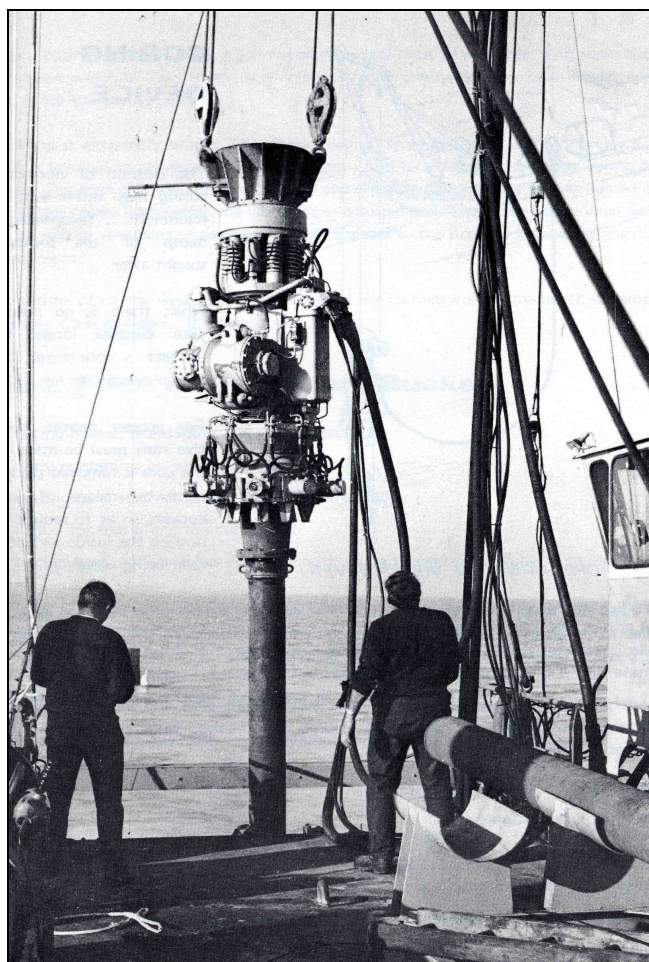
Photographie 1-4 : Système « Boomer » (mise à l'eau et remorquage).

1.2.2. Carottiers

1.2.2.1. Vibrofonceuse IFP/DB vibro driver

Cet outil a été mis au point par l'Institut Français du Pétrole (IFP) dans le but de disposer d'un engin qui, malgré un poids total avoisinant les 4 tonnes, soit facilement mis en œuvre, ne pose pas de problème de stabilité, soit capable de forer les fonds marins jusqu'à 200 m de profondeur, de prélever des échantillons dans le sous-sol jusqu'à 30 m (en moyenne 10 à 15 m) et permette de conserver les caractéristiques des sédiments, malgré la présence d'éléments hétérogènes comme les galets (photographie 1-5).

Le processus utilisé consiste donc à enfoncer un tube de diamètre important (de 18 à 50,8 cm) grâce à un mécanisme générant des vibrations, auquel peut s'ajouter un effet de percussion lorsque la pénétration du tube dans les sédiments devient trop difficile (figure 1-6).



Photographie 1-5 : Vibrofonceuse de l'Institut Français du Pétrole.

La vibrofonceuse se compose d'un bâti à l'intérieur duquel se trouve le tube vertical de forage auquel sont rattachés trois principaux ensembles :

- un mécanisme permettant de saisir le tube de forage à enfoncer grâce à une série de vérins ;
- un système générant les vibrations ;
- un dispositif transformant les vibrations en percussions.

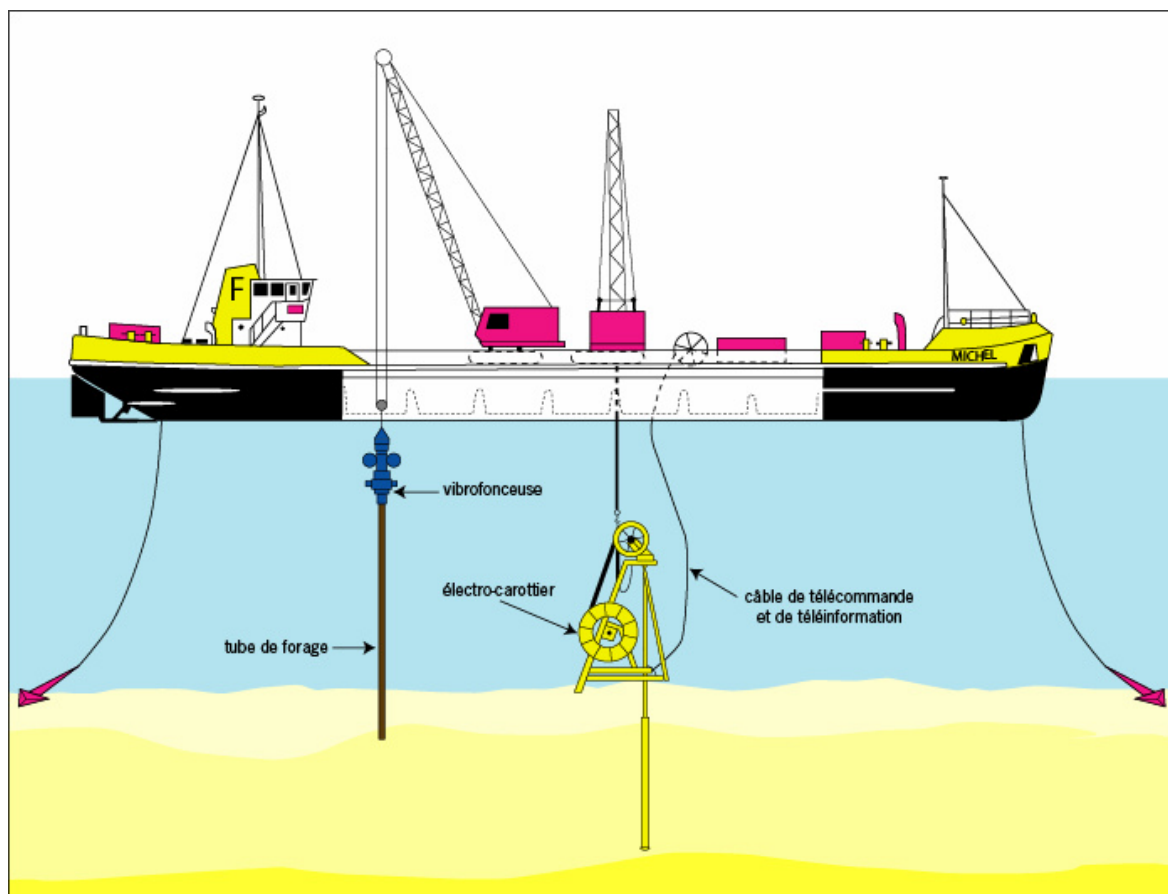


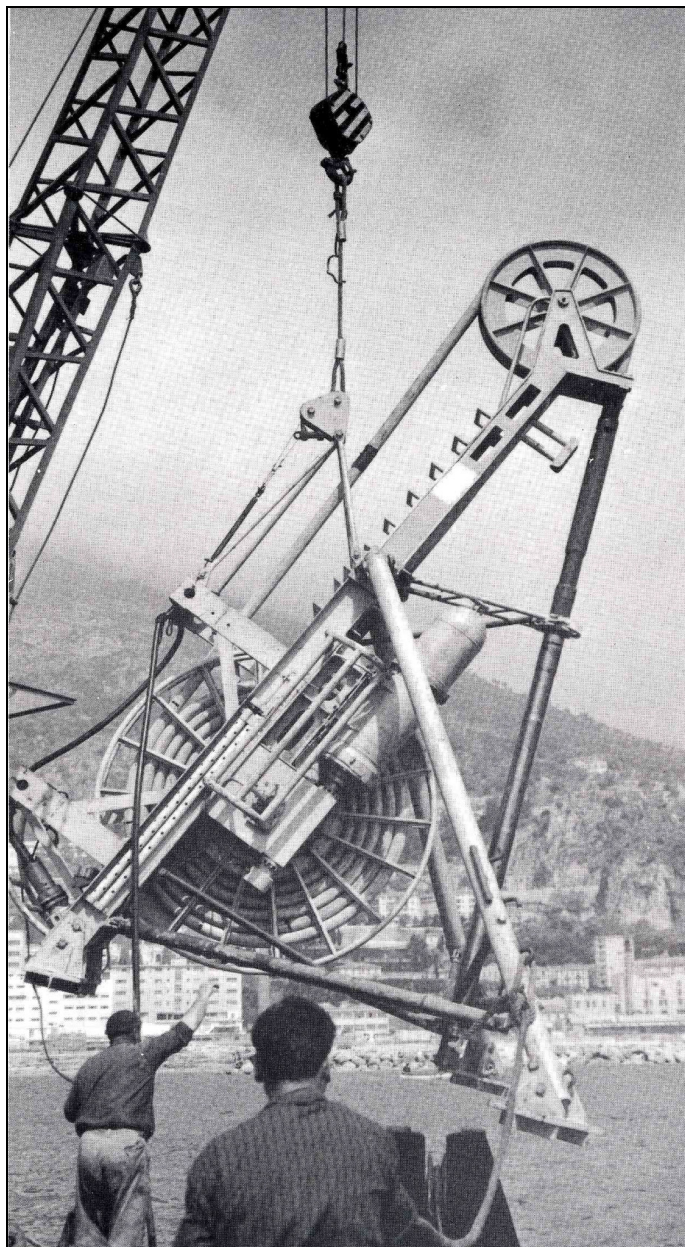
Figure 1-6 : Mise en œuvre de la vibrofonceuse et de l'électro-carottier (d'après FRABELTRA).

1.2.2.1.1. *Électro-carottier sous-marin ECSM2*

Développé par l'IFP, il s'agit d'un appareil de flexoforage mesurant 6 m de haut et pesant environ 6 tonnes. Il est posé sur le fond de la mer et remonté après opération par un câble, en utilisant les moyens de levage du navire porteur (figure 1-6).

Il se compose d'un bâti porteur et d'une roue touret sur laquelle est enroulée un flexible d'électro-forage. A l'extrémité du flexible est fixée la garniture rigide comprenant (photographie 1-7) :

- un lest ;
- un moteur d'électro-forage de diamètre extérieur égal à 15 cm ;
- un carottier à déclenchement ;
- une couronne « carottière » et un dispositif permettant de passer du forage (diamètre 19,05 cm) au carottage (diamètre 8,9 cm).



Photographie 1-7 : Électro-carottier sous-marin ECSM2.

Cet outil peut fonctionner jusqu'à des profondeurs d'immersion comprises entre 100 et 500 m, selon l'importance des courants marins, et forer jusqu'à 50 m sous le fond de la mer.

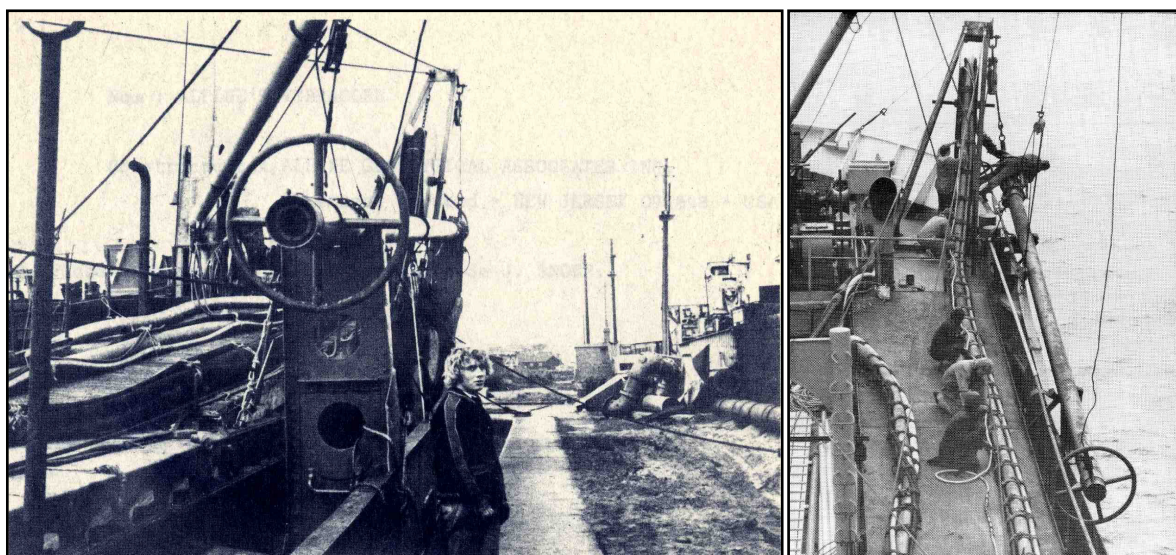
Une fois posé sur le fond, la descente de la garniture rigide s'effectue sous son propre poids. L'énergie nécessaire à l'électro-foreuse est fournie par le navire au moyen d'un câble qui assure également les liaisons de télécommandement. Le carottier à déclenchement permet le forage en plein diamètre jusqu'à la profondeur désirée, puis après effacement de l'outil central, le prélèvement d'une carotte dans les conditions habituelles. La carotte prélevée mesure 1 m de long (diamètre 8,9 cm).

Après réintroduction complète de la partie rigide dans le bâti par enroulement du flexible, la carotte est extraite, soit sur place par plongeurs sous-marins, soit sur le navire après remontée de l'ensemble à bord.

1.2.2.2. AMdrill

L'AMdrill a été développé par la compagnie britannique Alluvial Mining pour l'analyse de dépôts alluvionnaires. Cet équipement peut prélever des galets excédents 15 cm de diamètre et est utilisé notamment dans l'évaluation des réserves sous-marines de sables et graviers, l'exploration et la prospection minière ainsi que les études de faisabilité géotechnique. L'AMdrill autorise un prélèvement d'échantillons en continu mais dépendant de la vitesse de pénétration du tube ; de ce fait la collecte de sédiments ne s'effectue pas toujours à intervalle régulier.

L'outil de forage, pesant 1,5 tonne, est constitué de deux tubes co-axiaux de 12 m de long dont le diamètre du tube extérieur est égal à 25,4 cm et celui du tube intérieur égal à 15,24 cm (photographie 1-8). Les échantillons remaniés issus du forage sont remontés du fond de la mer vers un collecteur d'échantillons, situés sur le pont des navires. Le décalage de la base du tube intérieur (toujours en retrait) par rapport à la base du tube extérieur est ajustable et fonction de la nature des sédiments traversés.



Photographie 1-8 : Système AMdrill.

Un marteau pneumatique, fixé à la tête de la colonne de forage et protégé par une housse imperméable, aide à la pénétration du carottier à travers les sédiments. Dans l'espace annulaire entre les deux tubes sont injectés de l'air comprimé et de l'eau pressurisée en proportions variables (généralement 70% air et 30% eau) ; la proportion du mélange est réglable pendant le forage. Ce mélange, libéré par les « jets » facilite la désintégration et la fluidification de sédiments compactés et/ou permet à l'échantillon de pénétrer dans l'orifice du tube interne et flexible (heliflex) du carottier.

Les prélèvements, appelés « tout venant », constitués d'air, d'eau et de sédiment, sont alors conditionnés dans des tubes et nécessitent un temps de latence pour permettre la décantation de la fraction fine en raison de la quantité d'eau présente.

Une collerette, reposant sur le fond, dans laquelle coulisse la colonne au fur et à mesure de son enfoncement, permet de repérer avec précision la profondeur de pénétration de l'outil grâce à un écho-sondeur fixé à l'extrémité supérieure de la colonne. La verticalité du forage est contrôlée par deux inclinomètres disposés le long de la conduite. Profondeur de pénétration et inclinaison du forage sont donc enregistrées et surveillées tout au long de l'opération grâce à un module de commande situé sur le pont

et à proximité du module de contrôle de l'opérateur. Généralement un compensateur de houle est également installé en cale arrière.

Ce système a l'avantage de la rapidité d'avancement dans le sous-sol mais le gros inconvénient de ne fournir que des échantillons partiels et remaniés, qui ne constituent en aucun cas de vraies carottes.

1.2.2.3. Vibro-carottier Zenkovitch du BRGM

Cet appareil utilise le principe de la vibration ou de la percussion, qui permet, à un bloc moteur étanche de coulisser le long de deux mâts solidaires d'un châssis métallique rectangulaire, d'enfoncer un tube. Quatre haubans d'acier assurent la rigidité de l'ensemble, qui pèse environ 1,3 tonne (photographie 1-9).

Les vibrations sont créées par un moteur entraînant deux balourds excentrés ou synchrones et la percussion est produite grâce à un moteur à air comprimé.

A bord du navire, un compresseur injecte de l'air dans le carottier, par l'intermédiaire d'un conduit souple, pendant sa descente vers le fond, pour empêcher le remplissage du carottier par l'eau. Cet air est chassé progressivement au fur et à mesure de l'enfoncement du carottier dans les sédiments.

Il permet une investigation jusqu'à 100 m de profondeur et la récupération de carottes non remaniées d'une longueur de 5 à 8 m pour un diamètre de 100 m. Il est très facile à manipuler et autorise une cadence d'échantillonnage de l'ordre d'une dizaine de stations par jour.

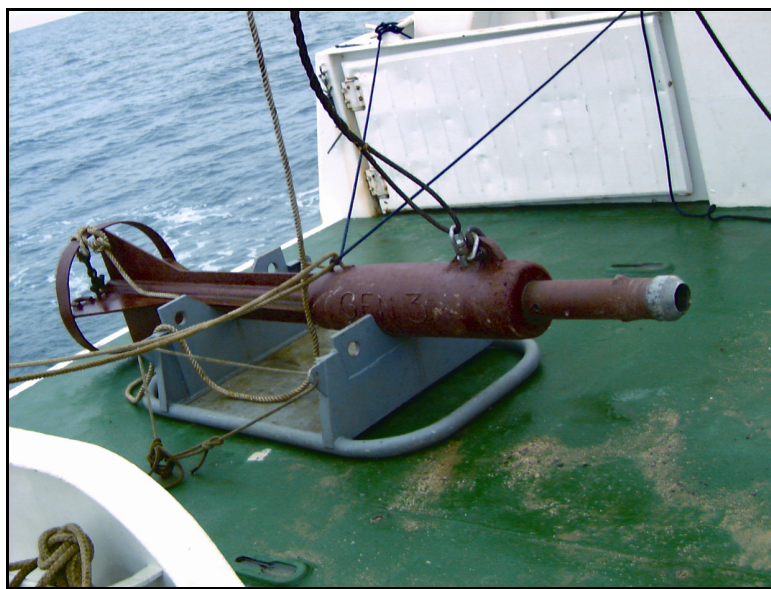


Photographie 1-9 : Vibro-carottier Zenkovitch.

1.2.2.4. Carottiers gravitaires : CNEXO-Ville et Stetson Hill

Ces appareils, surtout utilisés pour l'échantillonnage des affleurements rocheux, fonctionnent par simple gravité et sont donc largués en chute libre depuis le navire.

Le carottier CNEXO-Ville se présente comme un tube alourdi d'un lest fusiforme. Une fois largué, il s'enfonce dans le sol et l'extrémité inférieure du tube, qui contient une ogive, simple bague garnie de lames de métal souple, empêche la perte de l'échantillon au cours de la remontée (photographie 1-10).



Photographie 1-10 : Carottier CNEXO-Ville.

Le Stetson Hill est basé sur le même principe et s'opère dans les mêmes conditions.

1.2.3. Moyens de positionnement

Les indications relatives au positionnement des travaux des différentes campagnes de l'inventaire, relevées dans les rapports correspondants, fixent leur précision à une dizaine de mètres. La précision du système de radionavigation DECCA est estimée de l'ordre d'une centaine de mètres avec en moyenne un décalage d'une cinquantaine de mètres.

Cependant les moyens de positionnement ont évolué au cours du temps et ont été perfectionnés. La précision du système local TORAN est d'une cinquantaine de mètres et celle du SYLEDIS d'une dizaine de mètres, variables en fonction des conditions météorologiques.

De ce fait, les positionnements des travaux et donc des ressources ne peuvent pas être garantis avec une précision inférieure à la centaine de mètres.

Depuis quelques années, l'utilisation du système de positionnement par satellites GPS (Global Positioning System) permet d'avoir un repérage fiable et continu avec une précision de l'ordre de quelques mètres.

2. Recensement et analyse qualitative des données géologiques existantes

2.1. Façade « Manche-Est »

Les sources d'information disponibles se répartissent entre :

- les rapports des campagnes de l'inventaire national des granulats marins, réalisé entre 1969 et 1976 (tableau 2-1 et figure 2-2) ;
- les rapports des deux campagnes océanographiques, conduites en 1984 et 1985 à la demande du conseil régional du Nord-Pas de Calais et dont les résultats, encore confidentiels, seront partiellement utilisés pour ce projet (figure 2-2 et tableau 2-3) ;
- des travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national ;
- des documents plus généraux.

2.1.1. Recensement des données

2.1.1.1. Campagnes océanographiques réalisées dans le cadre de l'inventaire national des granulats marins

Les données des six campagnes de l'inventaire national des granulats marins sont exposées dans neuf rapports.

Campagne	Date	Maître d'ouvrage	Opérateur	Navire(s)	Système de navigation	Travaux réalisés (Outils)
Manche centrale et orientale (partie est et ouest)	mars à août 1969	CNEXO	IFP	Petite Marie-Françoise et Térébel	Decca	Sismique (Étinceleur-1 000 Joules), carottage à roche (Stetson Hill) et sédimentaires (vibrofonceuse IFP)
Boulogne-sur-mer	février 1971	CNEXO	GÉOTECHNIP	Petite Marie-Françoise	Toran	Sismique (Étinceleur-1 000 Joules), carottage à roche (CNEXO-Ville)
Wissant	février et mars 1971	CNEXO	GÉOTECHNIP	Petite Marie-Françoise	Toran	Sismique (Étinceleur-1 000 Joules), carottage à roche (CNEXO-Ville)
Baie de Seine et Manche orientale	mai et juin 1972	CNEXO	BEICIP	Petite Marie-Françoise	Toran	Sismique (Étinceleur-1 000 Joules)
Baie de Seine et Manche orientale	août 1972	CNEXO	Alluvial mining	Irène S	Toran	Lançage avec récupération (AMdril)
Baie de Seine	septembre 1976	CNEXO	BRGM	Arguenon	Toran	Carottage (Vibro-carottier)

Tableau 2-1 : Campagnes de l'inventaire national des granulats marins sur la façade « Manche-Est ».

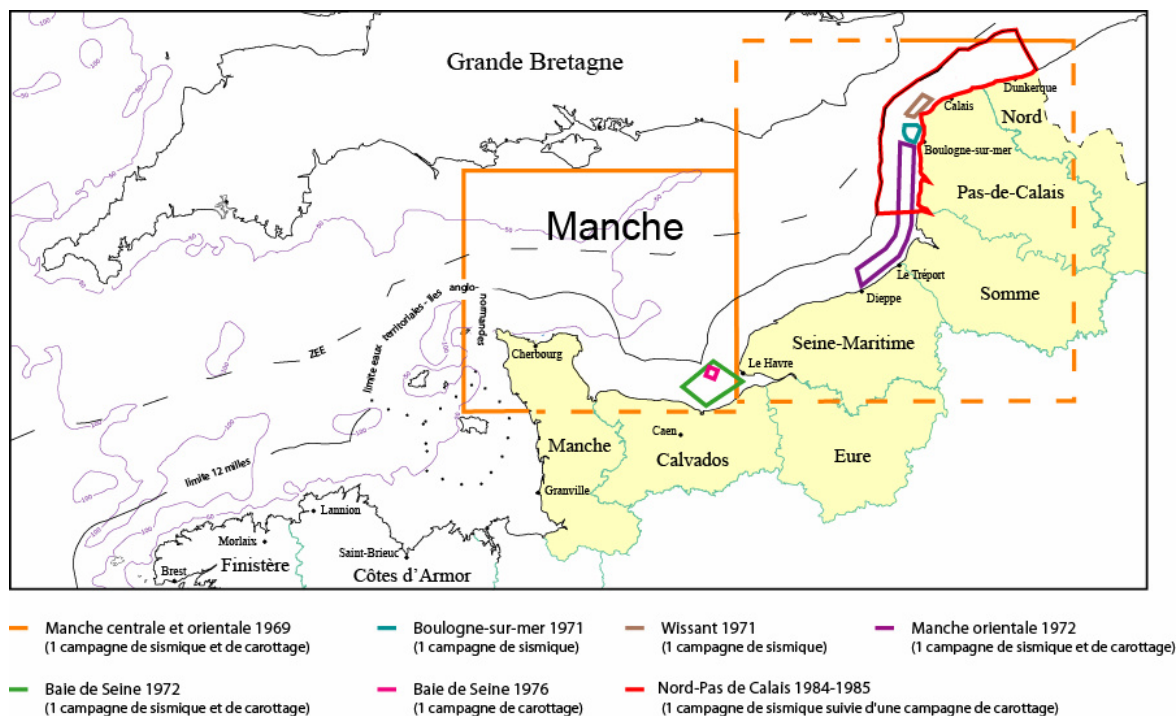


Figure 2-2 : Localisation des différentes campagnes effectuées sur la façade « Manche-Est ».

2.1.1.1.1. *Manche centrale et orientale (1969)*

GEOTECHNIP (1969) - Reconnaissance géologique de la Manche centrale et orientale. Contrat CNEXO 1969.

Ce document réalisé sous contrat CNEXO FL/mh n°10/69 présente les résultats d'une campagne de reconnaissance géologique en Manche centrale et orientale par acquisition sismique (Sparker) de mars à mai 1969 et carottage (Stetson Hill ou vibrofonceuse en fonction des cibles visées) de juillet à août 1969. Il comporte, en plus du rapport, un plan de position des travaux réalisés, une carte du fond de la mer, une carte du toit du substratum rocheux et un écorché géologique à l'échelle 1/200 000. Les cartes sont présentées en deux feuilles : une pour la Manche centrale, de Cherbourg au Havre, la seconde pour la Manche orientale du Havre à Dunkerque.

Laboratoire des Ponts et Chaussées de Lille (1969) - Étude géotechnique de sédiments de la Manche. Contrat CNEXO 1969.

Ce rapport, rédigé par le laboratoire des Ponts et Chaussées de Lille sous contrat CNEXO P.V. 4817/0, présente les résultats des analyses géotechniques des sédiments prélevés grâce à 61 vibrofonçages lors de la campagne de reconnaissance de la Manche centrale et orientale de 1969 (études de la granulométrie des sédiments, mesure de l'équivalents de sable, des limites d'Atterberg et des teneurs en Carbone organique et CaCO₃, ainsi que des coupes stratigraphiques).

Un autre document fourni les résultats de l'analyse des roches (350 prélèvements de roches et 500 échantillons de sédiments meubles disponibles après 1 031 lancers) prélevées au cours de cette même mission de reconnaissance. Ces résultats auront

contribué à établir dans un premier temps l'écorché géologique disponible dans le rapport CNEXO FL/mh n°10/69 et dans un second temps une carte géologique à 1/500 000 ainsi que sa notice explicative : La Manche orientale, écorché géologique et bathymétrie au toit du bed-rock, réalisée en 1982 par Auffret et Alduc.

CNEXO et Faculté des Sciences de Rennes (1969) - Rapport scientifique : étude stratigraphique de carottes de roche prélevées en Manche orientale. Contrat 69/79.

Ce rapport regroupe l'ensemble des informations stratigraphiques et contient toutes les données micropaléontologiques, pétrographiques et minéralogiques recueillies après l'étude des échantillons de roche récoltés en Manche centrale et orientale au cours de la campagne réalisée par GÉOTECHNIP en 1969.

Il se subdivise en cinq parties, la première étant dédiée à une description sommaire des 850 prélèvements, les deux suivantes détaillant la stratigraphie des échantillons en Manche orientale, en baie de Seine ainsi qu'en Manche centrale, la quatrième partie traitant de la minéralogie et la dernière partie exposant les conclusions et résultats du travail.

GÉOTECHNIP (1970) - Prospection au large de Gravelines. Contrat CNEXO 1970.

Ce dossier présenté par GÉOTECHNIP sous contrat CNEXO FL/mh n°2/70 décrit les résultats de la campagne de sismique et de carottage effectuée en Manche centrale et orientale (1969) pour le secteur de Gravelines, situé au large de Dunkerque. Sont fournis, en plus du rapport, un plan de positionnement des travaux, un modelé du fond de la mer et une carte du toit du substratum rocheux à l'échelle 1/50 000.

2.1.1.1.2. *Boulogne-sur-mer et Wissant (1971)*

GÉOTECHNIP (1971) - Recherche de graviers au large de Boulogne-sur-mer et Wissant. Contrat CNEXO, Port Autonome de Dunkerque, 1971.

GÉOTECHNIP, sous contrat CNEXO FL/mh n°GT 11/71, et le Port Autonome de Dunkerque, ont rédigé un rapport titré « Recherche de graviers au large de Boulogne-sur-mer et Wissant ». L'étude menée au moyen de sismique réflexion, carottage et dragage a permis l'établissement de plusieurs documents annexes. Les régions de Boulogne-sur-mer et Wissant ont été différenciées et deux feuilles ont été fournies pour le plan de positionnement des travaux, le modelé du fond de la mer, ainsi que la carte géologique à l'échelle 1/25 000. Par ailleurs une carte des isobathes du toit du substratum est disponible pour la région de Boulogne-sur-mer uniquement.

2.1.1.1.3. *Baie de Seine et Manche orientale (1972)*

Alluvial Mining (1972) - Report on the AMdrill sampling survey undertaken on the continental shelf off the northern coast of France, part one : la Manche orientale. Contrat CNEXO 1972/547 et Report on the AMdrill sampling survey undertaken on the continental shelf off the northern coast of France, part two : la baie de Seine. Contrat CNEXO 1972/548.

La compagnie Alluvial Mining, sous contrats CNEXO n°72/547 et n° 72/548 a effectué une série de « carottages » dont les résultats sont présentés en deux parties, individualisant le secteur de la baie de Seine et celui de la Manche orientale. Le rapport présente les descriptions des « carottages », leur position, leur longueur, la profondeur d'eau et les lithologies rencontrées, un log illustratif après réexamen des échantillons ainsi qu'un plan de position de ces sondages à l'échelle 1/50 000 et une carte de la distribution générale des sédiments dans la zone étudiée.

BEICIP (1972) - Recherche de sables et graviers en Manche orientale. Contrat CNEXO 1972/507.

Ce rapport a été réalisé sous contrat CNEXO n°72/507, en collaboration avec Alluvial Mining. Il regroupe l'ensemble des résultats obtenus grâce aux données de carottage et de sismique. Il présente un plan de positionnement des divers travaux, les logs descriptifs des différents sondages ainsi qu'une synthèse géologique présentée sous la forme d'un écorché du fond de la mer à l'échelle 1/100 000.

BEICIP (1973) - Baie de Seine : Recherche d'agrégats marins. Contrat CNEXO 1972/506.

L'analyse effectuée par le bureau d'étude BEICIP présente les informations recueillies grâce à une série de profils sismiques et aux données de carottage, fournies par le Port Autonome du Havre et par le rapport d'Alluvial Mining n°72/548 de la même année. L'annexe du document comporte : un plan de position, une carte de la distribution des faciès sédimentaires, une carte des épaisseurs de sédiments de la terrasse ancienne, une carte des épaisseurs des dépôts récents, une carte des teneurs en graviers et galets à l'échelle 1/50 000, ainsi qu'une annexe regroupant les résultats des analyses effectuées sur les échantillons (courbes granulométriques, logs descriptifs, mesures physiques et physico-chimiques).

2.1.1.1.4. Baie de Seine (1976)

CNEXO (1976) : campagne en baie de Seine.

Une campagne de carottage, effectués à l'aide d'un vibro-carottier, a été réalisée en septembre 1976 par le BRGM sous l'égide du CNEXO à bord du navire l' « Arguon ». 27 carottes de quelques mètres (jusqu'à 2,70 m) ont été récupérées ; les logs descriptifs et les photographies (par tronçon de 1 m) sont disponibles. Certains échantillons ont également fait l'objet d'analyses granulométriques dont les résultats sont fournis avec les fiches de carottages.

2.1.1.2. Campagnes « hors inventaire » : GRANOR (1984-1985)

Les informations relatives aux campagnes du projet GRANOR (figure 2-2) ont fourni de nombreuses informations lors de cet inventaire minier des ressources en matériaux marins.

Campagne	Date	Maître d'ouvrage	Opérateur	Navire(s)	Système de navigation	Travaux réalisés (Outils)
GRANOR (Nord-Pas de Calais)	avril 1984	Ifremer	BRGM	Pelagia	Sylédis	Sismique réflexion, sonar à balayage latéral
GRANOR (Nord-Pas de Calais)	août 1985	Ifremer	BRGM	Cryos	Sylédis	Carottage (Vibro-carottier)

Tableau 2-3 : Campagnes « hors inventaire national des granulats marins » réalisées dans le Nord-Pas de Calais.

Deux rapports ont été produits à l'issue du projet GRANOR :

- CNEOX - Centre Océanologique de Bretagne - GGGM (1984) - Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais. Rapport interne.
- AUGRIS C. (1986) - Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la Région Nord-Pas de Calais, un rapport, six cartes et des annexes. *Éd. Ifremer - Région Nord-Pas de Calais.*

Le premier document, rédigé par le CNEOX, correspond à l'étape préliminaire d'un projet, dont avait été chargé le CNEOX et l'ISTPM, suite à une convention de coopération en matière de recherche et développement signée avec la région Nord-Pas de Calais, et ayant pour but, entre autres, la recherche de matériaux.

Ce rapport correspond à un état des lieux des connaissances acquises sur la géologie et la morphologie des fonds marins lors des précédentes investigations, auquel s'ajoutent les données et résultats obtenus lors de la campagne du mois de juillet 1983 au moyen du sonar à balayage latéral et à un échantillonnage de sédiments grâce à la benne Hamon.

Le second est un rapport Ifremer numéroté DERO 86-01 et daté de février 1986. Il donne les résultats essentiels des études entreprises lors des campagnes GRANOR, présente la situation économique des granulats dans Nord-Pas de Calais et le contexte géologique de la prospection.

Il s'appuie sur l'analyse de données recueillies au cours de deux missions à la mer en 1984 et 1985. Sont fournis en plus du rapport des plans de positionnement des profils géophysiques et des carottages, des cartes des épaisseurs de sédiments meubles et des cartes des formations superficielles.

La zone d'étude avait été divisée en deux parties : la première correspondant au secteur allant de Berck au cap Gris-Nez et restituée à l'échelle 1/43 400, la seconde représentant le secteur s'étendant du cap Gris-Nez jusqu'à Dunkerque et restituée à l'échelle 1/43 200. Un document annexe présente les données de carottages et les courbes granulométriques correspondantes.

2.1.1.3. Travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national des granulats marins

- AUFFRET et ALDUC (1982) - La Manche orientale : carte des paléo-vallées et des bancs sableux (échelle 1/500 000 et notice explicative). *Université de Caen, CNEEXO, BRGM et CNRS.*
- AUGRIS C., CLABAUT P., DEWEZ S., AUFFRET J.-P. (1987) - Carte des sédiments superficiels au large de Boulogne-sur-mer, Échelle 1/43 400. *Éd. Ifremer - Région Nord-Pas de Calais.*
- AUGRIS C., VICAIRE O., CLABAUT P. (1989)- Carte des sédiments superficiels au large de Calais-Dunkerque – Échelle 1/43 100. *Éd. Ifremer - Région Nord-Pas de Calais.*
- AUGRIS C., CLABAUT P., TESSIER B. (1995) - Le domaine marin du Nord-Pas de Calais. Carte des formations superficielles. Échelle 1/100 000. *Éd. Ifremer, Région Nord-Pas de Calais et Université des Sciences et Technologies de Lille.*
- LERICOLAIS G. (1997) - Évolution plio-quadernaire du fleuve Manche : stratigraphie et géomorphologie d'une plateforme continentale en régime péri-glaciaire. *Thèse de l'Université de Bordeaux I.*
- CLAVELEAU D. (thèse en cours à l'Université de Rouen).

2.1.2. Analyse qualitative des données

2.1.2.1. Présentation des informations relatives aux campagnes de l'inventaire national des granulats marins

Les campagnes couvrant parfois une grande étendue géographique, les zones prospectées ont été subdivisées en deux secteurs. C'est le cas des missions de 1969 en Manche centrale et orientale (partie est et ouest), de 1972 (secteur Manche orientale et baie de Seine) et des campagnes du programme GRANOR divisé en secteur A (façade ouest du Pas-de-Calais) et secteur B (façade nord du Pas-de-Calais).

Pour chaque campagne (tableau 2-1 et figure 2-2) sont présentés successivement :

- une carte de localisation des travaux (figures 2-4, 2-6, 2-8, 2-10, 2-12, 2-14 et 2-16) ;
- un tableau descriptif de la campagne (tableaux 2-5, 2-7, 2-9, 2-11, 2-13, 2-13, 2-15 et 2-17).

Une carte de situation des travaux, comprenant deux feuilles à l'échelle 1/250 000 (latitude 50°N), est disponible hors text e pour la façade « Manche-Est ». Elle est restituée dans la projection de Mercator, ellipsoïde WGS84.

Les fiches de description des carottes sont disponibles en annexes.

2.1.2.1.1.2. Secteur est

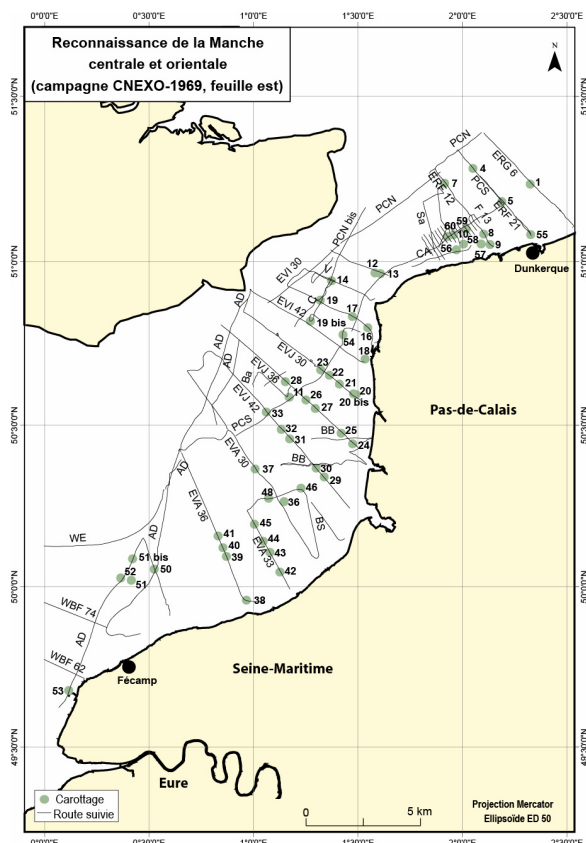


Figure 2-6 : Travaux réalisés lors de la campagne en Manche centrale et orientale (1969), partie orientale.

Campagne	Manche centrale et orientale - partie est
Date début	mars 1969
Date fin	août 1969
Chef mission	
Navire	Petite Marie-Françoise (1), Térébel (2)
Opérateur	IFP
Travaux	Sismique (1), carottages (2)
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	Reconnaissance de la Manche centrale et orientale (carte : PL.1 E. Réf rapport: FL/mh n°10/69)
Date rapport	22/12/1969
Maître ouvrage	CNEXO
Projection	Mercator-ED 50
Échelle	1/200 000
Système navigation	DECCA
Nombre profils	57
Distance cumulée	1 770 km
Outil	Étinceleur (Sparker)
Nombre carottages	55
Longueur cumulée	213,5 m
Outil	Vibrofonceuse

Tableau 2-7 : Descriptif de la campagne en Manche centrale et orientale (1969), partie orientale.

2.1.2.1.2. Campagne Boulogne-sur-mer et Wissant (1971)

2.1.2.1.2.1. Secteur de Boulogne-sur-mer

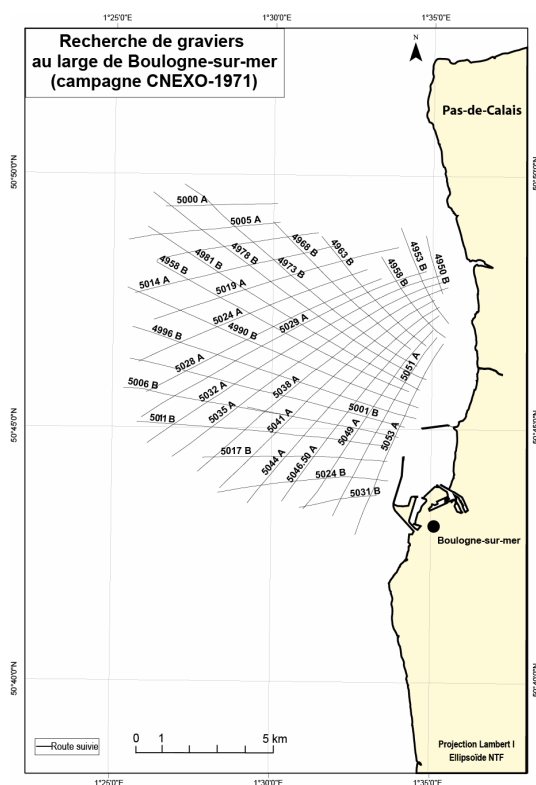


Figure 2-8 : Travaux réalisés lors de la campagne de prospection de graviers au large de Boulogne-sur-mer (1971).

Campagne	Boulogne-sur-mer
Date début	15/02/1971
Date fin	25/02/1971
Chef mission	
Navire	Petite Marie-Françoise
Opérateur	GEOTECHNIP
Travaux	Sismique, carottages gravitaires
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	Recherche de graviers au large de Boulogne-sur-mer (carte : PL.1; réf rapport : FL/mh n°GT 11/71)
Date rapport	mai 1971
Maître ouvrage	CNEXO
Projection	Lambert zone I
Échelle	1/25 000
Système navigation	DECCA installé à bord et chaîne de radionavigation TORAN à terre
Nombre profils	34
Distance cumulée	290 km
Outil	Étinceleur (Sparker)
Nombre carottages	
Longueur cumulée	
Outil	

Tableau 2-9 : Descriptif de la campagne de recherche de graviers au large de Boulogne-sur-mer (1971).

2.1.2.1.2.2. Secteur de Wissant

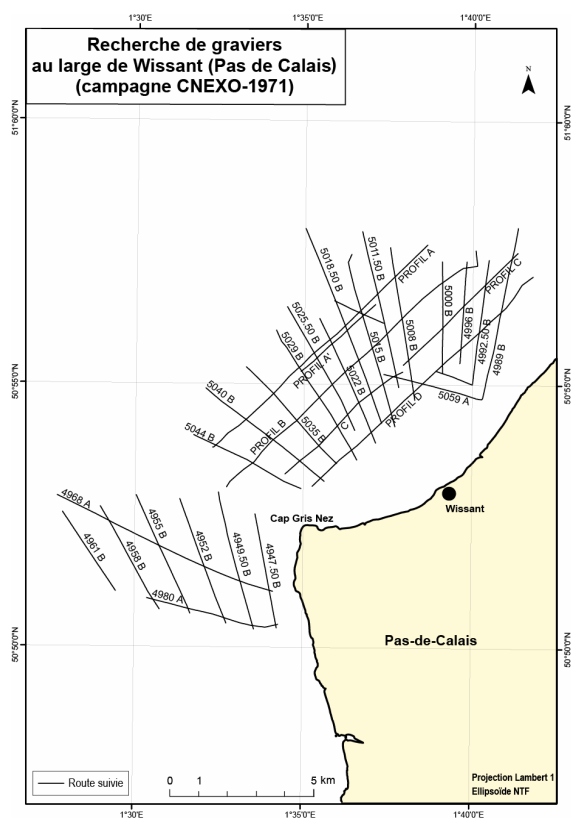


Figure 2-10 : Travaux réalisés lors de la campagne de prospection de graviers au large de Wissant (1971).

Campagne	Wissant
Date début	08/02/1971
Date fin	10/03/1971
Chef mission	
Navire	Petite Marie-Françoise
Opérateur	GÉOTECHNIP
Travaux	Sismique, carottages gravitaires
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	Recherche de graviers au large de Wissant (carte : PL. 1; réf rapport : FL/mh n°GT 11/71)
Date rapport	mai 1971
Maître ouvrage	CNEOX
Projection	Lambert zone I
Échelle	1/25 000
Système navigation	DECCA installé à bord et chaîne de radionavigation TORAN à terre
Nombre profils	30
Distance cumulée	166 km
Outil	Étinceleur (Sparker)
Nombre carottages	
Longueur cumulée	
Outil	

Tableau 2-11 : Descriptif de la campagne de recherche de graviers au large de Wissant (1971).

2.1.2.1.3. Campagne baie de Seine et Manche orientale (1972)

2.1.2.1.3.1. Secteur baie de Seine

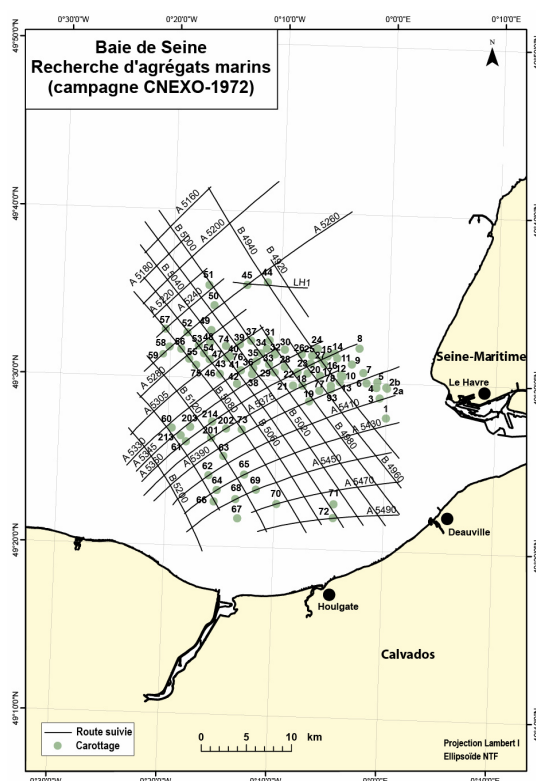


Figure 2-12 : Travaux réalisés lors de la campagne de prospection de sables et graviers en baie de Seine (1972).

Campagne	baie de Seine
Date début	08/05/1972 (1) et 02/08/1972 (2)
Date fin	30/05/1972 (1) et 29/08/1972 (2)
Chef mission	
Navire	Petite Marie-Françoise (1) ; Irène S (2)
Opérateur	BEICIP-GÉOTECHNIP (1) et Alluvial Mining (2)
Travaux	Sismique (1), carottages (2)
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	Baie de Seine. Recherche d'agrégats marins (carte : PL. 3; réf rapport : 30.554 A)
Date rapport	mai 1972- janvier 1973
Maître ouvrage	CNEXO
Projection	Lambert 1-NTF
Échelle	1/50 000
Système navigation	Radionavigation TORAN/DECCA
Nombre profils	31
Distance cumulée	706 km
Outil	Étinceleur (Sparker)
Nombre carottages	85
Longueur cumulée	221 m
Outil	Lançage avec récupération (AMdrill)

Tableau 2-13 : Descriptif de la campagne de recherche de sables et graviers en baie de Seine (1972).

2.1.2.1.3.2. Secteur Manche orientale

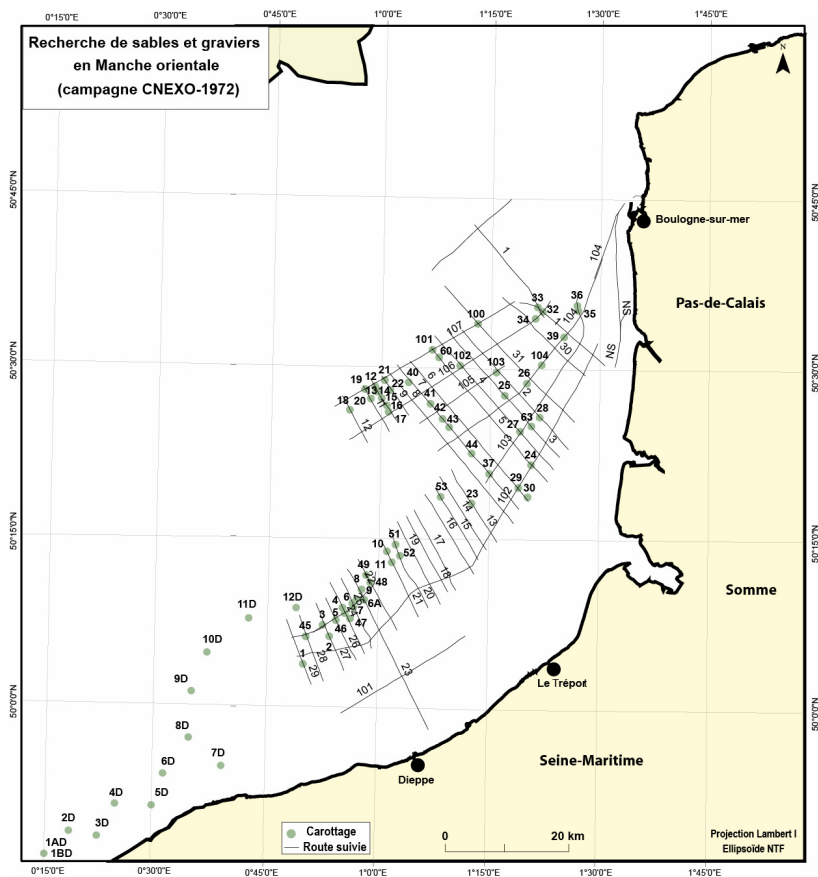


Figure 2-14 : Travaux réalisés lors de la campagne de prospection de sables et graviers en Manche orientale (1972).

Campagne	Manche orientale
Date début	01/06/1972 (1) et 11/08/1972 (2)
Date fin	29/06/1972 (1) et 25/08/1972 (2)
Chef mission	
Navire	Petite Marie-Françoise (1), Irène S (2)
Opérateur	BEICIP (1) et Alluvial Mining (2)
Travaux	Sismique (1), carottages (2)
Localisation	Département Géosciences Marines
Référence	Recherche de sables et graviers en Manche orientale (carte : PI I+ rapport)
Date rapport	Octobre 1972
Maître ouvrage	CNEXO
Projection	Lambert zone I
Échelle	1/100 000
Système navigation	Radionavigation TORAN/DECCA
Nombre profils	45
Distance cumulée	911 km
Outil	Étinceleur (Sparker)
Nombre carottages	71
Longueur cumulée	144,5 m
Outil	Lançage avec récupération (AMdrill)

Tableau 2-15 : Descriptif de la campagne de recherche en agrégats marins en Manche orientale (1972).

2.1.2.1.4. Campagne baie de Seine (1976)

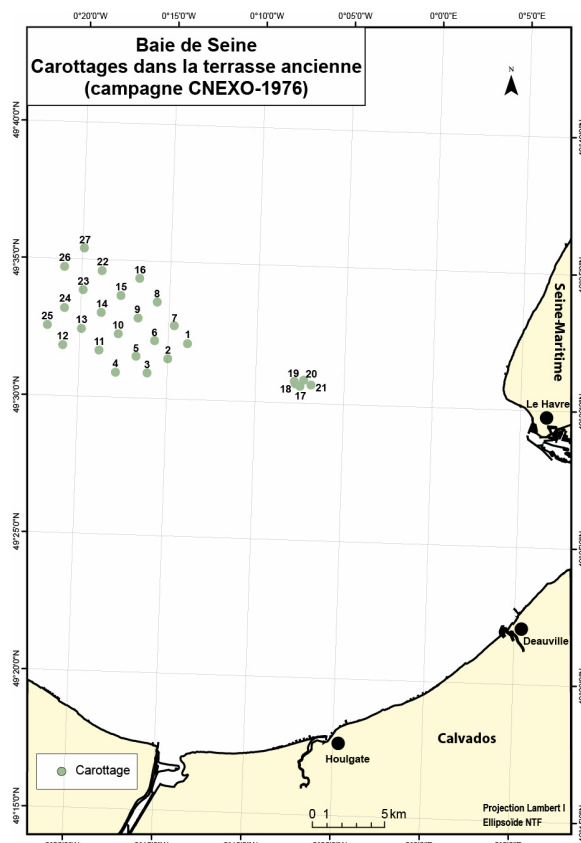


Figure 2-16 : Travaux réalisés lors de la campagne de carottages du CNEXO en baie de Seine (1976).

Campagne	baie de Seine
Date début	septembre 1976
Date fin	septembre 1976
Chef mission	A. Cressard
Navire	Arguenon
Opérateur	BRGM
Travaux	Carottages
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	Baie de Seine : isopaques de la terrasse ancienne (carte : Pl.4, janvier 1973)
Date rapport	Pas de rapport
Maître ouvrage	CNEXO
Projection	Lambert 1-NTF
Échelle	1/50 000
Système navigation	TORAN
Nombre profils	
Distance cumulée	
Outil	
Nombre carottages	27
Longueur cumulée	41 m
Outil	Vibro-carottier

Tableau 2-17 : Descriptif de la campagne de carottages en baie de Seine (1976).

2.1.2.2. Présentation des informations relatives aux campagnes « hors inventaire » : GRANOR (1984-1985)

2.1.2.2.1. « Façade ouest du Pas-de-Calais » (secteur A)

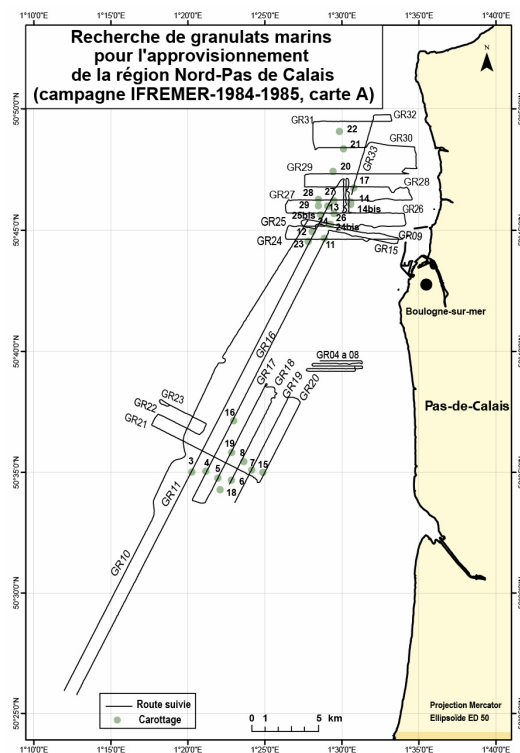


Figure 2-18 : Travaux réalisés lors des campagnes de recherche de granulats marins pour la région Nord-Pas de Calais (1984-1985), secteur A.

Campagne	GRANOR
Date début	avril 1984
Date fin	août 1985
Chef mission	C. Augris
Navire	Pelagia (1), Cryos (2)
Opérateur	BRGM
Travaux	Sismique (1), carottage (2)
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais (carte A ; réf rapport : DERO 86-01)
Date rapport	février 1986
Maître ouvrage	Ifremer
Projection	Mercator-ED 50-N 50'50'
Échelle	1/43 400
Système navigation	SYLEDIS
Nombre profils	31
Distance cumulée	470 km
Outil	Étinceleur (Sparker)
Nombre carottages	27
Longueur cumulée	49 m
Outil	Vibro-carottier

Tableau 2-19 : Descriptif des campagnes de recherche de granulats pour la région Nord-Pas de Calais (1984-1985), secteur A.

2.1.2.2.2. « Façade nord du Pas-de-Calais » (secteur B)

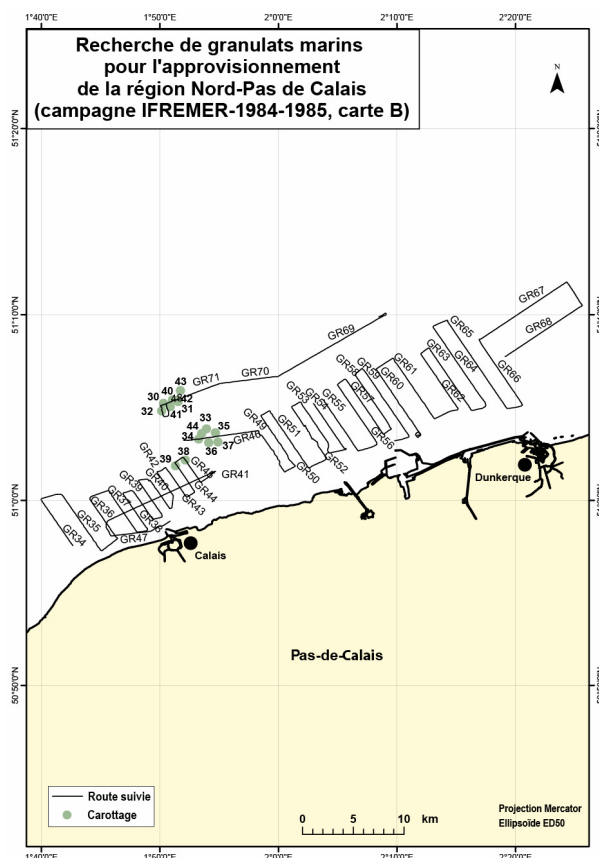


Figure 2-20 : Travaux réalisés lors des campagnes de recherche de granulats marins pour la région Nord-Pas de Calais (1984-1985), secteur B.

Campagne	GRANOR
Date début	avril 1984
Date fin	août 1985
Chef mission	C. Augris
Navire	Pelagia (1), Cryos (2)
Opérateur	BRGM
Travaux	Sismique (1), carottage (2)
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais (carte B ; réf rapport : DERO 86-01)
Date rapport	février 1986
Maître ouvrage	Ifremer
Projection	Mercator-ED 50-N 51'00'
Échelle	1/43 400
Système navigation	SYLEDIS
Nombre profils	43
Distance cumulée	477 km
Outil	Étinceleur (Sparker)
Nombre carottages	15
Longueur cumulée	21 m
Outil	Vibro-carottier

Tableau 2-21 : Descriptif des campagnes de recherche de granulats pour la région Nord-Pas de Calais (1984-1985), secteur B.

2.1.2.3. État de l'archivage

Un inventaire des archives a été mené parallèlement à l'analyse des informations disponibles. Il a été procédé à une vérification de leur disponibilité (lieu de stockage et accessibilité), de leur état de conservation (qualité de la donnée) ainsi que la complétude ou l'incomplétude du jeu de données, et éventuellement les conditions de leur remise en état (tableaux 2-22 et 2-23). Dans un second temps, leur archivage (étiquetage, intégration à la base de données de la sismothèque du département Géosciences marines) a été réalisé afin de faciliter leur récupération et leur consultation futures.

2.1.2.3.1. Enregistrements de sismique réflexion (sismogrammes)

Campagne	Date	Nombre de profils	Archive (en % du nombre total de sismogrammes)
Manche centrale et orientale (parties est et ouest)	1969	85	98
Boulogne-sur-mer	1971	34	79,5
Wissant	1971	30	97
Baie de Seine et Manche orientale	1972	76	0
GRANOR	1984	74	89

Tableau 2-22 : Enregistrements de sismique archivés.

Ces enregistrements sont archivés dans la sismothèque du département Géosciences marines de l'Ifremer à Brest.

2.1.2.3.2. Carottes

Seules les carottes dans les sédiments meubles sont prises en compte.

Campagne	Date	Nombre de carottages	Archivage des descriptions lithologiques	Archivage des fiches d'analyses granulométriques	Archivage carottes (lithothèque)	Archivage échantillons (lithothèque)	En % de l'information totale			
Manche centrale et orientale (parties est et ouest)	1969	61	84	84	0	0				
baie de Seine et Manche orientale	1972	156	99,5	41	0	31,5				
baie de Seine	1976	27	100	100	0	60				
GRANOR	1985	42	100	0	0	0				

Tableau 2-23 : Carottes archivées.

Seule une partie de ces échantillons sont archivés dans la lithothèque du département Géosciences marines de l'Ifremer à Brest :

- les échantillons de roches récoltés grâce au carottier à roches « Stetson Hill », lors de la campagne de reconnaissance de la Manche centrale et orientale de 1969 ;
- une faible proportion des sédiments récoltés par Alluvial Mining en 1972, correspondant à une partie des échantillons récupérés en Manche orientale (ceux prélevés en baie de Seine sont totalement absents) ;
- les prélèvements correspondant à la campagne « baie de Seine » de 1976.

Une recherche des carottes manquantes a été menée auprès des différents organismes ayant eu à traiter les échantillons (tableau 2-24) :

- carottage par vibrofonceuse de l'IFP : échantillons de sédiments de la campagne « Manche centrale et orientale » de 1969 ;
- échantillons prélevés en baie de Seine grâce à l'AMdrill lors de la campagne de 1972 ;
- échantillons prélevés en Manche orientale grâce à l'AMdrill lors de la campagne de 1972 ;
- échantillons (au nombre de 36) prélevés en 1967 lors des travaux d'approfondissement du chenal d'accès au port du Havre et neuf carottages profonds sur la site du Parfond réalisés en 1969 cités dans le rapport « Recherche d'agrégats marins en Baie de Seine » de 1972.

Type de données	Organisme	Personne contactée	Adresse	Téléphone
1967 (électrocarottages) et 1969 (carottages profonds)	Port Autonome du Havre	M. Galichon	pascal.galichon@havre-port.fr	
1969 Carottages par vibrofonceuse IFP (Terebel)	CETE Lille	M. Pochet	Jean-Yves.Pochet@equipement.gouv.fr	03-20-48-49-49
	CETE Rouen	M. Pioline	Michel.Pioline@equipement.gouv.fr	02-35-68-81-00
	IFP	M. Martinez	ramon.martinez@ifp.fr	01-47-52-59-17
	IFP	Mme Bessereau		01-47-52-61-23
1972 Carottages par AMdril	Alluvial Mining	M. White	j.white@fugro.com	
	IFP	M. Martinez	ramon.martinez@ifp.fr	01-47-52-59-17
	IFP	Mme Bessereau		01-47-52-61-23
	BEICIP-FRANLAB	Mme Montagne	marie-noelle.montagne@beicip.fr	01-47-08-80-00
	Lafarge	M. Allaire	jean-pierre.allaire@lafarge.com	
	Lafarge	M Chiaverini	herve.chiaverini@lafarge.com	
	FUGRO	M. Musselec	p.musellec@fugro.com	01-55-69-14-10

Tableau 2-24 : Organismes contactés pour la recherche des carottes et des profils sismiques manquants.

Cette enquête s'est avérée infructueuse généralement en raison du trop grand laps de temps écoulé depuis l'époque des différentes campagnes ; les échantillons ont vraisemblablement été égarés.

Comme pour les carottes, nous ne disposons pas de tous les enregistrements de sismique recensés pour la façade « Manche-Est ». Nous avons donc profité de cette recherche pour tenter de localiser les profils sismiques absents de nos archives. Il s'agit :

- des sismogrammes de la campagne en baie de Seine de 1972 ;
- et des sismogrammes de la campagne en Manche orientale de 1972.

Aucune précision n'a pu nous être apportée par MM. Musselec et White sur la localisation de ces données.

2.1.2.3.3. Bilan

Campagne	Date	Travaux (Outils)	Nombre de profils	Distance cumulée (en km)	Nombre de carottages	Longueur cumulée (en m)	Archivage des profils sismiques (en %)	Archivage des carottes (en %)	
								Description	Échantillon
Manche centrale et orientale (partie est et ouest)	1969	Sismique (étinceleur) et Carottage (vibrofonceuse IFP)	85	3159	61	231,5	98	86	0
Boulogne-sur-mer	1971	Sismique (étinceleur)	34	290			79,5		
Wissant	1971	Sismique (étinceleur)	30	166			97		
Manche orientale	1972	Sismique (étinceleur) et carottage (lançage AMdril)	45	911	71	144,5	0	100	69
Baie de Seine	1972	Sismique (étinceleur) et carottage (lançage AMdril)	31	706	85	221	0	99,5	0
Baie de Seine	1976	Carottage (Vibro-carottier)			27	41		100	60
Total			225	5232	244	638			
GRANOR (hors inventaire)	1984	Sismique (Sparker)	74	947			89		
GRANOR (hors inventaire)	1985	Carottage (Vibro-carottier)			42	70		100	0
Total			299	6179	286	708			

Tableau 2-25 : Bilan des travaux de l'inventaire national des granulats marins pour la façade « Manche-Est ».

Les géodésies propres à chacune des cartes des positionnement des travaux des différentes campagnes (tableau 2-26) ont dans un premier temps été conservées, puis ont été homogénéisées, pour être géoréférencées en WGS84.

Campagne	Année	Géodésie	Échelle
Manche centrale et orientale (partie est et ouest)	1969	Mercator-ED 50	1/200 000
Boulogne-sur-mer	1971	Lambert-zone I	1/25 000
Wissant	1971	Lambert-zone I	1/25 000
Baie de Seine	1972	Lambert-zone I	1/50 000
Manche orientale	1972	Lambert-zone I	1/100 000
Baie de Seine	1976	Lambert-zone I	1/50 000
Nord-Pas de Calais (carte A et B)	1984/85	Mercator-ED 50	1/43 400

Tableau 2-26 : Caractéristiques géodésiques des cartes des différentes campagnes.

2.1.2.4. Travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national des granulats marins

2.1.2.4.1. Carte des paléo-vallées et des bancs sableux de la Manche orientale (1982)

Réalisée par Auffret et Alduc, cette carte vient compléter, pour la Manche orientale, l'écorché géologique à l'échelle 1/1 000 000 publié en 1975 et la carte des sédiments superficiels à l'échelle 1/500 000 publiée en 1980 (éditions BRGM).

Ce document à l'échelle 1/500 000 présente un écorché géologique et la bathymétrie du toit du substratum ainsi qu'une carte des épaisseurs des sédiments des nappes alluviales et bancs sableux accompagnée d'un schéma morphologique. Une notice explicative, intitulée « La Manche orientale », donne une description des différents documents cartographiques fournis.

Les différentes cartes ont été établies à partir de tous les profils de sismique réflexion, soit 13 000 km d'enregistrement, réalisés par différents organismes depuis 1969 :

- Le CNEXO : reconnaissance de la Manche centrale et orientale en 1969, 1970 ainsi que les campagnes de recherche de gisements de sables et graviers ;
- The University College of London : campagnes géologiques en Manche orientale de 1970 à 1978 ;
- L'Université de Caen et le BRGM : campagnes géologiques en Manche orientale en 1973, 1974, 1976.

2.1.2.4.2. Cartes des sédiments superficiels

L'Ifremer a publié une série de cartes des sédiments superficiels pour la région Nord-Pas de Calais :

- carte des sédiments superficiels au large de Boulogne-sur-mer (Augris *et al.*, 1987). Elle se présente sous la forme de deux feuilles individualisant un secteur nord, restitué à l'échelle 1/43 400 et un secteur sud, restitué à 1/43 600 ;
- carte des sédiments superficiels au large de Calais-Dunkerque (Augris *et al.*, 1989). Elle se présente sous la forme d'une feuille à l'échelle 1/43 000 ;
- le domaine Nord-Pas de Calais : carte des formations superficielles (Augris *et al.*, 1995). Elle correspond à la synthèse et la mise à jour des documents cartographiques ci-dessus et est restituée à l'échelle 1/100 000.

2.1.2.4.3. Thèse de G. Lericolais (1997)

Cette thèse présentée à l'Université de Bordeaux I, réalisée en collaboration avec le département Géosciences marines de l'Ifremer est intitulée : « Évolution plio-

quaternaire du fleuve Manche : stratigraphie et géomorphologie d'une plateforme continentale en régime péri-glaciaire ».

Ce document comporte cinq grandes parties : un état des connaissances sur l'histoire régionale de la Manche, une présentation des données et méthodes d'interprétation, une analyse de l'influence des facteurs géomorphologiques sur l'enregistrement stratigraphique, une étude du paléo-système fluviatile de la Manche, et une discussion finale. Il présente les données sismiques enregistrées au cours de plusieurs missions à la mer, SAMDI (1992), SÉDIMANCHE 2 (1993) d'un projet de recherche plus large de l'Ifremer qui vise à étudier les processus et la dynamique sédimentaire de la Manche.

La campagne SAMDI a utilisé un sondeur bathymétrique mono-faisceau, un sonar latéral à balayage et la sismique très haute résolution « Sparker ». La campagne SÉDIMANCHE 2 a mis en œuvre un sondeur multi-faisceaux Simrad EM1000 et de la sismique très haute résolution « Sparker » (figure 2-27).

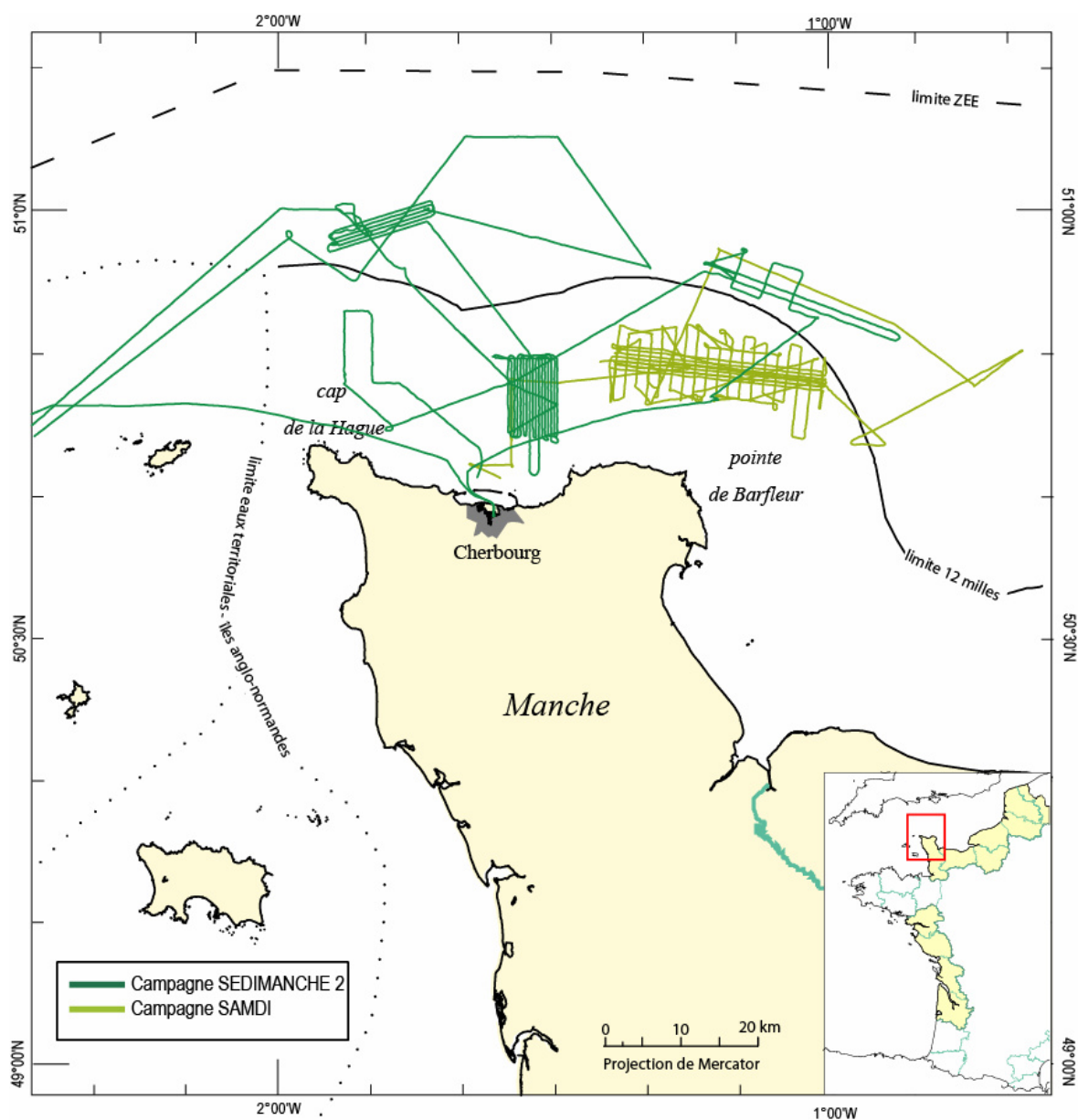


Figure 2-27 : Situation des campagnes SAMDI et SÉDIMANCHE 2.

2.1.2.4.4. Thèse de D. Claveleau

Cette thèse, dont la soutenance est prévue en 2006, s'appuie sur des campagnes à caractère industriel dont l'accès à la donnée est restreint, voire confidentiel (figure 2-28 et tableau 2-29) :

- campagne de carottage effectuée en 1983 pour le GIE « Graves de Mer » (CNEXO, 1983) ;
- levé de sismique-réflexion réalisé en 1985 pour le GIE « Graves de Mer » (BRGM, 1985) ;
- campagne de carottage effectuée en 1985 pour le GIE « Graves de Mer » (BRGM, 1985) ;
- campagne de reconnaissance sismique (« Sparker » 200 joules) et acoustique réalisée en 1986 par le BRGM et l'Université de Rouen pour le compte du GIE « Graves de mer », filiale de la société Eurovia ;
- campagne de reconnaissance au sondeur de sédiments (2,5 kHz) effectuée en 1988 par l'Université de Rouen pour le compte du GIE « Graves de Mer », filiale de la société Eurovia ;
- campagne Ifremer-EDF au large de Penly dans le cadre du suivi environnemental des abords de la centrale EDF (Ifremer, 1996) ;
- campagne de reconnaissance sismique (« Boomer » 3,5 kHz), réalisée par le GEMEL et l'Université de Rouen pour le compte du GIE « Graves de Mer », filiale de la société Eurovia (1996) ;
- campagne de reconnaissance sismique « Albâtre » (Sparker 100 Joules) réalisée par l'Université de Rouen pour le compte d'Eurovia (2004) ;
- campagne de reconnaissance sismique (« Sparker » 100 Joules et « Boomer » IKB Seistec) Béthune I réalisée par l'Université de Rouen pour le compte d'Eurovia (2004) ;
- campagne de carottages réalisée par l'Université de Rouen pour le compte d'Eurovia (2005).

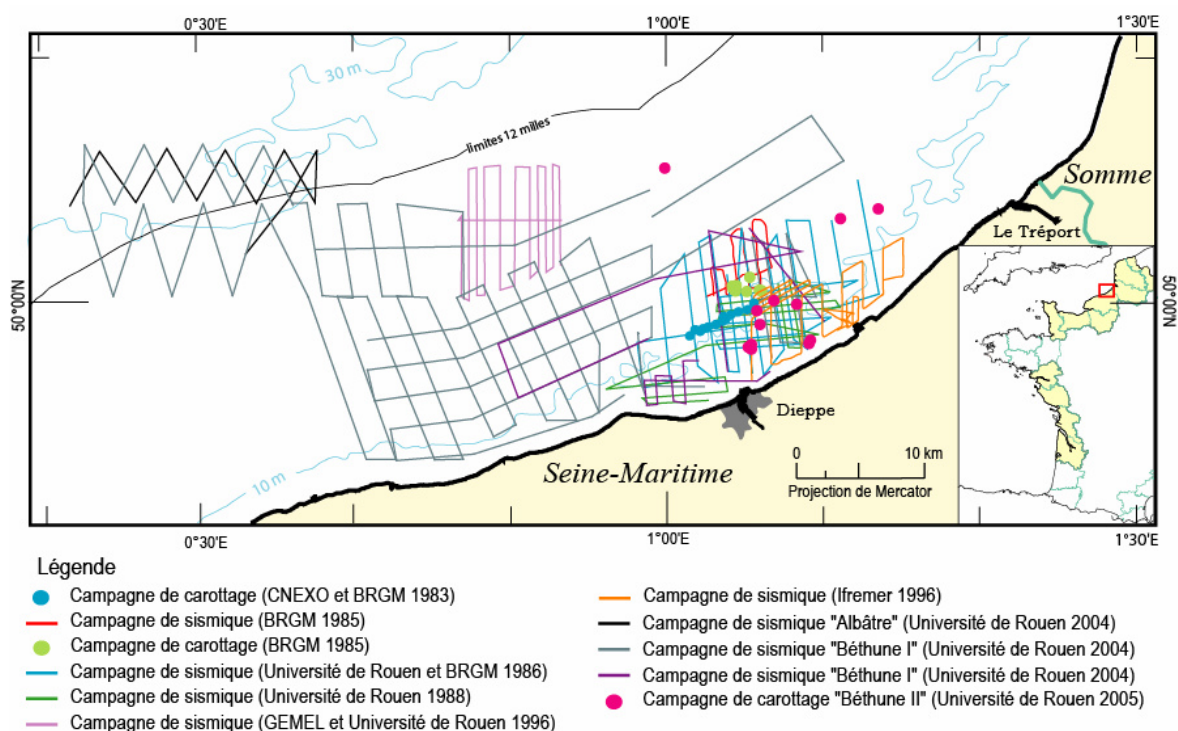


Figure 2-28 : Travaux utilisés dans la thèse de Claveau.

Campagne	Date	Maître d'ouvrage	Opérateur	Navire	Travaux réalisés
Carottage	août 1983	GIE "Graves de Mer"	CNEXO et BRGM	Ma Sophie	17 prélèvements
Reconnaissance sismique	avril 1985	GIE "Graves de Mer"	BRGM	Ma Sophie	45 km de profils
Reconnaissance sismique et acoustique	avril 1985	GIE "Graves de Mer"	BRGM et Université de Rouen	Ma Sophie	19 profils (environ 330 km)
Carottage	juin 1985	GIE "Graves de Mer"	BRGM	Ma Sophie	10 prélèvements
Reconnaissance sismique	1988	GIE "Graves de Mer"	Université de Rouen	Côte de Normandie	10 profils (environ 70 km)
Reconnaissance sismique	mai 1996	GIE "Graves de Mer"	GEMEL et Université de Rouen	Sépia II	12 profils (environ 110 km)
PYLAR - Reconnaissance sismique	1996	EDF	Ifremer		
Albâtre (reconnaissance sismique)	mars 2004	Eurovia	Université de Rouen		10 profils (environ 46 km)
Béthune I (reconnaissance sismique et acoustique)	avril 2004	Eurovia	Université de Rouen	Côte d'Aquitaine	60 profils sparker (570 km) et 14 profils boomer (85 km)
Vibro-carottage	août 2005	Eurovia	Université de Rouen	Thalia	20 prélèvements

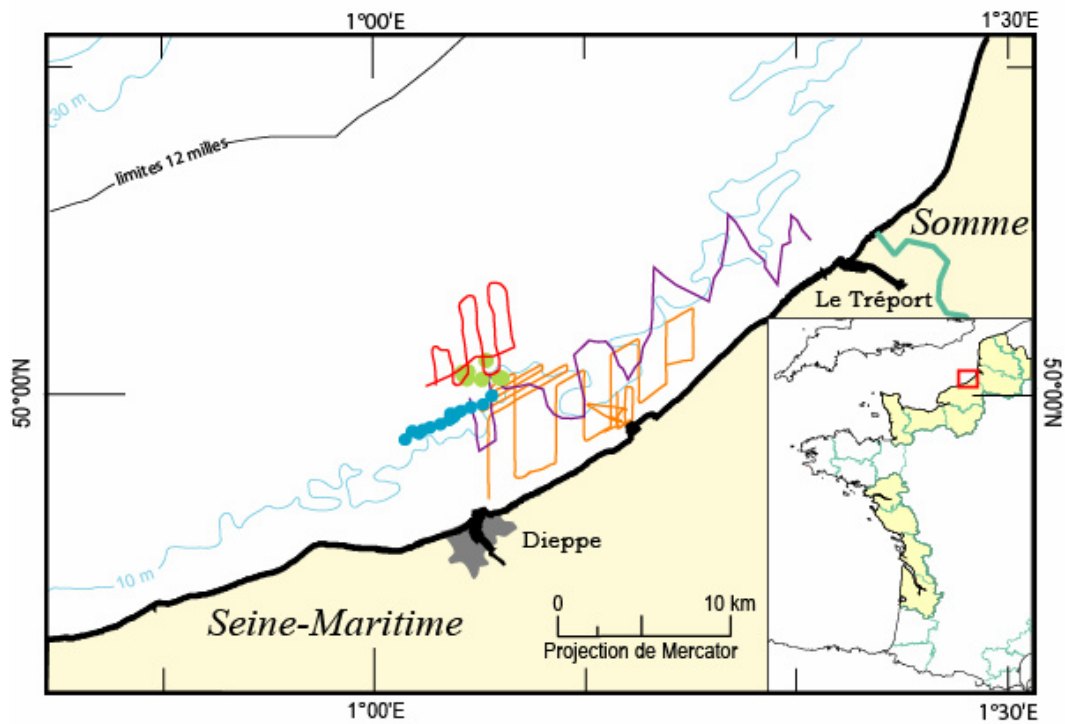
Tableau 2-29 : Données des campagnes utilisées dans la thèse de Claveau.

2.1.2.5. Consultation de documents inédits et/ou confidentiels

En plus des données afférentes aux études précédemment citées, il existe une série d'informations confidentielles relatives à des travaux effectués pour le compte d'entreprises (figure 2-30).

Il s'agit :

- d'un levé de sismique-réflexion réalisé en 1980 pour l'Entreprise Tréportaise de concassage (BRGM, 1980) ;
- de carottages effectués en 1983 pour le GIE « Graves de Mer » (CNEXO, 1983) ;
- d'un levé de sismique-réflexion réalisé en 1985 pour le GIE « Graves de Mer » (BRGM, 1985) ;
- de carottages effectués en 1985 pour le GIE « Graves de Mer » (BRGM, 1985) ;
- et d'un levé de sismique enregistré par l'Ifremer en 1996 dans le cadre du suivi environnemental des abords de la centrale EDF de Penly.



Légende

- Campagne de sismique (BRGM 1980)
- Campagne de carottage (CNEXO 1983)
- Campagne de sismique (BRGM 1985)
- Campagne de carottage (BRGM 1985)
- Campagne de sismique (Ifremer 1996)

Figure 2-30 : Travaux réalisés pour le compte d'entreprises.

2.2. Façade « Loire-Gironde »

Les sources d'information disponibles se répartissent entre :

- les rapports des campagnes de l'inventaire national des granulats marins, réalisé entre 1973 et 1979 ;
- des travaux scientifiques.

2.2.1. Recensement des données

2.2.1.1. **Campagnes océanographiques réalisées dans le cadre de l'inventaire national des granulats marins**

Ces campagnes sont au nombre de sept (tableau 2-31 et figure 2-32) et leurs résultats sont produits dans seize rapports.

Campagne	Date	Maître d'ouvrage	Opérateur	Navire(s)	Système de navigation	Travaux réalisés (Outils)
Sud Bretagne	juillet 1973	CNEXO	BEICIP	Petite Marie-Françoise	Toran	Sismique (Sparker-300 Joules)
Saint-Nazaire	mai et juin 1974	CNEXO	BEICIP	Petite Marie-Françoise	Toran	Sismique (Sparker-200 Joules)
Saint-Nazaire	mai 1975	CNEXO	BRGM	Arguenon	Toran	Vibro-carottier
Pertuis charentais	septembre et octobre 1975 et début avril 1976	CNEXO	BRGM	François E en 1975 et Alhena en 1976	Toran	Sismique (Uniboom EG-G 500 Joules, Boomer 500-1 000 Joules, voire Sparker)
Pertuis charentais	septembre 1976	CNEXO	BRGM	Arguenon	Toran	Vibro-carottier
Gironde	juillet et août 1978	CNEXO	BRGM	Le Gardour	Toran	Sismique (Boomer 500-1 000 Joules, Sparker 1 000 Joules et Somahr 300 Joules)
Gironde	juin 1979	CNEXO	BRGM	Don Pancho	Toran	Vibro-carottier

Tableau 2-31 : Campagnes de l'inventaire national des granulats marins sur la façade « Loire-Gironde ».

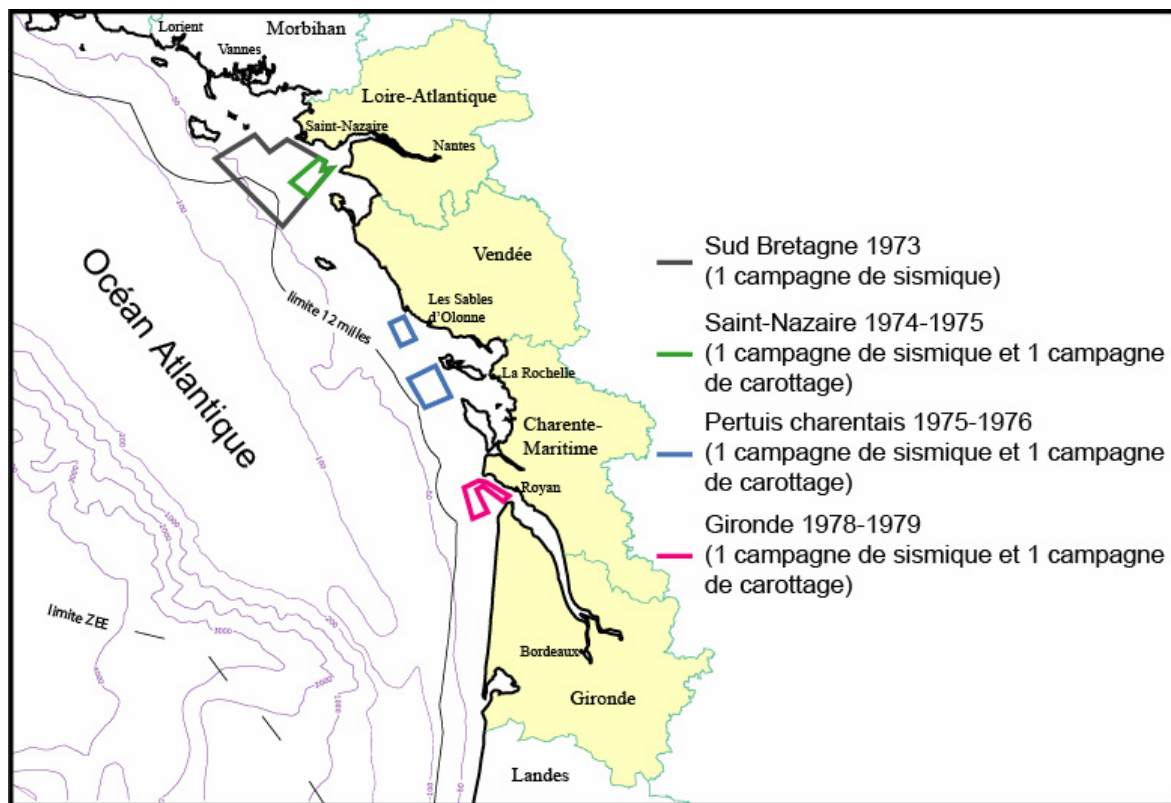


Figure 2-32 : Localisation des différentes campagnes effectuées sur la façade « Loire-Gironde ».

2.2.1.1.1. Sud Bretagne (1973)

Le document le plus ancien mis à disposition pour l'étude de la façade « Loire-Gironde » s'intitule « Recherche d'agrégats marins au Sud de la Bretagne ». Il a été rédigé par le BEICIP et répond à un contrat passé avec le CNEXO (convention 73/767) pour l'acquisition de profils de sismique, implantés selon un maillage régulier de 4 km de côté.

Il se compose d'un rapport, regroupant les résultats de la prospection, de plans de position, de cartes bathymétriques (équidistance des courbes 5 m), de cartes des épaisseurs des dépôts meubles (équidistance des courbes 10 m), au 1/100 000 et présentées en deux feuilles : Saint-Nazaire et Lorient.

Le secteur de Lorient est hors de la façade concernée par cette étude. Pour celui de Saint-Nazaire, le rapport est complété d'une carte de la distribution des faciès sédimentaires, d'une carte des épaisseurs des dépôts non grossiers et une carte des faciès sismiques et traits structuraux du substratum rocheux.

Cette première investigation, réalisées grâce à des outils sismiques s'appuie sur les données de travaux antérieurs : (1) centaines de kilomètres de profils d'échosondeur et 1 600 draguages ayant servi à la construction des cartes sédimentologiques à l'échelle 1/100 000 de Pont-Croix, de Lorient, de Saint-Nazaire et de l'île d'Yeu ; (2) données de

sismique réflexion fournissant des renseignements sur les épaisseurs des formations meubles, acquises lors de prospections à objectifs économiques telles que la recherche de placers (BRGM 66/67), l'étude d'un chenal d'accès portuaire (GÉOTECHNIP, 1967) ou la reconnaissance générale du plateau par divers organismes entre 1967 et 1972 (BRGM, IFP et Universités de Bordeaux et de Nantes).

2.2.1.1.2. Saint-Nazaire (1974 et 1975)

Le rapport « Recherche d'agrégats marins au Sud de la Bretagne » effectué par le BEICIP, sous contrat CNEXO n° 74.11.055, présente les résultats d'une seconde campagne de reconnaissance géologique au large de Lorient et de Saint-Nazaire par acquisition sismique (Sparker) du 28 mai au 15 juin 1974.

Il s'agissait pour cette étude d'affiner et de préciser les surfaces reconnues en 1973, grâce à un schéma d'acquisition implanté selon un maillage plus serré et régulier de 1 km de côté. Ce dossier comporte, en plus du rapport, un plan de positionnement des travaux, une carte bathymétrique (équidistance des courbes 2,5 m), une carte des épaisseurs de l'ensemble des dépôts meubles (équidistance des courbes 5 m) et une carte des épaisseurs des dépôts non grossiers (équidistance des courbes 5 m). L'ensemble des documents cartographiques est restitué au 1/25 000.

Suite aux investigations sismiques de 1973 et 1974, une campagne de carottage a été menée en mai 1975. Un rapport d'implantation des 52 sondages pour la recherche de granulats marins au Sud de la Bretagne fait le point sur le déroulement des travaux (dates des différents legs, incidents survenus et bilan des opérations) et la logistique (support nautique, personnel embarqué, outil, système de positionnement) mise en œuvre.

Le rapport présente en annexe un tableau récapitulatif et descriptif des carottages effectués (date, numéro du sondage, heure de début de l'opération, heure de pose sur le fond, temps de vibration, heure de fin de l'opération, profondeur, coordonnées TORAN et géographiques du point de prélèvement, pénétration, récupération, taux de récupération en fonction de la pénétration, observations), ainsi qu'une carte de positionnement des carottages, pour chacun des secteurs, à l'échelle 1/25 000.

Le document intitulé « Recherche de granulats marins au Sud de la Bretagne - Rapport préliminaire sur les caractéristiques des matériaux », a été rédigé par le laboratoire des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc sous contrat CNEXO 44.4.1.235.

Il présente les résultats des analyses géotechniques (granulométrie, équivalent de sable, proportion de micas et feldspaths et teneurs en CaCO_3) des sédiments prélevés grâce aux 52 vibro-carottages.

Les mesures et les tests mis en œuvre répondent aux spécifications concernant les normes des sables à bétons, en vigueur à cette époque. Ce document se présente sous la forme d'un rapport explicatif de la procédure d'analyse des matériaux et des attentes industrielles ainsi que de deux rapports d'annexes pour les zones de Saint-Nazaire et le banc de Taillefer (notons l'absence de l'annexe 1 traitant de la zone de Lorient).

2.2.1.1.3. Pertuis charentais (1975 et 1976)

Le rapport intitulé « Recherche de granulats marins dans la zone des pertuis charentais. Étude par sismique-réflexion continue » traite d'un secteur localisé au large de la Rochelle et a fait l'objet d'un contrat CNEXO 75/1330.

Il décrit les résultats d'une reconnaissance par sismique réflexion s'étant déroulée en deux parties : la première du 22 septembre au 15 octobre 1975 et la seconde début avril 1976. Ces campagnes à la mer auront permis de parcourir près de 300 km en acquisition de sismique et de mettre en évidence deux zones d'intérêt pour l'exploitation de granulats : au large du pertuis Breton et du pertuis d'Antioche. Sont fournis en plus du rapport : une carte bathymétrique (équidistance des courbes 1 m), une carte des isobathes du toit du substratum (équidistance des courbes 2 m) et une carte des épaisseurs des sédiments meubles (équidistance des courbes isopaques 1 m) ; chacun de ces documents cartographiques est restitué à l'échelle 1/25 375.

Une campagne de carottages, effectués à l'aide d'une vibro-sondeuse, a été réalisée en septembre 1976, à bord du navire « l'Arguenon », par le BRGM pour le compte du CNEXO (contrat n°76/5309/Y).

Un rapport d'implantation de sondage a été rédigé afin de présenter les résultats de cette campagne à la mer et contient en annexe un tableau synthétisant les caractéristiques des sondages (date, numéro d'identification, positionnement, profondeur, pénétration (P), récupération (R) et taux de récupération (valant $(R/P)*100$), les fiches techniques relatives à chaque prélèvement ainsi que les plans de positionnement des sondages à l'échelle 1/25 375 pour chacun des deux pertuis.

Un autre document inventorié concerne la « Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Poitou-Charentes », il a été rédigé par le CNEXO et date d'octobre 1977.

Il se présente sous la forme d'une analyse et d'une synthèse des résultats des deux précédentes campagnes de sismique et carottage en déterminant les zones potentielles de gisement et en fournissant leurs principales caractéristiques.

Le rapport principal est complété par deux volumes d'annexe (un pour chaque zone de l'étude). Chaque exemplaire contient les descriptions lithologiques des carottes et les analyses granulométriques réalisées sur les différents échantillons récupérés. Sont également fournies : une carte générale de positionnement des travaux et une carte générale localisant les périmètres des secteurs reconnus par méthode géophysique, par prélèvement ainsi que les zones de gisements potentiels ; elles sont restituées au 1/125 000. Pour chacune des zones, trois cartes au 1/25 000, montrant la bathymétrie de la zone, les épaisseurs des sédiments meubles, la localisation des sondages ainsi que la composition granulométrique des carottes fournissent les informations pour les tranches de terrain de : 0 à 2 m, 2 à 4 m et pour la longueur totale de chaque carotte.

Le dernier rapport concernant les pertuis charentais constitue une valorisation de la campagne de carottage. En effet il retranscrit le mode opératoire et les résultats des différents essais géotechniques effectués sur les échantillons par le laboratoire des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc.

Le rapport se décompose en trois parties : (1) identification et la classification des sédiments, (2) étude du comportement des principales familles de sables rencontrées

dans l'optique de leur utilisation comme sables à bétons et (3) commentaires sur les gisements. Il est précisé par deux annexes concernant la zone nord (pertuis Breton) et la zone sud (pertuis d'Antioche).

Les annexes comportent : un diagramme triangulaire de la répartition granulométrique des échantillons analysés, une proposition de classification des sables en différents groupes et leurs courbes granulométriques moyennes, les fiches récapitulatives des sondages et les résultats des essais effectués dans les différents horizons rencontrés, un plan de positionnement des sondages accompagné de coupes synthétiques et enfin une planche d'interprétation cartographique de la répartition des différents matériaux, accompagnée, quand l'homogénéité du gisement le permet, de coupe géologiques.

2.2.1.1.4. Gironde (1978 et 1979)

Une « Étude géologique préliminaire à la recherche de granulats au large de l'estuaire de la Gironde » a été réalisée sous contrat CNEXO par le BRGM. Elle s'est appuyée sur des informations fournies par plusieurs organismes : Port Autonome de Bordeaux et Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine (IGBA) pour le domaine maritime ainsi que BRGM pour le domaine terrestre.

Elle a permis d'estimer la prolongation des terrasses alluviales connues à terre, dans le domaine marin de l'embouchure de la Gironde et de contribuer ainsi à cibler des secteurs en vue d'une campagne géophysique de mise en évidence des extensions de ces ensembles alluvionnaires en mer. Ce rapport a été délivré avec une carte à 1/50 000 des zones retenues pour la recherche de granulats.

Le document intitulé « Recherche de granulats marins dans la zone de l'embouchure de la Gironde. Étude par sismique-réflexion continue » a été rédigé par le département de géophysique du BRGM pour le compte du CNEXO.

Basé sur l'analyse bibliographique précédente, l'investigation des deux zones présélectionnées, grâce à 211 km de sismogramme, acquis en 1978, a permis de préciser l'extension de la couverture meuble et de connaître son épaisseur.

Des documents cartographiques à l'échelle 1/20 000 sont joints à cette étude comme : une carte de positionnement des profils géophysiques, une carte bathymétrique (équidistance des courbes 1 m), une carte des épaisseurs des sédiments meubles (équidistance des courbes isopaques 2 m) et une carte des isobathes du toit du substratum (équidistance des courbes 2 m).

Le document « Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région de Bordeaux. Bibliographie et résultats géophysiques » daté de décembre 1978 constitue une synthèse des deux précédents rapports. Il a été élaboré par le CNEXO et dresse un bilan des informations bibliographiques et géophysiques disponibles pour ce secteur afin de préparer une campagne de carottage et ainsi d'optimiser leur implantation.

Le rapport BRGM « Recherche de granulats marins au large de l'estuaire de la Gironde. Rapport d'implantation de sondages » réalisé sous contrat CNEXO fait le point sur le déroulement des travaux de carottage de 1979 (dates des opérations, incidents survenus et bilan des opérations) et la logistique (support nautique, personnel embarqué, outil, système de positionnement) mise en œuvre au cours de la campagne à la mer.

Il présente en annexe un tableau récapitulatif et des fiches descriptives des carottages effectués (date, numéro du sondage, heure de début de l'opération, heure de pose sur le fond, temps de vibration, heure de fin de l'opération, profondeur, coordonnées TORAN et géographiques du point de prélèvement, pénétration, récupération, taux de récupération en fonction de la pénétration, observations).

Le rapport « Détermination des possibilités d'emploi de matériaux prélevés au large de la Gironde pour la confection de bétons hydrauliques - Étude géotechnique », réalisé en mai 1980 par le département matériaux du BRGM pour le compte du CNEXO, présente les résultats de la caractérisation géotechnique des sédiments carottés (essais granulométriques par voie humide, pétrographiques mais aussi essais de résistance mécanique) et fournit les fiches d'analyse granulométrique en annexe.

Il vise à déterminer les possibilités d'emploi des matériaux prélevés à l'embouchure de la Gironde et/ou à fixer les limites restrictives de leur utilisation comme mortiers et bétons hydrauliques.

L'étude effectuée par le BRGM en juin 1980 et intitulée « Recherche de granulats marins au large de l'estuaire de la Gironde : profils géologiques dans la zone favorable » s'attache à caractériser précisément, à l'aide de coupes géologiques synthétiques, la zone de gisement identifiée grâce aux précédents travaux en mer et compte rendus. Des coupes géologiques de synthèse ainsi que leur positionnement sont fournis en annexe du rapport.

Le dernier document s'intitule « Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région de Bordeaux ». Réalisé par le CNEXO en septembre 1980, il constitue une synthèse de l'ensemble des travaux effectués et disponibles pour l'estuaire de la Gironde entre 1978 et 1980 et dresse un bilan des ressources et réserves attendues pour l'approvisionnement de la région de Bordeaux.

2.2.1.2. Travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national des granulats marins

- ALLEN G.-P. (1991) - Sedimentry process and facies in the Gironde estuary ; a recent model for macrotidal estuary systems. *In Smith D.G., Reinson G.E., Zaitlin B.A., Rahmani R.A. (Éd.), Clastic Tidal Sedimentology, Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, Mémoire 16, pp. 29-40.*
- ALLEN G.-P., POSAMENTIER H.-W. (1993) - Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill : the Gironde estuary, France. *Journal of sedimentary petrology, vol. 63, n°3, pp. 378-391.*
- ALLEN G.-P., POSAMENTIER H.-W. (1994) - Transgressive facies and sequence architecture in mixed tide- and wave-dominated incised valleys : example from the Gironde estuary, France. *Incised-valley Systems : origin and Sedimentary Sequences, Dalrymple R.W., Boyd R.J., Zaitlin B.A. (Éd.), SEPM (Soc. Sédiment. Geol.) Spécial Publications, n°51, Tulsa, pp. 225-240.*

- LERICOLAIS G. *et al.* (1998) - Reconnaissance par stratigraphie sismique haute résolution de la paléo-vallée de la Gironde sur le plateau continental. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*, 326, pp. 701-708.
- LERICOLAIS G. *et al.* (2001) - Seaward pinching out and internal stratigraphy of the Gironde incised valley on the shelf (Bay of Biscay). *Marine Geology*, 175, pp. 183-197.
- WEBER N. (2004) - Morphologie, architecture des dépôts, évolution séculaire et millénaire du littoral charentais : Apport de la sismique réflexion combinée à des suivis bathymétriques et validée par des vibro-carottages. *Thèse Université de la Rochelle*, 374 p.
- WEBER N., CHAUMILLON E., TESSON M., GARLAN T. (2004) - Architecture and morphology of the outer segment of a mixed tide and wave-dominated-incised valley, revealed by HR seismic reflection profiling: the paleo-Charente River, France. *Marine Geology*, 207, pp. 17-38.
- FÉNIÈS H. et LERICOLAIS G. (2005) - Architecture interne d'une vallée incisée sur une côte à forte énergie de houle et de marée (vallée de la Leyre, côte aquitaine, France). *C. R. Géoscience*, 337, pp. 1257-1266.

2.2.2. Analyse qualitative des données

2.2.2.1. Présentation des informations relatives aux campagnes de l'inventaire national des granulats marins

Pour chaque campagne (tableau 2-31) sont présentés successivement :

- une carte de localisation des travaux (figures 2-33, 2-35, 2-37, 2-39 et 2-41) ;
- un tableau descriptif de la campagne (tableaux 2-34, 2-36, 2-38, 2-40 et 2-42).

Une carte de situation des travaux, à l'échelle 1/250 000 (latitude 46°N), est disponible hors texte pour la façade « Loire-Gironde ». Elle est restituée dans la projection de Mercator, ellipsoïde WGS84.

Les fiches de description des carottes sont disponibles en annexes.

2.2.2.1.1. Campagne Sud Bretagne (1973)

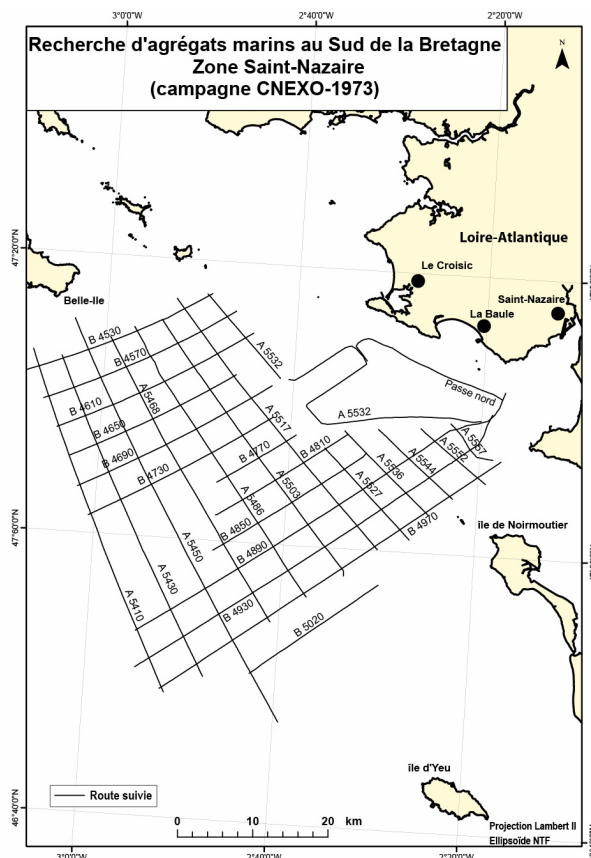


Figure 2-33 : Travaux réalisés lors de la campagne de recherche de granulats marins pour l’approvisionnement de la Bretagne Sud (1973).

Campagne	Saint-Nazaire 1973
Date début	02/07/1973
Date fin	28/07/1973
Chef mission	F. Lapierre
Navire	Petite Marie Françoise
Opérateur	Sismique
Travaux	BEICIP
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	Recherche d'agrégats marins au Sud de la Bretagne (carte : PL. I, réf rapport:30687)
Date rapport	Décembre 1973
Maître ouvrage	CNEXO
Projection	Lambert 2-NTF
Échelle	1/100 000
Système navigation	Toran
Nombre profils	31
Distance cumulée	895 km
Outil	Étinceleur (Sparker)
Nombre carottages	
Longueur cumulée	
Outil	

Tableau 2-34 : Descriptif de la campagne de recherche de granulats marins pour l’approvisionnement de la Bretagne Sud (1973).

2.2.2.1.2. Campagnes Saint-Nazaire (1974 et 1975)

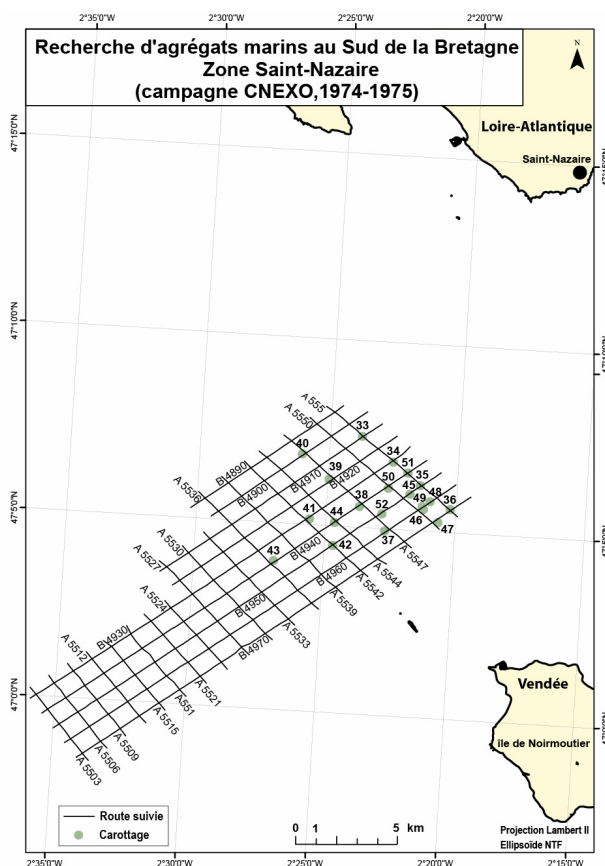


Figure 2-35 : Travaux réalisés lors des campagnes Saint-Nazaire (1974 et 1975).

Campagne	Saint-Nazaire 1974 (1) et 1975 (2)
Date début	06/06/1974 (1) et 20/05/1975 (2)
Date fin	12/06/1974 (1) et 22/05/1975 (2)
Chef mission	A. Cressard
Navire	Petite Marie-Françoise (1) ; Arguenon (2)
Opérateur	BEICIP (1) ; BRGM (2)
Travaux	Sismique (1) ; carottage (2)
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	(1) Recherche d'agrégats marins au sud de la Bretagne, zone Saint-Nazaire (carte : PL. I ; réf rapport: 30864) (2) Recherche d'agrégats marins au sud de la Bretagne, zone Saint-Nazaire (carte : PL.3 rapport)
Date rapport	avril 1975 (1) et mai 1975 (2)
Maître ouvrage	CNEXO
Projection	Lambert 2-NTF
Échelle	1/25 000
Système navigation	Toran
Nombre profils	27
Distance cumulée	273 km
Outil	Étinceleur (Sparker)
Nombre carottages	20
Longueur cumulée	97 m
Outil	Vibro-carottier

Tableau 2-36 : Descriptif des campagnes Saint-Nazaire (1974 et 1975).

2.2.2.1.3. Campagnes pertuis charentais (1975 et 1976)

2.2.2.1.3.1. Secteur nord (pertuis Breton)

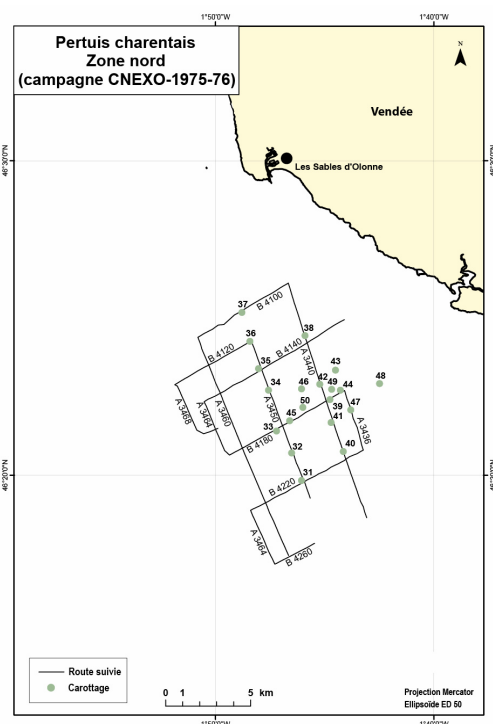


Figure 2-37 : Plan de positionnement des campagnes du secteur nord des pertuis charentais (1974 et 1975).

Campagne	Pertuis charentais secteur nord (zone 2) 1975 (1) et 1976 (2)
Date début	22/09/1975 (1) et 19/08/1976 (2)
Date fin	11/10/1975 (1) et 28/08/1976 (2)
Chef mission	A. Cressard
Navire	François"E" (1) ; Arguenon (2)
Opérateur	BRGM
Travaux	Sismique (1) ; carottage (2)
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	(1) Carte bathymétrique pertuis charentais zone I (carte, réf rapport : 76 SGN 173 MAR) (2) Pertuis charentais : localisation des sondages zone sud (réf carte : SGN/MAR août 1976 ; réf. rapport 76 SGN 431 MAR)
Date rapport	avril 1976 (1) et septembre 1976 (2)
Maître ouvrage	CNEXO
Projection	Mercator-ED 50-N 46°10'
Échelle	1/25 375
Système navigation	Toran
Nombre profils	13
Distance cumulée	93 km
Outil	Boomer 500 et 1 000 joules
Nombre carottages	20
Longueur cumulée	103 m
Outil	Vibro-carottier

Tableau 2-38 : Descriptif des campagnes du secteur nord des pertuis charentais (1974 et 1975).

2.2.2.1.3.2. Secteur sud (pertuis d'Antioche)

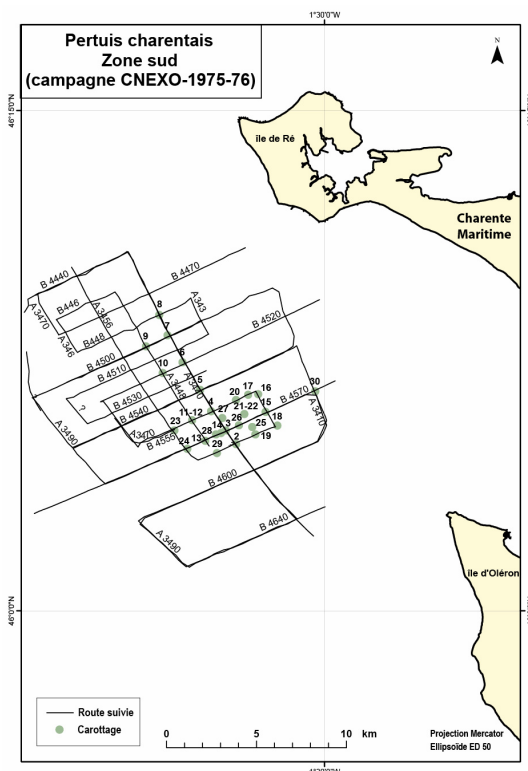


Figure 2-39 : Plan de positionnement des campagnes du secteur sud des pertuis charentais (1974 et 1975).

Campagne	Pertuis charentais secteur sud 1975 (1) et 1976 (2)
Date début	22/09/1975 (1) et 19/08/1976 (2)
Date fin	11/10/1975 (1) et 28/08/1976 (2)
Chef mission	A. Cressard
Navire	François"E" (1) ; Arguenon (2)
Opérateur	BRGM
Travaux	Sismique (1) ; carottage (2)
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	(1) Carte bathymétrique pertuis charentais zone I (carte, réf rapport : 76 SGN 173 MAR) (2) Pertuis charentais : localisation des sondages zone sud (réf carte: SGN/MAR août 1976 ; réf. rapport 76 SGN 431 MAR)
Date rapport	avril 1976 (1) et septembre 1976 (2)
Maître ouvrage	CNEXO
Projection	Mercator-ED 50-N 46°10'
Échelle	1/25 375
Système navigation	Toran
Nombre profils	39
Distance cumulée	302 km
Outil	Boomer 500 et 1 000 Joules, Uniboom 500 Joules
Nombre carottages	27
Longueur cumulée	143 m
Outil	Vibro-carottier

Tableau 2-40 : Descriptif des campagnes du secteur sud des pertuis charentais (1974 et 1975).

2.2.2.1.4. Campagnes Gironde (1978 et 1979)

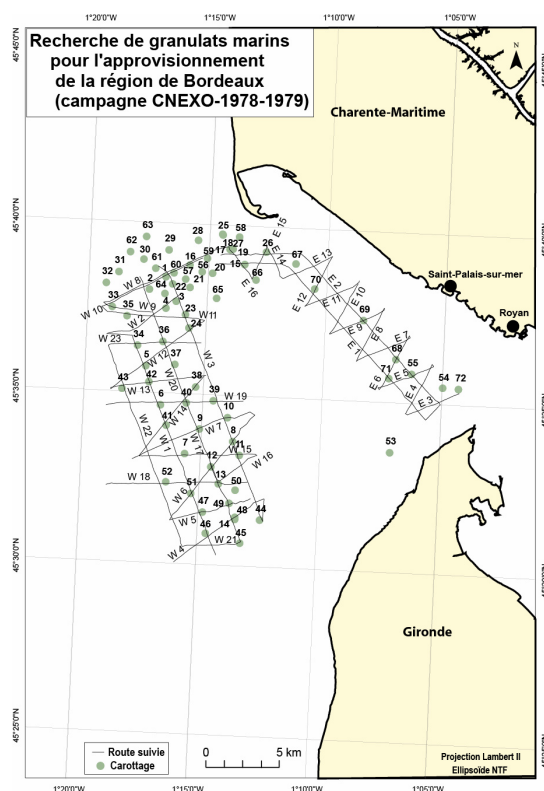


Figure 2-41 : Travaux réalisés lors des campagnes de recherche de granulats marins au large de la Gironde (1978-1979).

Campagne	Gironde 1978 (1) et 1979 (2)
Date début	31/07/1978 et 11/06/1979
Date fin	11/08/1978 et 23/06/1979
Chef mission	A. Cressard
Navire	Gardour (1) ; Don Pancho (2)
Opérateur	BRGM
Travaux	Sismique (1) ; carottage (2)
Localisation	Département Géosciences marines
Référence	(1) Localisation des profils sismiques au large de la Gironde (carte, réf rapport : 78 SGN 574 GPH) (2) Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région de Bordeaux (carte, réf. rapport : 79 SGN442 MAR)
Date rapport	octobre 1978 (1) et 1979 (2)
Maître ouvrage	CNEXO
Projection	Lambert 2-NTF
Échelle	1/20 000
Système navigation	Toran
Nombre profils	51
Distance cumulée	231 km
Outil	Boomer 500 et 1 000 Joules
Nombre carottages	72
Longueur cumulée	255 m
Outil	Vibro-carottier

Tableau 2-42 : Descriptif des campagnes de recherche de granulats marins au large de la Gironde (1978-1979).

2.2.2.2. État de l'archivage

Un inventaire des archives a été mené parallèlement à l'analyse des informations disponibles. Il a été procédé à une vérification de leur disponibilité (lieu de stockage et accessibilité), de leur état de conservation (qualité de la donnée) ainsi que la complétude ou l'incomplétude du jeu de données, et éventuellement les conditions de leur remise en état (tableaux 2-43 et 2-44). Dans un second temps, leur archivage (étiquetage, intégration à la base de données de la sismothèque du département Géosciences marines) a été réalisé afin de faciliter leur récupération et leur consultation futures.

2.2.2.2.1. Enregistrements de sismique réflexion (sismogrammes)

Campagne	Date	Nombre de profils	Archive (en % du nombre total de sismogrammes)
Sud Bretagne	1973	31	97
Saint-Nazaire	1974	27	100
Pertuis charentais	Zone II (nord)	13	100
	Zone I (sud)		
Gironde	1978	39	97,5

Tableau 2-43 : Enregistrements de sismique archivés.

Ces enregistrements sont archivés dans la sismothèque du département Géosciences marines de l'Ifremer à Brest.

2.2.2.2.2. Carottes

Seules les carottes dans les sédiments meubles sont prises en compte.

Campagne	Date	Nombre de carottages	Archivage des descriptions lithologiques	Archivage des fiches d'analyses granulométriques	Archivage carottes (lithothèque)	Archivage échantillons (lithothèque)
			En % de l'information totale			
Saint-Nazaire	1975	20	100	100	0	0
Pertuis charentais	Zone II (nord)	20	100	100	0	70
	Zone I (sud)					
Gironde	1979	72	92	92	0	94

Tableau 2-44 : Carottes archivées.

Ces échantillons sont archivés dans la lithothèque du département Géosciences marines de l'Ifremer à Brest.

2.2.2.2.3. Bilan

Les principales informations concernant les travaux des campagnes de l'inventaire national des granulats marins sont :

Campagne	Date	Travaux (Outils)	Nombre de profils	Distance cumulée (en km)	Nombre de carottages	Longueur cumulée (en m)	Archivage des profils sismiques (en %)	Archivage des carottes (en %)	
								Description	Échantillon
Sud Bretagne	1973	Sismique (Étinceleur-300J)	31	895			97		
Saint-Nazaire	1974	Sismique (Étinceleur-200J)	27	273			100		
Saint-Nazaire	1975	Carottage (vibro-carottier)			20	97		100	0
Pertuis charentais	Zone nord (II)	Sismique réflexion continue (Uniboom EG-G 500J, Boomer 500-1000 J, voire Étinceleur)	13	93			100		
	Zone sud (I)		39	302			56		
Pertuis charentais	Zone nord (II)	Carottage (Vibro-carottier)			20	103		100	70
	Zone sud (I)				27	143		89	79
Gironde	1978	Sismique réflexion continue (Boomer 500-1000 J, Sparker 1000 J et Somahr 300 J)	39	231			97,5		
Gironde	1979	Carottage (Vibro-carottier)			72	255		92	94
Total			149	1794	139	598			

Tableau 2-45 : Bilan des travaux de l'inventaire national des granulats marins pour la façade « Loire-Gironde ».

Les géodésies propres à chacune des cartes des positionnement des travaux des différentes campagnes (tableau 2-46) ont dans un premier temps été conservées, puis ont été homogénéisées, pour être géoréférencés en WGS84.

Campagne	Année	Géodésie	Échelle
Sud Bretagne	1973	Lambert 2-NTF	1/100 000
Saint-Nazaire	1974	Lambert 2-NTF	1/25 000
Saint-Nazaire	1975	Lambert 2-NTF	1/25 000
Pertuis charentais (Zones nord et sud)	1975	Mercator-ED 50 N46°10'	1/25 375
Pertuis charentais (Zones nord et sud)	1976	Mercator-ED 50 N46°10'	1/25 375
Gironde	1978	Lambert 2-NTF	1/20 000
Gironde	1979	Lambert 2-NTF	1/20 000

Tableau 2-46 : Caractéristiques géodésiques des cartes des différentes campagnes.

2.2.2.3. Travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national des granulats marins

2.2.2.3.1. Saint-Nazaire

En plus des documents présentés ci-dessus, il existe un plan de positionnement habillé d'images des profils de sismique acquis lors de la campagne GÉOLOIRE, réalisée en 2003 à bord du navire « Thalia », par l'Université de Rennes en collaboration avec l'Ifremer et le BRGM (figure 2-56). Ce document a permis de valider les limites du paléo-chenal de la Loire ainsi que les valeurs d'épaisseur de sédiments identifiées par le CNEXO lors de la campagne de l'inventaire des granulats marins de 1973.

Il existe également une campagne de sismique très haute résolution (« Sparker » 50 -1000 Joules) GÉOVEND, réalisée en 2005 par l'Université de Rennes et le BRGM sur les secteurs de l'estuaire de la Loire ainsi qu'au large de la Vendée et des pertuis charentais. Seul un plan de localisation des travaux est disponible (figure 2-47).

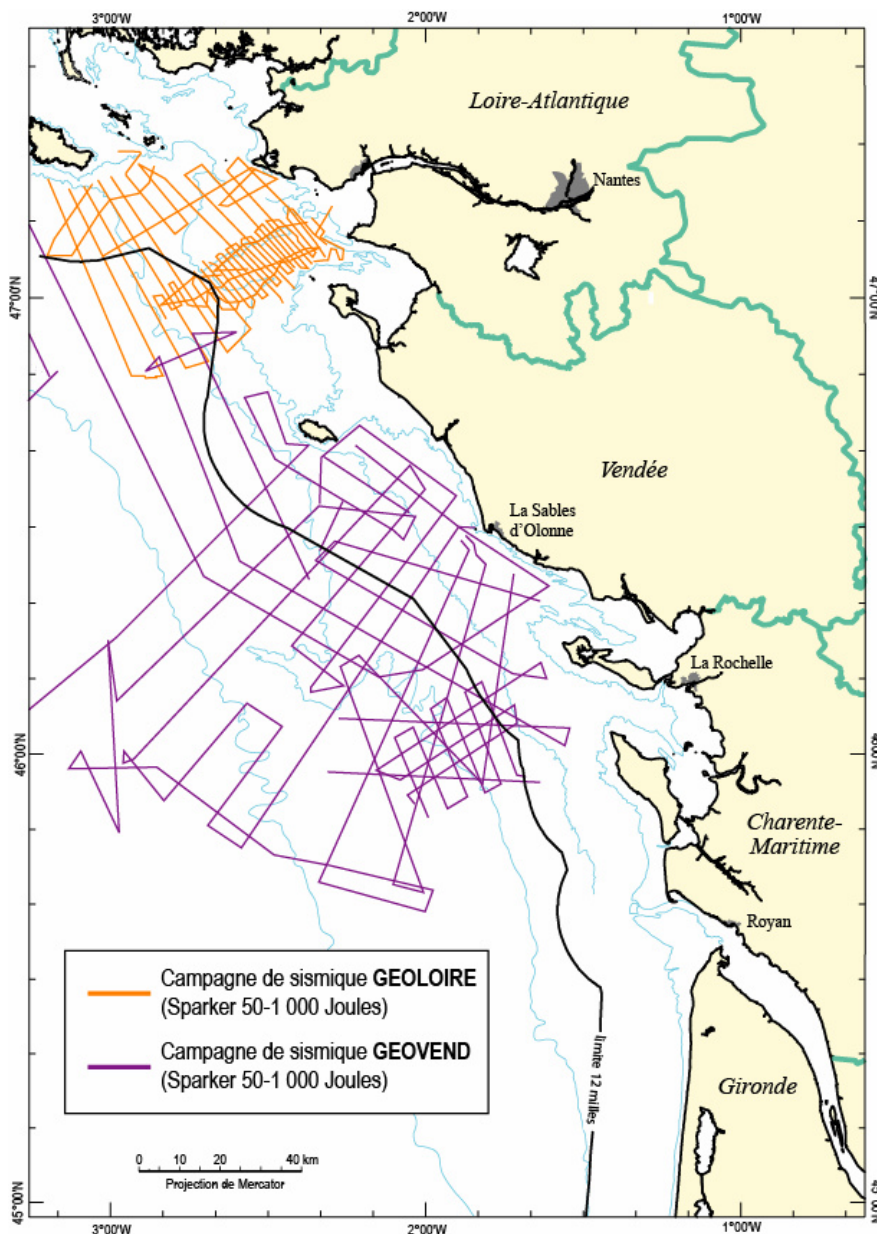


Figure 2-47 : Travaux réalisés lors des campagnes GÉOLOIRE et GÉOVEND.

2.2.2.3.2. Pertuis charentais

Une thèse intitulée : « Morphologie, architecture des dépôts, évolution séculaire et millénaire du littoral charentais : Apport de la sismique réflexion combinée à des suivis bathymétriques et validée par des vibro-carottages » a été soutenue à l'Université de la Rochelle, en collaboration avec le SHOM (Weber, 2004). La thèse s'appuie sur plusieurs campagnes de sismiques et une campagne de carottage pour étudier dans le détail les pertuis charentais (figure 2-48 et tableau 2-49).

Pour l'objectif de la présente étude, cette thèse fournit une carte des épaisseurs des sédiments remblayant les paléo-réseaux fluviaux, construite à partir des données sismiques. Elle constitue un élément de comparaison et un complément d'information par rapport à la carte des épaisseurs des sédiments éditée lors de l'inventaire national des granulats marins par le CNEXO.

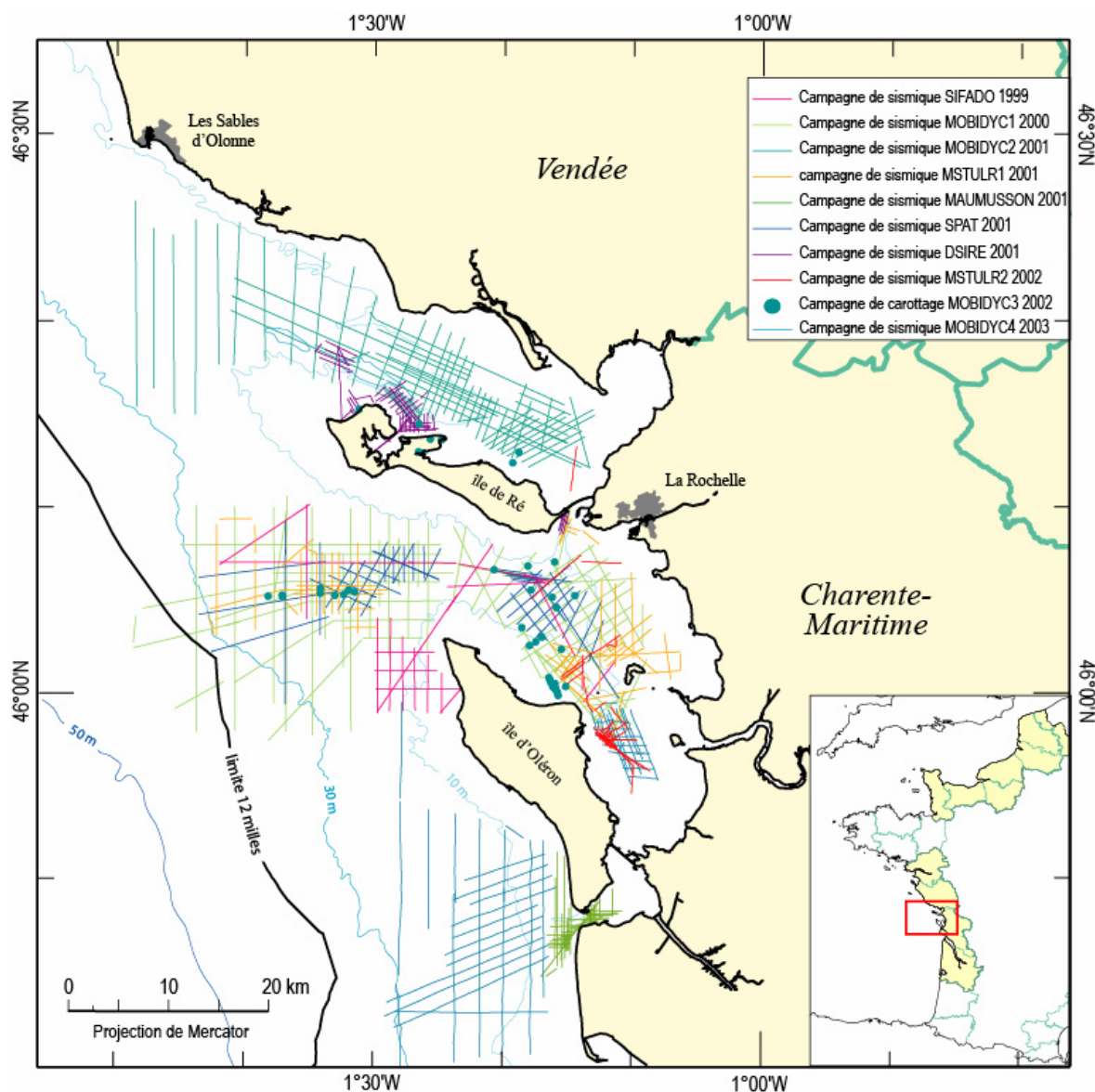


Figure 2-48 : Travaux de sismique et de carottage réalisés par l'Université de la Rochelle et le SHOM (Weber, 2004).

Campagne	Date	Navire	Travaux
MHA98	1998	BH2 Borda (SHOM)	Sonar à balayage latéral
SIFADO	1999	Deux Mouettes (DDE Charente-Maritime)	Sismique
MOBIDYC1	2000	Côte d'Aquitaine	Sismique
MOBIDYC2	2001	Côte d'Aquitaine	Sismique
MSTULR1	2001	Côte d'Aquitaine	Sismique
MAUMUSSON	2001	Deux Mouettes (DDE Charente-Maritime)	Sismique
DSIRÉ	2001	Deux Mouettes (DDE Charente-Maritime)	Sismique
SPAT	2001	BH2 Borda (SHOM)	Sismique et Sonar à balayage latéral
MOBIDYC3	2002	Côte de la Manche	Carottage
MSTULR2	2002	Côte d'Aquitaine	Sismique
MOBIDYC4	2003	Côte d'Aquitaine	Sismique
MSTULR3	2003	Côte d'Aquitaine	Sismique

Tableau 2-49 : Récapitulatif des campagnes menées par l'Université de la Rochelle et le SHOM (transmis par Weber).

Un article publié dans *Marine Geology* en 2004 (Weber *et al.*, 2004) renseigne sur l'architecture et la morphologie de la partie externe de la paléo-vallée de la Charente qui s'est mise en place dans un environnement dominé par la houle et la marée.

A partir des données sismiques « haute résolution », cette étude a montré l'existence d'une cyclicité des dépôts en mettant en évidence plusieurs unités sismiques successives, caractérisées par des faciès sédimentaires particuliers propres à différents types d'environnement de dépôts (fluviaux, estuariens et marins).

2.2.2.3.3. Embouchure de la Gironde

Des articles, visant à prouver et confirmer l'existence d'une rythmicité dans les dépôts des sédiments de l'estuaire de la Gironde en mettant en évidence une séquence type de dépôts, ont été publiés entre 1991 et 1994 (Allen G.-P., 1991 ; Allen G.-P. et Posamentier H.-W., 1993 ; Allen G.-P. et Posamentier H.-W., 1994). Les travaux de Lericolais (Lericolais *et al.*, 1998 ; Lericolais *et al.*, 2001), à l'embouchure et au large de la Gironde, s'appuient sur deux campagnes océanographiques PLABAS (1994) et PLACETA (1995) (figure 2-50).

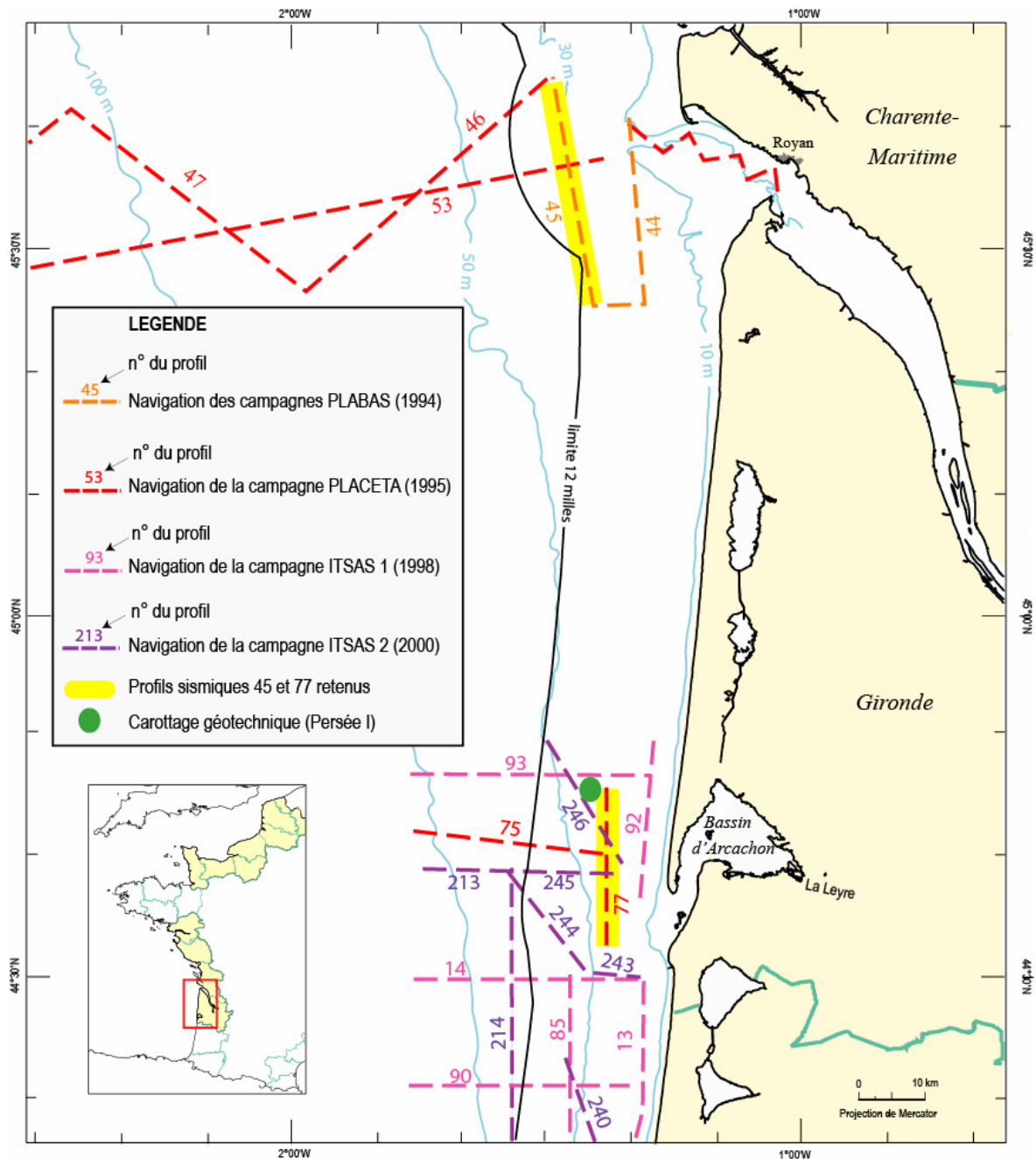


Figure 2-50 : Travaux réalisés lors des campagnes PLABAS, PLACETA et ITSAS.

2.2.2.3.4. Large du bassin d'Arcachon

Un article (Féniès et Lericolais, 2005), s'appuyant sur les données des campagnes de l'Ifremer, PLACETA et de l'Université de Bordeaux I, ITSAS 1 et ITSAS 2 (figure 2-50), décrit l'architecture interne de la paléo-vallée de la Leyre formée dans un environnement hydrodynamique dominé par l'énergie de la houle et des courants de marée.

2.2.2.4. Consultation de document inédit et/ou confidentiel

Un mémoire de Master « Génie Géologique, Génie Civil », a été présenté en 2004 à l'Université de Bordeaux I, pour le compte du CETE Aquitaine (Piednoir, 2004). Il donne une synthèse de la situation nationale des matériaux marins et dresse un bilan sur le potentiel en granulats marins de la région Aquitaine (Piednoir, 2004). Ce document n'apporte pas d'éléments nouveaux dans le cadre de cette étude.

3. Principaux résultats des campagnes

3.1. Façade « Manche-Est »

3.1.1. Résultats des campagnes de l'inventaire national des granulats marins

3.1.1.1. **Manche centrale et orientale (1969)**

La campagne de reconnaissance de la Manche centrale et orientale (1969) n'est pas une campagne spécifique de prospection de granulats car elle n'a pas visé à déterminer des ressources. Il s'agit d'une reconnaissance générale qui a fourni 3 159 km de profils sismiques (1 770 km pour la partie orientale de la Manche et 1 389 km pour la partie centrale), 213 m de carottes réalisées par vibrofonçage et 500 échantillons de roches, positionnés grâce au système de radionavigation DECCA (cartes « Travaux réalisés » hors texte et descriptions des carottes en annexe).

Les résultats de cette reconnaissance mettent en évidence deux structures :

- un réseau de paléo-vallées plus ou moins remblayées (cours fossiles de la Seine, de la Somme,...) beaucoup plus développé à l'Ouest qu'à l'Est et dont le creusement atteint localement 120 m (au large du cap Gris-Nez). Il s'écoulait pour la partie occidentale de l'étude, d'Est en Ouest, conformément à la pente actuelle du fond de la Manche ; et pour la zone orientale, du Sud-Ouest vers le Nord-Est, en direction de la mer du Nord ;
- de nombreux bancs sableux, se surimposant au paléo-réseau fluvial, façonnés lors de la transgression flandrienne, et probablement encore remaniés actuellement lors de fortes tempêtes. On les rencontre essentiellement en Manche orientale et sont quasi inexistantes à l'Ouest, hormis les bancs de sable des îles Saint Marcouf et les formations dunaires de la baie de Seine.

Cette étude, qui ne vise pas directement une recherche de matériaux marins, a le mérite de fournir de nombreuses données sismiques et lithologiques, un préalable à toutes les campagnes de prospection de granulats qui ont suivi.

La zone des Gravelines, située au large de Dunkerque, a été explorée selon un maillage plus serré de 18 profils de sismique réflexion type « Sparker » (deux parallèles à la côte et seize perpendiculairement totalisant une longueur de 237 km) enregistrés lors de la campagne de reconnaissance de la Manche centrale et orientale de 1969. Les données de cette prospection venaient compléter des informations recueillies lors de deux missions antérieures en mars 1966 au large de Calais et en janvier 1968 au droit de Dunkerque pour l'aménagement d'un chenal portuaire. Cette étude met en évidence :

- des bancs (le Ruytingen et le Dyck oriental qui se prolonge à l'Ouest par les ridens de Calais) de sable assez grossier, orientés parallèlement à la côte et dont les flancs sud-est sont plus abrupts que les flancs nord. Ils sont issus du démantèlement et du remaniement d'anciennes plages, actuellement immergées ;
- deux petites paléo-vallées, profondes de 5 à 7 m à rattacher à des anciens cours du fleuve Aa ; l'une s'écoulait parallèlement à la côte selon une direction Ouest-Sud-Ouest/Est-Nord-Est et l'autre vers le Nord.

La trop faible entaille des paléo-chenaux du fleuve Aa, qui devait drainer la mer du Nord en s'écoulant de préférence vers le Nord, n'a pas permis le dépôt, en grande quantité, de sédiments pouvant constituer une ressource. Les gisements potentiels devraient se localiser, très au large, en dehors de la ZEE française.

3.1.1.2. Boulogne-sur-mer et Wissant (1971)

La campagne à la mer de recherche de graviers au large de Boulogne-sur-mer et Wissant a eu pour but de prouver la possibilité d'une exploitation industrielle dans ce secteur. Les missions en mer de février et mars 1971 ont permis de recueillir des données de sismique légère et continue à faible pénétration type « Sparker » (étinceleur) avec une maille de l'ordre du kilomètre devant Boulogne-sur-mer et du kilomètre et demi au large de Wissant. Des données lithologiques ont également été récoltées grâce au carottier gravitaire mis à disposition par le CNEXO et à une drague Rallier du Baty équipée d'un double filet à mailles de 0,5 cm. Ce sont donc 31 prélèvements de sédiments, 10 de substratum rocheux et plus de 60 traits de drague (dont 40 ont ramené des quantités variables de galets) qui ont complété les données. Les différents travaux ont été localisés avec le système de radionavigation TORAN X donnant une position avec une précision théorique de 6 m, et assurée à 20 m près.

Les ressources mises à jour dans le secteur de Boulogne-sur-mer correspondent aux cordons littoraux, aux dunes hydrauliques ou « ridens » ainsi qu'aux terrasses fluviatiles présentant de nombreux galets de silex anguleux. Les bancs (la Bassure de Baas et le Vergoyer), orientés Nord-Sud et posés à plat sur les calcaires jurassiques sont constitués de sable fin et de coquilles ; ils ne présentaient donc pas d'intérêt dans le cadre d'une recherche de sables et graviers siliceux. Les anciennes terrasses fluviatiles constituent la ressource principale du secteur, leur profondeur est comprise entre 20 m au Sud de la zone d'étude et 45 m au Nord, et leur épaisseur, plus ou moins continue, est estimée entre 0 et 10 m. Les dragages effectués dans cette zone ont presque tous récoltés des galets de silex très anguleux. Cette terrasse complexe à structure méandrique occupe une superficie de 6 millions de m². Enfin, entre les bancs du Vergoyer et de la Bassure de Baas, s'étend une plaine entaillée par plusieurs paléo-vallées orientées Est-Ouest et probablement issues des anciens cours de la Canche et de l'Authie.

Au large de Wissant et du cap Blanc Nez, les ressources mises à jour correspondent à une dune orientée Nord-Est/Sud-Ouest et constituée de sables vaseux et de coquilles mortes, qui ne présente pas d'intérêt dans le cadre d'une exploitation de granulats. D'autres formes de dépôts ont été observées :

- la couverture sédimentaire, constituée de galets de silex assez peu usés surmontés de quelques centimètres de sables coquilliers fins actuels couvre une grande surface (cette formation a été observée sur l'ensemble des dragages et carottages). D'une épaisseur inférieure ou égale au mètre, son exploitation industrielle en tant que gisement reste assez aléatoire.
- la paléo-vallée, parallèle à la côte et s'ouvrant à l'Ouest, entaille les fonds d'une vingtaine de mètres. Cependant les dépôts fluviatiles d'origine ont été déblayés sous l'action des courants marins.
- le « comblement glaciaire », entaillant le substratum sur au moins 50 m de profondeur, doit se rattacher à un réseau hydrographique fossile situé plus à l'Est et découvert lors d'une prospection pour le tunnel sous la Manche. Le

remplissage de cette vallée est constitué de sables fins alternant avec des intercalations de tourbe et ne présente donc pas d'intérêt dans le cadre d'une exploitation de matériaux.

3.1.1.3. Baie de Seine et Manche orientale (1972)

Le bureau d'étude BEICIP-GÉOTECHNIP a réalisé une étude portée sur la « Recherche d'agrégats marins en baie de Seine ». Cette prospection s'est appuyée sur les données acquises lors de la campagne géophysique de mai 1972 et de la mission de carottages, réalisée par Alluvial Mining, en août 1972. Ces données ont été positionnées avec les systèmes de radionavigation DECCA et TORAN avec une précision de « l'ordre de la dizaine de mètres ». 706 km de sismogrammes (avec une équidistance des profils de 2 km), 84 points de carottages réalisés grâce à l'AMdrill et de longueur variant entre 0,3 et 6,7 m ainsi que six dragages correspondent aux données récoltées en 1972.

Les données et résultats de précédentes campagnes effectuées par le Port Autonome du Havre avaient permis de préparer la nouvelle exploration mais avaient aussi fourni des informations complémentaires :

- 36 stations par électro-carottage et vibrofonçage ainsi que des sismogrammes datant de la campagne de janvier à mars 1967 réalisée lors des travaux d'approfondissement du chenal d'accès ;
- 9 forages sur le site du Parfond datant de 1969.

Il résulte de cette analyse que les ressources se composent de sables grossiers, graviers et galets fluviaux dans le remplissage des paléo-vallées et de sables fins gris et micacés (de plus en plus fins en se rapprochant de l'estuaire) constituant les dunes (banc de Seine). La profondeur d'eau varie de 0 à 25 m au niveau de la terrasse nord pour une épaisseur de sédiment comprise entre 0 et 27 m avec une moyenne de 12 m. La terrasse sud (zone du Parfond) se situe sous 25 à 35 m d'eau et un forage a rencontré 9,3 m de galets et graviers. La profondeur de cette dernière zone était à l'époque du rapport (1972) trop importante, une exploitation avait alors été exclue en raison de l'incapacité des navires à extraire à des profondeurs excédant 25 m.

Les conclusions du rapport évaluent les ressources disponibles, pour la terrasse ancienne d'une superficie d'environ 175 km² et située au Nord de la baie de Seine, à 1 700 millions de m³ jusqu'à 25 m de profondeur, limite de la prospection.

La recherche de sables et graviers en Manche orientale s'est appuyée sur les informations fournies par 911 km de sismogrammes réalisés lors d'une campagne à la mer en mai 1972 (équidistance entre les profils perpendiculaires à la côte de 2 km) et positionnés avec le système de radionavigation TORAN donnant une précision de « l'ordre de la dizaine de mètres ». 764 km de profils sismiques issus de la campagne de reconnaissance de la Manche centrale et orientale de 1969 et positionnés avec le système DECCA viennent compléter les données. Ils ont pu être intégrés au maillage TORAN, plus précis, de la mission de 1972 même si la comparaison des croisements montre un décalage pouvant atteindre 400 m. A ces données géophysiques ont été ajoutées, d'une part les forages de 1969 (23 stations correspondant au vibrofonçage et environ 110 points de prélèvements du carottier à roche Stetson Hill) et d'autre part, les données récoltées par Alluvial Mining en août 1972. Elles comportent 71 carottages de

type AMdril : 12 réalisés entre Fécamp et Dieppe (zone A) et positionnés grâce au système de radionavigation DECCA et 58 entre Dieppe et Etaples (zone B), dont 19 au Sud-Ouest de cette zone pour l'investigation des anciennes terrasses de la vallée de la Somme, et positionnés avec le système TORAN. Les longueurs des carottes varient de 0,3 à 5,4 m.

Les sédiments observés sur la zone A montrent des sables très grossiers avec un fort pourcentage de coquilles, des graves et cailloutis calcaires ou à silex, ainsi que quelques graviers de roches ignées.

La zone B présente des grès tertiaires marrons et gris avec de nombreux débris coquilliers de lamellibranches, des silex bleus noirs et quelques poches de graviers et de sables.

La profondeur d'eau varie de 22 à 30 m sur la zone A et de 24 à 30,5 m pour la zone B.

L'analyse des sismogrammes identifie deux types de ressource : les dunes sous-marines (« ridens ») et les remblayages de paléo-vallées.

En recoupant les informations géophysiques et lithologiques, des estimations de volume des ressources disponibles ont pu être effectuées pour trois zones d'intérêt totalisant 2 525 millions de m³ :

- 225 millions de m³ entre le plateau de Vergoyer et la Bassure de Baas ;
- 1 330 millions de m³ pour les terrasses de la vallée du Lobourg ;
- et 970 millions de m³ pour la grande vallée de Dieppe.

Cependant si le volume des ressources peut être évalué d'une manière approchée, la nature des matériaux reste bien moins connue en raison de la faible pénétration de l'AMdril et de la récupération d'échantillons remaniés.

3.1.1.4. Baie de Seine (1976)

Les données relatives à cette campagne de carottage, réalisée en septembre 1976 par le CNEXO, à bord au navire « l'Arguenon », n'ont pas fait l'objet d'un rapport de synthèse. Les logs descriptifs, les photographies, ainsi que les fiches d'analyses granulométriques des 27 stations de prélèvements ont simplement été archivés.

L'étude des échantillons prélevés montre une tendance grossière voire très grossière ; ils sont majoritairement constitués de sables et/ou de graviers. Ils apparaissent également assez hétérogènes, les sédiments étant mal classés, comme l'attestent les analyses granulométriques réalisées et la présence de galets. De plus ces sédiments siliceux contiennent de nombreuses coquilles ou débris coquilliers.

3.1.2. Campagne « hors inventaire » : GRANOR (1984-1985)

3.1.2.1. Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais : étude bibliographique (1984)

Ce document correspond à l'étape préliminaire d'un projet, dont le CNEXO avait été chargé afin d'effectuer une recherche de matériaux marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais. Ce rapport correspond à un état des lieux des connaissances acquises sur la région lors des précédentes prospections (CNEXO 1969, CNEXO 1971, Alluvial Mining 1972), auxquelles s'ajoutent les données et résultats obtenus lors d'une campagne de cartographie de l'Ifremer. Cette campagne s'est déroulée du 3 au 7 juillet 1983, à bord du navire « Thalia », au moyen du sonar à balayage latéral (185 km de profils) et de l'échantillonnage grâce à la benne Hamon. La navigation a été effectuée grâce au système SYLEDIS et le cadre géographique de cette recherche a été limité par les frontières administratives de la région ainsi que le rail de navigation allant vers le Nord.

Trois principaux secteurs : Calais, Wissant et Boulogne-sur-mer, ont été reconnus.

Au Nord, de Calais l'étude a permis de connaître les limites morphologiques exactes des bancs ainsi que la nature de leurs constituants. Le banc Out Ruytingen est constitué d'un sable grossier fortement coquillier et d'aspect homogène alors que le banc Dyck oriental se présente comme un mélange de sables et graviers coquilliers. Ces constituants offrent un intérêt dans la mesure où la partie siliceuse montre une granulométrie étalée mais leur forte teneur en coquilles les rend difficilement utilisables sans traitement approprié.

La baie de Wissant montre deux systèmes sédimentaires. On observe sur le premier, à la fois des bancs, des dunes et des rubans. Le second se compose de quelques dunes isolées mise en place sur une plaine recouverte de cailloutis. Elles ont fait l'objet d'extractions entre 1973 et 1981 et les résultats d'analyse des granulats par les entreprises ayant exploité dans ce secteur indiquent que les matériaux se composent de :

- 34% de sable 0/5,
- 22% de graviers 5/20,
- 44% de cailloutis 20/D
- la teneur en coquilles n'excédant pas 30% et les rapports industriels stipulant que la fraction 5/D constitue un excellent granulats à béton.

Enfin, les bancs du secteur situé à l'Ouest de Boulogne-sur-mer sont constitués de sable siliceux fin, qui peut s'avérer très intéressant pour le secteur du bâtiment et des travaux publics (remblaiement), ainsi que de sables grossiers graveleux trop hétérogènes pour une utilisation sans traitement poussé.

L'analyse des données de carottage issues de ces différentes missions (1969, 1971, 1972) montre qu'il existe trois grandes familles de matériaux dont la répartition relative est la suivante :

- sables siliceux et sables marins coquilliers : 70% ;
- graviers : 15% ;
- limons : 5% ;
- argiles : 10%.

3.1.2.2. Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais (1986)

La comparaison des informations présentées dans la précédente synthèse bibliographique avec les contraintes d'ordre administratif, technique, maritime et économique limitant les zones d'extraction et donc de prospection a ainsi permis de déterminer des sites préférentiels pour une étude plus détaillée (campagnes GRANOR).

Les résultats figurent dans le rapport Ifremer, « Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais (1986) » qui regroupe les informations et résultats de la précédente étude et celles fournies par les campagnes GRANOR.

Les travaux réalisés lors des missions GRANOR ont permis d'obtenir 947 km de profils sismiques (sismique réflexion et sonar à balayage latéral), enregistrés lors d'une campagne à la mer en avril 1984 à bord du « Pelagia », de récupérer 42 prélèvements (70 m de sédiments récoltés) ainsi que 796 km de profils de sonar à balayage latéral et de bathymétrie lors d'une exploration effectuée en août 1985 à bord du « Cryos ». Ces travaux ont été positionnés avec le système SYLEDIS.

Cette étude avait pour objet la recherche et la mise en évidence de sites exploitables de granulats marins en tenant compte de différentes contraintes que sont les restrictions géographiques (limites administratives de la région et présence d'un rail de navigation), économiques (proximité des ports et matériaux devant être directement utilisables et correspondre aux besoins du marché) et techniques (dragues limitant les profondeurs d'extractions).

Elle se présente en trois parties : (1) le cadre économique établissant un état des lieux de la production régionale, de l'approvisionnement de la région et de la situation du marché ; (2) le cadre géologique présentant une histoire récente du Pas-de-Calais ainsi qu'une description de la morphologie et de la nature des fonds ; et (3) les résultats de la reconnaissance géophysique, de la reconnaissance par carottage et enfin une liste des sites sélectionnés pour une exploitation : le secteur de Boulogne-sur-mer ainsi que les extrémités des bancs Out Ruytingen et Dyck Occidental (tableau 3-1).

Site	Nature de l'accumulation	Surface (en km ²)	Sonde (en m)	Épaisseur estimée par la sismique réflexion (en m)	Épaisseur reconnue par carottage (en m)	Composition	Distance aux ports (en milles nautiques)
Boulogne-sur-mer	Épandage	3,2	26-40	4-8	2-4	Sable moyen et cailloutis	3,5 de Boulogne-sur-mer
Out Ruytingen	Banc	4,6	10-20	0-10	2	Sable grossier	11 de Calais et 14 de Dunkerque Ouest
Dyck occidental	Banc	2,2	15-20	0-10	1,4	Sable grossier graveleux	10,5 de Calais et 11 de Dunkerque Ouest

Tableau 3-1 : Caractéristiques des sites sélectionnés dans le Nord-Pas de Calais.

3.1.3. Récapitulatif des résultats des campagnes de l'inventaire national des granulats marins

L'ensemble des campagnes de l'inventaire national des granulats marins et de GRANOR (figures 3-2, 3-3 et cartes « Travaux réalisés » hors texte) a permis de mettre à jour des secteurs à fort potentiel (tableau 3-4).

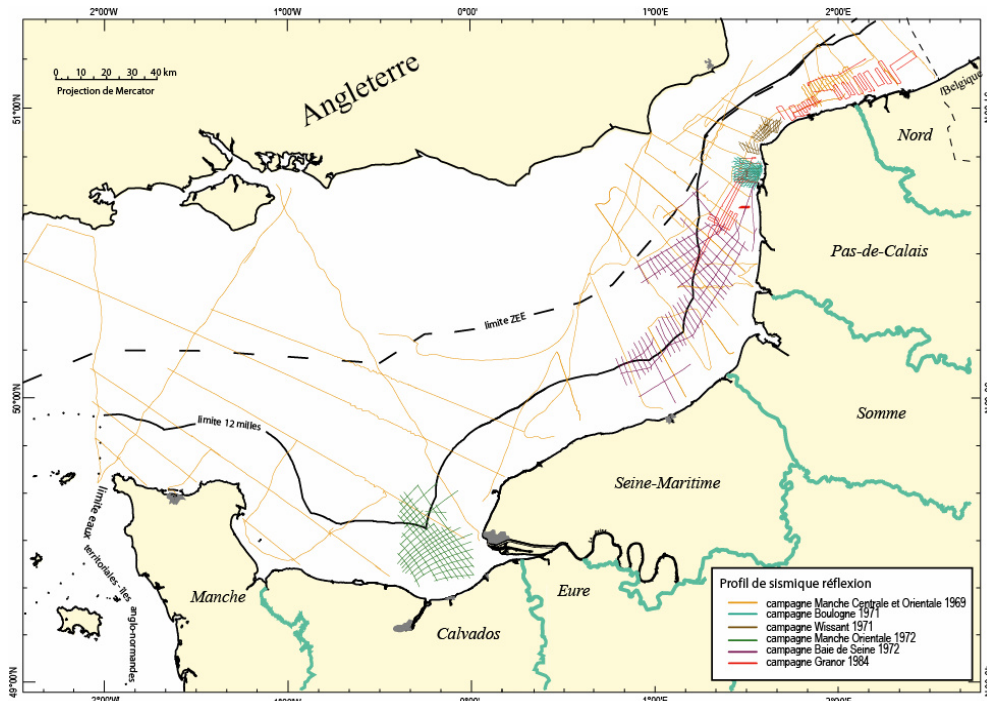


Figure 3-2 : Situation des campagnes de sismique réflexion réalisées lors de l'inventaire national des granulats marins et de GRANOR.

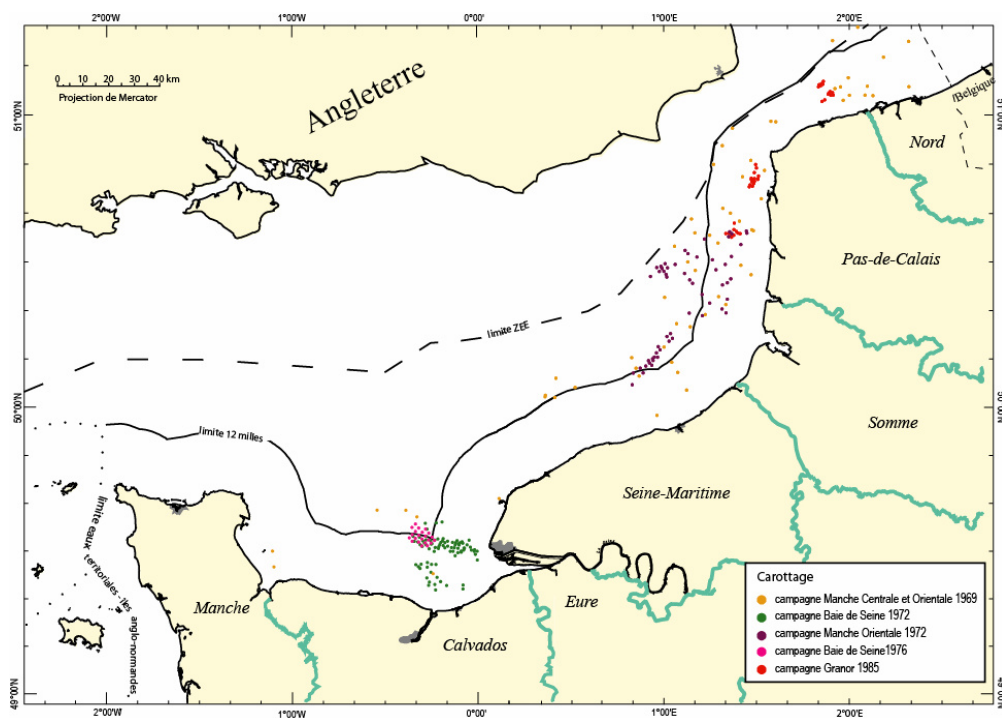


Figure 3-3 : Situation des carottes prélevées lors de l'inventaire national des granulats marins et de GRANOR.

Secteur	Année de la campagne	Type d'accumulation	Composition	Sonde (en m)	Superficie (en km ²)	Épaisseur (en m)	Volume (en millions de m ³)
Dunkerque	1969	Paléo-vallée				5 à 7	
Boulogne-sur-mer	1971	Terrasse fluviale	Sables à galets de silex	20 à 45	6	0 à 10	
		Ridens	Sables fins à coquilles				
Wissant	1971	Dunes littorales	Sables vaseux coquilliers				
		Épandage	Galets de silex surmontés de quelques centimètres de sables coquilliers fins			inférieure à 1	
Entre Fécamp et Dieppe	1972	Paléo-vallée	Graviers calcaires ou de silex, sables très grossiers très coquilliers	22 à 30			970
Entre Dieppe et Etaples	1972	Ridens et paléo-vallées	Grès à nombreux débris coquilliers, silex bleus noirs et quelques poches de graviers et de sables	24 à 30,5			1 555
Baie de Seine	1972	Dunes	Sables fins				
		Paléo-vallées	Sables grossiers, graviers et galets fluviaux	0 à 35	175	0 à 27 (12 en moyenne)	1 700
Boulogne-sur-mer	1984-85	Épandage	Sables moyens et cailloutis	26 à 40	3,2	4 à 8	
Calais	1984-85	Bancs sableux	Sables grossiers	10 à 20	4,6	0 à 10	
		Bancs sableux	Sables grossiers graveleux	15 à 20	2,2	0 à 10	

Tableau 3-4 : Bilan des résultats des campagnes de l'inventaire des granulats marins et de GRANOR.

3.1.4. Résultats des travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national

3.1.4.1. Paléo-vallées et bancs sableux de la Manche orientale (1982)

Une carte vient compléter, pour la Manche orientale, l'écorché géologique à l'échelle 1/1 000 000 publié en 1975 et la carte des sédiments superficiels à 1/500 000 publiée en 1980 (Auffret *et al.*, 1980). Ce document à l'échelle 1/500 000 présente un écorché géologique et la bathymétrie du toit du substratum ainsi qu'une carte des épaisseurs des nappes alluviales et bancs sableux précisée par un schéma morphologique. Une notice explicative intitulée « La Manche orientale » donne une description des différents documents cartographiques fournis.

Ces documents ont été établis à partir de tous les profils de sismique réflexion légère réalisés sur la région depuis 1969 au « Sparker » et au « Boomer », soit 13 000 km d'enregistrement, par différents organismes :

- le CNEXO : reconnaissance de la Manche centrale et orientale en 1969, 1970 ainsi que les campagnes de recherche de gisements de sables et graviers ;
- the University College of London : campagnes géologiques en Manche orientale de 1970 à 1978 ;
- l'Université de Caen et le BRGM : campagnes géologiques en Manche orientale en 1973, 1974, 1976.

La carte des épaisseurs des nappes alluviales et des bancs sableux constitue le document le plus utile dans le cadre d'une évaluation des ressources en granulats marins, puisqu'elle permet une visualisation cartographique des accumulations de sédiments.

La carte montre un important réseau de paléo-vallées incisant le fond de la Manche, recouvert, en baie de Seine et dans la partie orientale de la Manche (de Dieppe à Dunkerque), par de nombreux bancs sableux. A l'Est, se trouve la paléo-vallée du Lobourg en partie déblayée. Elle se ramifie au large de Dieppe en deux branches principales : la paléo-vallée centrale et la paléo-vallée médiane, auxquelles s'adjoignent la paléo-rivière de la Somme ; plus à l'Ouest on rencontre la paléo-Seine. Ces deux principaux systèmes de paléo-chenaux confluent au large de la presqu'île du Cotentin au niveau d'une dépression appelée fosse centrale.

Les informations morphologiques présentes sur la carte sont : les limites des glaciers pré-littoraux, les versants (ruptures de pente affectant la morphologie du fond), les berges du paléo-réseau fluvial ainsi que les fosses.

3.1.4.2. Sédiments superficiels au large du Nord-Pas de Calais (1995)

Les documents cartographiques : « Carte des sédiments superficiels au large de Boulogne-sur-mer » (1987), « Carte des sédiments superficiels au large de Calais-Dunkerque » (1989) et « Le domaine Nord-Pas de Calais : carte des formations superficielles » (1995) fournissent des informations précises sur les limites d'extension des bancs sableux ainsi que sur leurs constituants.

3.1.4.3. Thèse de G. Lericolais (1997)

Ce travail intitulé : « Évolution plio-quadernaire du fleuve Manche : stratigraphie et géomorphologie d'une plateforme continentale en régime péri-glaciaire » appuie ses résultats sur de nombreuses données sismiques enregistrées lors de plusieurs missions à la mer réalisées de 1991 à 1993 : SAMDI, SAMDISOIR, SÉDIMANCHE 1 et 2 (figure 2-27, page 40).

Elle s'inscrit dans un plus vaste projet : « SÉDIMANCHE » qui couvre l'étude de tout le système Manche, depuis la mer du Nord jusqu'à la marge celtique (figure 3-5).

Ces campagnes avaient pour but la reconnaissance géophysique et géomorphologique de la partie amont du « système Manche » par la réalisation de profils de bathymétrie-imagerie multi-faisceaux, de sonar à balayage latéral, de sismique très haute résolution et de carottages. Le système fluvial plio-quadernaire de la Manche est divisé selon (figure 3-5) :

- son bassin versant (I), constitué de la mer du Nord, de la Manche orientale, des bassins de Londres et de Paris ;
- une zone de transfert (II) commençant au Nord du Cotentin par la zone de confluence des paléo-vallées de la Manche centrale, et se poursuivant par la fosse centrale de la Manche ; le bassin versant ainsi que la zone de transfert correspondent à « la zone amont du système Manche » qui fait, en partie, l'objet de la présente étude ;
- une zone de dépôt (III), constituée par l'ensemble des bancs de la mer Celtique et du delta profond situé au pied des canyons de Shamrock et de Black-Mud.

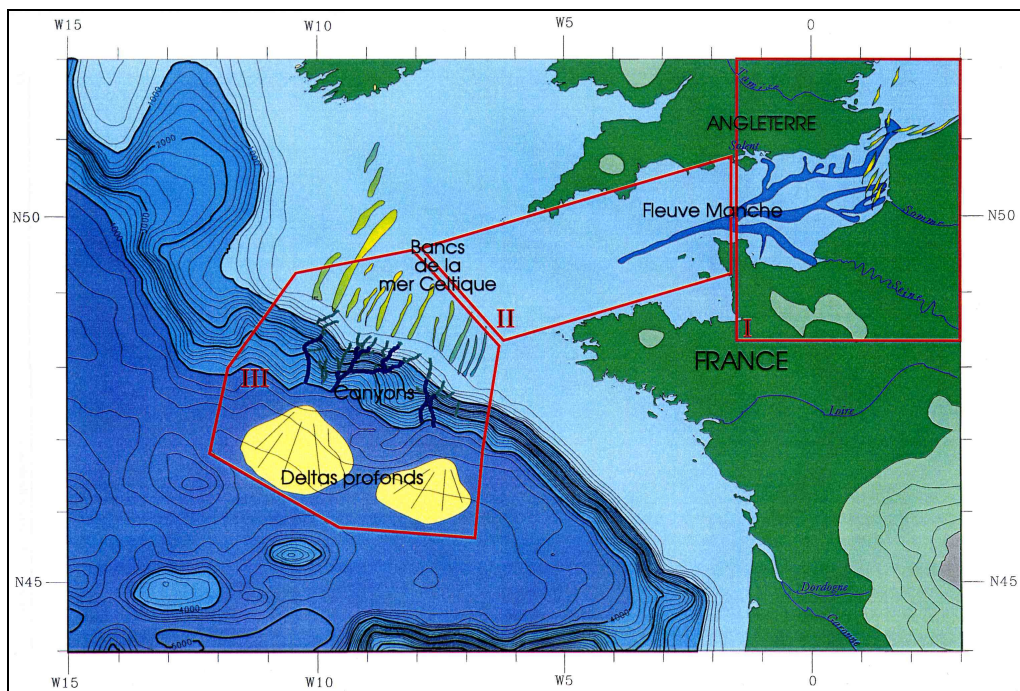


Figure 3-5 : Localisation du bassin versant (I), de la zone de transfert (II) et de la zone de dépôt (III) caractérisant le système fluvial plio-quaternaire de la Manche (Lericolais, 1997).

Le programme de recherche « SÉDIMANCHE » avait mis l'accent sur sept secteurs dans l'ensemble du « système Manche » (figure 3-6). Malgré leur faible extension géographique, trois secteurs, au Nord du Cotentin, s'avèrent très intéressants dans le cadre de cette étude : les zones « Samdi », « Levi » et « Confluent ».

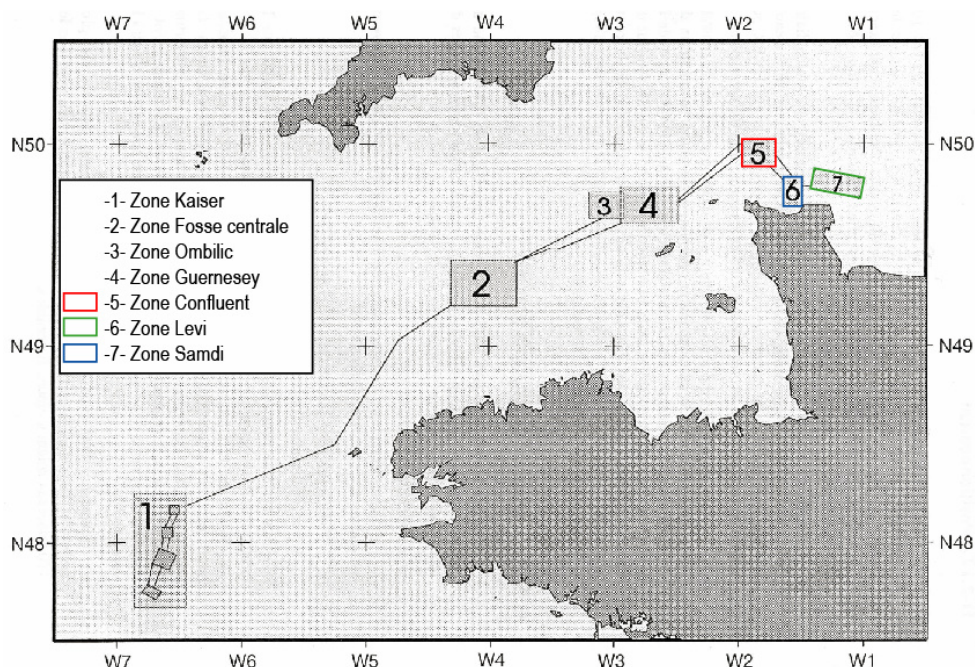


Figure 3-6 : Secteurs d'intérêt du programme SEDIMANCHE pour l'inventaire des ressources en matériaux marins.

Le réexamen des coupes sismiques des campagnes Manche centrale et orientale de 1969 et SÉDIMANCHE 2 de 1993 (figures 3-7 et 3-8), couplé à une comparaison avec

la carte des épaisseurs de sédiments des paléo-vallées et des bancs sableux de la Manche orientale (Auffret et Alduc, 1982) ont montré que :

- les limites d'extension des paléo-systèmes chenalisés figurées sur la carte de 1982 sont, d'une part conformes aux informations extraites des profils sismiques de la campagne de 1969, et d'autre part en accord avec les données des missions SAMDI (1992) et SÉDIMANCHE 2 (1993) pour la localisation et l'extension géographique du système de paléo-vallées et des bancs ;
- la très haute résolution des enregistrements de 1992 et 1993 permet une observation des incisions à des profondeurs supérieures que celles que permettaient les méthodes antérieures, de 1969 notamment. De ce fait, les épaisseurs du remplissage des paléo-vallées mises en évidence en 1969 sont très certainement sous-estimées.

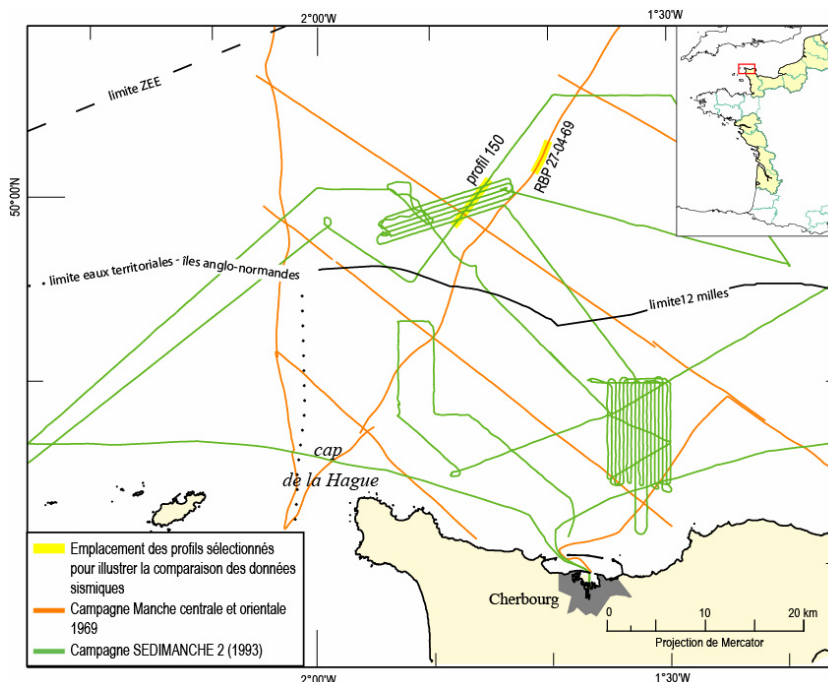


Figure 3-7 : Profils sélectionnés pour illustrer les différences existant entre les données sismiques de 1969 et 1993.

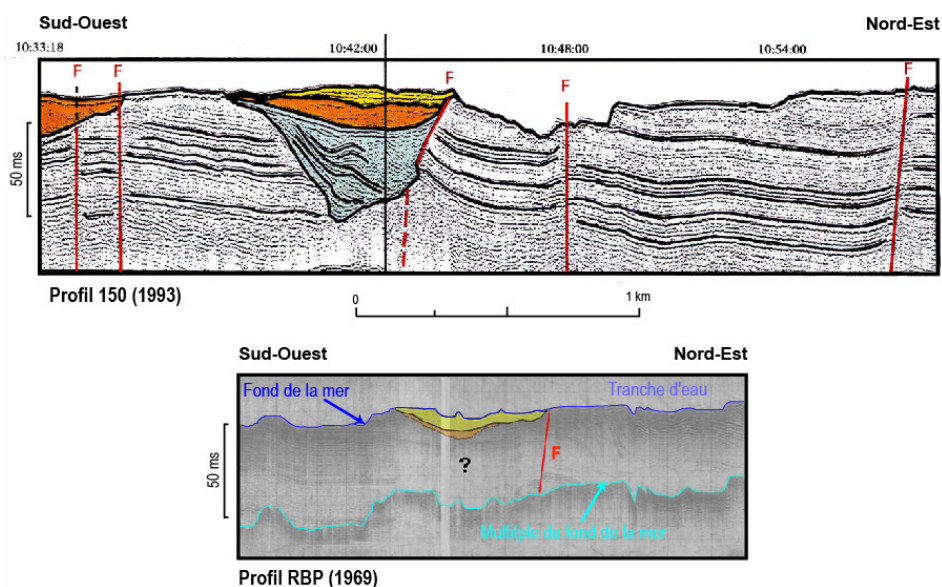


Figure 3-8 : Comparaison des sismogrammes enregistrés en 1993 (profil 150) et en 1969 (profil RBP) montrant les sous-estimations des épaisseurs.

3.2. Façade « Loire-Gironde »

3.2.1. Résultats des campagnes de l'inventaire national des granulats marins

Contrairement à la façade « Manche-Est » les surfaces des secteurs prospectés sur la façade « Loire-Gironde » sont restreintes (figure 3-9 et carte « Travaux réalisés » hors texte). Ces cibles bénéficient d'une forte densité de données et les informations tirées de leur étude, et fournies dans les rapports, sont plus précises.

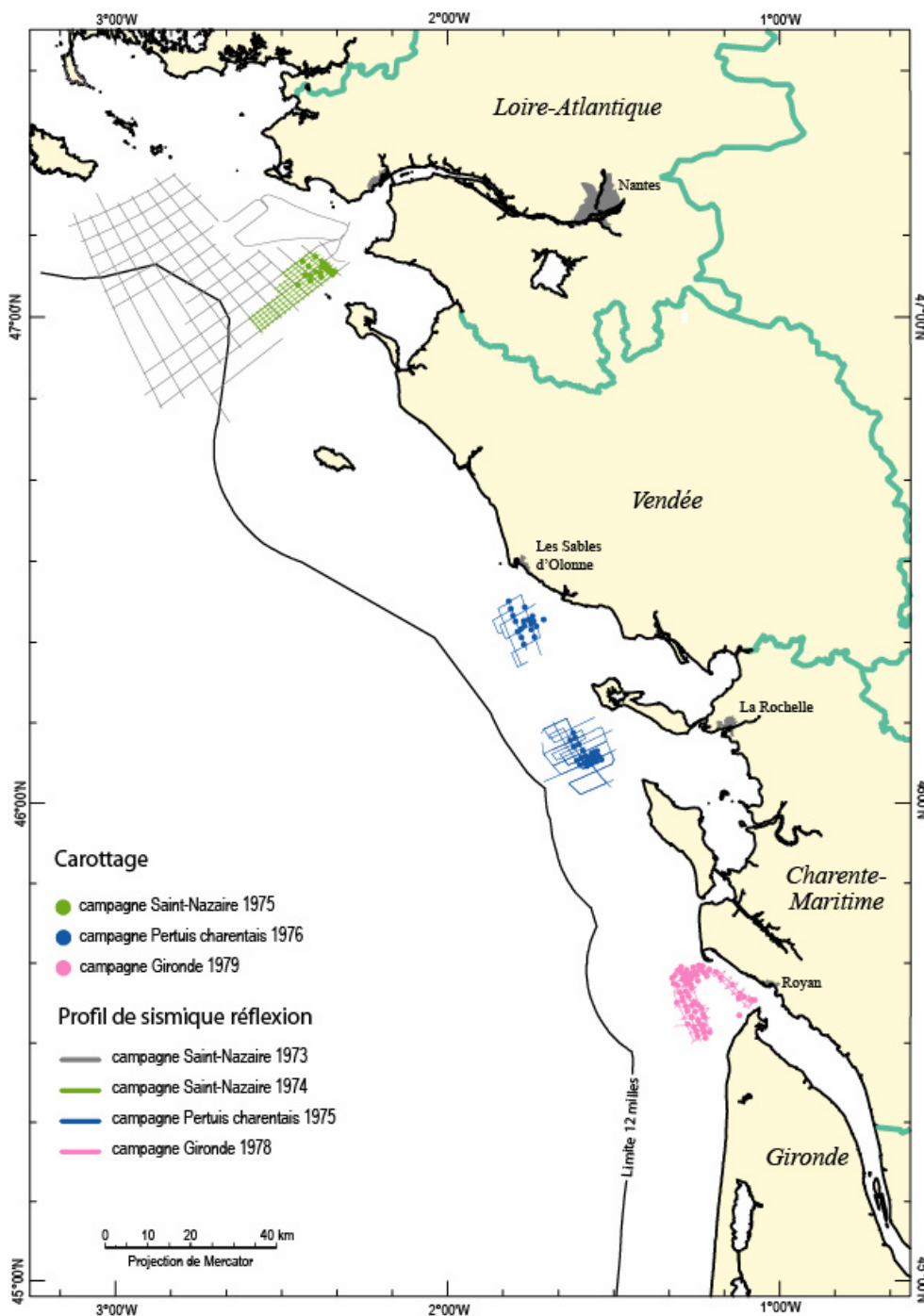


Figure 3-9 : Situation des campagnes réalisées lors de l'inventaire national des granulats marins.

3.2.1.1. Sud Bretagne (1973)

Au cours du mois de juillet 1973 ont démarré les campagnes de prospection du secteur « Sud Bretagne » qui regroupe trois sites d'étude : Lorient, Taillefer et Saint-Nazaire ; seul le dernier site intéresse la présente étude. Le BEICIP, opérateur de la mission, assurait la rédaction du rapport de synthèse, objet d'une convention avec le CNEXO (73/767) et intitulé « Recherche d'agrégats marins au sud de la Bretagne - Étude par profils sparker et dragages ». Le navire de l'IFP « la petite Marie-Françoise » servait de support à la réalisation des travaux.

Les opérations effectuées à cette période correspondent à de la sismique haute définition (1 192 km de sismogrammes, dont 895 km sur la zone de Saint-Nazaire) implantés selon un maillage régulier de 4 km de côté, des dragages et des carottages gravitaires. Le positionnement avait été considéré comme très précis (de l'ordre de la dizaine de mètres) et remarquable dans sa stabilité ; il avait été assuré par radio navigation TORAN reliée au réseau « Nord-Gascogne ».

La zone de « Saint-Nazaire » montre l'existence de deux vallées fossiles orientées Nord-Est/Sud-Ouest : celle de la Vilaine au Nord et celle de la Loire au Sud.

La vallée de la Vilaine est remblayée par des dépôts de « style dunaire » à structure progradante d'origine fluviale et n'ayant subi qu'un faible remaniement marin. Ils affleurent de part et d'autre du chenal central et constituent la "dune" de Hoedic au Nord et la "dune" de Guérande au Sud. Ils sont constitués de sable roux moyens à fins (0,3 à 2 mm), à patine rousse. Les teneurs en carbonates sont inférieures ou égales à 20 %, la fraction vaseuse est nulle et les galets y sont rares.

La vallée fossile de la Loire est remblayée par une formation subhorizontale, bien rythmée et sismiquement très claire de sable fins à moyens (0,3 à 2 mm).

Sur le substratum rocheux repose une formation montrant de nombreuses stratifications entrecroisées typiques de dépôts deltaïques et dont le faciès sismique suggère qu'elle se compose de bancs de graviers et galets. Elle affleure à l'Ouest vers 50 m de profondeur.

Au large de Saint-Nazaire, quatre secteurs ont été retenus comme ressources potentielles lors de cette investigation préliminaire : la dune d'Hoedic, la dune de Guérande, la zone sud Guérande et la zone sud du chenal de la Loire, seul secteur concerné par cette étude (tableau 3-10).

	Sonde moyenne (en m)	Superficie reconnue (en km ²)	Épaisseur moyenne (en m)	Volume (en millions de m ³)	Distance au port (en milles)
Dune d'Hoedic	40	40 environ	8	250	34
Dune de Guérande	35	24	7,5	170	28
Zone sud Guérande	35	72	15	700	29
Zone sud du chenal de la Loire	20 à 25	42 (jusqu'à 30 m de prof) et 69 (jusqu'à 35 m de prof)	25	600 (920, avec extension à 35m)	14 (17, avec extension à 35m)

Marges d'erreur de l'ordre de + ou - 20 % sur les volumes et + ou - 30 % sur les surfaces

Tableau 3-10 : Caractéristiques des sites reconnus au large de Saint-Nazaire.

3.2.1.2. Saint-Nazaire (1974 et 1975)

Une seconde prospection pour la recherche de granulats marins au Sud de la Bretagne a été réalisée du 28 mai au 15 juin 1974 au moyen de sismique réflexion et de prélèvements superficiels par drague. A la demande du CNEXO, elle devait être suivie d'une campagne de carottage programmée en septembre 1974, reportée en 1975 suite à des difficultés techniques.

Les 658 km de profils de sismique réflexion (type « Sparker »), dont 273 km sur la zone de Saint-Nazaire, ont été implantés selon un maillage régulier de 1 km de côté.

L'interprétation des sismogrammes a montré que le paléo-chenal de la Loire, orienté Nord-Est/Sud-Ouest, est profond d'une trentaine de mètres et présente une forme en auge (ou en U). Un faciès sismique bruité, avec de forts réflecteurs irréguliers (correspondant probablement à des galets ou de gros graviers), a été observé à sa base puis une série horizontale et homogène de plus en plus récente en direction de l'estuaire.

La carte des épaisseurs (courbes isopaques) a révélé que la puissance des dépôts atteint 25 m sur près des deux tiers de la surface prospectée avec :

- une région sud profonde et monotone où la puissance sédimentaire dépasse les 30 m ;
- et une région nord plus complexe, marquée à l'Est (baie de Bourgneuf) par un substratum ne se situant qu'à 10 m environ sous le fond de la mer et au Nord-Ouest (c'est-à-dire vers le chenal nord de la Loire), et par des épaisseurs encore importantes (plus de 20 m) mais où les matériaux doivent être de plus en plus fins car de plus en plus récents à mesure que l'on s'approche de ce chenal.

L'évaluation des ressources a d'abord pris en compte l'ensemble des sédiments meubles, puis a été restreinte aux dépôts non grossiers, c'est-à-dire en ne tenant pas compte des dépôts de graviers et galets présents à la base des chenaux (tableau 3-11).

	Superficie reconnue (en km ²)	Épaisseur moyenne (en m)	Volume (en millions de m ³)
Ensemble des sédiments meubles	12 500	25	2 500
Dépôts non grossiers	12 500	20	1 800

Erreur de l'ordre de +ou- 23% après prise en considération des incertitudes liée au positionnement et à l'écartement des profils ainsi qu'aux approximations sur l'épaisseur et la surface

Tableau 3-11 : Ressources potentielles au large de Saint-Nazaire.

Dans le but de valider les observations de l'investigation géophysique et de caractériser les faciès sismiques, une campagne de carottage a été réalisée du 12 au 17 mai puis du 20 au 23 mai 1975 à bord du navire « l'Arguenon ». Sur l'ensemble du secteur Sud Bretagne, 52 prélèvements ont été effectués (dont 20 au large de Saint-Nazaire), récupérant un total de 275 m de sédiment (97 m au large de Saint-Nazaire), soit une récupération moyenne par carotte de 5,3 m. Les informations contenues dans le document intitulé « Recherche de granulats marins au Sud de la Bretagne : rapport d'implantation de sondages » se limitent au déroulement des opérations et fournissent les caractéristiques des sondages dont l'étude géotechnique a été réalisée par le laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc, les deux établissements ayant convenu de rédiger conjointement un rapport définitif.

Les appréciations portées sur les sables en vue d'établir une classification et de préciser l'utilisation qui peut en être faite dans les bétons courants et de qualité ont été données en tenant compte des critères (notamment la granularité, la propreté et la proportion de grains siliceux) fixés par les normes alors en vigueur. Il est stipulé que d'autres paramètres auraient été à définir (influence des calcaires et micas) grâce à des essais sur mortiers afin de déterminer les seuils au-delà desquels les matériaux ne peuvent être utilisés. Ces essais étant coûteux, les échantillons, sur lesquels il aurait été judicieux de procéder à de telles analyses, sont mentionnés sur les fiches de description des sondages présentées en annexe du rapport des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc.

Les conclusions de ce rapport indiquent que le secteur de Saint-Nazaire, malgré l'hétérogénéité sédimentaire présente sur la zone étudiée, peut être retenu comme gisement potentiel. Sous réserve des résultats de tests sur mortiers pour certains horizons, ce gisement est très intéressant en raison de son homogénéité relative et de la présence en surface, sur plus de 15 km², d'une couche sableuse de plusieurs mètres d'épaisseur (de 1 à plus de 5 m) s'étendant probablement au-delà des limites de la zone prospectée.

Le rapport final daté de mars 1976 et intitulé « Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la Bretagne - Les gisements du Sud de la Bretagne » dresse un bilan des résultats essentiels de cette campagne de prospection, préconise des études complémentaires à envisager et recommande une méthode d'extraction adéquat (drague aspiratrice à élinde traînante) dans le cas d'une mise en exploitation du gisement.

Il ressort que le gisement du Pilier (à 13 milles nautiques au large de Saint-Nazaire) présente des sédiments assez homogènes correspondant aux spécifications en vigueur (fascicule 65) pour les bétons puisqu'ils contiennent seulement 1 % d'éléments dont la taille est inférieure à 0,1 mm et montrent une teneur en CaCO₃ inférieure à 10 %. Ces caractéristiques font du site du Pilier un gisement de bonne qualité (tableau 3-12).

	Épaisseur (en m)	Sonde (en m)	Superficie (en km ²)	Volume (en millions de m ³)
Gisement du Pilier	4	18 à 25	6	24 dont 0,6 > 5 mm ; 5,1 entre 1,25 et 5 mm ; 12,5 entre 0,315 et 1,25 mm ; 5,6 entre 0,1 et 0,315 mm et 0,2 < 0,1 mm

Tableau 3-12 : Caractéristiques du gisement du Pilier.

De plus ce gisement bénéficie de grandes possibilités d'extension, en particulier vers le Sud-Ouest, où le paléo-chenal, large de 3 km est comblé par plus de 20 m de sédiments. Mais seule une campagne de sondages permettrait de valider cette hypothèse. De même, à l'Est du secteur de Saint-Nazaire, des indices attestant de la présence de graviers ont été découverts.

3.2.1.3. Pertuis charentais (1976 et 1977)

Le rapport BRGM « Recherche de granulats marins dans la zone des pertuis charentais » rassemble les informations extraites à partir des 395 km de sismogrammes

enregistrés lors de deux campagnes ; la première réalisée du 22 septembre au 15 octobre 1975, complétée par une seconde début avril 1976. Grâce au système de radionavigation TORAN « Gascogne », la précision de l'emplacement des profils sismiques est de l'ordre de la dizaine de mètres.

Le secteur prospecté a été divisé en deux zones :

- une zone nord, dans le prolongement du pertuis Breton, entre l'île de Ré et la côte vendéenne ;
- une zone sud située à l'ouvert du pertuis d'Antioche entre les îles de Ré et d'Oléron.

L'analyse des sismogrammes (302 km pour la zone sud et 93 km pour la zone nord) acquis par sismique réflexion continue au moyen d'un « Boomer » (500 et surtout 1 000 Joules), d'un « Uniboom » (500 Joules) ou encore d'un « Sparker », a permis de cartographier l'extension horizontale et verticale de la couverture sédimentaire meuble reposant sur un substratum d'âge Jurassique au Nord ou Crétacé au Sud.

Les documents de synthèse des résultats (cartes des isobathes du substratum et des épaisseurs des dépôts meubles) ont montré que les accumulations observées correspondaient à des paléo-réseaux fluviaux comblés par des sédiments.

Les vallées fossiles observées au niveau du pertuis d'Antioche n'ont pu être rattachées à un réseau comme celui de la Charente en raison de l'exiguïté de la zone, alors que les thalwegs observés en zone nord sont dirigés vers l'Ouest dans le prolongement du pertuis Breton.

Les deux zones reconnues bénéficient d'épaisseurs de sédiments meubles d'une importance suffisante pour constituer des ressources en granulats. La nature des sédiments, évaluée d'après les faciès sismiques identifiés, se compose de dépôts sableux apparemment relativement homogènes mais des vérifications par sondages ont été nécessaires (tableau 3-13).

	Épaisseur (en m)	Sonde (en m)	Superficie de la zone reconnue (en km ²)	Volume (en millions de m ³)
Zone nord (pertuis Breton)	1 à 14	17 à 22	170	1 100
Zone sud (pertuis d'Antioche)	10 à 20 En dehors des vallées les épaisseurs de sédiments atteignent 6 à 8 m, elles sont nulles ou quasi-nulles à l'Est de la zone d'étude dans le prolongement de l'île de Ré	15 à 30	290	1 800

Tableau 3-13 : Ressources potentielles au large des pertuis charentais.

La campagne de carottage qui a servi à contrôler et valider les observations sismiques s'est déroulée au mois de septembre 1976 et a fait l'objet d'un compte rendu des travaux intitulé : « Recherche de granulats marins à l'ouvert des pertuis charentais : rapport d'implantation des sondages ». La mission réalisée par le BRGM à bord de « l'Arguenon » a permis de récupérer 47 carottes à la vibro-sondeuse, pouvant mesurer jusqu'à 8 m de long.

La campagne s'est focalisée sur une superficie de 80 km². Des secteurs de 10,5 km² pour le pertuis d'Antioche et de 9,5 km² pour la zone du pertuis Breton, considérés comme plus favorables, ont été prospectés avec une densité plus importante de prélèvements : 11 pour le pertuis d'Antioche et 20 pour le pertuis Breton.

L'ensemble de ces 47 carottages ont fourni 246 m de sédiments ce qui représente une longueur moyenne de récupération égale à 5,2 m. Ils ont été positionnés grâce au système de radionavigation TORAN « Gascogne », recalé à chaque entrée et sortie de port grâce à des points dont les coordonnées étaient connues, ce qui a assuré une précision de l'ordre de la dizaine de mètres.

A la suite des deux campagnes de reconnaissance sismique et sédimentologique, le CNEXO s'est chargé de rédiger une synthèse sous le titre de « Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Poitou-Charentes ».

Les résultats essentiels de cette étude des pertuis sont la mise en évidence de deux gisements potentiellement conséquents, l'un au large du pertuis d'Antioche, gisement de Chassiron, l'autre devant le pertuis Breton, gisement des Sables d'Olonne (tableau 3-14). Ils correspondent à d'anciens chenaux remblayés contenant dans les deux premiers mètres des sables moyens (diamètre des grains entre 0,315 et 0,25 mm) et des sables fins dominants. Les niveaux vaseux semblent presque totalement absents et quelques zones paraissent plus grossières.

Des recommandations avaient été faites concernant la méthode d'extraction des sables. Elles conseillaient, pour le gisement de Chassiron d'effectuer l'extraction par tranches verticales dans la mesure où l'on souhaitait se rapprocher des prescriptions relatives aux normes (en vigueur à cette époque); et concernant le gisement des Sables d'Olonne, une extraction par tranches verticales qui devait permettre d'offrir localement un sable moyen à grossier et un sable moyen sur l'ensemble de la zone.

	Sables d'Olonne	Chassiron
Nature des matériaux	Sable moyen, homogène et très bien classé (à l'Est du gisement), avec quelques niveaux de sables grossiers jusqu'à graveleux.	Sablo-graveleux au Sud et sables fins au Nord. Globalement les sables sont propres (moins de 2% d'éléments inférieurs à 0,1 mm) et les teneurs en CaCO ₃ sont acceptables (<15%).
Épaisseur (en m)	10 à 15 m	
Sonde (en m)	17 à 20	
Superficie (en km²)	9,5	10,5
Volume (en millions m³)	40	
Distance au port (en milles)	8 (La Rochelle)	15 (port de La Palice)

Tableau 3-14 : Caractéristiques des gisements des Sables d'Olonne et de Chassiron.

Le dernier document concernant les gisements des pertuis charentais a été rédigé par le laboratoire régional de l'Équipement de Saint-Brieuc et constitue une valorisation de la campagne de carottage de septembre 1976.

L'étude de ces sables marins a été décomposée en deux étapes : la première portant sur l'identification et la classification des matériaux en fonction des spécifications

des sables à béton alors en vigueur, la seconde concernant une analyse plus approfondie du comportement des principales familles de sables rencontrés, dans l'optique de leur utilisation en tant que sables à béton.

La première étape d'examen des matériaux a permis de classer les échantillons selon cinq groupes en fonction de leur granularité, ce numéro étant affecté d'un indice caractérisant les autres spécifications :

- Groupe 1 : granularité acceptable ;
- Groupe 2 : fraction fine excédentaire ;
- Groupe 3 : fraction fine déficitaire ;
- Groupe 4 : fraction moyenne excédentaire ;
- Groupe 5 : fraction moyenne déficitaire ;
- Groupe 6 : matériaux stériles non sableux (vases, argiles, limons, substratum,...).

Indice a : autres spécifications respectées ;

Indice b : propreté défectueuse (équivalent de sable faible, teneur en fines élevée,...) ;

Indice c : teneur en calcaire trop forte.

Hormis les sables à béton, d'autres utilisations sont envisageables pour ces matériaux notamment :

- sables entrant dans la composition des granulats pour chaussées en béton (spécification plus restrictive pour les sables à bétons sur les taux de CaCO_3) ;
- correctifs des courbes creuses des sables de concassage (techniques de graves-ciment et enrobés) ;
- éléments entrant dans les formules de graves-ciment, bétons bitumineux et graves-bitume ou encore traités seuls aux liants hydrauliques ou au bitume.

Les sables fins pourraient trouver une utilisation dans la confection des bétons légers colloïdaux.

La seconde étape a permis d'évaluer leur comportement dans un mortier type, comparativement à un mortier-témoin (mortier normal NF-P 15.403). Chaque mortier a été soumis à des essais déterminant sa maniabilité, sa densité, ses résistances mécaniques à la flexion et à la compression.

Il ressort de cet examen que la granularité influence très nettement les trois facteurs étudiés. Le groupe 1 donne des résultats très proches de ceux du témoin et on trouve ensuite par ordre de qualité décroissante, le groupe 4 puis le groupe 2 (le groupe 3 apparaît comme un cas particulier). La présence de calcaire en fortes proportions influe négativement sur les performances du mortier, lui conférant une moins bonne maniabilité, une compacité et des résistances plus faibles. Parfois la forme des grains calcaires peut conduire dans certains cas à une amélioration des résultats. Par ailleurs, on remarque près de 50 % de perte de résistances entre le témoin et le sable fin, un supplément d'environ 50 % d'eau étant alors nécessaire pour obtenir une maniabilité équivalente à celle du témoin. Enfin, on enregistre près de 25 % de perte de résistance entre un sable admissible selon tous les critères définis et un sable à granularité acceptable mais à teneur en calcaire excédentaire, ce qui induit un ajout de près de 15 % d'eau pour parvenir à une maniabilité équivalente à celle du témoin.

Le gisement des Sables d'Olonne est constitué de sables essentiellement siliceux à teneur en carbonates comprise entre 9 et 22 % et peut se subdiviser en trois zones en fonction de la granularité des matériaux :

- une zone occidentale constituée sur les six premiers mètres de sables fins à très fins avec 4 à 13 % de particules fines (diamètre inférieur à 80 µm) ;
- une zone centrale présentant une couche superficielle d'une épaisseur variant de 0,4 à 1,4 m de sables très fins « pollués » (entre 3 et 11 % de particules fines). En majeure partie, les sables possèdent une granularité acceptable ou à la limite acceptable (selon le fuseau de référence de la norme du fascicule 65) avec une tendance au déficit en éléments fins. Il existe quelques rares niveaux plus grossiers (2 % des matériaux analysés) ou plus fins (10 % des matériaux analysés) qui ne devraient pas perturber la granularité moyenne s'il y a, lors de l'extraction (par tranches verticales), une homogénéisation correcte ;
- une zone orientale caractérisée par la présence presque exclusive de sables moyens à granularité très resserrée (80 à 96 % du matériau appartenant à la fraction 0,315 à 1,25 mm) et par conséquent déficitaire à la fois en éléments fins et en éléments grossiers. Ces sables affleurent dès la surface, exception faite de rares endroits où ils sont recouverts par 0,2 à 0,5 m de sables fins.

Le gisement de Chassiron se distingue par une forte teneur en calcaire, essentiellement sous forme de débris de coquilles, dont le taux varie de 15 à plus de 45 % pour une moyenne d'environ 30 % c'est à dire voisine de la limite maximum admissible.

Sur la base du critère de teneur en CaCO₃, le secteur le moins défavorable est localisé au Sud du gisement (25 % de CaCO₃ en moyenne). Ce secteur présente une granularité très hétérogène avec cependant une répartition relativement équilibrée entre les différentes phases, une extraction par tranches verticales devrait permettre, moyennant une bonne homogénéisation, de tendre vers un sable à granularité acceptable.

Sur le reste du gisement (en particulier au Nord et à l'Est) les sables sont très calcaires (teneur en CaCO₃ supérieure à 30 %) et excédentaires en éléments fins ou moyens.

3.2.1.4. Gironde (1978 et 1979)

L'estuaire de la Gironde, au même titre que l'estuaire de la Loire et des pertuis charentais, a constitué une zone d'intérêt pour la recherche des matériaux marins du fait de la présence du fleuve Gironde.

En 1978, une étude géologique préliminaire à la recherche de granulats en vue d'orienter une campagne géophysique a été réalisée par le BRGM sous l'égide du CNEXO. Cette synthèse bibliographique a conduit à l'hypothèse selon laquelle la majorité des formations graveleuses de l'estuaire appartiennent à la prolongation en mer du complexe fluvial Dordogne-Garonne, avec une redistribution plus ou moins importante par les phénomènes hydrodynamiques locaux.

Cette étude a mis en évidence plusieurs zones intéressantes, notamment :

- des terrasses du Pléistocène inférieur terminal et moyen (Mindel), se situant entre 3 et 12 m de profondeur, entre la pointe de la Négade, le plateau de Cordouan et les rochers de Noroît (figure 3-13) ;
- des dépôts d'âge Pléistocène moyen (Riss), par des profondeurs avoisinant les 10 m en rive gauche du chenal actuel, entre le platin de Grave et le banc de Montrevel (figure 3-15).

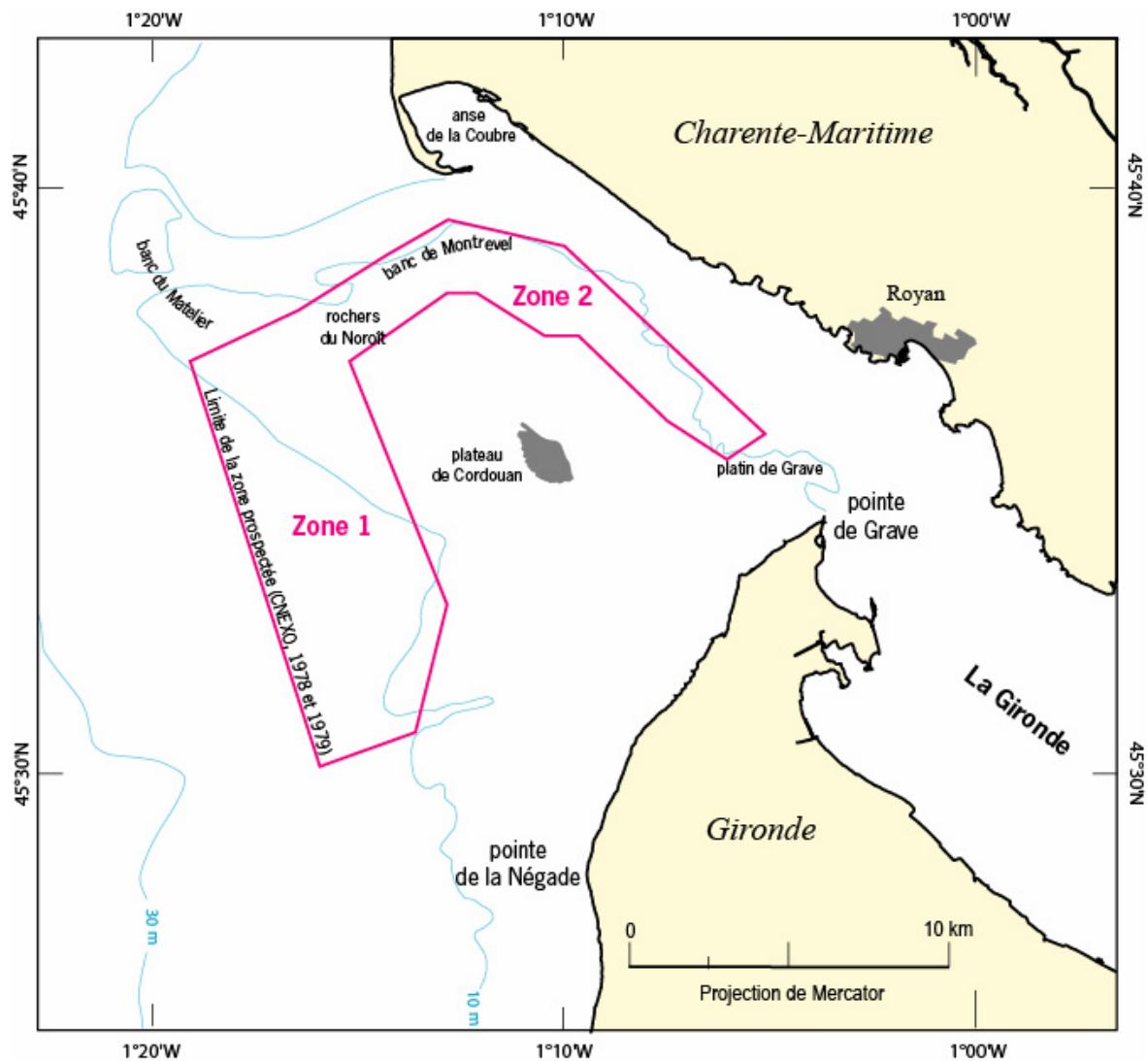


Figure 3-15 : L'embouchure de la Gironde.

D'après différentes données de sondages et prélèvements recueillies par le Port Autonome de Bordeaux et l'Institut de Géologie du Bassin Aquitain (IGBA), il apparaît que les faciès sédimentaires superficiels du fond marin sont constitués :

- à l'Est et au Sud-Est de Cordouan (platin de Grave), par des graviers et galets quartzitiques ou de silex (diamètre supérieur à 800 µm) d'âge Pléistocène moyen (Riss) affleurant sur une étendue de 18 km². Les sédiments sont constitués de sables grossiers, de graviers et de galets. Les galets, de 5 à 6 cm de diamètre en moyenne, sont généralement arrondis (sauf les silex qui sont anguleux). Les graviers mis en place sous forme d'anciens cordons littoraux sont aujourd'hui enfouis sous des dépôts sableux au large de la zone étudiée. Les documents disponibles tendent à montrer la présence d'un niveau plus ou moins continu de graviers et galets dans les zones surcreusées du substratum calcaire ;
- sur le fond de la partie centrale de l'Estuaire et de son débouché, de sables grossiers à grains de quartz roux de granulométrie homogène (supérieure à 500 µm) à petits niveaux de graviers intercalés. Ils renferment des micas, des feldspaths, des minéraux lourds, des débris bioclastiques ainsi que des galets mous d'argile rencontrés dans les niveaux alluviaux supérieurs et les sédiments du chenal (slikkes bordant l'estuaire) ;
- sur le plateau continental, entre l'isobathe 15 m et la côte, de sables fins de couleur gris-beige, de taille moyenne comprise entre 125 et 315 µm, à

stratification oblique, bioturbation et galets mous de forme aplatie. On les rencontre également enfouis sous les sables grossiers décrits précédemment. Le contact entre ces deux formations est franc, indiquant un changement brusque de milieu de dépôt, notamment une modification des conditions hydrodynamiques. Parfois des interlits de sables grossiers ont été observés au sein de ces sables, ce qui indique qu'ils se sont déposés en alternance pendant une période définie.

Du 31 juillet au 11 août, le département Géophysique du BRGM a réalisé, pour le compte du CNEXO, à bord du navire « le Gardour », une étude des fonds par sismique réflexion continue. Le positionnement des 231 km de sismogrammes enregistrés au moyen de plusieurs sources d'énergie : « Sparker » 1 000 Joules, « Boomer » 500 à 1 000 Joules et « Somahr » 300 Joules, a été réalisé grâce au système de radionavigation TORAN en respectant une précision de l'ordre de la dizaine de mètres.

L'investigation a concerné deux zones pouvant receler des vallées fossiles, l'une se situant à la sortie de l'estuaire de la Gironde (zone 2) et une autre (zone 1) plus à l'Ouest (figure 3-13).

Les épaisseurs de sédiments mises en évidence par le dépouillement des profils sismiques sont en général supérieures à 5 m mais peuvent atteindre 17 à 20 m pour la zone 1 (vallées fossiles) et jusqu'à 26 m pour la zone 2 (paléo-vallée correspondant probablement à un ancien chenal de la Gironde).

A la suite de la campagne géophysique, le CNEXO a rédigé une synthèse à partir des deux précédents rapports.

Ce document, intitulé « Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région de Bordeaux » et daté de décembre 1978, rappelle qu'il existe une prolongation des formations alluvionnaires terrestres en mer et que deux zones, dont les profondeurs ne dépassent pas 15 m, apparaissent comme intéressantes.

Une campagne de carottage par vibro-carottage s'est déroulée du 11 au 23 juin 1979 à bord du navire « le Don Pancho » et a eu pour but de calibrer les observations faites à partir des enregistrements sismiques. Le BRGM s'en est vu confier la gestion technique, le CNEXO assurant les descriptions et les analyses granulométriques des carottes ainsi que leur positionnement (récepteur TORAN utilisant le réseau Gironde du Port Autonome de Bordeaux).

Au cours de cette campagne, 72 carottes ont été prélevées totalisant 255 m de sédiments récupérés. L'examen préliminaire des échantillons a montré une prédominance des matériaux sableux, mais des niveaux graveleux ont été traversés.

Enfin, il est indiqué que seul la tranche superficielle des dépôts a pu être atteinte dans la mesure où leurs épaisseurs dépassent fréquemment 20 m, le matériel de carottage mis en œuvre n'autorisant pas de pénétration supérieure à 5 m.

Afin de mieux appréhender la qualité des sédiments récoltés lors de la campagne de sondage de juin 1979, en vue d'une possible extraction, il a été procédé à différents tests : des analyses granulométriques, des études pétrographiques ainsi que des mesures de résistance mécanique (essais de friabilité et de fragmentation dynamique).

Une zone située au Sud-Ouest de l'anse de la Coubre, à l'Ouest du banc de Montrevel et près du banc du Matelier, a été identifiée comme gisement potentiel ; de ce fait seul les échantillons de carottages effectués dans ce secteur ont été traités. Les résultats et conclusions de cette étude sont synthétisés dans le rapport BRGM daté de 1980 et intitulé : « Détermination des possibilités d'emploi de matériaux prélevés en baie

de Gironde pour la confection de bétons hydrauliques ». Un commentaire sur les résultats a été fait à l'issue des différents tests.

Il ressort des analyses granulométriques que les matériaux sont essentiellement constitués de sables (granularité comprise entre 0 et 5 mm) peu pollués. En effet, ils contiennent moins de 2 % d'éléments inférieurs à 80 µm et leur pourcentage de graviers et cailloux supérieurs à 5 mm est faible (15 % en moyenne mais avec une répartition hétérogène puisqu'on ne les rencontre que dans quelques sondages). La granularité du sable dit « marchand », c'est-à-dire débarrassé des particules inférieures à 80 µm, dont 80 % environ du poids est compris entre 0,2 et 1 mm en fait un sable particulièrement bien trié.

Les études pétrographiques ont montré que le sable est majoritairement siliceux et constitué de grains de quartz arrondis, que le pourcentage moyen de coquilles, de l'ordre de 3 %, ainsi que le taux de grains calcaires (environ 5 %) sont très faibles, ce qui ne devrait pas gêner pour la fabrication de bétons hydrauliques.

Les mesures de résistance mécanique se répartissent entre des essais de friabilité et de fragmentation mécanique. Les premiers consistent à mesurer la quantité de particules fines inférieures à 0,05 mm produites par fragmentation et usure dans un cylindre à l'aide d'une charge de billes de différents diamètres. Ils ont donné des résultats excellents avec un coefficient de friabilité moyen, de l'ordre de 7,8, alors que la norme NFP 18 – 301 prévoit une valeur inférieure à 40. Les seconds, définissant la quantité de particules fines inférieures à 1,6 mm obtenue par fragmentation par chocs, fournissent des valeurs très satisfaisantes, en moyenne égale à 28 alors que la norme prévoit un Los Angeles (indice équivalent s'exprimant de façon identique) inférieur à 40.

Enfin les conclusions indiquent que :

- 70% des courbes granulométriques des échantillons analysés sont contenues dans un fuseau granulométrique défini par la norme NF-P 18.304 de décembre 1973 ;
- La granularité de ces matériaux restera stable au fur et à mesure de l'exploitation en profondeur ;
- Le sable à l'état « marchand » présente une granularité très mal adaptée à la conception de bétons hydrauliques (norme NF-P 18.301) qui requièrent une courbe granulométrique plus étalée. Ceci se traduit par un module de finesse (égal à la somme des refus exprimés en pourcentage sur les tamis de 0,16, 0,315, 0,63, 1,25 et 2,5 mm divisée par 100) de l'ordre de 1,7, trop faible et risquant de conduire à des bétons de faible résistance mécanique. Ce module doit idéalement être égal à 2,5 mais reste acceptable pour des valeurs comprises entre 2,2 et 2,8. Pour atteindre ces valeurs, la granularité du sable doit être corrigée. Deux méthodes peuvent alors être envisagées :
 - l'élimination d'une partie des éléments compris entre 0,16 et 0,63 mm, ce qui représente une suppression de 70 % de ce sable et n'est donc plus économiquement rentable ;
 - l'ajout d'un sable correcteur riche en éléments fins (inférieurs à 0,16 mm) et grossiers (supérieurs à 0,63 mm) ; le mélange donnant le meilleur module (égal à 2,5) est composé de 40 % de sable de Gironde et de 60 % de sables calcaires concassés. Le module de finesse resterait tout de même acceptable pour des adjonctions de sables calcaires comprises entre 40 et 80 %.

La composition minéralogique du sable (90 % de quartz, 5 % de grains calcaires, 3 % de débris coquilliers et 2 % de minéraux lourds) est parfaitement adaptée à la fabrication des bétons hydrauliques. De même, la résistance mécanique de ces matériaux est en parfait accord avec la norme en vigueur à l'époque et donc conforme aux spécifications de bétons hydrauliques.

Finalement ces matériaux ne pourront être utilisés pour la fabrication de bétons hydrauliques qu'à condition de les corriger par ajout d'au moins 40 % de sables calcaires concassés, qui pourra être aisément fournis par les carrières de la région d'Angoulême.

Un débouché complémentaire dans le domaine routier, pour l'élaboration de graves-ciment ou graves-bitume est également à prévoir.

Le rapport « Recherche de granulats marins au large de l'estuaire de la Gironde pour l'approvisionnement de la région de Bordeaux » est axé sur la prospection de matériaux grossiers (sables, graviers et galets). Une zone d'intérêt, localisée entre le Sud de la passe actuelle de la Gironde et le Nord-Ouest du plateau de Cordouan, à l'Ouest du banc de Montrevel semble présentée une extension assez continue et une épaisseur suffisante de dépôts sablo-graveleux. L'analyse des sédiments a montré qu'ils sont issus de terrasses fluviatiles remaniées et interstratifiées à l'intérieur de formations sableuses plus récentes.

Cependant une prospection complémentaire à l'aide d'un vibro-carottier de diamètre plus important que celui utilisé lors de la campagne de juin 1979, selon un maillage d'exploration plus resserré, permettrait de lever les incertitudes (en traversant les sédiments ayant opposés un refus) et d'évaluer de façon plus précise le volume de matériaux exploitables.

Le dernier rapport, « Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région de Bordeaux », rédigé par le CNEXO, est une synthèse de l'ensemble des différents rapports édités sur les matériaux de l'embouchure de la Gironde.

Près de 1,5 milliard de m³ de matériaux sont présents dans ce secteur mais le type de dépôts, chenalisés et donc de forme lenticulaire, rend difficile les corrélations entre les sondages. De plus, le nombre de prélèvements s'avère faible compte tenu des surfaces explorées, ce qui ne facilite pas les corrélations entre les faciès sédimentaires observés.

3.2.2. Résultats des travaux scientifiques postérieurs à l'inventaire national

3.2.2.1. Pertuis charentais

La thèse de Weber soutenue à l'Université de la Rochelle en 2004, constitue une source précieuse d'information : onze campagnes de sismique et une campagne de carottage ont permis de recueillir un ensemble de données (figure 2-48 et tableau 2-49, pages 61 et 62).

502 profils sismiques ainsi que 42 carottes de 0,5 à 4,5 m de long, pour un total de 90 m de sédiments récupérés, prélevées grâce au carottier de l'Ifremer, ont été réalisés lors des différentes missions à la mer. Ces prospections ont couvert une superficie plus vaste. Les données géophysiques plus récentes, bénéficient d'une résolution meilleure que les campagnes CNEXO de l'inventaire national des granulats marins de 1976 et 1977.

La thèse présente une carte des isobathes du toit du substratum mésozoïque en mer, réalisée grâce à l'ensemble des données sismiques et bathymétriques (figure 3-16). Elle a permis de mettre en évidence un réseau complexe de chenaux et vallées, de taille et de profondeur variables, entaillant le toit du substratum.

L'ensemble des structures chenalisées se subdivise en trois réseaux distincts. Les deux principaux sont localisés dans les pertuis Breton et d'Antioche. Ils sont séparés par l'île de Ré et communiquent par le coureau de la Pallice. Chacun de ces deux réseaux montre la confluence vers le large de multiples chenaux en une vallée unique qui correspond à des fosses bathymétriques actuelles : les fosses de Chevarache du pertuis Breton pour le réseau nord et la fosse d'Antioche du pertuis d'Antioche pour le réseau sud. Un troisième réseau, plus au Sud, est localisé dans la baie de Marennes-Oléron et se connecte à la Seudre.

Les deux principaux réseaux de chenaux montrent quatre vallées majeures : trois dans le pertuis Breton et une dans le pertuis d'Antioche. Ces quatre principaux thalwegs sont localisés dans le prolongement des quatre rivières côtières : le Lay, la Vendée et la Sèvre Niortaise au Nord et la Charente au Sud et semblent correspondre à leurs segments ennoyés.

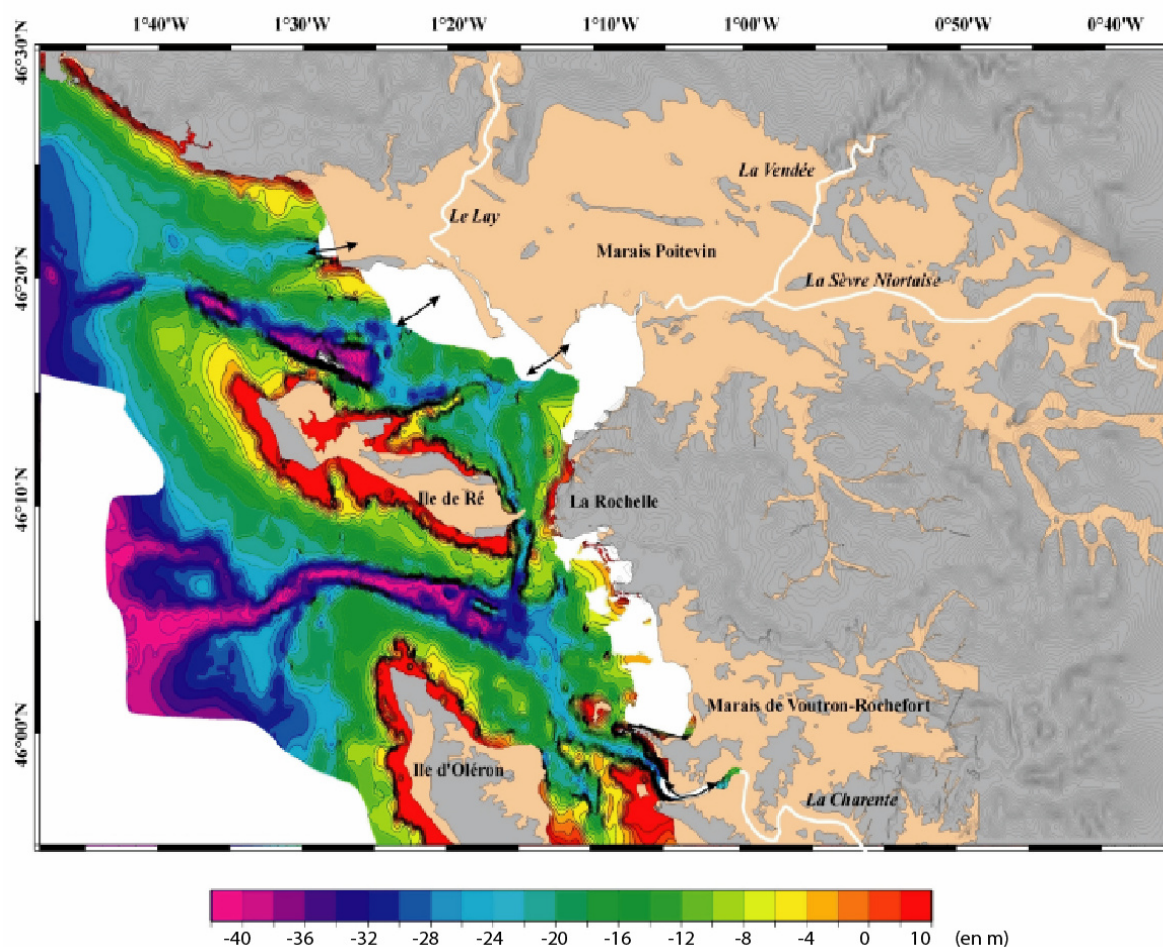


Figure 3-16 : Isobathes du toit du substratum mésozoïque dans les pertuis charentais (Weber, 2004).

La carte des épaisseurs de la couverture sédimentaire meuble recouvrant le substratum rocheux (figure 3-17) présente un grand intérêt pour compléter la caractérisation des ressources au large des pertuis charentais.

Les dépôts meubles se répartissent principalement au niveau de deux grands domaines :

- à l'intérieur des pertuis Breton et d'Antioche dans la continuité des plaines côtières (marais Poitevin au Nord et marais de Rochefort au Sud) ;
- au niveau des haut-fonds du large, correspondant aux seuils vendéo-rhétais au Nord et inter-insulaire au Sud.

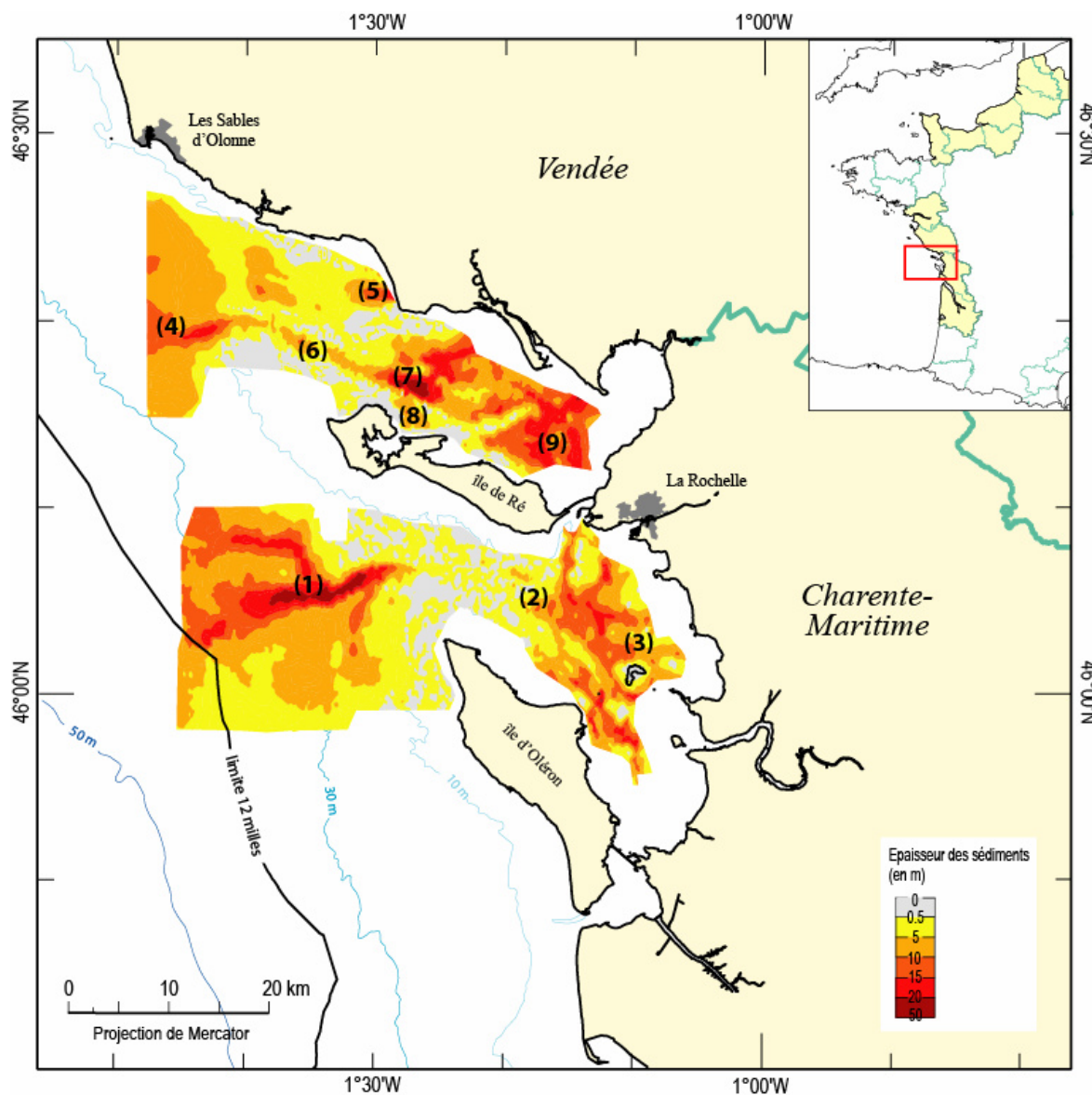


Figure 3-17 : Épaisseurs de la couverture sédimentaire meuble dans les pertuis charentais (Weber, 2004).

Les sédiments meubles sont organisés en neuf dépôt-centres principaux (figure 3-15). Ce sont, pour le pertuis d'Antioche : le seuil inter-insulaire (1), la fosse d'Antioche (2), le pertuis d'Antioche interne (3) ; et pour le pertuis Breton : le seuil vendéo-rhétais (4), la paléo-vallée du Lay (5), la fosse occidentale de Chevarache (6), la fosse orientale de Chevarache et son flanc nord (7), la côte nord de L'île de Ré : entre la pointe de Lizay et le banc du Rocha (8), le pertuis Breton (9).

Au sein de ces dépôts-centres, il existe de fortes variations d'épaisseur des sédiments meubles (de moins de 1 m à 40 m). Les épaisseurs sédimentaires sont maximales au niveau des chenaux incisés dans le socle. Toutefois, le comblement de ces dépressions n'est pas systématique, comme en témoigne l'existence de fosses dans la

morphologie sous-marine actuelle : les fosses d'Antioche et de Chevarache. Par ailleurs, certaines autres zones sont dépourvues de sédiment et correspondent à des régions où le substratum mésozoïque est à l'affleurement.

D'un point de vue lithologique, les fonds sableux sont situés au large (seuils inter-insulaire et vendéo-rhétais) et plus localement près des côtes. Les sables moyens sont les plus répandus sur le proche plateau continental. Toutefois, les deux seuils présentent dans leurs parties les moins profondes des sables fins.

Les zones d'extraction (Chassiron B, C, D), situées sur le seuil inter-insulaire, laissent apparaître des mélanges de sables grossiers et de graviers sous-jacents aux sables fins.

Les structures sableuses situées dans les pertuis internes sont plus réduites et se cantonnent principalement à la longe de Boyard pour le pertuis d'Antioche ou au banc du Bûcheron, et aux abords de la pointe d'Arçay pour le pertuis Breton. Des sables moyens et fins occupent également la partie centrale du coureau d'Oléron.

Concernant l'évolution morphologique des fonds sableux, il existe un modèle cohérent qui propose des échanges entre :

- des zones en érosion, correspondant à des affleurements de sables grossiers, qui montrent des figures de transport convergeant vers les pertuis et les parties internes ;
- des zones de transfert qui servent de relais dans le transport vers les zones d'accumulations côtières constituées de sables fins.

L'un des agents de transport en domaine intertidal semble être une dérive littorale Nord-Sud, qui se manifeste par la construction de nombreuses flèches sableuses. Pour les zones plus profondes, le transport du sable vers les pertuis doit être lié à une action combinée des houles et des courants de marée.

Les zones sableuses du large et en érosion montrent systématiquement des stocks sédimentaires de nature différente de ceux appartenant aux zones en accrétion. Les zones en érosion sont généralement constituées des sables grossiers voir graveleux tandis que les sédiments des zones en accrétion correspondent à des sables fins ou moyens.

Il semble donc que les sables grossiers observés sur les zones d'extraction ne correspondent pas à la dynamique actuelle mais soient hérités d'une phase d'accumulation ancienne.

L'étude des sismogrammes a permis à Weber d'observer, pour plusieurs zones du littoral charentais, une suite d'unités sismiques, séparées les unes des autres par des surfaces remarquables. Ces observations, couplées aux données de carottage de la mission MOBIDYC (2002), ont ensuite abouti à la caractérisation de faciès sismiques et à leur interprétation en terme d'environnement de dépôt.

Parmi ces différentes zones, seuls deux secteurs, où des procédures d'obtention de concession sont en cours, seront examinés : il s'agit du seuil vendéo-rhétais (gisement des Sables d'Olonne) et du seuil inter-insulaire (gisement de Chassiron).

3.2.2.1.1. Seuil vendéo-rhétais (pertuis Breton)

Tous les profils réalisés sur le seuil vendéo-rhétais sont orientés selon une direction Nord-Sud (figure 3-18). Ils montrent quatre unités successives (figure 3-19).

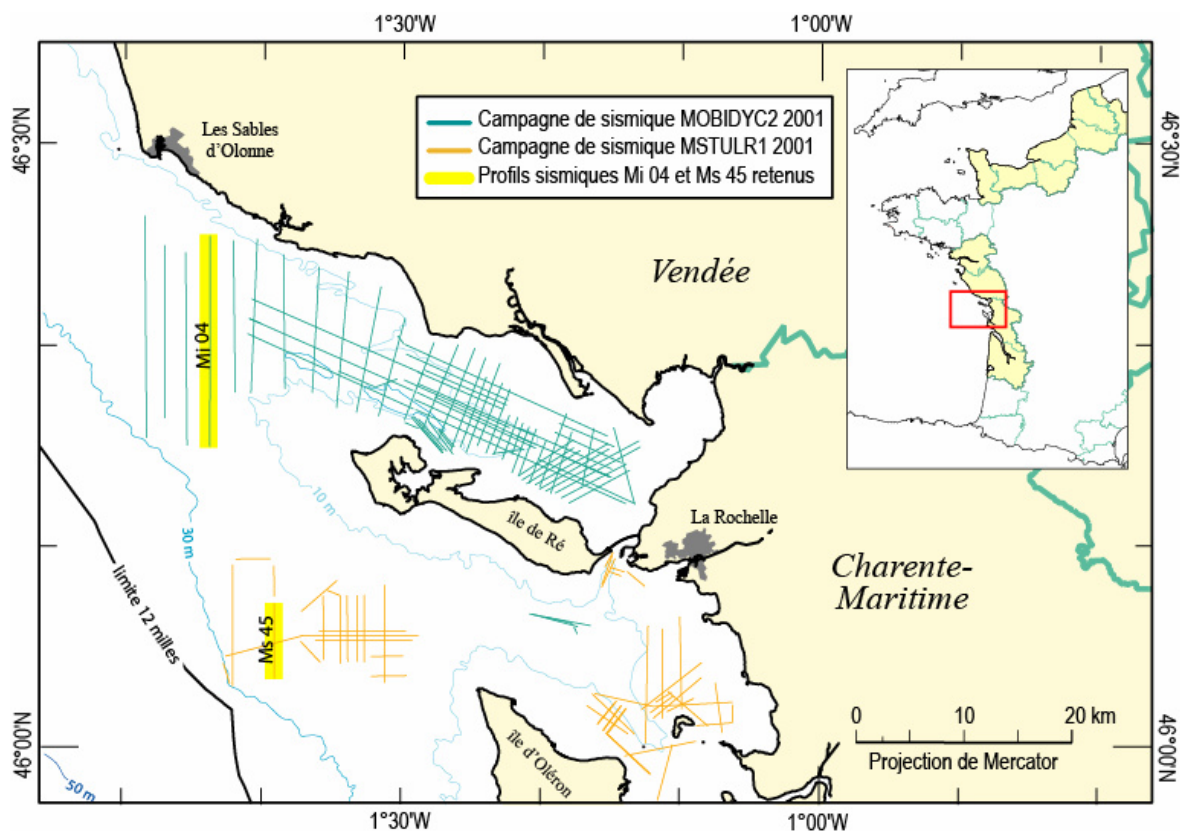


Figure 3-18 : Localisation des profils « vendéo-rhétais » (Mi 04) et « inter-insulaire » (Ms 45).

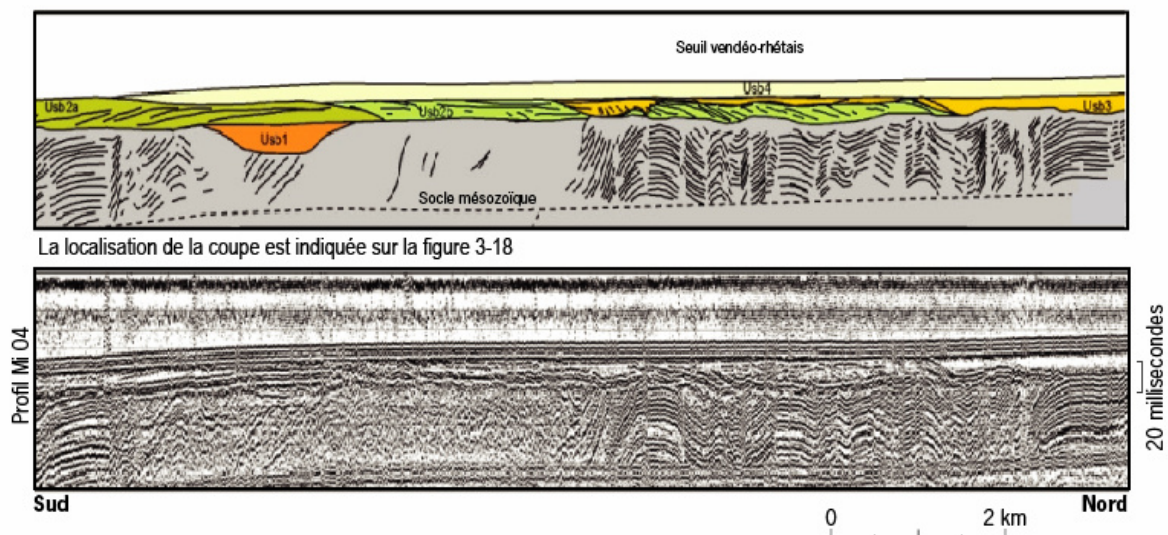


Figure 3-19 : Coupe montrant la succession des unités sismiques au niveau du seuil vendéo-rhétais (Weber, 2004).

- *Unité Usb1* : elle constitue la première phase du remplissage de la vallée incisée sous le seuil vendéo-rhétais. Elle se caractérise par une configuration interne à réflecteurs, obliques-parallèles à fort pendage vers le Sud, discordants et chevauchants sur le substratum mésozoïque. Le toit de l'unité Usb1 correspond à une surface d'érosion plane et située à une profondeur relativement constante.

Cette unité semble correspondre à un faciès de comblement uniforme de la vallée dans un régime hydrodynamique de haute énergie ;

Les unités sismiques suivantes (Usb2, Usb3 et Usb4) recouvrent Usb1 et débordent largement sur les interfluves. L'épaisseur moyenne de l'ensemble de ces trois unités est comprise entre 10 et 12 m et constitue un volume de sédiment d'environ 1 030 millions de m³.

- *Unité Usb2* : cette unité est progradante avec des réflecteurs internes à faible pendage apparent (environ 1°). Deux sous-unités se différencient par leur configuration interne et par la morphologie de leur toit :
 - la *sous-unité Usb2a* est localisée dans la partie sud du seuil vendéo-rhétais. Les réflecteurs internes montrent un pendage vers le Sud. La discontinuité supérieure se confond avec le fond marin actuel ;
 - la *sous-unité Usb2b* est localisée dans la partie nord du seuil vendéo-rhétais. Les réflecteurs internes montrent un pendage vers le Nord. Sa discontinuité supérieure est de type érosionnel et montre une morphologie de type chenalisante. 5 chenaux de 7 à 8 m de profondeur et larges de 800 à 1 500 m y ont été identifiés. Le chenal le plus large se situe le plus au Nord.

Ces unités à faciès sédimentaire de sables grossiers sont interprétées comme des bancs de sables tidaux longitudinaux caractérisant l'embouchure de larges estuaires dominés par les courants de marée.

- *Unité Usb3* : Usb3 comble les chenaux délimités par le toit de Usb2b. Il s'agit d'une unité transparente montrant quelques réflecteurs internes épars, avec de forts pendages apparents vers le Nord (environ 3°). Elle est composée de sables et de coquilles caractéristiques d'un environnement marin et semble correspondre à une barre d'embouchure transverse. Le toit de cette barre d'embouchure est caractérisé par une discontinuité supérieure plane qui se confond avec le fond marin actuel dans la partie méridionale de la zone et qui présente les caractéristiques d'une surface de ravinement par la houle (Wave Ravinement Surface ou WRS) ;
- *Unité Usb4* : il s'agit d'une unité sismique en nappe de 5 à 7 m d'épaisseur qui recouvre la majeure partie du seuil vendéo-rhétais et est constituée de sables fins marins. Son toit correspond à une discontinuité de type érosionnelle plane également assimilée à une WRS.

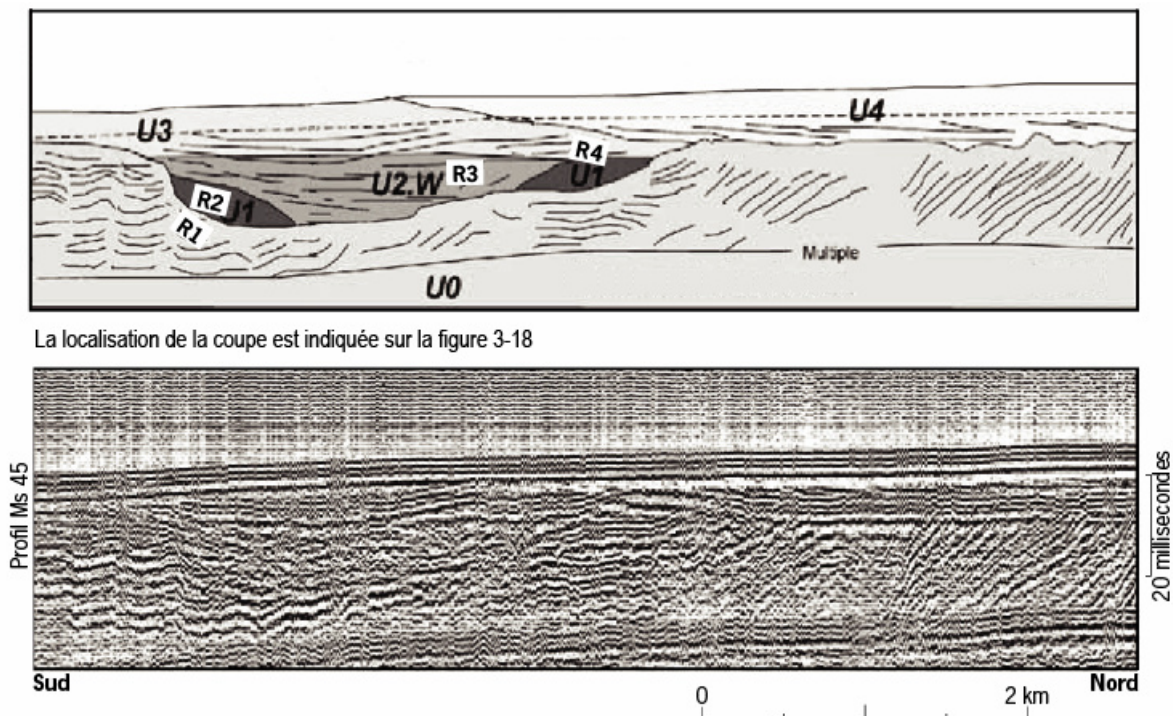
Cette architecture des unités du seuil traduit trois phases successives qui peuvent être associées à une évolution des conditions hydrodynamiques, on distingue de la base vers le sommet :

- *Phase 1* : le comblement de la vallée incisée par des dépôts illustrant une forte énergie du milieu (Usb1).
- *Phase 2* : l'édification de bancs estuariens longitudinaux, puis d'une barre d'embouchure transversale témoignant d'un environnement de haute énergie. Cette phase est caractéristique de la partie externe d'un estuaire dominé par les courants de marée puis mixte (Usb2 et Usb3).
- *Phase 3* : des dépôts marins encadrés par des WRS qui traduisent un environnement marin franc de « shoreface » dominé par la houle (Usb4).

Une telle organisation verticale peut correspondre à un cortège transgressif unique avec des faciès fluviaux ou estuariens (Usb1), puis estuariens (partie externe : Usb2 et Usb3) et enfin marins (Usb4).

3.2.2.1.2. Seuil inter-insulaire (pertuis d'Antioche)

Le remplissage de la paléo-Charente, au niveau du seuil inter-insulaire, comprend une séquence sédimentaire caractérisée ainsi (Weber *et al.*, 2004) (figure 3-20) :



La localisation de la coupe est indiquée sur la figure 3-18

Figure 3-20 : Coupe montrant la succession des unités sismiques au niveau du seuil inter-insulaire (Weber, 2004).

- *U0* correspond au substratum rocheux et est marquée par une surface d'érosion *R1*, généralement sub-horizontale mais formant localement de larges et profondes incisions (2 à 7 km de largeur pour des profondeurs d'environ 27 m) ;
- *U1* se compose de plusieurs sous-unités aux extensions latérales restreintes et qui se localisent aussi bien dans l'axe de thalwegs des vallées incisées que dans les méandres. Elles correspondent à des barres sableuses mises en place dans un environnement fluvial et/ou tidal ;
- *R2*, situé au sommet de *U1*, vient en discordance ou apparaît comme une troncature d'érosion qui semble correspondre à une surface de ravinement par les marées (Tidal Ravinement Surface ou TRS) ;
- *U2* qui peut atteindre environ 12 m d'épaisseur, se met en place dans la partie la plus au large du seuil inter-insulaire et contribue en grande partie au comblement de l'incision. Sa structure interne présente des nombreuses surfaces d'érosion à la morphologie chenalante. Elle se compose d'une alternance de sables fins et

d'argiles à foraminifères de milieux estuariens typiques d'un environnement côtier assez confiné ;

- *R3* est une discordance érosionnelle à aspect chenalisé et situé au toit de *U2*. Il souligne la base d'un chenal sinueux et large de 2 à 4 km et a été interprétée comme (TRS) ;
- *U3* est une unité épaisse et progradante qui comble les parties sud et est de la vallée d'Antioche. Elle est constituée dans sa partie supérieure de sables moyens à grossiers et à débris coquilliers témoignant d'une influence marine. Elle a été assimilée à des sables d'embouchure d'estuaire ravinés par l'influence des marées ;
- *R4* qui s'étend 3 à 5 m sous l'actuel fond de la mer et se présente comme une surface d'érosion planaire à légèrement ondulée définit comme un amalgame entre une TRS (Tidal Ravinement Surface) et une WRS (Wave Ravinement Surface) ;
- *U4* constitue une mince couche de sables fins à moyens coquilliers remplissant le chenal érodé par *R4* dans la partie la plus orientale de la vallée d'Antioche Est. Le toit de cette unité correspond au fond de la mer. Elle peut être recouverte par des sédiments actuels remobilisés lors des tempêtes et sous l'action de la houle et des marées.

Sur l'ensemble du pertuis d'Antioche on observe une succession de dépôts organisée en une séquence et caractérisée par :

- des dépôts grossiers de fond de vallée en environnement fluvial (ils sont rares ou absents au niveau du seuil inter-insulaire et s'ils existent, coïncident avec l'unité sismique *U1*) ;
- des sédiments de barre de méandre fluvio-tidale d'estuaire interne (*U1*) ;
- un faciès de comblement de chenaux tidaux d'estuaire central (*U2* et *U3*) ;
- un faciès de banc sableux estuarien mis en place au niveau des interfluves (*U4*) en contexte mixte, c'est-à-dire sous la double influence des marées et de la houle.

3.2.2.1.3. Comparaison des deux pertuis

Une comparaison des deux pertuis montre que le remplissage sableux (observé par sismique et calibré par carottages) est trois fois plus volumineux dans le pertuis Breton que celui présent dans le pertuis d'Antioche.

L'essentiel du comblement de l'ensemble du pertuis Breton correspond à des sables tandis que dans le pertuis d'Antioche les faciès sont plus variés.

Ce plus grand volume en sables marins est également une caractéristique du seuil vendéo-rhétais par rapport au seuil inter-insulaire. Les formes en flèches sableuses présentées par certaines des unités du pertuis Breton mettent en évidence l'action d'une dérive littorale orientée Nord-Ouest/Sud-Est. La position du pertuis Breton en amont de cette dérive littorale pourrait expliquer son remplissage sableux plus important. Le pertuis Breton représenterait une zone de piégeage du sable provenant en partie de cette dérive littorale.

Au niveau du seuil vendéo-rhétais et des fosses de Chevarache, l'essentiel du comblement est constitué par des corps sableux progradants. Les similitudes entre les

seuils vendéo-rhétais et inter-insulaire se cantonnent à la partie superficielle du remplissage (Usb3 et Usb4 / U3 et U4) qui montre la même succession de sables grossiers recouverts de dépôts de sables fins.

Les unités acoustiques sous-jacentes du remplissage du pertuis Breton semblent essentiellement constituées de sables marins. Ainsi, le comblement des vallées incisées du pertuis Breton est marqué par l'absence de faciès sédimentaires estuariens ou fluviaux et ne semble enregistrer qu'un environnement d'estuaire externe.

Par contre, dans le pertuis d'Antioche, des faciès sablo-vaseux d'environnement estuarien interne et central constituent une part importante des dépôts.

L'absence des faciès estuariens argilo-sableux du pertuis Breton pourrait s'expliquer par le fait :

- qu'ils soient limités à la partie amont du pertuis Breton, anse de l'Aiguillon, marais d'Ars en Ré et marais Poitevin, à cause de la dimension très réduite des rivières côtières connectées au pertuis Breton, qui n'auraient apporté que de très faibles quantités de sédiments continentaux ;
- qu'ils aient existé mais aient pu être érodés ultérieurement par les courants tidaux ou la houle lors d'une transgression marine.

3.2.2.2. Embouchure de la Gironde

Une série de travaux portant sur l'estuaire de la Gironde, réalisée dans les années 90 ont produits trois principaux articles s'attachant à décrire les faciès et séquences de dépôts observables dans cet environnement estuarien, majoritairement dominé par la houle et la succession des marées (Allen, 1991 ; Allen et Posamentier, 1993 ; Allen et Posamentier, 1994).

D'après les observations, les 10 à 25 m de sédiments les plus récents (45 m au total), qui comblent la vallée incisée au niveau de l'estuaire, sont caractérisés par des dépôts holocènes transgressifs et post-holocènes régressifs.

Ces dépôts peuvent être subdivisés en trois faciès principaux qui se succèdent et définissent une séquence type de dépôt. Ils sont décrits comme :

- une couche d'environ 10 m d'épaisseur de sables grossiers et graviers fluviaux (faciès 1), recouvrant directement l'incision. Elle est dépourvue de faune d'origine marine et ne montre aucune trace de l'influence des marées. Ces dépôts fluviaux ont été attribués au Würm terminal à l'Holocène ;
- un dépôt caractéristique d'un environnement estuarien soumis à l'influence des marées (faciès 2), le plus épais des trois faciès, qui se décompose lui-même en trois principaux lithofaciès :
 - des sables à ripple-marks ou à strates entrecroisées, à nombreux interlits argileux, « flasers structures » et drapages mis en place sous la forme de barres sableuses ;
 - des argiles estuariennes ;
 - des argiles carbonées à lentilles tourbeuses (en relation avec la transgression marine holocène) ;
- des sables grossiers massifs d'embouchure, à galets éparpillés et débris coquilliers issus du démantèlement puis du remaniement par les marées, des sédiments fluviaux pléistocènes. Ils se biseautent en direction des terres et présentent des surfaces d'érosion interne recouvertes de coquilles et galets. Ce

faciès se met lui-même en place sur une surface de ravinement lié aux marées qui érode le faciès 2 et parfois le faciès 1.

Lericolais *et al.* (1998 et 2001) ont précisé la succession des séquences de dépôts au sein de l'embouchure grâce aux données des campagnes à la mer PLABAS et PLACETA.

Ces missions ont mis en évidence, pour la première fois, l'extension vers le large de la paléo-vallée de la Gironde, hypothèse précédemment énoncée par Allen et Posamentier (figure 3-21).

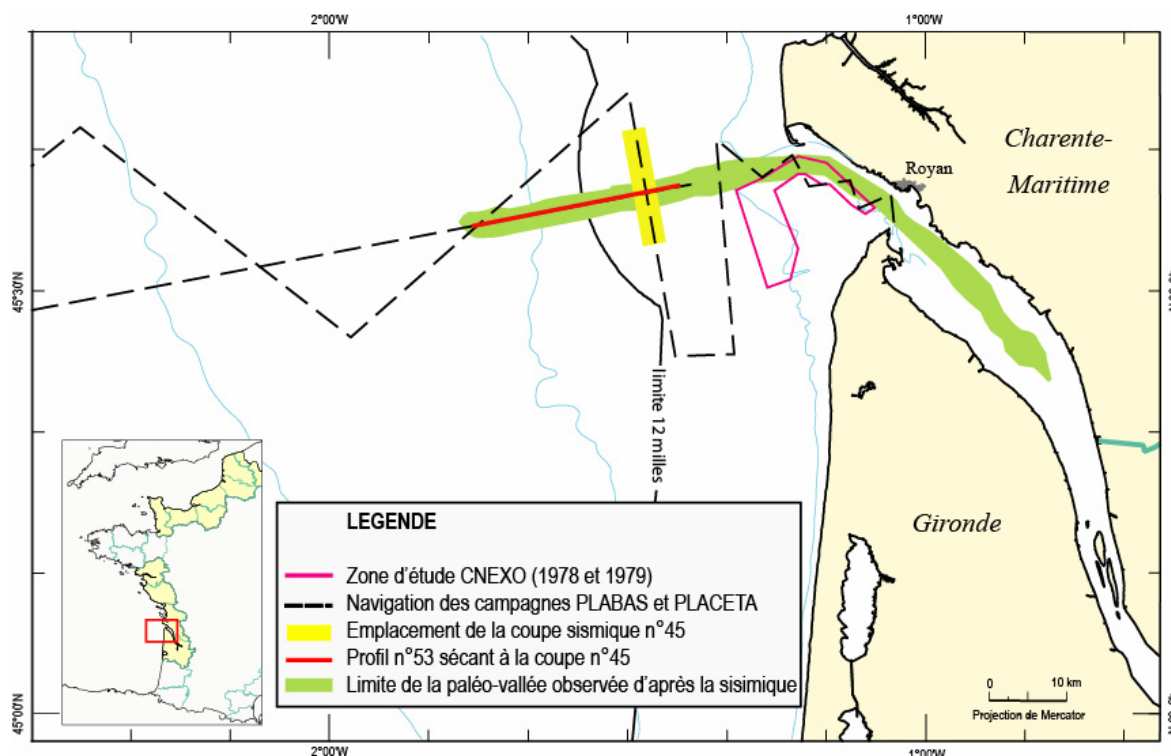


Figure 3-21 : Extension de la paléo-vallée de la Gironde mise en évidence par sismique.

Ces observations ont été rendues possibles grâce aux données de sismique THR (Très Haute Résolution) « Sparker » SIG monotrace (800 Hz) dont la résolution est proche du mètre, ainsi qu'au positionnement DGPS (Differential Global Positioning System) donnant une précision de l'ordre de quelques mètres.

Il ressort que les séquences et cortèges sédimentaires reconnus (figure 3-22) sont limités par des discontinuités qui se succèdent comme suit :

- R1 : réflecteur marquant la limite de séquence entre substratum tertiaire et remplissage de la paléo-vallée ;
- S1 : unité sismique à faciès chaotique et réflecteurs de forte amplitude sans continuité latérale et correspondant à des sables grossiers et graviers de milieu fluviatile de haute énergie (faciès 1 de Allen et Posamentier). Elle correspond à des chenaux en tresses du cortège de bas niveau marin ;
- R2 : discontinuité non érosive équivalente à une surface d'inondation ;
- S2 : unité à réflecteurs continus de haute fréquence et présentant des biseaux d'aggradation (onlaps) caractéristiques d'un milieu de plus faible énergie constitué probablement d'une alternance de sables fins, silts et argiles de plaine

estuarienne (faciès 2 de Allen et Posamentier). Elle s'est déposée lors de la remontée de la mer et correspond au cortège transgressif ;

- R3 : surface d'érosion à l'origine du thalweg, réduite à la partie centrale du profil de référence (se rapporter à l'article pour positionnement) ; elle a été interprétée comme la surface de ravinement tidal ;
- S3 : unité à réflecteur légèrement chenalisés d'amplitude et de continuité moyenne présentant des biseaux à la base (downlaps) sur R3 ; ce faciès sismique suggère la présence de sédiments relativement grossiers, sableux, mis en place lors de la migration latérale, vers le Sud, des passes de l'embouchure sous l'effet de la houle. Elle s'apparente à un cortège transgressif (faciès 3 de Allen et Posamentier) ;
- R4 : réflecteur tronquant R3 en bordures nord et sud du profil de référence, il s'agit d'une surface de ravinement liée à la houle ;
- S4 : alternance de sables marins et de vases bioclastiques (s'étendant sur l'ensemble du plateau aquitain) constituant le cortège de haut niveau marin.

Cet ensemble s'organise en une séquence stratigraphique d'ordre 5, correspondant à un laps de temps égal à 20 000 ans.

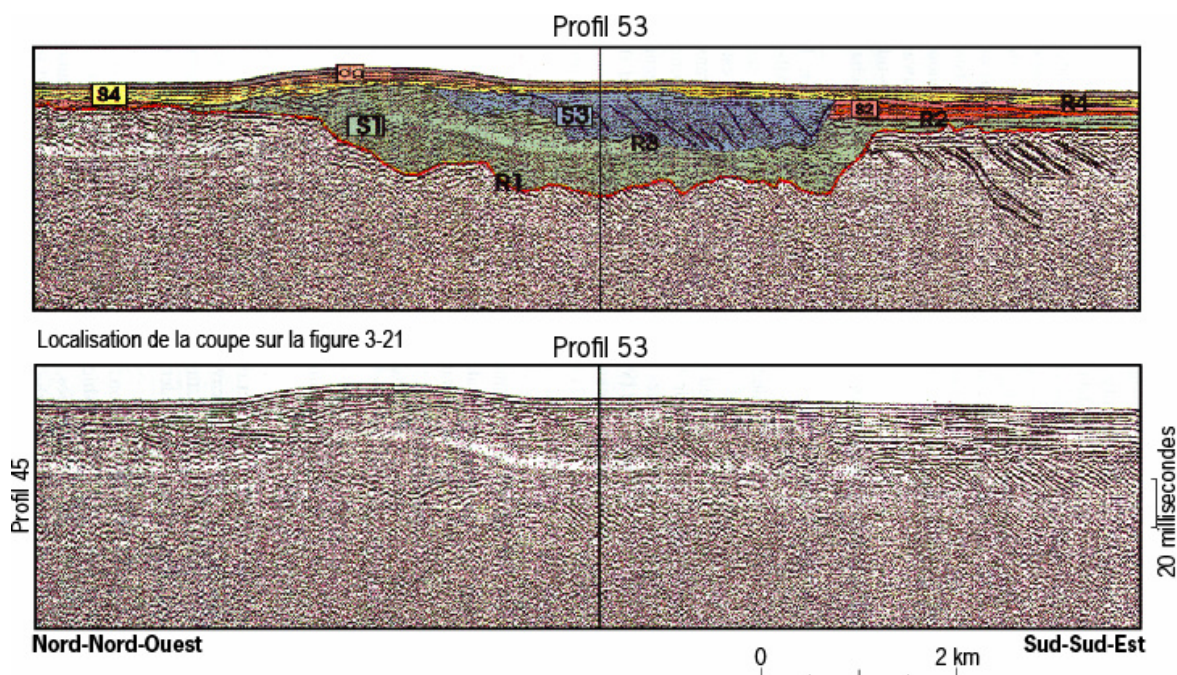


Figure 3-22 : Coupe montrant la succession des différentes séquences de dépôts dans la paléo-vallée de la Gironde (Lericolais et al, 2001).

Une comparaison entre les interprétations sismiques des pertuis charentais et celles de l'estuaire la Gironde (Lericolais et al., 2001) prouve qu'il existe d'importantes similitudes dans leur architecture sédimentaire.

Dans les deux cas les réflecteurs internes ont des pendages assez importants à la base et au sommet de la séquence (U1, U3, U4, U5 pour la paléo-Charente et S1, S3, S4 pour l'embouchure de la Gironde) et montrent un horizon sismique médian à faible pendage angulaire (U2 pour la paléo-Charente, S2 pour l'estuaire de la Gironde).

Ces ressemblances laissent à penser que le remplissage de la paléo-vallée de la Charente représente lui aussi une seule et unique séquence stratigraphique mise en place pendant la dernière remontée du niveau marin.

3.2.2.3. Large du bassin d’Arcachon

Féniès et Lericolais (2005) ont décrit l’architecture interne d’une paléo-vallée en environnement hydrodynamique à forte énergie de houle et de marées. Un profil de sismique très haute résolution a été réalisé par l’Ifremer, au moyen d’un « Sparker » SIG monotrace selon une direction Nord-Sud, à 10 km de la côte ouest du bassin d’Arcachon et à une profondeur d’eau comprise entre 30 et 40 m (figure 2-50 page 61). L’enregistrement met en évidence, au large du cap Ferret et sur une distance de 9 km, une incision en forme de U, très évasée et interprétée comme la paléo-vallée de la Leyre.

Cette incision est remplie au maximum par 20 à 25 m de sédiment et a été creusée dans des formations pliocènes. Elle s’est vraisemblablement produite au Pléistocène supérieur, comme la paléo-vallée de la Gironde.

Un carottage géotechnique (Persée I), réalisé pour l’implantation d’un puit pétrolier et situé à proximité du profil de sismique (figure 2-50), a montré des dépôts quaternaires marins caractérisés par des sables moyens à grossiers à débris de coquilles marines reposant sur des dépôts du Pliocène.

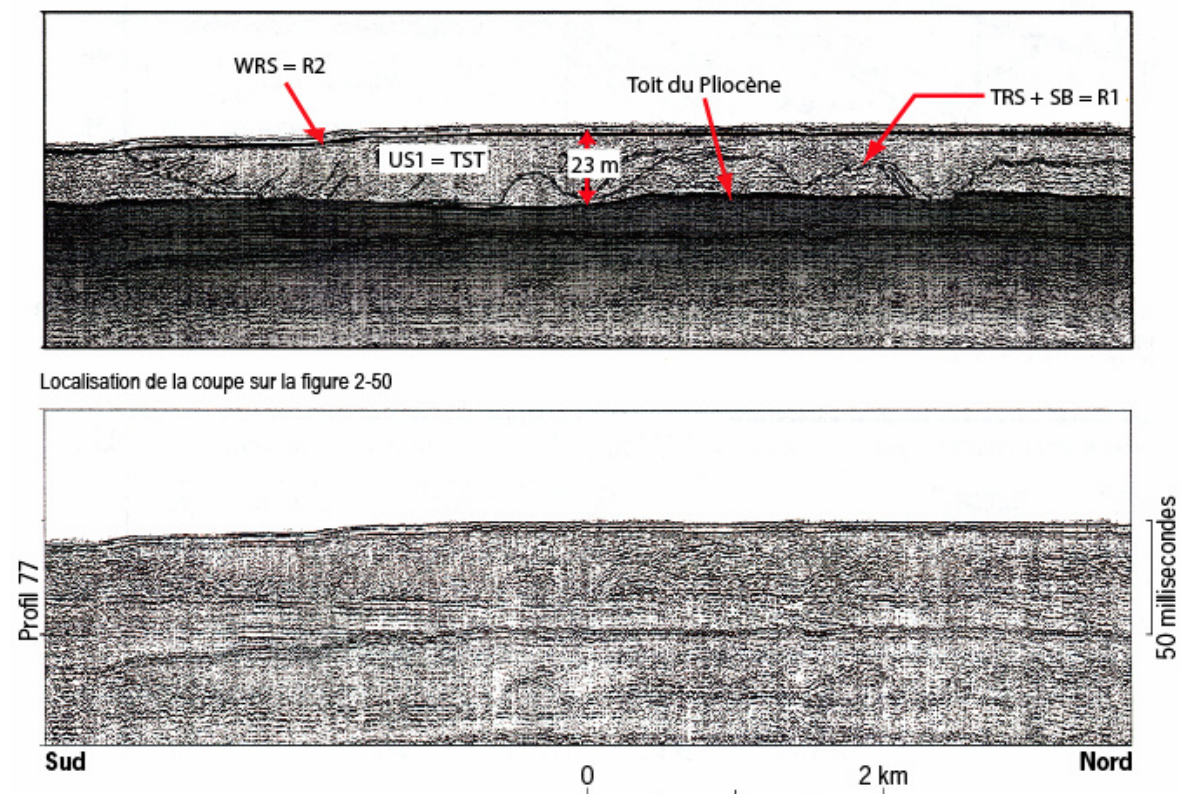


Figure 3-23 : Coupe montrant la succession des différentes séquences de dépôts dans la paléo-vallée de la Leyre (Féniès et Lericolais, 2005).

L'interprétation du remplissage en termes de stratigraphie séquentielle, grâce au profil de sismique réflexion numéro 77 de la campagne PLACETA, montre une succession d'unités sismiques mises en place lors du dernier cycle glacio-eustatique (figure 3-21) :

- R1, surface d'érosion basale, interprétée comme une limite de séquence composite, d'origine fluviale puis surcreusée par une surface de ravinement tidal ;
- US1, recouvrant R1 est une unité constituée de sables moyens à grossiers à débris de coquilles marines. Elle correspond aux dépôts de chenaux de marée et est interprétée comme représentant l'ensemble du cortège transgressif. Elle est donc uniquement liée à un processus ;
- R2, surface très érosive, est assimilée à une surface de ravinement par les vagues ;
- R3, surface d'inondation maximum, se superpose à la surface de ravinement par les vagues (R2) et se confond avec celle-ci sur le profil sismique ;
- US2, correspondant au cortège de haut niveau marin, est formée d'une fine couche de sédiment d'épaisseur métrique reposant directement sur R3 avec laquelle elle est amalgamée.

La conclusion de ces travaux indique que, contrairement à la paléo-vallée de la Gironde, la paléo-vallée de la Leyre est déblayée de ses dépôts basaux d'origine fluviale et correspondant au cortège de bas niveau marin. Ce cortège n'a pas été préservé car il a été érodé par le ravinement tidal généré pendant la transgression.

4. Synthèse des résultats – Évaluation des ressources

Les documents cartographiques de synthèse, illustrant les résultats de cet inventaire et accompagnant ce rapport, sont présentés hors texte à l'échelle 1/250 000. Cette échelle a été adoptée pour l'ensemble des cartes des deux façades. Elle présente l'avantage de permettre une restitution des informations disponibles par secteur avec une bonne précision, une bonne lisibilité et à un format aisément manipulable.

En effet, les cartes de base disponibles sont fournies à des échelles variées, allant du 1/25 000 au 1/500 000. L'homogénéité d'échelles facilite la comparaison des différentes données : étendue géographique des systèmes (nappes ou bancs), précision et densité de l'information selon les secteurs.

Enfin, un dernier paramètre a dû être défini préalablement à l'élaboration de la base de données (voir chapitre 5), il s'agit de la projection et de l'ellipsoïde de géoréférencement. Il a été convenu d'utiliser la projection Mercator (classique en domaine marin) avec le système géodésique WGS84. La latitude de référence est 50° N pour la façade « Manche-Est » et 46° N pour la façade « Loire-Gironde ».

4.1. Évaluation des ressources à l'échelle de la façade « Manche-Est »

4.1.1. Épaisseurs sédimentaires

Les cartes des épaisseurs des nappes alluviales et des bancs sableux constituent le résultat de cette synthèse de données et précisent leur extension géographique, leur morphologie interne ainsi que l'épaisseur de sédiments (voir cartes « Épaisseurs des sédiments meubles » hors texte).

Un examen systématique des sismogrammes et descriptions de carottes de toutes les campagnes de l'inventaire national a permis de vérifier la concordance des données avec la carte des paléo-vallées et des bancs sableux de la Manche Orientale (Auffret et Alduc, 1982). Elle constitue donc le document de référence dans la construction des cartes de synthèse.

Les précisions données par les différentes études, notamment la campagne en Manche centrale et orientale de 1969, la mission en baie de Seine de 1972 et les résultats de la campagne GRANOR de 1986 ont été ajoutées et permettent de compléter, au moins localement, la connaissance de ces ressources. Ainsi, pour certains secteurs comme la baie de Seine et le Nord-Pas de Calais, la carte initiale d'Auffret et Alduc (1982) a été modifiée par ajout des données nouvelles et/ou révision du tracé des courbes isopaques. Quelques informations auront ponctuellement été ajoutées grâce aux données des profils sismiques de 1969, notamment au large de la presqu'île du Cotentin (figures 4-1, 4-2 et cartes « Épaisseurs des sédiments meubles » hors texte).

La carte des épaisseurs des sédiments des bancs sableux, pour le secteur du Nord-Pas de Calais, correspond à une synthèse de documents cartographiques (figure 4-2). Les limites d'extension des différents bancs ont été empruntées aux : « Carte des sédiments superficiels au large de Boulogne-sur-mer », « Carte des sédiments superficiels au large de Calais-Dunkerque » et « Le domaine Nord-Pas de Calais : carte des formations superficielles ». Les courbes isopaques ont été extraites de la carte : « Isopaques des sédiments meubles (bancs sableux) » du rapport « Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais », et des courbes bathymétriques tirées des cartes du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM).

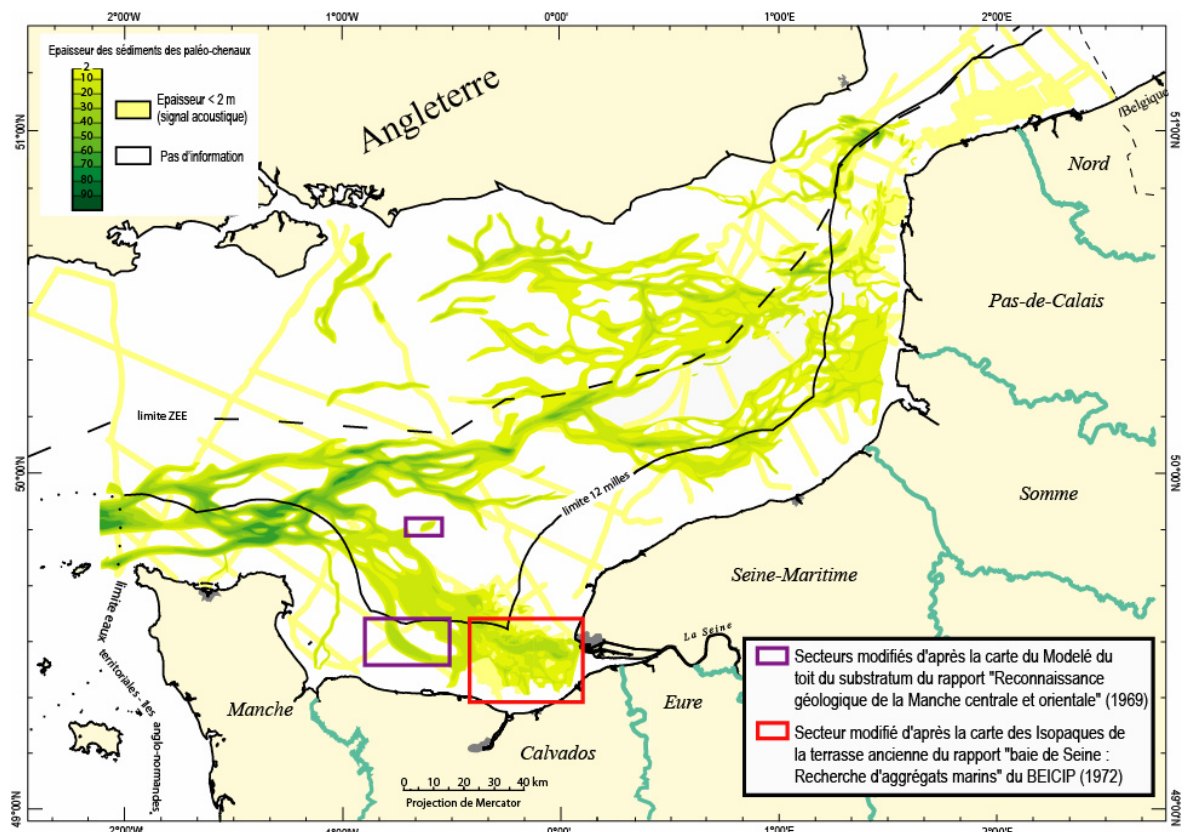


Figure 4-1 : Morphologie et remplissage sédimentaire des paléo-vallées de la façade « Manche-Est ».

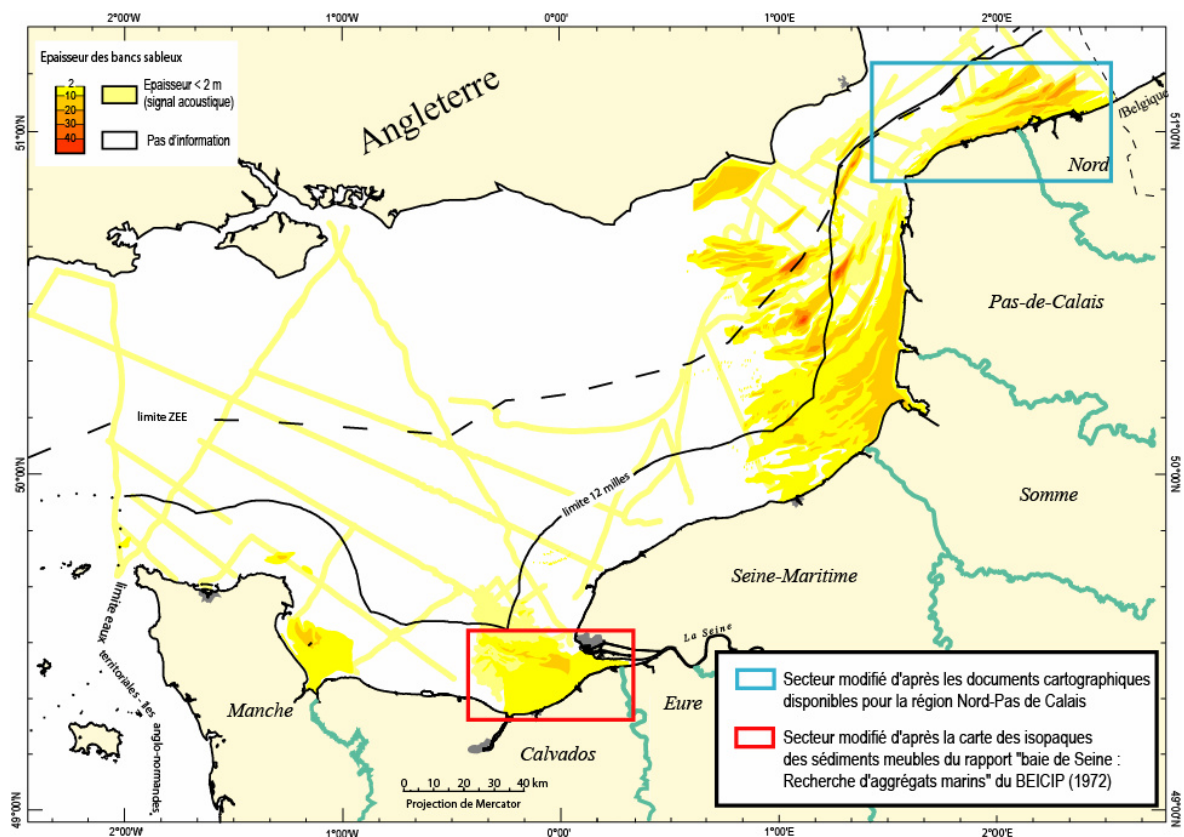


Figure 4-2 : Morphologie et épaisseurs des bancs sableux de la façade « Manche-Est ».

4.1.2. Nature des sédiments

Il est possible de coupler les enregistrements sismiques (profils) et les données sédimentologiques (carottes). Les profils les plus représentatifs et les carottages les plus rapprochés ont été sélectionnés. Les profils ont ensuite été habillés avec les logs descriptifs des carottes afin de dresser des coupes schématiques des ressources (figures 4-3 à 4-8 et cartes « Travaux réalisés » hors texte).

Six profils représentatifs (WBE 74, AD 18-04-69, EVA 36, PCS 10-04-69, EVI 36, et PCS 08-04-69) enregistrés lors de la campagne de reconnaissance de la Manche centrale et orientale de 1969 ont ainsi été sélectionnés. Les données de carottage des campagnes de reconnaissance de la Manche centrale et orientale de 1969, des campagnes en baie de Seine et Manche orientale de 1972 et de la campagne GRANOR 1985 viennent illustrer la nature des bancs sableux et/ou du remplissage des paléo-vallées observés sur les sismogrammes.

Le profil WBE 74 (figure 4-3), orienté Ouest-Nord-Ouest/Est-Sud-Est selon la direction de la paléo-Seine, se situe au large du Havre. Dans ce secteur de la baie de Seine, les carottes montrent des faciès majoritairement grossiers à nombreux graviers et galets.

Le profil AD (figure 4-4), plus au Nord, présente une direction transverse par rapport au profil WBE 74. Il s'étend sur la façade nord du département de la Seine-Maritime, du cap d'Antifer au large de Fécamp. Les trois carottes qui détaillent le remplissage des paléo-vallées présentent des sédiments moins grossiers, essentiellement constitués de sables grossiers et de graviers, devenant, sur la carotte la plus longue (9 m), plus fins en profondeur.

Le troisième profil illustré EVA 36 (figure 4-5) est positionné au droit de Dieppe selon une orientation Nord-Nord-Ouest/Sud-Sud-Est. Cinq carottages, situés sur la partie la plus proche de la côte permettent de détailler la nature des sédiments des paléo-chenaux. Les matériaux rencontrés dans les carottes sont hétérogènes mais toujours à forte fraction grossière. Les faciès se composent d'un mélange, légèrement coquillier, de sables grossiers, graviers et galets dans des proportions variables.

Le profil PCS (figure 4-6) se situe sur la façade ouest du département du Pas-de-Calais et s'oriente selon une direction Est-Nord-Est/Ouest-Sud-Ouest. Il s'étend du large de la baie de Somme à Boulogne-sur-mer et montre à la fois des paléo-chenaux et des bancs sableux. Les sédiments présents dans les carottes ayant rencontré les bancs sableux sont majoritairement des sables moyens relativement coquilliers. Alors que le faciès du remplissage des incisions est plus hétérogène (sables fins à grossiers) et montre des passées graveleuses ou argileuses ainsi que de rares galets.

Le profil EVI 36 (figure 4-7), situé au large de Boulogne-sur-mer et orienté selon une direction Ouest-Nord-Ouest/Est-Sud-Est, montre une incision du fond de la mer sans remplissage. Il pourrait s'agir d'une ancienne paléo-vallée déblayée de ses sédiments. On observe également des bancs sableux qui présentent tous un faciès de sables fins à moyens plus ou moins coquilliers. Des graviers et cailloutis, contenant quelques galets recouvrent le substratum, ils sont présents à la base des bancs sableux (carotte n°16) et constituent le faciès « inter-bancs » rencontré dans les carottes n°21 et 22.

Le dernier profil PCS est orienté Ouest-Sud-Ouest/Est-nord-Est, du cap Gris Nez au large de Dunkerque (figure 4-8). Les faciès rencontrés sont très hétérogènes allant des argiles aux galets. Au sein des bancs sableux (carottes n°17, 35 et 36) les sédiments sont sablo-graveleux à galets de silice et contiennent des débris de coquilles. Les carottes

prélevées, dans ce qui semble être une paléo-vallée, montrent des sables fins à moyens à débris coquilliers et graviers ainsi qu'un épais niveau argileux à la base.

Ces quelques exemples ainsi que l'examen des fiches de carottages des différentes campagnes semble démontrer que :

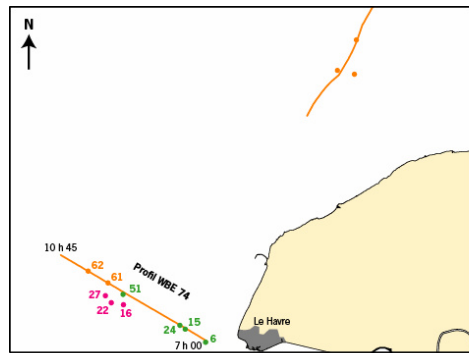
- pour un même secteur les sédiments sont plus grossiers à proximité des côtes que vers le large (baie de Seine et baie de Somme), illustrant ainsi la dynamique des écoulements des paléo-rivières qui drainaient les sédiments en direction du centre de la Manche où elles confluaient pour ensuite s'écouler vers l'Atlantique ;
- pour la façade « Manche-Est », il existe un gradient Est-Ouest pour la teneur en éléments très grossiers dans les sédiments. En effet les galets sont très nombreux dans les carottes de la baie de Seine et diminuent au fur et à mesure de l'approche du Pas-de-Calais, où ils ne forment plus qu'une mince nappe (cf. cartes des sédiments superficiels, 1987, 1989 et 1995). Par ailleurs, les sédiments semblent plus coquilliers au Nord-Est qu'au niveau de l'embouchure de la Seine. Ces observations sont à nuancer dans la mesure où le recouvrement des paléo-chenaux par de nombreux bancs sableux au niveau du Nord-Pas de Calais ne permet pas aux carottiers d'atteindre les remplissages de paléo-vallées et donc de caractériser en détail les différents faciès.

Cependant, l'acquisition sismique effectuée avec un maillage trop lâche, et la faible quantité de carottages, compte tenu des dimensions de la zone prospectée (Manche-Est), ne facilitent pas une détermination précise des volumes des ressources. En effet, plus les profils sont éloignés, plus l'interpolation est hasardeuse.

De plus, l'espacement entre les différents carottages rend difficile la corrélation des faciès observés et ne permet donc pas de caractériser l'extension des différents faciès sédimentologiques. La nature des ressources n'a, de ce fait, pas pu être détaillée.

De même, les carottes ne fournissent que des informations sur la partie superficielle des dépôts (quelques mètres), induisant une méconnaissance de la nature des sédiments en profondeur. Il n'a également pas été possible d'associer les faciès sédimentaires aux faciès sismique en raison du manque de résolution des profils et de pénétration des carottages.

Enfin, les zones pour lesquelles il n'existe aucune information ont été laissées « en blanc » sur les cartes (figure 4-1, 4-2 et cartes « Épaisseur des sédiments meubles » hors texte). La présence de ressources n'y est pas exclue mais cela demande à être vérifié.



Campagne Manche centrale et orientale 1969
Campagne baie de Seine 1972
Campagne baie de Seine 1976

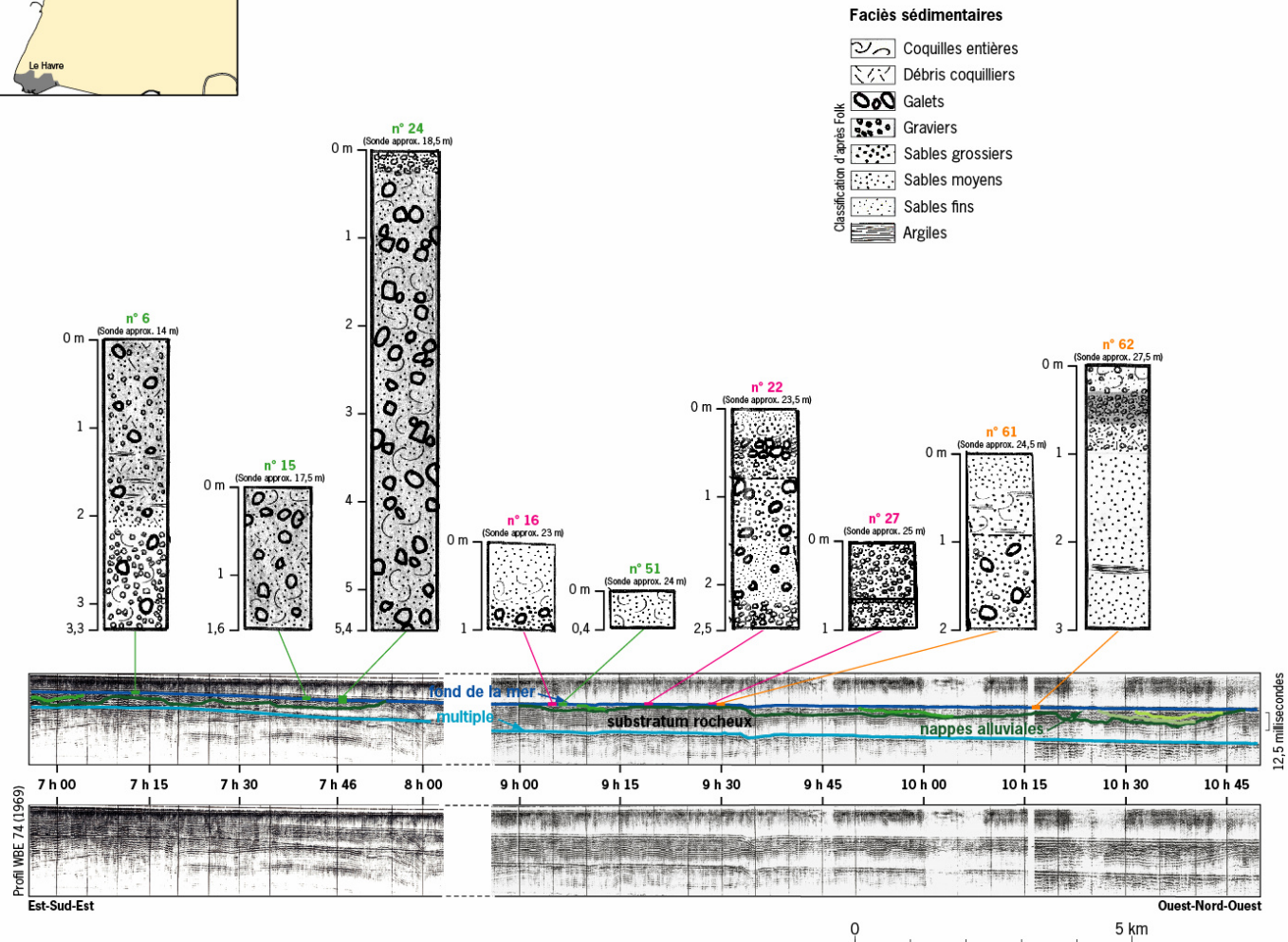


Figure 4-3 : Profil WBE 74.

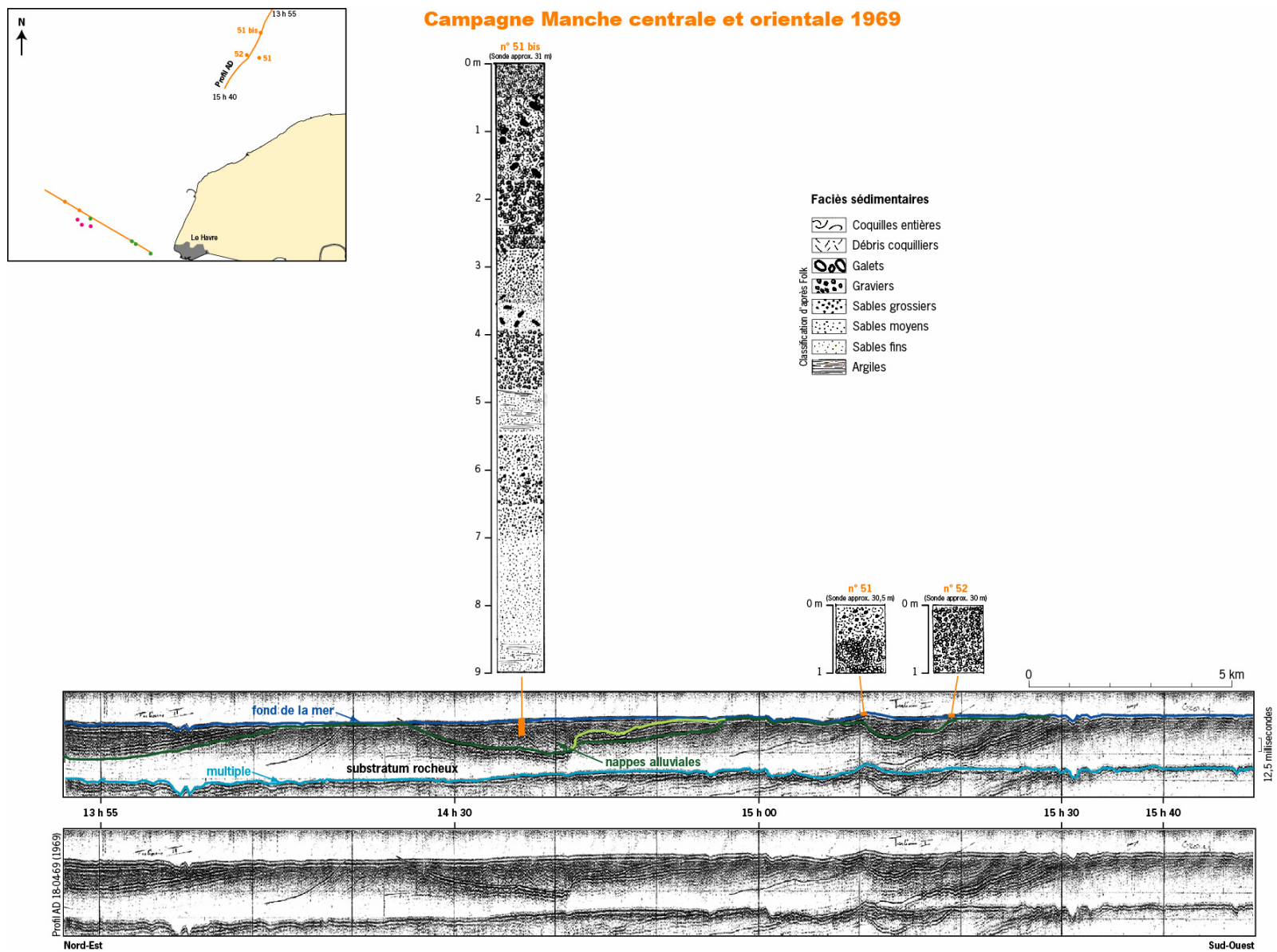
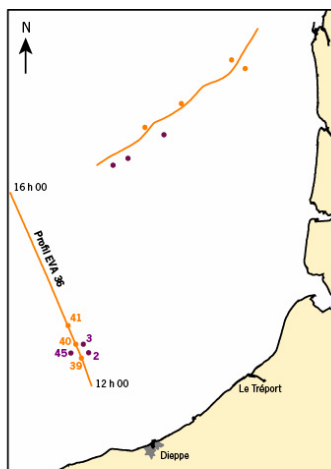


Figure 4-4 : Profil AD



Campagne Manche centrale et orientale 1969
Campagne Manche orientale 1972

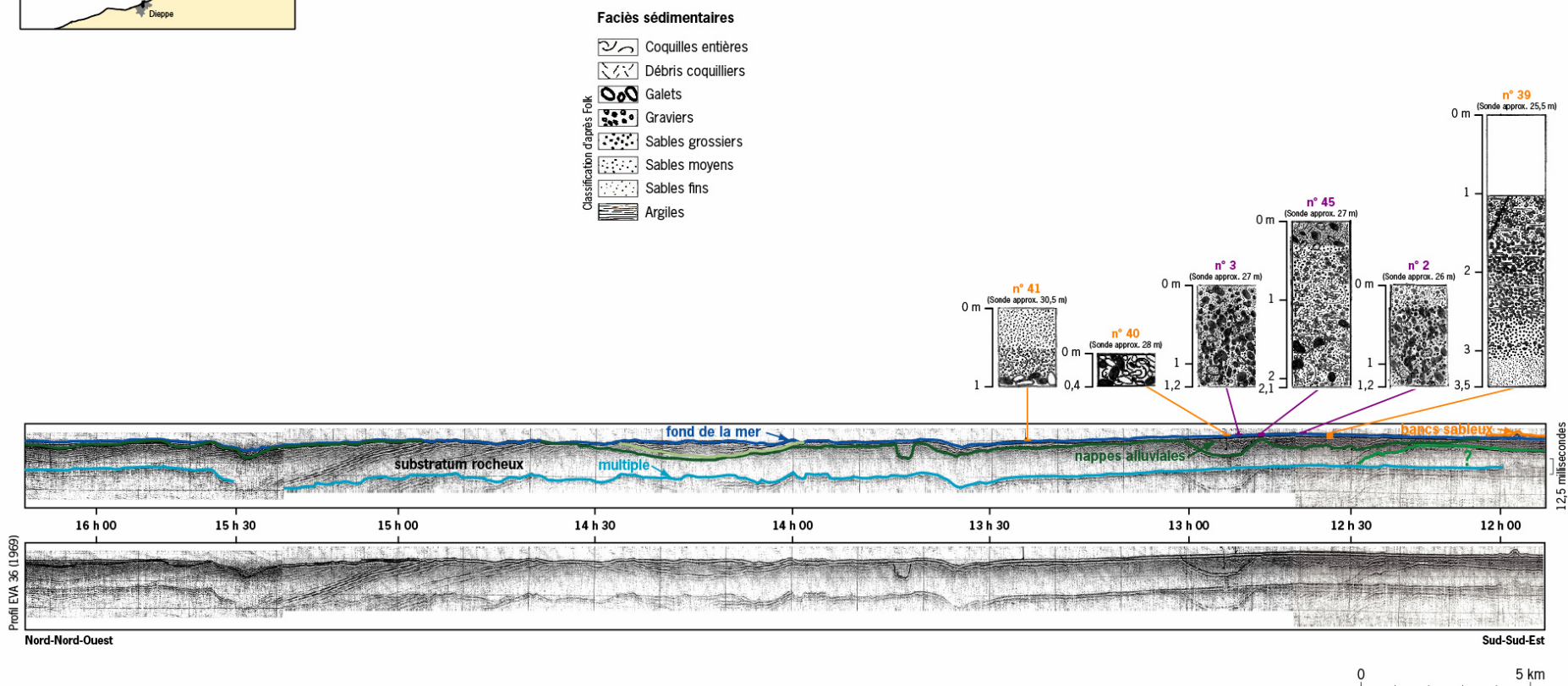


Figure 4-5 : Profil EVA 36.

Campagne Manche centrale et orientale 1969
Campagne Manche orientale 1972

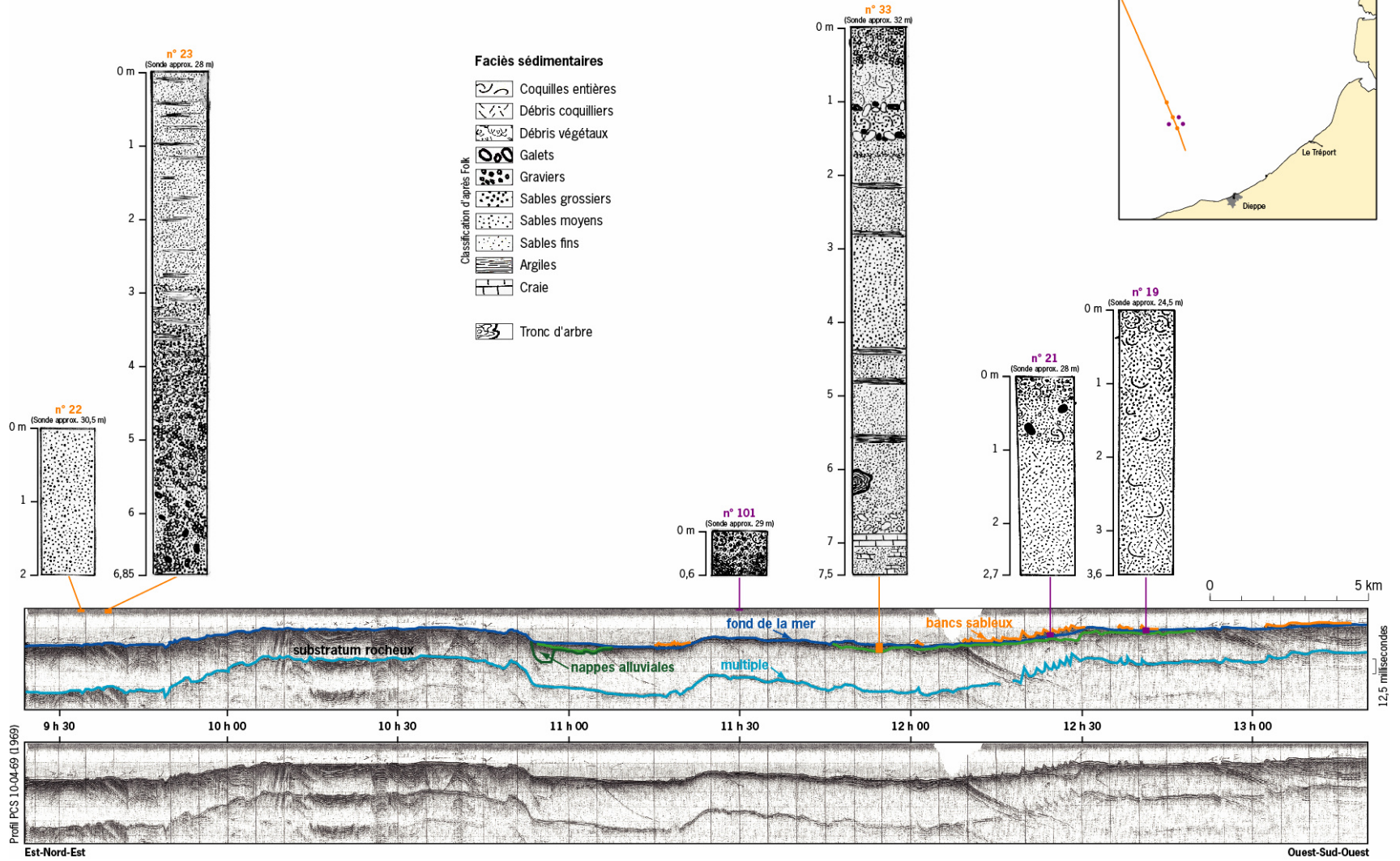











Figure 4-6 : Profil PCS (10/04/1969).

Campagne Manche centrale et orientale 1969 Campagne GRANOR 1985

- Faciès sédimentaires**
-  Coquilles entières
 -  Débris coquilliers
 -  Galets
 -  Graviers
 -  Sables grossiers
 -  Sables moyens
 -  Sables fins
 -  Siils
 -  Substratum marneux
- Classification d'après Folk**

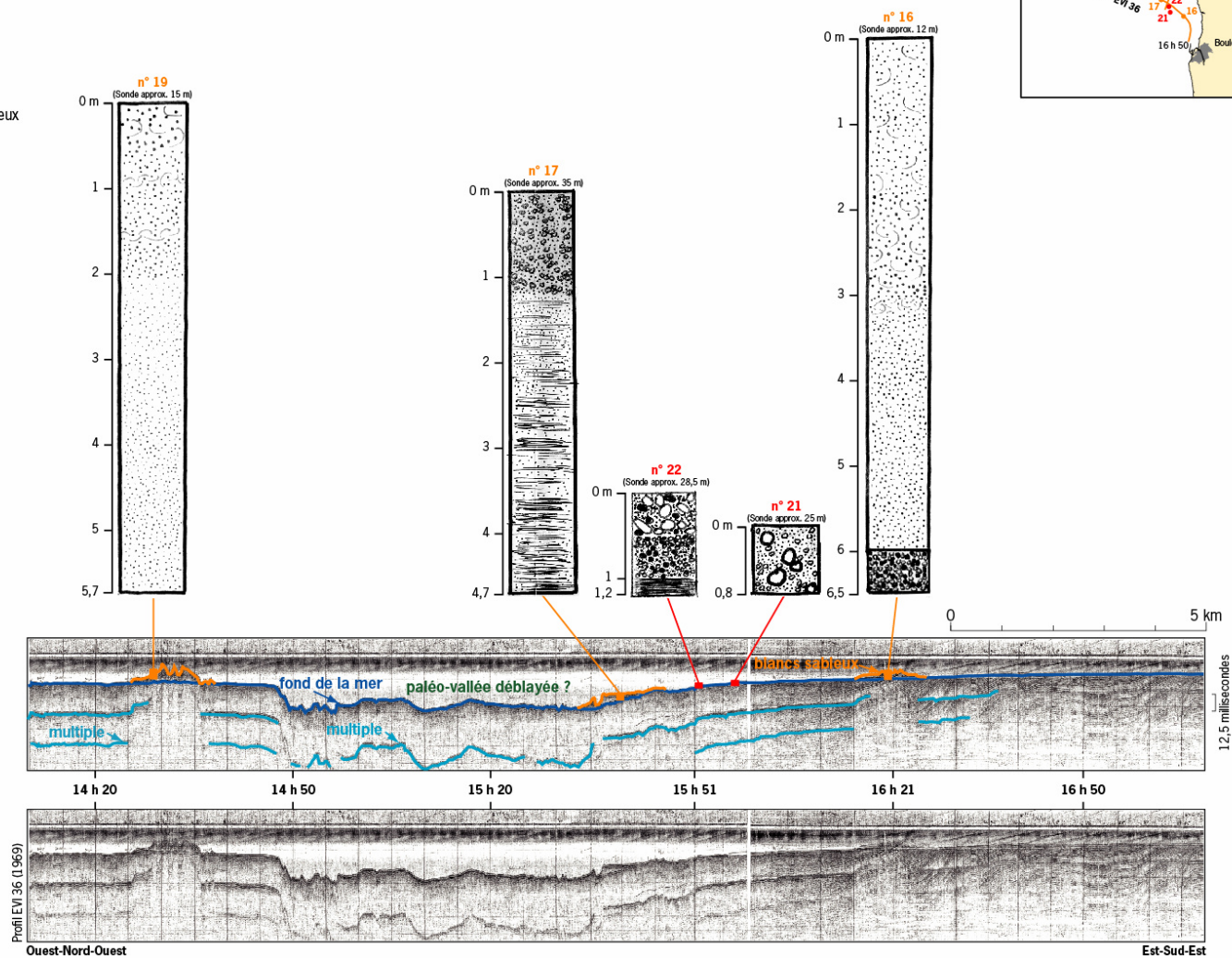
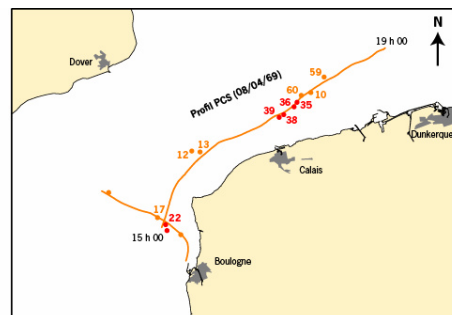


Figure 4-7 : Profil EVI 36.



Campagne Manche centrale et orientale 1969 Campagne GRANOR 1985

- Faciès sédimentaires**
- Coquilles entières
 - Débris coquilliers
 - Galets
 - Gravier
 - Sables grossiers
 - Sables moyens
 - Sables fins
 - Argiles
- Classification d'après Folk

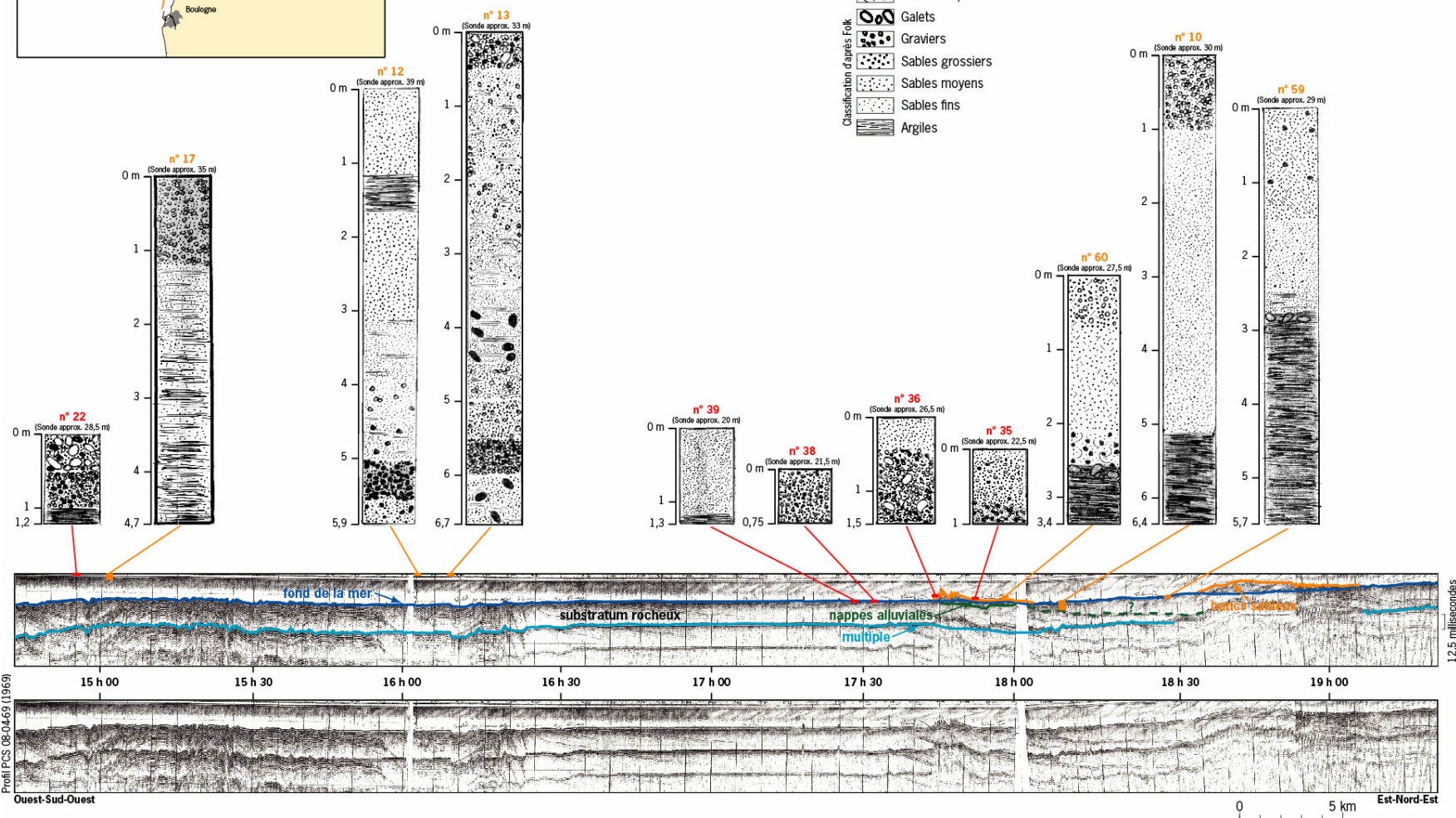


Figure 4-8 : Profil PCS (08/04/1969).

4.1.3. Quantification des ressources

4.1.3.1. Méthode graphique à partir du logiciel ArcView (Système d'Information Géographique)

L'Ifremer utilise un SIG pour gérer et archiver les données et les résultats des campagnes. Les navigations extraites des rapports répertoriés dans le cadre de cette étude et les cartes des épaisseurs des sédiments meubles ont été numérisées.

A partir des fichiers de numérisation des cartes des épaisseurs, il a été possible d'estimer graphiquement les volumes des ressources.

Grâce au logiciel ArcView (SIG), on détermine les surfaces correspondant à l'intervalle entre deux courbes isopaques successives, sur l'ensemble de la façade « Manche-Est » et dans la ZEE française. La surface (S) utile pour chaque « tranche d'épaisseur » est celle comprise entre deux courbes isopaques successives. La prise en compte de la valeur de l'épaisseur (E) permet d'aboutir au volume (V) de la « tranche » considérée (figure 4-9). Le volume total est équivalent à la somme des volumes moyens de chaque tranche.

A partir des courbes isopaques, il est possible d'estimer le volume des ressources. Pour chaque type d'accumulations (nappes alluviales et pour les bancs sableux), le volume a été calculé pour l'ensemble de la façade « Manche-Est » jusqu'à la côte anglaise, puis limité à la Zone Économique Exclusive française (ZEE).

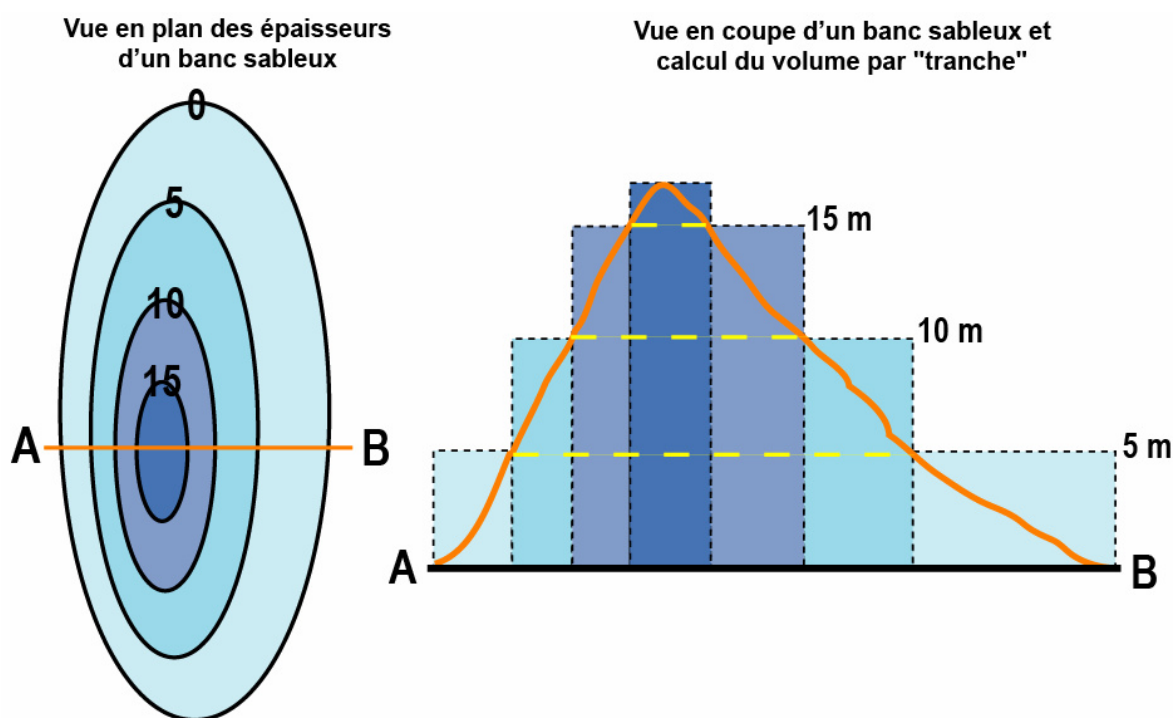


Figure 4-9 : Méthode graphique d'estimation de volume par le logiciel ArcView.

La méthode de calcul utilisée a été identique pour les paléo-vallées et les bancs sableux (tableau 4-10).

Nature des accumulations	Volume minimum (en millions de m ³)	
	Ensemble de la "Manche-Est"	Limité à la ZEE française
Bancs sableux	36 700	30 500
Paléo-vallées	108 900	86 250
Total	145 600	116 750

Tableau 4-10 : Volumes de matériaux marins estimés par méthode graphique.

Quelques précautions sont à prendre puisque cette méthode de calcul ne prend pas en compte la morphologie complexe des structures et doit donc fournir une évaluation sous-estimée des volumes obtenus.

De plus l'évolution des techniques d'acquisition et de traitement des données sismiques apporte une meilleure définition des interfaces substratum rocheux et sédiments meubles, donc une meilleure approche des épaisseurs des accumulations.

L'évaluation des volumes de sédiments de la façade « Manche-Est », par cette méthode de calcul, ne fournit qu'une estimation des quantités potentiellement présentes en raison des incertitudes existantes : exactitude de la donnée de base et méthode mathématique appliquée.

Cette méthode constitue une première approximation dans le calcul des volumes. L'utilisation de la géostatistique permet de préciser cette estimation.

4.1.3.2. Méthode géostatistique

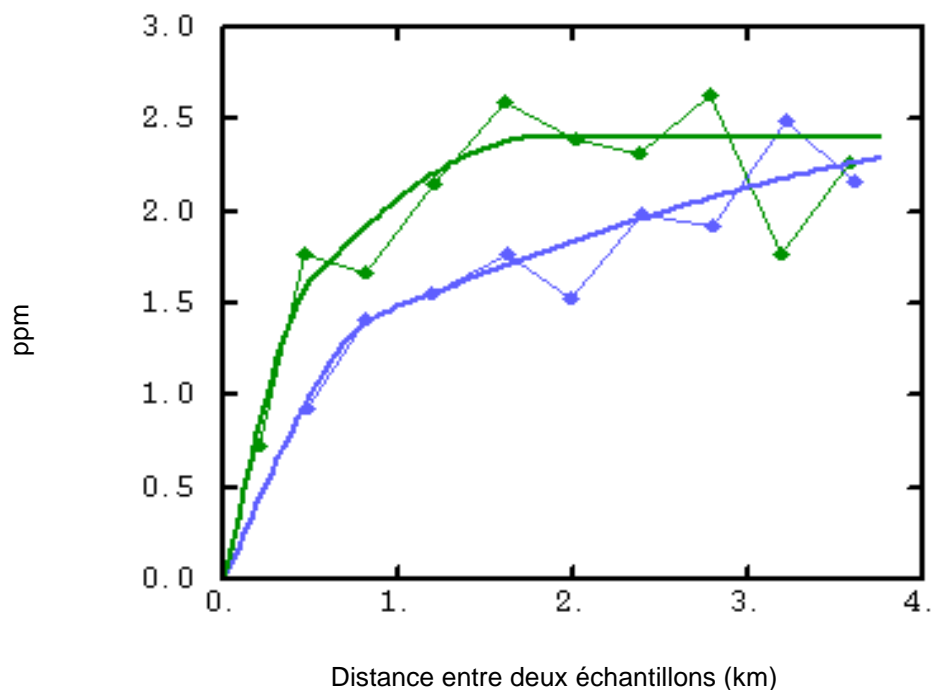
L'exploitation des ressources minières est à l'origine de la géostatistique : il fallait connaître avec le moins d'erreur possible les volumes, tonnages et teneurs d'un gisement à partir d'un nombre très limité d'observations.

L'idée du Pr. Matheron, père fondateur de la géostatistique il y a 50 ans, était tout d'abord de renseigner un espace discrétisé sous forme de grille, et limité à la zone d'étude, à partir d'observations interpolées par krigeage (en hommage aux travaux du Dr. Krige sur les gisements d'or d'Afrique du Sud) puis de calculer un indice de confiance à chaque point de cet espace.

Le krigeage est l'estimation à chaque point cible par combinaison linéaire d'échantillons pondérés : $Z^*(\text{cible}) = \sum_i \lambda_i z_i$

Les z_i correspondent aux mesures retenues et constituent le voisinage sélectionné parmi les échantillons disponibles,

Les λ_i sont des coefficients de pondération. Ils sont calculés à partir de l'ajustement par une fonction mathématique simple du variogramme, outil de base de la géostatistique, et tiennent compte de la variabilité du phénomène, de la géométrie entre les échantillons et la cible, de la géométrie des échantillons entre eux.



Lignes brisées : variogrammes expérimentaux ; traits gras : variogrammes ajustés.
 En vert : direction Nord-Sud ; en bleu : direction Est-Ouest.
 (source : Air-Normandie et Géovariances)

Figure 4-11 : Variation du benzène au-dessus de Rouen selon deux directions.

La moyenne des écarts entre deux points proches est plus faible que celle entre deux points éloignés. Mais la façon dont le variogramme expérimental varie est propre à chaque phénomène étudié. Le krigeage prend bien en compte la variabilité spatiale du phénomène par l'intermédiaire des coefficients. Il s'agit d'une méthode d'interpolation sans biais et robuste. La suppression ou l'ajout d'un nouveau point d'échantillon ne perturbe pas le résultat.

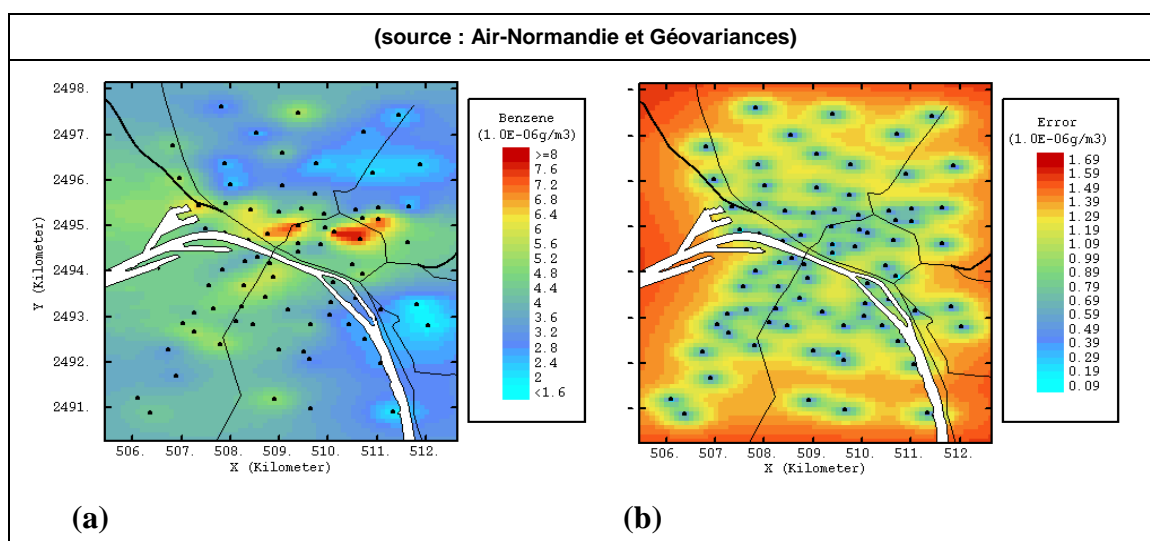


Figure 4-12 : Interpolation du benzène au dessus de Rouen selon deux directions (a) et précision de l'interpolation (b).

La variance de krigeage, facilement calculable, fournit alors une carte de précision et indique les zones sous-échantillonnées.

De nombreuses variantes du krigeage permettent des traitements plus sophistiqués : fusion de données hétérogènes (méthode par dérive externe), filtrage de bruit (analyse krigeante).

Les applications concernent toujours les domaines minier et pétrolier (estimation du volume d'hydrocarbure, des incertitudes sur ce volume, des corrélations entre données de puits et mesures géophysiques). Mais dorénavant la géostatistique sort de son domaine de naissance : l'environnement (cartographie, pollution, météorologie, estimation des volumes à draguer dans les chenaux d'accès à un port, relief sous-marin et épaisseur sédimentaire), l'estimation de ressources vivantes (stock de poissons), le domaine médical (études épidémiologiques), le domaine financier.

Le modèle de krigeage retenu est un krigeage cubique à dérive d'ordre 2. Les volumes ont été calculés d'après cent simulations géostatistiques (tableau 4-13).

Nature des accumulations	Volume moyen (en millions de m ³)	
	Ensemble de la "Manche-Est"	Limité à la ZEE française
Bancs sableux du Nord-Pas de Calais	33 300	28 200
Bancs sableux de la baie de Seine	4 200	4 200
Paléo-vallées	133 600	116 600
Total	171 100	149 000

Tableau 4-13 : Volumes en matériaux marins estimés par méthode géostatistique.

Ces résultats seront les valeurs prises en compte pour les volumes des ressources en « Manche-Est ».

4.1.4. État des exploitations et des projets en cours

Sur la façade « Manche-Est », seuls trois sites d'extraction sont, en 2005, en activité : Graves de l'estuaire, Graves de mer et Gris Nez. Une exploitation a eu lieu au large de Wissant jusqu'en 1981.

Deux sites font l'objet d'instruction minière en vue d'exploitation : Baie de Seine et Ouistreham.

Trois sites sont retenus pour la recherche de granulats : Côte d'Albâtre *, Saint-Nicolas ** et Charlemagne *** (figure 4-14).

* Côte d'Albâtre (permis de recherche accordé par l'arrêt ministériel du 3 juillet 2002 pour une durée de cinq ans ; demande d'ouverture de travaux présentée en 2003) ;

** Saint-Nicolas (permis de recherche accordé par l'arrêt ministériel du 19 mars 2004 pour une durée de cinq ans ; demande d'ouverture de travaux accordée en 2005) ;

*** Charlemagne (demande de permis de recherche examinée en 2005).

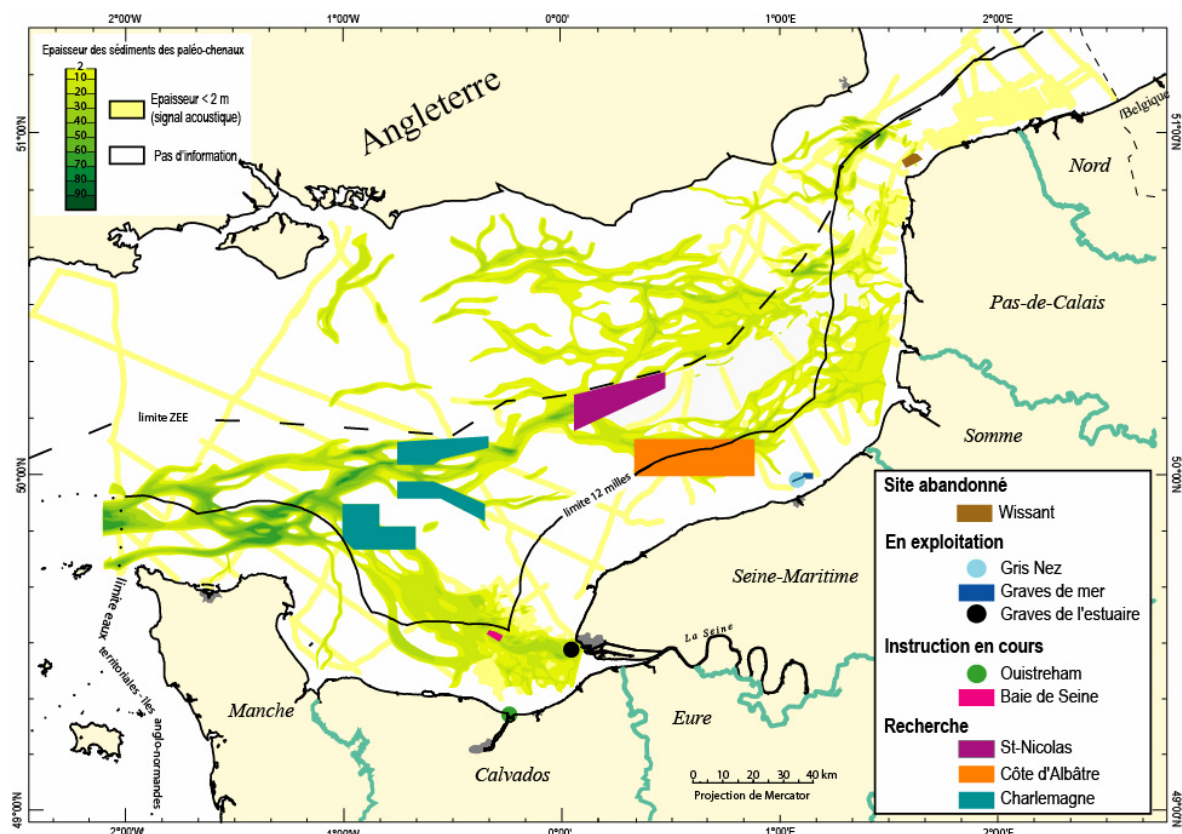


Figure 4-14 : Localisation des exploitations et des projets sur la façade « Manche-Est » (www.ifremer.fr/drogm/Realisation/Miner/Sable/exploitation.htm).

Une expérience originale : la « souille CNEXO »

Une des missions imputées au CNEXO de 1972 à 1976, dans le cadre d'un programme d'étude des matériaux en prévision de problèmes d'approvisionnement, fût l'étude des conséquences écologiques d'une exploitation. A ce titre, une expérience « grandeur nature » a été lancée à partir de 1973 en baie de Seine afin d'analyser les répercussions de l'exploitation des granulats marins sur le milieu marin.

Le site retenu pour cette expérimentation, la souille expérimentale de baie de Seine dite « souille CNEXO », a été creusée de 1974 à 1980-81, au cours de

treize campagnes de dragages, dégagant plus de 2,8 millions de m³ de matériaux.

Cette souille expérimentale se situe sur le flanc nord du banc de Seine, à une profondeur moyenne de 16 à 17,5 m et à une distance de 7 à 8 milles à l'Ouest du cap de la Hève (figure 4-15). Elle a été draguée dans une terrasse ancienne du paléo-cours sous-marin de la Seine. Orientée selon une direction Sud-Ouest/Nord-Est, elle a une longueur de 2,5 km pour une largeur de 400 m.

Elle se compose de deux parties :

- une partie nord-est, profonde de 3 à 5 m et d'une longueur de 1 500 m, dite « souille ancienne », qui a été creusée dès 1974 ;
- une deuxième partie, dite « souille récente », correspondant à un déplacement de l'exploitation vers le Sud ; elle est plus profonde (surcreusement de 5 à 13 m), longue de 1 000 m et a été creusée après 1977.

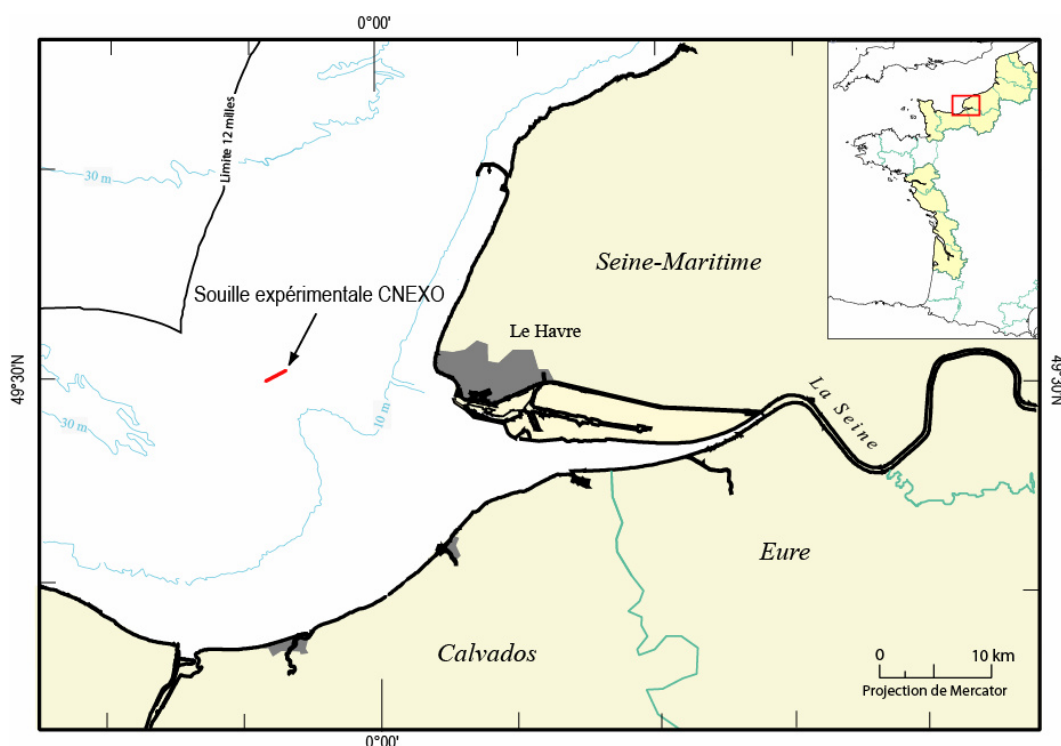


Figure 4-15 : Localisation de la souille expérimentale CNEOX.

Plusieurs phases d'observations de son évolution se sont échelonnées dans le temps.

Une première analyse faunistique a été effectuée en 1977, dans les six premiers mois ayant suivi un arrêt des extractions (Cabioch et Gentil, 1979). Elle a montré qu'une recolonisation rapide était intervenue mais que le repeuplement était encore anarchique, l'intrusion d'espèces s'effectuant essentiellement à partir de larves disponibles dans le plancton, sans qu'aucune régulation sélective ait commencé à se manifester. Les extractions ayant alors repris, cette première série d'observations fût interrompue.

Une deuxième étape survenue après l'arrêt de travaux, a été subdivisée en trois missions, réalisées en septembre 1980, juin 1981 et mai 1982, à bord du navire océanographique « Pluteus II » du CNRS (station marine de Roscoff).

Les opérations entreprises lors de la première campagne correspondaient à des prélèvements sédimentaires et biologiques ainsi qu'à une observation par télévision sous-marine. Elles ont montré qu'une faune typique de sédiments sableux envasés s'était installée sur les surfaces sableuses de la souille et que le recouvrement des cailloux et graviers par la faune était peu important.

La deuxième mission à la mer a consisté en un relevé bathymétrique, de nouveaux prélèvements biologiques et sédimentaires ainsi que des prises d'images supplémentaires. Il est apparu, en accord avec les résultats de 1980, que la morphologie sédimentaire de surface n'était pas identique d'un bout à l'autre de la souille. La partie nord était, malgré un envasement assez général, la plus ensablée et montrait quelques blocs rocheux et passages caillouto-graveleux, alors que la partie sud présentait toujours des sédiments variés : cailloutis et blocs bien dégagés de sédiments fins, formations argileuses, zones d'ensablement plus ou moins vaseux. D'un point de vue biologique, les conclusions de l'expertise stipulent que la faune ne s'était pas fortement développée et avançait l'hypothèse de l'existence de facteurs limitant l'installation d'autres espèces notamment la très forte turbidité ou le dépôt plus ou moins permanent des matières en suspension.

La troisième campagne, enfin, a permis d'opérer des relevés de la couverture sédimentaire par sonar à balayage latéral et de compléter les données de 1980 et 1981 concernant les prélèvements et les prises de vue par télévision sous-marine. Aucune modification de la morphologie n'a nettement été perçue mais une accentuation de la colonisation par des espèces typiques des sédiments sablo-vaseux a mis en évidence une évolution des peuplements caractéristiques des fonds à sables moyens propres vers un peuplement typique des sables vaseux.

La dernière période d'investigation a fait suite à une décision du Comité Interministériel d'Aménagement de Territoire (CIAT) du 20 septembre 1994, visant à engager, sur les trois principaux estuaires de France, un programme concerté d'aménagement, de développement et de protection, avec, s'agissant de la gestion de la baie de Seine, d'un programme conciliant l'extraction des granulats avec l'exploitation halieutique. Deux études ayant concerné la « souille CNEXO », menées en 1996 et 1998, étaient intégrées à un programme plus vaste et financé dans le cadre du Contrat de Plan Interrégional du Bassin Parisien (CPIBP). Il s'agissait d'une reconnaissance complète par sonar à balayage latéral, vidéo et échantillonnage du fond de la souille et de ses alentours, réalisée en 1996 afin de disposer d'un état des lieux 15 ans après l'arrêt des extractions, ainsi que d'une synthèse des études financées par le CPIBP. Ces analyses avaient dans un premier temps montré que la comparaison des levés bathymétriques d'août 1980 et d'août 1981 mettaient en évidence un important déplacement d'ensemble de la souille vers le Sud et un approfondissement de la partie sud-ouest. La migration observée s'expliquait par une érosion du flanc sud en opposition avec un dépôt au niveau du flanc nord. Mais plusieurs hypothèses avaient été avancées afin d'expliquer l'approfondissement de la souille alors que les travaux d'extraction étaient alors interrompus :

- une évolution naturelle (plutôt invraisemblable) ;
- des extractions entre 1980 et 1981 pour lesquelles on ne disposait d'aucune information ;
- une incertitude dans la navigation ou une erreur de tracé du plan.

Ces incertitudes avaient conduit les responsables des études à faire débiter l'étude de l'évolution et de la colonisation naturelles en 1981 et ainsi de considérer l'état de la souille à cette date comme un état de référence.

Il ressort de ces dernières observations que (Lemoine et al., 1999) :

- outre son impact morphologique, la souille avait provoqué une importante modification de la nature des fonds ; les fonds uniformes à sables fins et moyens ayant cédé la place à des fonds hétérogènes et plus grossiers ;
- 15 ans après la fin de son creusement, la souille ne s'était toujours pas comblée, mais elle n'était pas totalement inactive puisque des phénomènes de glissements d'ampleur décamétrique se produisaient au niveau de ses flancs (notamment au Nord-Ouest) ;
- dans un contexte général d'envasement de l'estuaire de la Seine, la souille avait subi un apport en sable et en vase mais que son comblement était très lent et qu'on ne pouvait s'attendre à un comblement significatif pas avant plusieurs siècles ;
- cet envasement était à l'origine d'une modification des peuplements mais que ce creusement offrait un site abrité très favorable au développement des individus, le terme de « désert biologique » ne lui étant de ce fait pas approprié ;
- que la souille constitue une zone impropre au chalutage (notamment dans sa partie récente) mais qu'elle reste accessible à d'autres activités de pêche comme les trémails et les casiers.

Depuis lors, toutes observations ont finalement cessé et il ne semble pas envisager de remettre ce site en surveillance afin de mieux comprendre l'évolution d'une zone d'extraction de granulats.

La « souille CNEXO » constitue encore le seul site français délaissé après une extraction importante (2,8 millions de m³), et de ce fait soumis aux seules influences naturelles ; ce site reste un bon laboratoire d'études.

4.2. Évaluation des ressources à l'échelle de la façade « Loire-Gironde »

4.2.1. Épaisseurs sédimentaires

Pour chacun des trois secteurs (Saint-Nazaire, pertuis charentais et embouchure de la Gironde), les cartes de synthèse représentant les épaisseurs de sédiments (courbes isopaques) des paléo-chenaux des réseaux fluviaux entaillant le plateau continental de la façade « Loire-Gironde », ont été extraites des rapports de l'inventaire national des granulats marins mené par le CNEOX. Une vérification des épaisseurs avec les données de sismique disponibles pour chaque zone a permis de les valider et/ou de les préciser.

4.2.1.1. Secteur de Saint-Nazaire

Quatre cartes des épaisseurs de sédiments (courbes isopaques) des dépôts sont disponibles dans les rapports d'étude du CNEOX : deux pour l'ensemble de la couverture sédimentaire meuble et deux pour les dépôts dits non grossiers, excluant la couche basale de graviers et galets observées sur les enregistrements de sismique.

Seules les cartes détaillant les épaisseurs de l'ensemble des sédiments ont été prises en considération pour l'élaboration des documents de synthèse.

Elles présentent les résultats des campagnes de reconnaissance géophysique de 1973 et 1974 et sont respectivement restituées à l'échelle 1/100 000 et 1/25 000. La prospection sismique de 1974, plus ciblée, a permis de centrer l'étude sur une zone moins étendue et de préciser les épaisseurs de sédiments (espacement des courbes isopaques réduit à 5 m, 10 m dans l'étude précédente).

La carte des épaisseurs de sédiments de l'ensemble des dépôts meubles de 1973 au 1/100 000 a donc été sélectionnée pour représenter les épaisseurs de sédiment pour le secteur de Saint-Nazaire. La concordance des limites des paléo-vallées (berges), avec les profils de sismique des campagnes de 1973 (dont elle était issue) mais aussi ceux de la campagne de 1974 (pour les secteurs qui se superposent), a été vérifiée.

Les résultats préliminaires de la campagne GEOLLOIRE, réalisée par l'Université de Rennes en 2003, a permis de vérifier les limites d'extension des paléo-chenaux mais également de valider les valeurs des épaisseurs mises en évidence (figure 4-16 et carte « Épaisseurs des sédiments meubles » hors texte).

4.2.1.2. Secteur des pertuis charentais

Les épaisseurs du secteur des pertuis charentais sont extraites des cartes des épaisseurs de sédiments du rapport intitulé « Recherche de granulats marins dans la zone des pertuis charentais : étude par sismique réflexion continue ». Leur tracé a été vérifié grâce aux profils de sismique de la campagne de 1975 (figure 4-16 et carte « Épaisseurs des sédiments meubles » hors texte).

La comparaison de cette carte des épaisseurs des sédiments meubles avec celle fournie dans la thèse de Weber a montré que les valeurs ponctuelles des épaisseurs entre les deux études sont voisines mais que le contourage des courbes isopaques, et donc la morphologie des accumulations, est différent.

4.2.1.3. Secteur de l'embouchure de la Gironde

Les courbes isopaques de la paléo-vallée de l'estuaire de la Gironde sont extraites de la carte des épaisseurs des sédiments meubles du rapport intitulé « Recherche de granulats marins dans la zone de l'embouchure de la Gironde ». Leur tracé a été vérifié grâce aux profils de sismique de la campagne de 1978 (figure 4-16 et carte « Épaisseurs des sédiments meubles » hors texte).

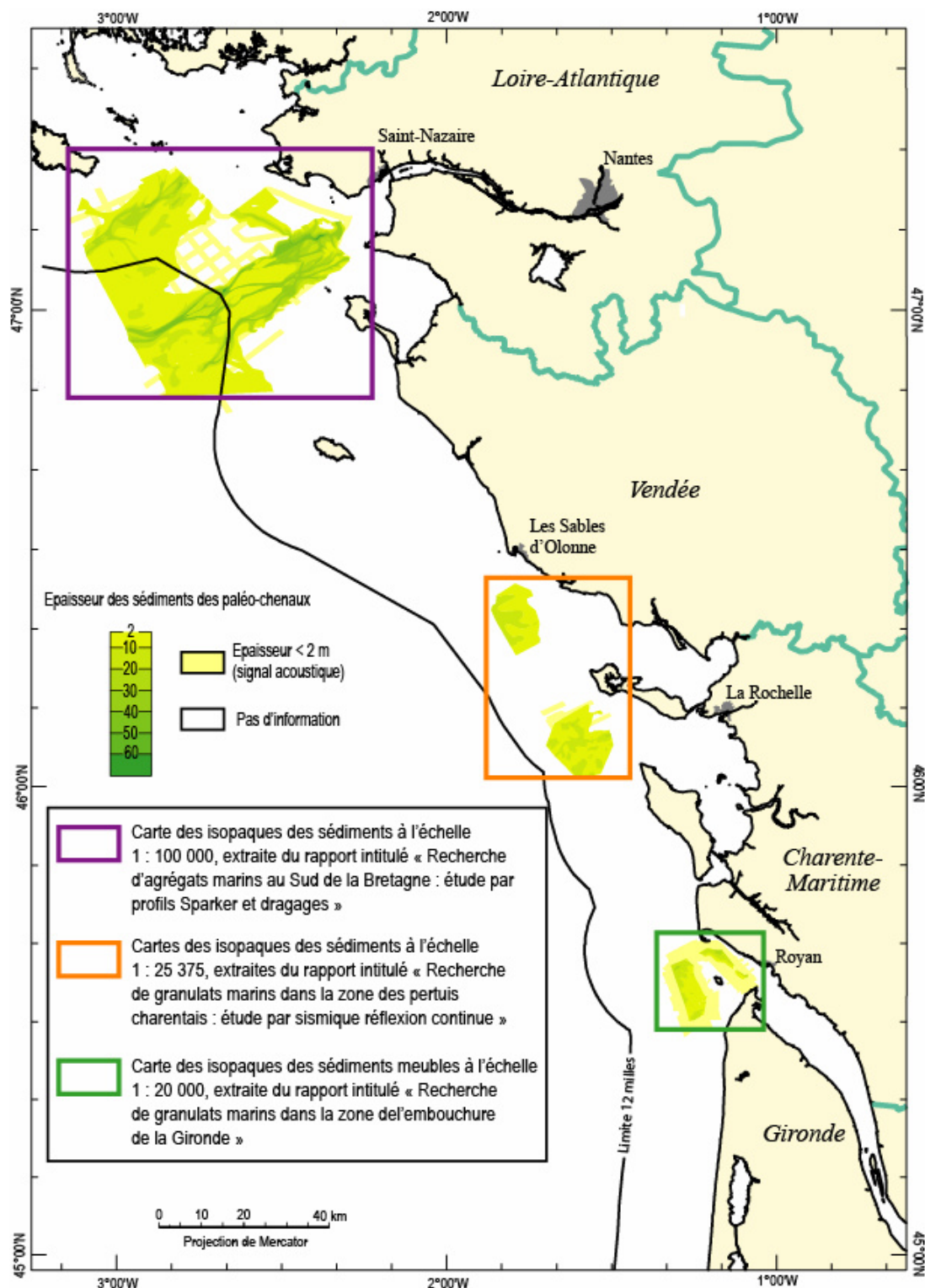


Figure 4-16 : Morphologie et remplissage sédimentaire des paléo-vallées de la façade « Loire-Gironde ».

4.2.2. Nature des sédiments

Les profils sismiques les plus représentatifs de chaque secteur, pouvant être illustrés par un maximum de carottages, ont été sélectionnés puis habillés avec les logs descriptifs de ces carottes.

Sept profils, détaillant les ressources de la façade « Loire-Gironde », ont alors été dressés (figures 4-17 à 4-23 et cartes « Travaux réalisés » hors texte).

❖ Secteur de Saint-Nazaire

Trois sections ont été élaborées grâce aux données de sismique de 1973 et de 1974 (figures 4-17, 4-18 et 4-19). Deux sont parallèles et s'orientent en Nord-Ouest/Sud-Est ; la troisième les recoupe perpendiculairement selon une direction Nord-Est/Sud-Ouest.

Les trois coupes réalisées à travers le paléo-chenal de la Loire sont habillées avec les données de carottage de 1975. Les sédiments sont assez coquilliers et vont de la classe des sables fins aux sables grossiers. Les faciès sont bien classés au sein d'un même horizon et ne présentent que rarement des éléments très grossiers comme des graviers ou des galets.

❖ Secteur des pertuis charentais

Les coupes sismiques se situent au niveau des seuils vendéo-rhétails et inter-insulaire et montrent des faciès grossiers composés essentiellement de sables grossiers coquilliers et de quelques niveaux graveleux ainsi que de rares galets à la base du remplissage de la vallée incisée. Quelques horizons de sables fins ont été observés au sein des carottes majoritairement dans la partie sommitale. Les faciès sont généralement bien classés (figures 4-20 et 4-21).

❖ Secteur de l'embouchure de la Gironde

Deux profils perpendiculaires et orientés selon les directions Nord-Nord-Ouest/Sud-Sud-Est et Est-Nord-Est/Ouest-Sud-Ouest illustrent l'architecture des dépôts. Le faciès de comblement du paléo-chenal est constitué de sables moyens à grossiers coquilliers relativement bien classés et ne présentant que rarement des éléments plus grossiers comme les graviers (figures 4-22 et 4-23).

La faible quantité de carottages, proportionnellement au nombre de profils enregistrés, rend difficile la caractérisation des volumes ; leur faible pénétration ne permet pas d'identifier les ressources en profondeur.

Contrairement à la façade « Manche-Est », où les différentes campagnes océanographiques ont permis d'obtenir une vue assez complète des paléo-vallées, les secteurs de cette façade « Loire-Gironde » ont été prospectés séparément et l'absence de travaux récents intermédiaires ne permettent pas la même approche globale.

Campagne Sud-Bretagne 1973
Campagne Saint-Nazaire 1975

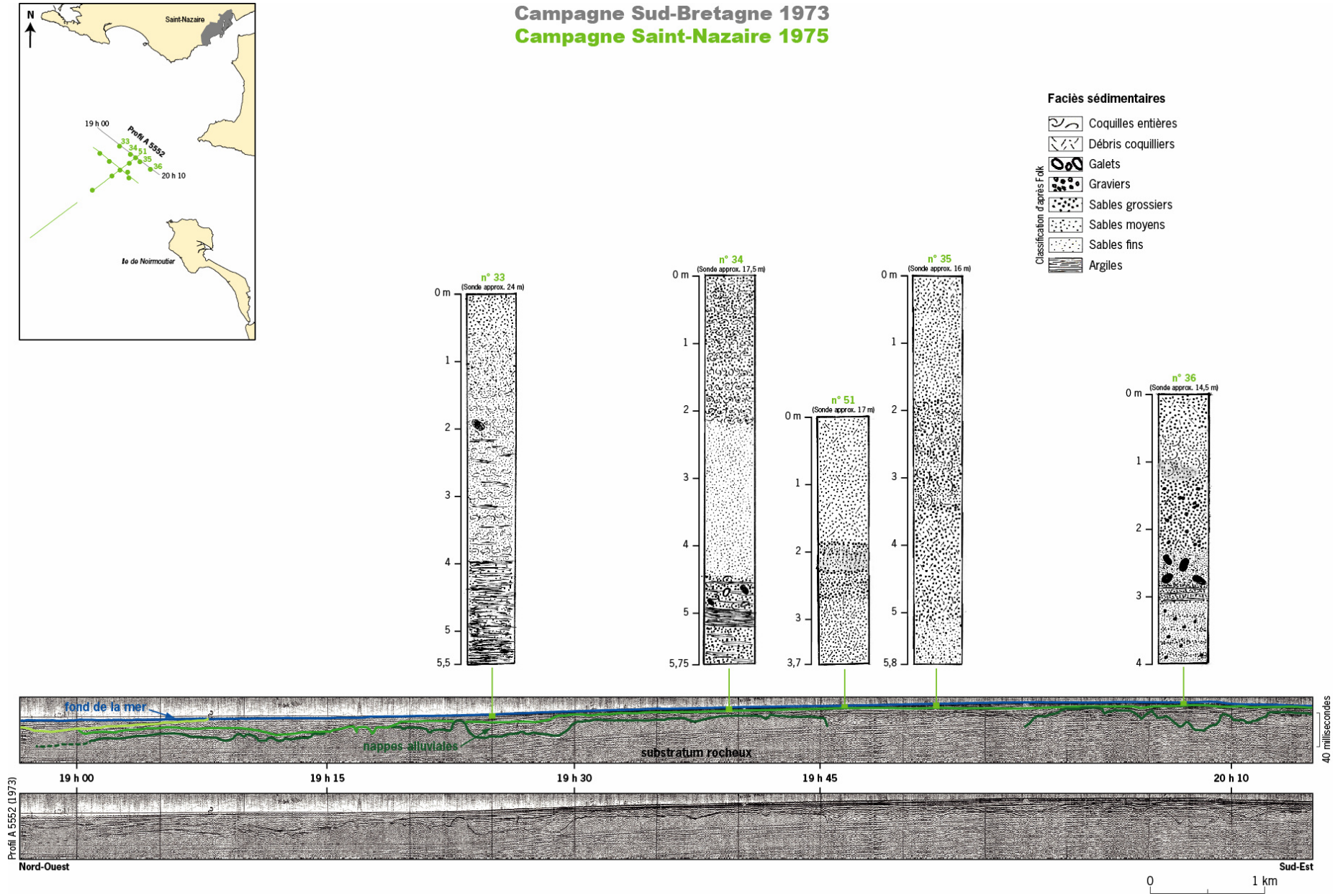


Figure 4-17 : Profil A 5552.

Campagne Saint-Nazaire 1974
Campagne Saint-Nazaire 1975

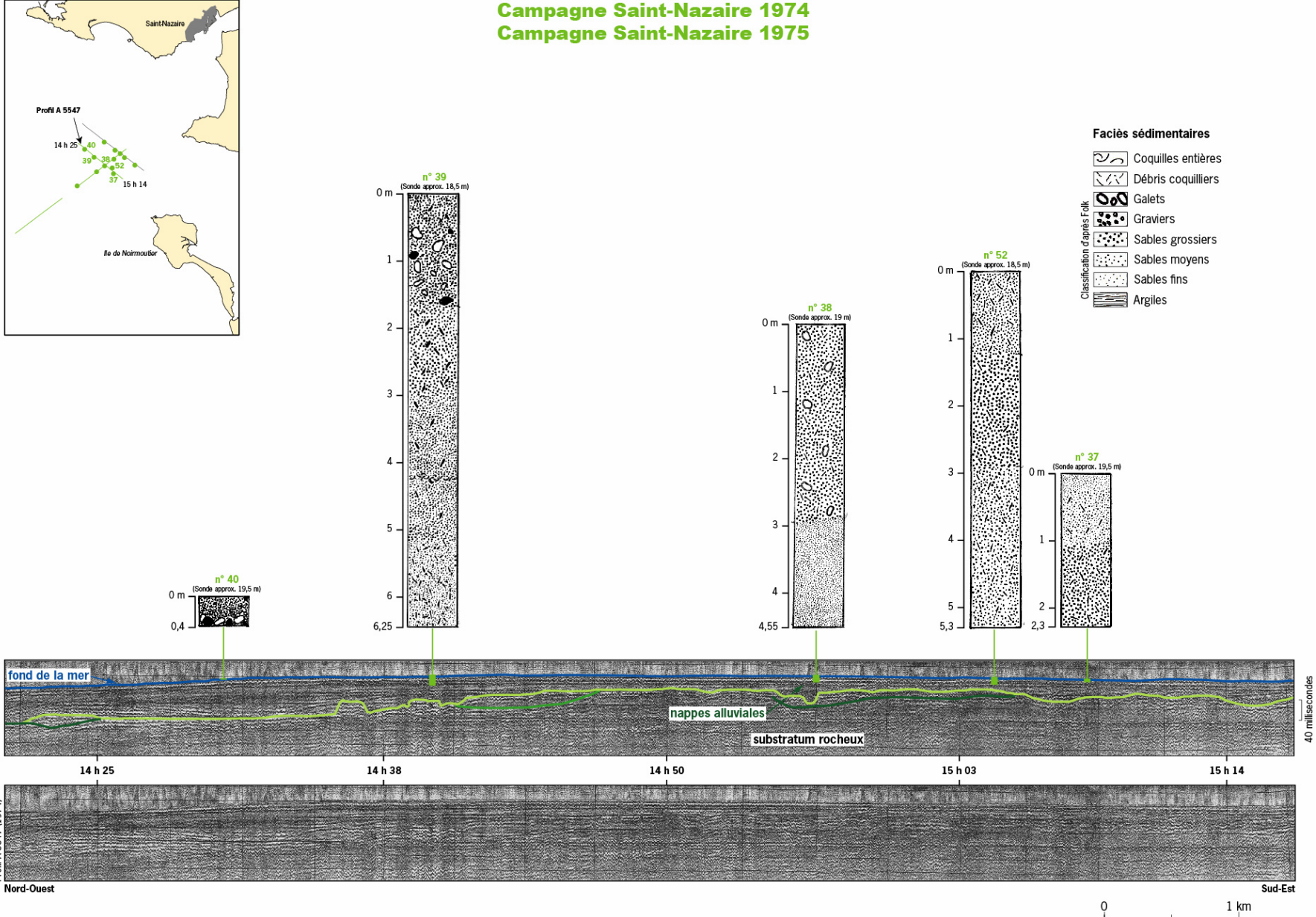


Figure 4-18 : Profil A 5547.

Campagne Saint-Nazaire 1974
Campagne Saint-Nazaire 1975

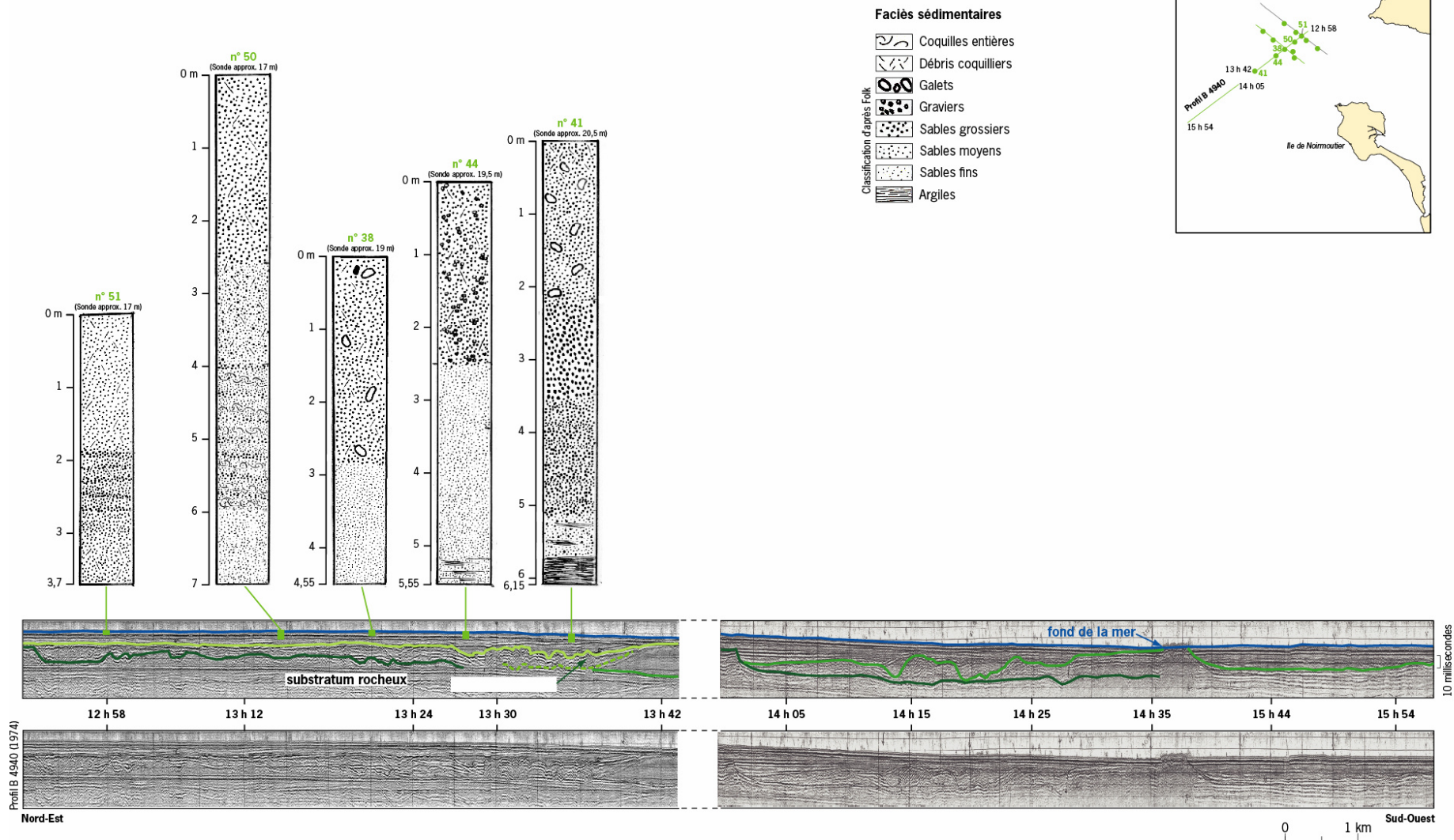
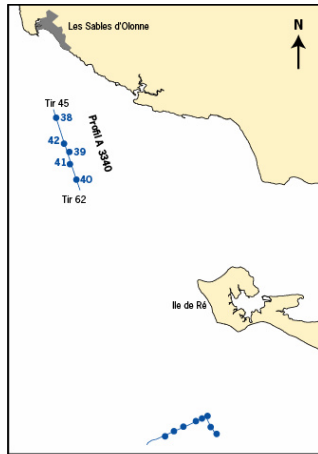


Figure 4-19 : Profil B 4940.



Campagne pertuis charentais 1975
Campagne pertuis charentais 1976

Faciès sédimentaires

- Coquilles entières
- Débris coquilliers
- Galets
- Graviers
- Sables grossiers
- Sables moyens
- Sables fins
- Argiles

Classification d'après Folk

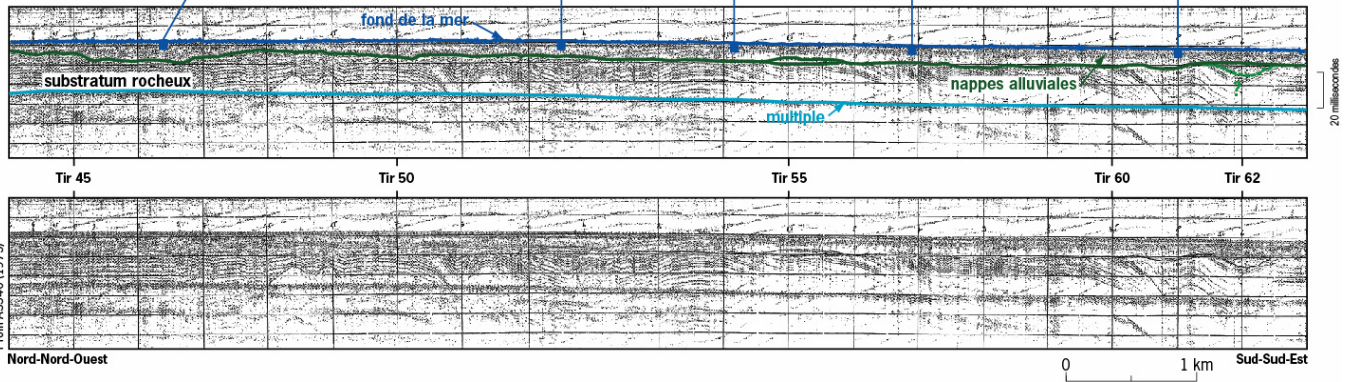
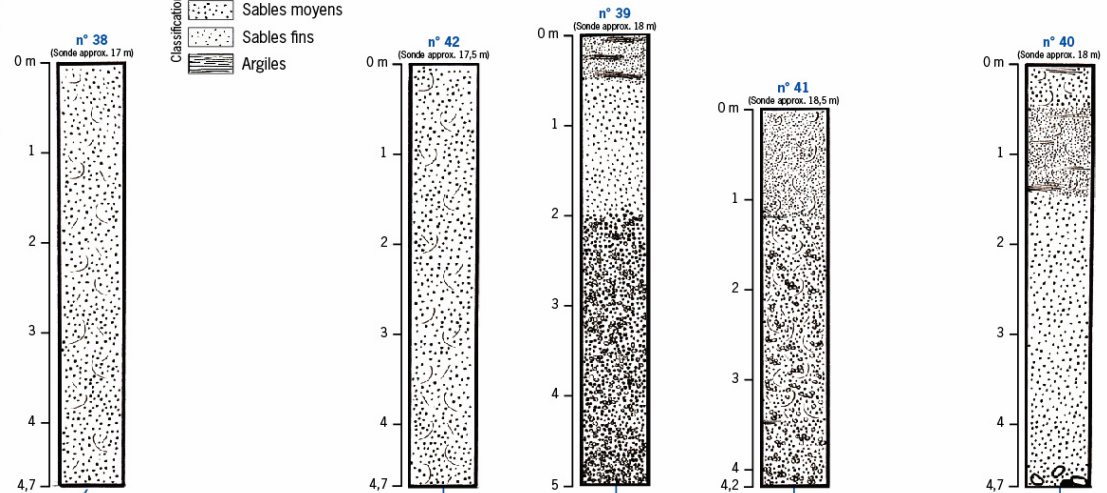
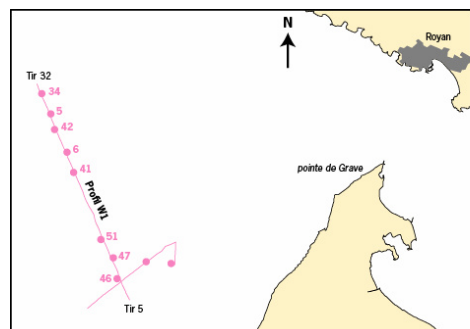


Figure 4-20 : Profil A 3340.

Campagne Gironde 1978
Campagne Gironde 1979



Faciès sédimentaires

- Coquilles entières
- Débris coquilliers
- Galets
- Gravier
- Sables grossiers
- Sables moyens
- Sables fins
- Argiles

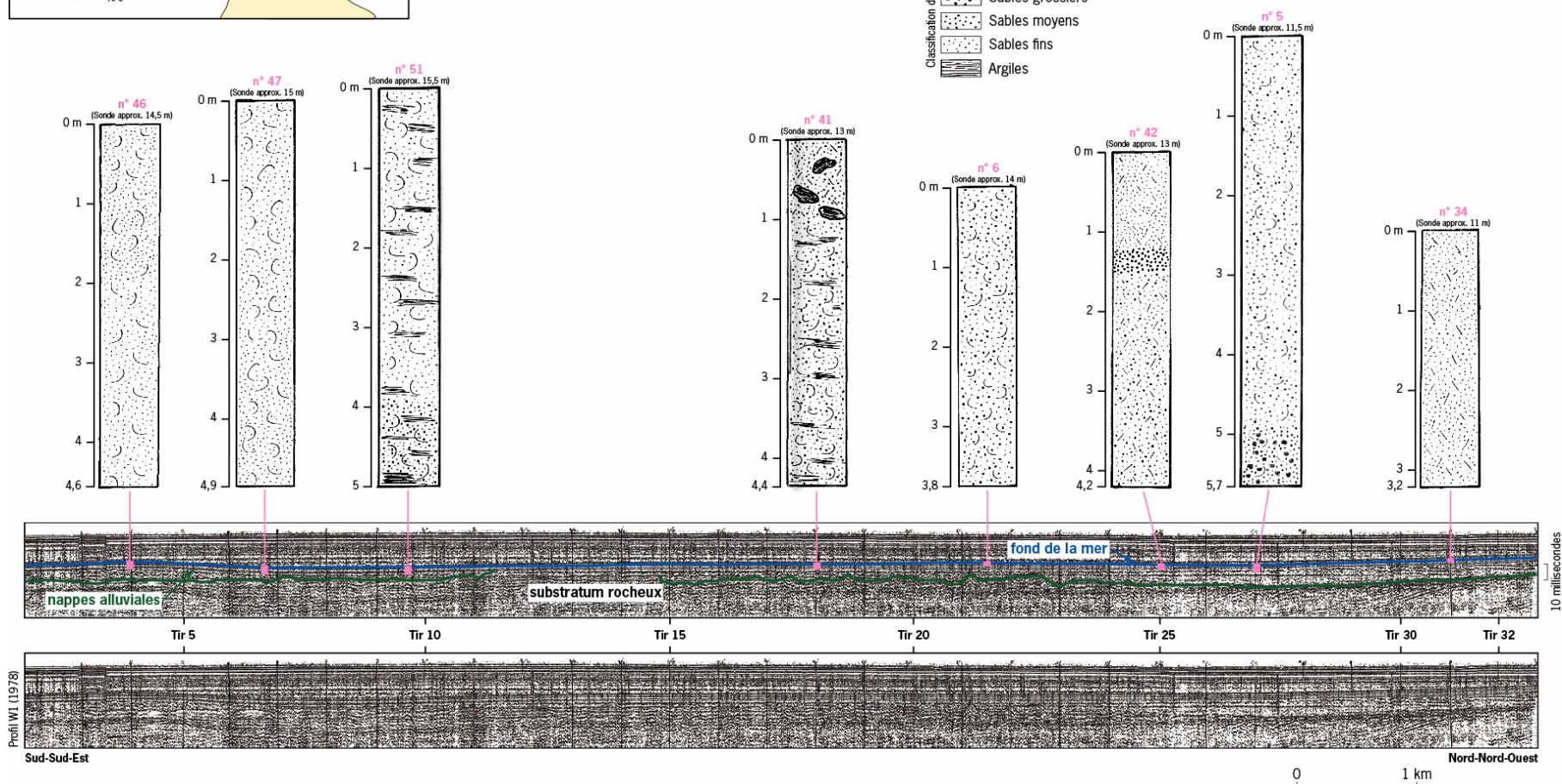
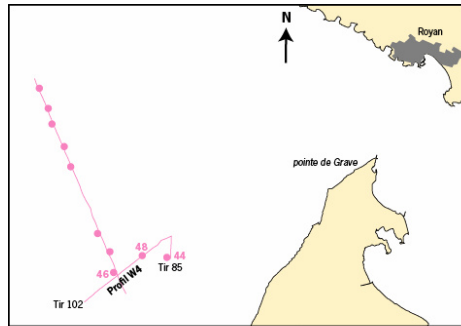


Figure 4-22 : Profil W1.



Campagne Gironde 1978
Campagne Gironde 1979

Faciès sédimentaires

- Coquilles entières
 - Débris coquilliers
 - Galets
 - Graviers
 - Sables grossiers
 - Sables moyens
 - Sables fins
 - Argiles
- Classification d'après Folk

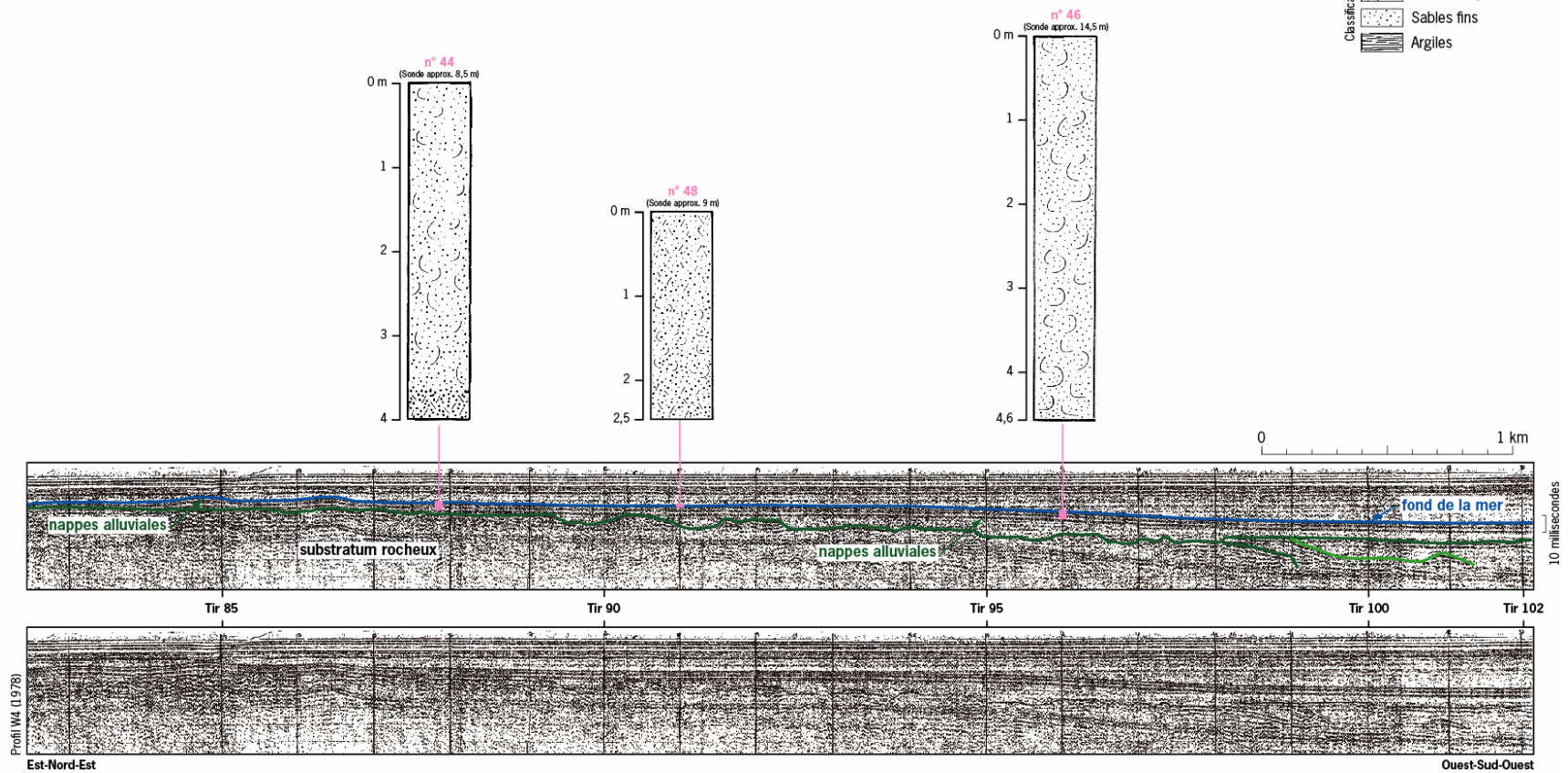


Figure 4-23 : Profil W4.

4.2.3. Quantification des ressources

4.2.3.1. Méthode graphique à partir du logiciel ArcView (Système d'Information Géographique)

Pour la zone de Saint-Nazaire, le volume des ressources a été déterminé selon des méthodes « graphique », à partir du SIG, et géostatistique par krigeage (cf. paragraphe 4.1.3.2. page 110).

Les secteurs des pertuis charentais et de l'embouchure de la Gironde, moins étendus, ont été évalués par méthode graphique.

La méthode utilisée pour la façade « Manche-Est » (cf. paragraphe 4.1.3.1. page 109) a été reprise pour la façade « Loire-Gironde » pour aboutir au volume des ressources dans chaque secteur (tableau 4-24)

Secteur	Volume minimum (en millions de m ³)
Saint-Nazaire	13 400
Pertuis charentais	
<u>pertuis d'Antioche</u>	904
<u>pertuis Breton</u>	579
Gironde	650
Total	15 533

Tableau 4-24 : Volumes de matériaux marins estimés par méthode graphique.

4.2.3.2. Méthode géostatistique

La méthode géostatistique adoptée pour la façade « Manche Est » a été mise en œuvre pour le calcul du volume des sédiments de la façade « Loire-Gironde ». Seul le volume des sédiments de la paléo-vallée de la Loire (secteur de Saint-Nazaire) a été estimé selon ce protocole et donne une valeur moyenne de 17 700 millions de m³.

Les volumes attendus pour les secteurs des pertuis charentais et de l'embouchure de la Gironde sont considéré comme peu différents.

4.2.4. État des exploitations et des projets en cours

Sur la façade « Loire-Gironde » cinq sites sont actuellement en activité : gisement du Pilier, du platin de Grave et de Chassiron B, C et D. Trois sites font l'objet d'une instruction minière en vue d'une exploitation : Charpentiers, Sables d'Olonne et Chassiron E (figure 4-25).

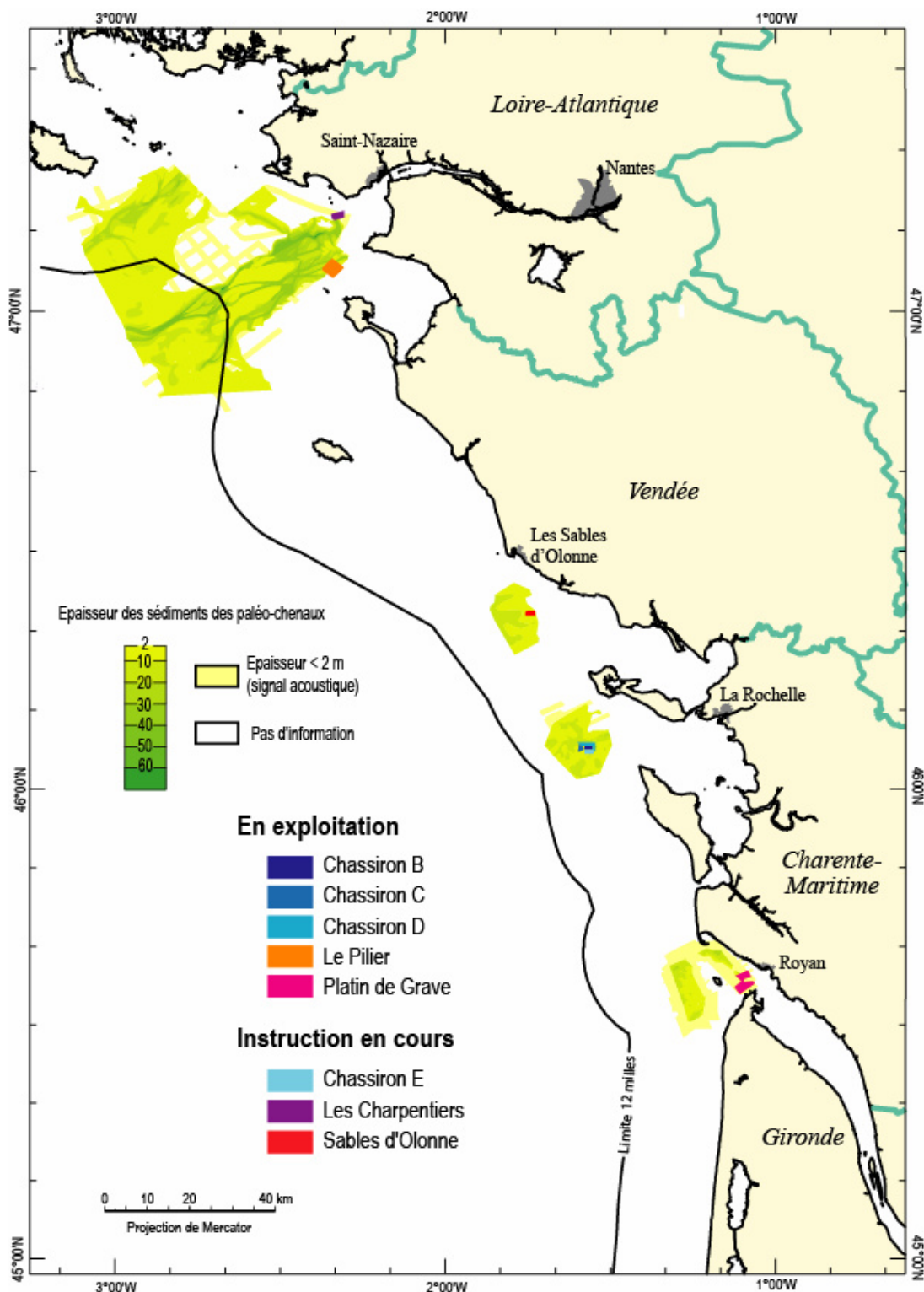


Figure 4-25 : Localisation des exploitations et des projets sur la façade « Loire-Gironde » (www.ifremer.fr/drogm/Realisation/Miner/Sable/exploitation.htm).

4.3. Bilan des ressources

L'évaluation des ressources en matériaux donne 149 milliards de m³ (à l'intérieur de la ZEE) pour la façade « Manche-Est », et 19,8 milliards de m³ pour la façade « Loire-Gironde » (tableau 4-26).

Nature des accumulations	Volume moyen limité à la ZEE française (en millions de m³)
Bancs sableux du Nord-Pas de Calais	28 200 *
Bancs sableux de la baie de Seine	4 200 *
Paléo-vallées du système "Manche"	116 600 *
Total "Manche-Est"	149 000
Paléo-vallée de la Loire (Saint-Nazaire)	17 700 *
Pertuis charentais	Pertuis Breton 579 **
	Pertuis d'Antioche 904 **
Gironde	650 **
Total "Loire-Gironde"	19 833

(*) calcul par méthode géostatistique

(**) calcul par méthode graphique

Tableau 4-26 : Volume des ressources pour les deux façades.

5. **Élaboration de la base de données sous Système d'Information Géographique (SIG)**

Le regroupement des informations dans une structure uniformisée s'avère être une nécessité. Le choix se porte naturellement sur un Système d'Information Géographique (SIG) qui présente l'avantage d'être un système de gestion de base de données (SGBD), où les informations sont repérées dans l'espace et organisées dans un ensemble structuré (Pornon, 1992). Un SIG permet l'archivage et la saisie de données géographiques et sémantiques associées, l'analyse spatiale des données et leur restitution cartographique.

Pour être menée à bien, la mise en oeuvre d'un SIG doit reposer, entre autres, sur la conception d'une base de données et d'applications adaptées (Pornon, 1992). Cette conception consiste en la description des objets graphiques et sémantiques, ainsi que la description des spécifications du SIG.

Les informations dans un SIG sont dites de qualité quand leur terminologie est claire et respectée, leur date ou période de validité explicite, les liens entre données correctement établis, les objets géographiques occupent une position exacte dans l'espace (Rouet, 1991). La diversité des données existantes et susceptibles d'être intégrées dans un SIG nécessite alors d'établir un catalogue détaillé de métadonnées (ou informations sur la donnée). Ce catalogue permet d'assurer l'origine, la validité et la qualité de la donnée géographique.

5.1. **Architecture du SIG**

Dans le cadre de cette phase du projet (inventaire des ressources en matériaux), l'architecture générale du SIG a été réalisée en coordination avec le BRGM (tableau 5-1).

Couches	Propriétaire	Description
Délimitation	Ifremer	Limites administratives maritimes
	BRGM	Limites administratives terrestres
Commune	BRGM	Points de localisation des principales communes
Bathymétrie	Ifremer	Isobathes, issues des cartes marines du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) des séries 1/50 000 et 1/150 000
Réseau hydrographique	BRGM	Polygones et polygones matérialisant les principaux cours d'eau et plans d'eau
Exploitation marine	Ifremer	Rectangles d'emprise des exploitations de granulats marins, demandées et autorisées, et des permis de recherche sollicités
Exploitation terrestre	BRGM	Points de localisation des exploitations terrestres actives de granulats en roche meuble
Site terrestre	BRGM	Polygones d'emprise des sites d'extraction rattachés aux exploitations terrestres actives de granulats en roche meuble

Couches	Propriétaire	Description
Campagne	Ifremer	Rectangles représentant l'emprise de la zone reconnue au cours des campagnes d'acquisition des données, effectuées dans le cadre de l'inventaire national des granulats marins
Navigation_profil	Ifremer	Profils d'acquisition de données, représentant la localisation des données acquises en route
Navigations_point	Ifremer	Tops horaires des profils, permettant de situer des structures remarquables visibles sur les profils
Carottage	Ifremer	Position des carottages, effectués dans le cadre de l'inventaire national des granulats marins
Isopaque (ligne)	Ifremer	Cartes des épaisseurs de sédiments meubles, issues de cartes publiées, mises à jour à partir des rapports d'études
Isopaque (polygone)	Ifremer	Surfaces représentant les classes d'intervalles des isopaques ayant servi au calcul des volumes : ces surfaces ont été "fermées" arbitrairement pour le calcul des volumes
Accumulation	Ifremer	Surfaces totales des zones de ressources en granulats, classées par type d'accumulation (nappes alluviales ou bancs sableux)
Géologie	BRGM	Polygones des formations géologiques d'âge Cénozoïque (Tertiaire et Quaternaire) dans la partie terrestre ; extraction réalisée à partir des cartes numériques de la France à l'échelle 1/50 000

Tableau 5-1 : Les différentes couches du Système d'Information Géographique.

Une structure identique est adoptée pour chaque façade. Les données sont enregistrées en coordonnées géographiques dans l'ellipsoïde WGS84. L'échelle de représentation des couches va du 1/25 000 au 1/250 000 en fonction du type de données (tableau 5-2).

Couche	Type d'objet	Attributs	Type	Commentaires	Valeurs
Délimitation	Lignes	Limite	Texte	Intitulé de la limite	ZEE ; eaux territoriales ; trait de côte
		Origine	Texte	Origine de l'information	
		Reference	Texte	Type de convention	
Bathymétrie	Lignes	Isobathe	Numérique	Valeur de l'isobathe (en m)	
		Origine	Texte	Origine de l'information	SHOM
Exploitation	Polygones	Code	Texte	Code du site exploité	
		Nom	Texte	Nom du site exploité	
		Departement	Texte	Département	
		Surface	Numérique	Surface de l'exploitation (en km ²)	
		QuantiteD	Numérique	Quantité annuelle demandée (en m ³)	
		QuantiteA	Numérique	Quantité annuelle autorisée (en m ³)	
		DureeD	Numérique	Durée demandée (en années)	
		DureeA	Numérique	Durée autorisée (en années)	
		Ref_reglem	Texte	Référence réglementaire	AP = arrêté préfectoral ; D(c) = décret (concession) ; AP(ot) = Arrêté préfectoral (ouverture travaux) ; AM = arrêté ministériel (titre minier)
		Doc_ref	Texte	Document de référence	JORF = journal officiel ; AP = arrêté préfectoral
Materiau	Texte	Matériau exploité	sables et graviers siliceux		

Couche	Type d'objet	Attributs	Type	Commentaires	Valeurs
Campagne	Polygone	Campagne	Texte	Nom de la campagne	
		Ddebut	Date	Date de début de la campagne	
		Dfin	Date	Date de fin de la campagne	
		Nomchef	Texte	Nom du chef de mission	
		Navire	Texte	Nom du navire	
		Travaux	Texte	Travaux réalisés	
		Local	Texte	Localisation du stockage des données	
		Référence	Texte	Référence du rapport et des cartes publiés à l'issue de la campagne	
		Drapport	Texte	Date du rapport	
		Mouvrage	Texte	Maître d'ouvrage	
		Opérateur	Texte	Opérateur	
Navigation_profil	Lignes	Campagne	Texte	Nom de la campagne	
		Profil	Texte	Numéro du profil	
		Datedebut	Date	Date de début du profil	
		Heuredebut	Heure	Heure de début du profil	
		Datefin	Date	Date de fin du profil	
		Heurefin	Heure	Heure de fin du profil	
		Xdebut	Numérique	Longitude de début de profil (en degrés décimaux)	
		Ydebut	Numérique	Latitude de début de profil (en degrés décimaux)	
		Xfin	Numérique	Longitude de fin de profil (en degrés décimaux)	
		Yfin	Numérique	Latitude de fin de profil (en degrés décimaux)	
		Systnav	Texte	Système de navigation	
		Sparker	Texte	Acquisition avec le sparker sur le profil	oui ; non
		Autres	Texte	Acquisition avec d'autres outils de sismique	boomer 500J ; boomer 1000J ; uniboom
		Sonar	Texte	Acquisition avec le sonar latéral sur le profil	oui ; non
Longueur	Numérique	Longueur du profil en km			
Archivage	Texte	Existence de l'archivage papier du profil	complet ; partiel ; absent		
Premiereco	Texte	Existence d'une copie du profil	présent ; absent		
Navigation_point	Points	Campagne	Texte	Nom de la campagne	
		Profil	Texte	Numéro du profil	
		Date	Date	Date du top horaire	
		Heure	Heure	Heure du top horaire	
		Xcoord	Numérique	Longitude du top horaire (en degrés décimaux)	
		Ycoord	Numérique	Latitude du top horaire (en degrés décimaux)	
Carottage	Points	Campagne	Texte	Nom de la campagne	
		Numprel	Texte	Numéro du carottage	
		Date	Date	Date d'acquisition du carottage	
		Annee	Texte	Année d'acquisition du carottage	
		Latitude	Numérique	Latitude du carottage (en degrés décimaux)	
		Longitude	Numérique	Longitude du carottage (en degrés décimaux)	
		Systnav	Texte	Système de positionnement	
		Outil	Texte	Outil utilisé pour le carottage	
		Profondeur	Numérique	Profondeur d'eau (en m)	
		Longueur	Numérique	Longueur de la carotte (en m)	
		Description	Texte	Existence de la description de la carotte	oui ; non
		Archivage	Texte	Carotte archivée	absent ; présent
		Granulo	Texte	Existence d'analyse granulométrique	absent ; présent
		Photo	Texte	Existence de photographie	absent ; présent
		Echantillon	Texte	Position des échantillons prélevés sur la carotte (en m)	valeur ou absent
		Mouvrage	Texte	Maître d'ouvrage	
Operateur	Texte	Opérateur			

Couche	Type d'objet	Attributs	Type	Commentaires	Valeurs
Isopaque	Lignes	Isopaque	Numérique	Valeur de l'isopaque (en m)	
		Epaisseur	Texte	Intervalle d'épaisseur représenté	
		Légende	Texte	Description de l'isopaque	
Isopaque	Polygones	Isopaque	Numérique	Valeur de l'isopaque (en m)	
		Epaisseur	Texte	Intervalle d'épaisseur représenté	
		Legende	Texte	Description de l'isopaque	
		Surface	Numérique	Surface représentée (en km ²)	
		Volume	Numérique	Volume calculé (en m ³)	
Accumulation	Polygones	Lithologie	Texte	Type de lithologie générale	nappe alluviale ; banc sableux
		Epaisseur	Numérique	Intervalle d'épaisseur minimum et maximum (en m)	
		Surface	Numérique	Surface (en km ²)	
		Volume	Numérique	Volume calculé (en m ³)	
		Age_geol	Texte	Age géologique des formations	quaternaire ; plio-quaternaire
		Substance	Texte	Nature des sédiments	sables, graviers, galets

Tableau 5-2 : Informations contenues dans chaque couche du SIG de l'Ifremer.

5.2. Métadonnées

Les métadonnées sont des informations décrivant les données, facilitant leur interopérabilité, assurant leur qualité et fiabilité et permettant de gérer les droits de propriété et de diffusion.

Celles-ci ont été renseignées suivant la norme ISO 19115, au format XML associé à chaque fichier, d'une part pour le SIG lui-même, d'autre part pour chaque couche de données.

5.2.1. Métadonnées générales du SIG pour la façade « Manche-Est »

Citation

Titre : Granulats marins, façade « Manche-Est »

Date de création : décembre 2005

Fournisseur : Ifremer, BRGM

Description

Thème : ressources minérales

Mots-clés :

thématiques : granulats

lieu : Manche, départements Nord, Pas-de-Calais, Somme, Seine-Maritime, Eure, Calvados, Manche

discipline : géologie, géophysique

Résumé : Dans le cadre du projet « Granulats marins », commandé par le Ministère de l'Industrie (DIREM), ce SIG intègre, pour les 7 départements de la façade « Manche-Est », l'information existante sur les formations sédimentaires quaternaires, à terre comme en mer, afin d'établir un document de synthèse qui permettra d'actualiser l'inventaire des ressources nationales en roches meubles, et d'identifier les secteurs les plus favorables à la mise en exploitation de gisements qui satisfassent aux contraintes d'environnement.

État

Fréquence de mise à jour :

Date de la dernière mise à jour : décembre 2005

Information sur les restrictions d'usage des données

Contraintes d'utilisation : copyright Ifremer, pour la partie marine ; copyright BRGM, pour la partie terrestre

Contraintes légales : convention DIREM/Ifremer, pour la partie marine ; convention DIREM/BRGM, pour la partie terrestre

Informations spatiales

Échelle : du 1/250 000 au 1/25 000

Coordonnée Ouest : 02°10' W

Coordonnée Est : 04°00' E

Coordonnée Nord : 51°10' N

Coordonnée Sud : 49°00' N

Ellipsoïde : WGS84

5.2.2. Métadonnées générales du SIG pour la façade « Loire-Gironde »

Citation

Titre : Granulats marins, façade « Loire-Gironde »

Date de création : décembre 2005

Fournisseur : Ifremer, BRGM

Description

Thème : ressources minérales

Mots-clés :

thématiques : granulats

lieu : Atlantique, départements Loire-Atlantique, Vendée, Charente-Maritime, Gironde

discipline : géologie, géophysique

Résumé : Dans le cadre du projet « Granulats marins », commandé par le Ministère de l'Industrie (DIREM), ce SIG intègre, pour les 4 départements de la façade « Loire-Gironde », l'information existante sur les formations sédimentaires quaternaires, à terre comme en mer, afin d'établir un document de synthèse qui permettra d'actualiser l'inventaire des ressources nationales en roches meubles, et d'identifier les secteurs les plus favorables à la mise en exploitation de gisements qui satisfassent aux contraintes d'environnement.

État

Fréquence de mise à jour :

Date de la dernière mise à jour : décembre 2005

Information sur les restrictions d'usage des données

Contraintes d'utilisation : copyright Ifremer, pour la partie marine ; copyright BRGM, pour la partie terrestre

Contraintes légales : convention DIREM/Ifremer, pour la partie marine ; convention DIREM/BRGM, pour la partie terrestre

Informations spatiales

Échelle : du 1/250 000 au 1/25 000

Coordonnée Ouest : 03°10' W

Coordonnée Est : 00°20' E
Coordonnée Nord : 47°40' N
Coordonnée Sud : 44°20' N
Ellipsoïde : WGS84

5.2.3. Métadonnées à renseigner pour chaque couche

Citation

Titre :
Nom du fichier :
Date de création :
Fournisseur :
Auteur des métadonnées :
Contact pour le jeu de données :

Description

Thème :
Mots-clés :
 thématiques :
 lieu :
 discipline :
Résumé :

État

Fréquence de mise à jour :
Date de la dernière mise à jour :

Information sur les restrictions d'usage des données

Contraintes d'utilisation : copyright Ifremer, pour la partie marine ; copyright BRGM, pour la partie terrestre
Contraintes légales : convention DIREM/Ifremer, pour la partie marine ; convention DIREM/BRGM, pour la partie terrestre

Informations spatiales

Échelle :
Coordonnée Ouest :
Coordonnée Est :
Coordonnée Nord :
Coordonnée Sud :
Ellipsoïde : WGS84

Informations de distribution

Format des données :
Date de publication :
Distributeur :
Option de livraison hors connexion :
Option de livraison en ligne :

Le SIG garantit l'interopérabilité entre les données « marines » fournies par l'Ifremer et les données « terrestres » fournies par le BRGM. Par exemple, les accumulations sédimentaires peuvent être représentées sur un document unique (figure 5-3).

Les deux façades ont été traitées suivant le même modèle.

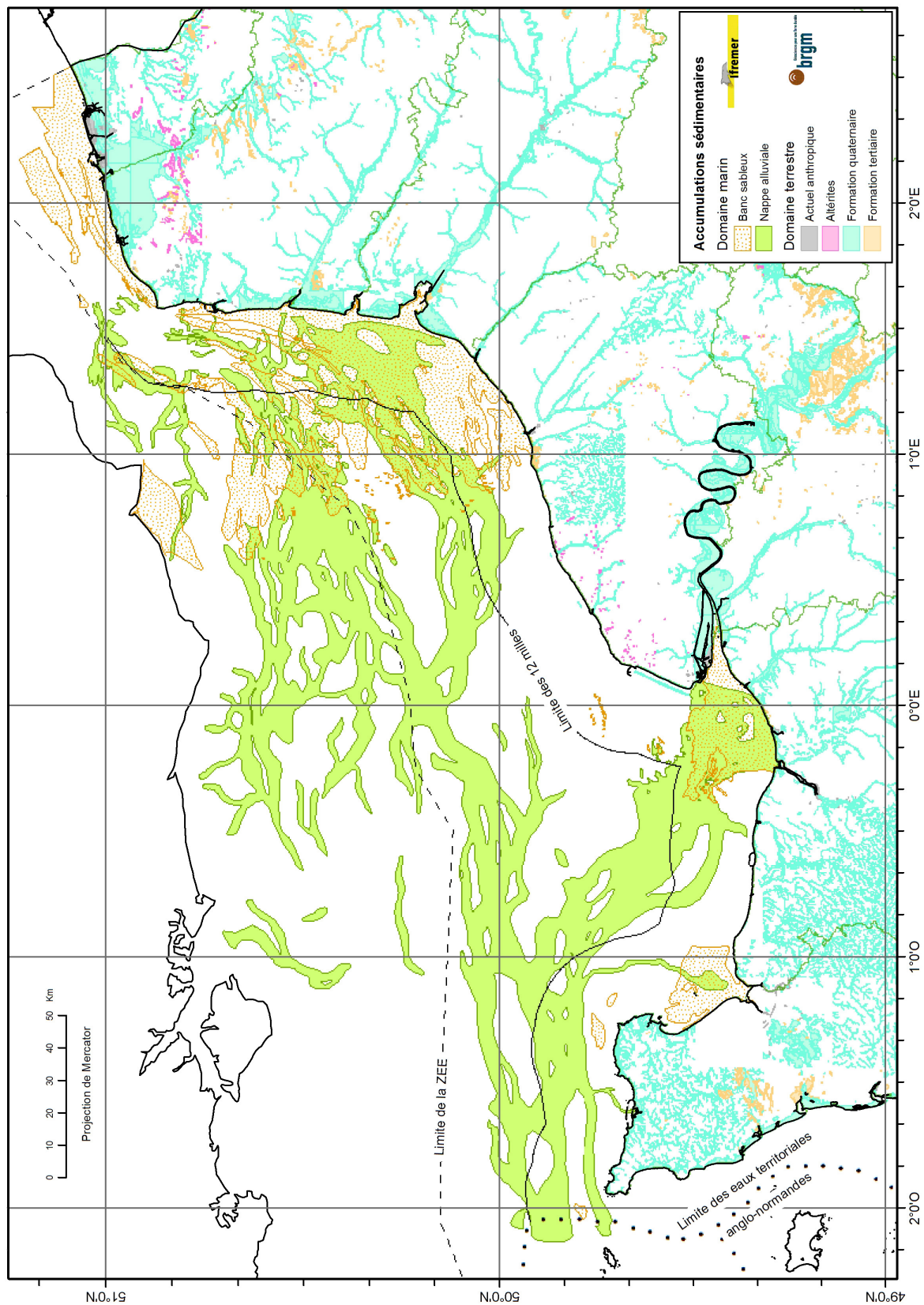


Figure 5-3 : Ressources en granulats marins pour la façade « Manche-Est » extraites du SIG de l'Ifremer et juxtaposées aux données terrestres du BRGM.

6. Recensement bibliographique des études à caractère halieutique et environnemental

6.1. Panorama des connaissances dans le domaine de l'halieutique

6.1.1. Façade Manche-Est »

Les activités halieutiques concernées par des projets d'extraction en Manche sont représentées par des navires artisans, inscrits en petite pêche et pêche côtière. La petite pêche correspond à des temps de sortie inférieurs à 24 heures, la pêche côtière à des temps de pêche compris entre 24 et 96 heures.

Deux navires hauturiers y recherchent occasionnellement les poissons pélagiques.

Plusieurs documents d'origine diverse (scientifique ou parfois administrative) ont décrit l'activité des flottilles. Souvent il s'agit d'études ponctuelles, limitées dans le temps et l'espace, parfois suite à un contrat particulier. Pour la région Nord-Pas de Calais, on peut citer les travaux déjà anciens, réalisés en 1985 et 1986 (Arnal *et al.*, 1985 ; Delpech, 1985 et 1986), qui décrivent toutes les flottilles régionales, avec les métiers pratiqués et des cartes de pêche pour chaque flottille. En 1989, une actualisation des données régionales a été effectuée (Lemoine, 1989). Parfois, on trouve une étude détaillée sur une catégorie de métiers comme les filets fixes (Delpech et Reynal, 1985) ou la pêche de la coquille Saint-Jacques (Direction inter-régionale des Affaires Maritimes, 1996 ; Foucher, 2004), ou même sur un port comme Boulogne-sur-mer (Toussaint et Boyer, 1983). En 1995, une étude est réalisée sur les flottilles travaillant dans la partie sud de la mer du Nord, dans le secteur de Dunkerque (Delpech *et al.*, 1995). En 1992, une synthèse régionale a été établie par CREOCEAN et l'Ifremer.

A partir de 1989, est créé le Groupe d'Étude des Pêcheries de Manche (GEPM) ou Channel Fisheries Study Group (CFSG) entre les Laboratoires de l'Ifremer de Boulogne-sur-mer, Port-en-Bessin et Brest, et le MAFF-DFR (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food-Department of Fisheries Research, Royaume-Uni), rejoints rapidement par les Départements des Pêches de Jersey et Guernesey et la Station des Pêches Maritimes d'Ostende pour la Belgique.

Ce groupe d'étude va s'intéresser, à l'échelle du bassin d'exploitation «Manche», principalement à la définition des unités de pêcheries et à la caractérisation de leurs interactions. Pour décrire l'activité des navires de pêche qui utilisent le plus souvent plusieurs engins et recherchent différentes espèces, le groupe d'étude a adopté le concept de **métier** (Tétard *et al.*, 1995).

Dès 1991, une première description des flottilles et des ressources halieutiques à l'échelle de la « Manche-Est » est réalisée (Lemoine et Giret, 1991). Puis, en 1995, est publié le Catalogue international des activités de la Manche (Tétard *et al.*, 1995) qui décrit les métiers pratiqués, les engins de capture et les espèces exploitées, les caractéristiques des navires, leur stratégie de pêche, l'extension géographique du métier et leurs interactions. Le GEPM (Groupe d'Étude des Pêcheries de Manche) produira la même année des analyses de gestion de ces métiers à l'échelle de la Manche (Dintheer *et al.*, 1995 a) et une grosse base de données structurée (Dintheer *et al.*, 1995 b). En 2000 et 2001, sont développés des modèles bio-économiques de ces pêcheries (Pascoe, 2000), ainsi que des modélisations multi-flottilles et multi-métiers intégrant les interactions techniques de ces pêcheries artisanales (Ulrich, 2000 ; Ulrich *et al.*, 2001).

Reprenant les mêmes concepts et les mêmes types d'analyse, mais avec des modes de représentation cartographique performants, une partie de la même équipe publie en 2003 l'Atlas des pêcheries de la Manche (Guittou *et al.*, 2003), qui demeure à ce jour la référence incontestée en la matière. On y trouve la description des métiers

(français et anglais), des fiches sur une trentaine d'espèces avec les productions et l'origine géographique des captures, et une présentation des quartiers maritimes.

Depuis 2002, grâce au Système d'Information Halieutique (SIH) de l'Ifremer, des synthèses annuelles, intégrant la dimension socio-économique des pêches, sont éditées aussi bien à l'échelle nationale que régionale (Berthou *et al.*, 2002, 2005 a, 2005 b). Chaque flottille est ainsi caractérisée par plusieurs chiffres-clés, portant sur les caractéristiques physiques des navires, leur secteur géographique d'activité, leur équipage, des indicateurs économiques moyens, ...

On peut citer également les monographies annuelles des Directions Départementales des Affaires Maritimes, qui donnent une vue globale de l'activité pêche dans le quartier maritime.

Sans vouloir citer toutes les références bibliographiques qui traitent de la biologie des espèces, il est intéressant de citer celles relatives aux grandes espèces d'intérêt commercial, qui structurent l'activité des professionnels.

De nombreuses études ont été réalisées sur les sites des centrales EDF le long du littoral de la Manche comme Gravelines ou Paluel, ou dans des secteurs bien délimités comme la baie de Canche (Désaunay, 1974).

D'autres études sont réalisées à l'échelle de la « Manche-Est », grâce au dépouillement des données issues de campagnes scientifiques récurrentes comme la CGFS (Channel Ground Fish Survey) réalisée, annuellement, par l'Ifremer, au mois d'octobre depuis 1988. On peut alors avoir des renseignements sur une espèce en particulier comme le merlan (Carpentier, 1996) ou le grondin rouge (Delcour, 1996), ou sur l'ensemble des espèces capturées (Carpentier 1997, Carpentier et Coppin, 1999).

En 1993, le Groupe d'Étude des Pêcheries de Manche (GEPM) a réalisé un gros travail de synthèse des connaissances biogéographiques sur 25 espèces commerciales majeures pour les pêcheries internationales de Manche (Ifremer, MAFF/DFR, 1993). L'objectif était d'identifier les stocks de ces espèces, déterminer l'importance du bassin «Manche» dans leur cycle de vie, clarifier leurs relations avec les stocks voisins, pour ainsi parvenir à des mesures de gestion mieux adaptées.

L'exploitation des espèces non soumises à quotas est souvent méconnue (Dunn, 1999) et un bilan des connaissances est réalisé du côté français en 2001 (Forest, 2001) ; l'état de l'art concernant la biologie et l'exploitation de ces espèces parfois très importantes pour certaines flottilles, est ainsi analysé.

La description des habitats, au sens écologique, est plus récente. Plusieurs auteurs s'intéressent aux relations entre les poissons et leur habitat et développent des modèles (Eastwood et Meaden, 2004), en s'appuyant notamment sur les résultats des campagnes à la mer comme la CGFS en Manche Orientale (Vaz *et al.*, 2004, 2005 a, 2005 b).

Le projet CHARM (Eastern Channel Habitat Atlas for Marine Resource Management), réalisé dans le cadre du Programme INTERREG IIIA, a été lancé dans un contexte de réflexion du gouvernement britannique visant à élaborer une législation pour favoriser la gestion durable du milieu marin. Dans cette perspective, il était utile de développer un système intégré de gestion de l'environnement marin permettant l'évaluation des ressources vivantes dans le détroit du Pas-de-Calais. L'un des produits de cette réflexion a été la publication en 2005 d'un atlas des habitats des ressources marines de la Manche Orientale, (Carpentier *et al.*, 2005). Cet atlas des habitats marins et des ressources vivantes doit constituer un outil d'aide à la décision pour assurer, grâce à l'intégration des données dans un SIG, une meilleure gestion du milieu dans son ensemble. Une deuxième phase de ce projet est prévue mais non encore engagée à ce jour.

Documents de référence

- ALZIEU C. et Coll.(1999) - Dragages et environnement marin. État des connaissances. Éd. Ifremer, Plouzané. 223 pp.
- ARNAL O., AUGRIS C. et DELPECH J.-P. (1985) - Recherche de sites pour l'extraction de granulats marins dans le Nord-Pas de Calais. *Rapport CNEXO Ifremer. Région Nord-Pas de Calais. 104 pp.*
- AUGRIS C. (1986) - Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la Région Nord-Pas de Calais. *Ifremer, DERO 86-01.*
- BERTHOU P., et al. (2002) - Synthèse des pêcheries 2002. *Flotte mer du Nord-Manche-Atlantique. Ifremer, Plouzané.*
- BERTHOU P., et al. (2005 a) - Synthèse des flottilles de pêche 2003. *Flotte mer du Nord-Manche-Atlantique. Ifremer, Plouzané.*
- BERTHOU P., et al. (2005 b) - Synthèse de l'activité de pêche 2003 par quartier maritime et région. *Façade mer du Nord-Manche-Atlantique. Ifremer, Plouzané.*
- CARPENTIER A. (1996) - Répartition et abondance du merlan (*Merlangius merlangus*) en Manche orientale. *CM 1996/G : 5. Demersal Fish Committee. International Council for the Exploration of the Sea. 8 pp. + Annexes.*
- CARPENTIER A. (1997) - Les campagnes expérimentales de chalutage en mer du Nord et Manche orientale. *Vol. 2 : les campagnes CGFS 1995 et 1996. Rapport final. Contrat BIOECO n°94/048. Ifremer Boulogne-sur-mer, 126 pp.*
- CARPENTIER A. et COPPIN F. (1999) - Campagnes expérimentales de chalutage en mer du Nord et Manche orientale. *Vol. 2 : les campagnes CGFS 1997 et 1998. Rapport Contrat BIOECO n°96/040. Ifremer Boulogne-sur-mer, 134 pp. + Annexes.*
- CARPENTIER A., VAZ S., MARTIN C.-S., COPPIN F., DAUVIN J.-C., DESROY N., DEWARUMEZ J.-M., EASTWOOD P.-D., ERNANDE B., HARROP S., KEMP Z., KOUUBI P., LEADER-WILLIAMS N., LEFEBVRE A., LEMOINE M., LOOTS C., MEADEN, G.-J., RYAN N. et WALKER M. (2005) - Eastern Channel Habitat Atlas for Marine Resource Management (CHARM), *Atlas des Habitats des Ressources Marines de la Manche orientale, INTERREG IIIA, 225 pp.*
- CRESSARD A.-P. (1975) - Exploitation de sables et graviers marins; bilan d'une année d'étude en baie de Seine. *Publication du CNEXO, février 1975.*
- DAUVIN J.-C. et DELATTRE S. (2000) - Synthèse bibliographique géoréférencée « Milieu vivant du domaine marin de la région Nord-Pas de Calais », *USTL, Département station Marine de Wimereux, 3 parties.*
- DE GROOT S.-J. (1980) - The consequence of marine gravel extraction on the spawning of herring, *Clupea harengus* Linné. *J. Fish. Biol. (1980) 16, 605-611.*
- DEBYSER J. (1975) - Les problèmes de l'environnement liés à l'exploitation des sables et graviers. *Publication CNEXO, 1975.*
- DELCOUR S. (1996) - Répartition et abondance du grondin rouge (*Aspitrigla cuculus*) en Manche orientale : campagne CGFS 95 (traitement informatique et analyse des résultats). *Rapport de Maîtrise. Université Catholique de Lille, faculté libre des sciences/Ifremer Boulogne-sur-mer. 79 pp. + base de données CGFS 2.*
- DELPECH J.-P. (1985 a) - Recherche de sites pour l'extraction de granulats marins dans le Nord-Pas de Calais. *Ifremer, septembre 1985.*
- DELPECH J.-P., REYNAL L. (1985) - Le développement de la pêche aux filets fixes à Boulogne-sur-mer. Centre d'ethno-technologie en milieu aquatique. *Anthropologie Maritime ; Actes du Colloque 1984 « Le Littoral, milieux et société » ; cahier n2, 1985.*
- DELPECH J.-P. (1986) - Recherche de sites pour l'extraction de granulats marins dans le Nord-Pas de Calais : incidences sur les activités halieutiques littorales. *Synthèse bibliographique. IFREMER, octobre 1986.*
- DELPECH J.-P., CASSOU Y., COPPIN F., DUFOUR J.-L., JEZEQUEL M. et MANTEN M.-L. (1995) - Bilan de l'activité halieutique dans le sud de la mer du Nord. *Contrat EDF/Ifremer, laboratoire Ressources Halieutiques Boulogne-sur-mer. 17 pp. + Annexes.*
- DÉSAUNAY Y. (1974) - Aménagement de la baie de la Canche. *Rapport de l'étude sur l'écologie et la productivité de l'estuaire de la Canche. Rapport ISTPM. 54 pp.*
- DÉSAUNAY Y., BEILLOIS P. (1976) - Les effets de l'exploitation des sables et graviers sur la pêche et la faune marine en baie de Seine orientale. *Rapport CNEXO/ISTPM n°73-854.*
- DESPREZ M. (1993) - Effets de l'extraction de sédiments marins sur le milieu marin. *Rapport GEMEL-Ifremer-CIEM : 53 pp.*
- DESPREZ M. (1997) - Impact des extractions de granulats sur l'environnement marin. *Mines & Carrières : p. 38-41.*
- DESPREZ M. (2000) - Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English Channel : short- and long-term post dredging restoration. *ICES Journal of Marine Science, 57 (5) : p. 1428-1438.*

- DESPREZ M. (2005) - Impact of marine aggregate extraction on fish distribution and feeding behaviour off Dieppe, Eastern Channel (F.). *ICES WGEXT meeting (AZTI, apr. 2005, San Sebastian)*.
- DESPREZ M., DUGUE G. et TETILLON N. (2005) - Suivi de l'impact de l'extraction de granulats marins au large de Dieppe. *Rapport annuel 2004, Contrat GIE Graves de Mer. 32 pp.*
- DINTHEER C., LEMOINE M., LATROUITE D., BERTHOU P., DELPECH J.-P., MORIZUR Y et TETARD A. (1995 a) - Les grands métiers de Manche. Réflexions et propositions pour la conservation de la ressource et la gestion des pêcheries. *Pêche Marit., 1338, p. 181-195.*
- DINTHEER C., SMITH M.-T., DE CLERCK R., COPPIN F. (1995 b). Base de données internationales en vue de l'évaluation biologique et économique des stocks de la Manche : Bahamas (Base halieutique pour une Manche Stratifiée). *Rapp. Fin., Contrat CE-DG XIV BIOECO/93-018, 164 pp.*
- Direction Inter-régionale des Affaires Maritimes Nord-Pas de Calais/Picardie/Haute et Basse Normandie (1996) - Monographie de la coquille Saint-Jacques. *Campagne 1995-1996.*
- DUNN M.-R. (1999) - The exploitation of selected non-quota species in the English Channel. *PhD Thesis, University of Portsmouth, 324 pp.*
- EASTWOOD P.-D., MEADEN G.-J., CARPENTIER A., ROGERS S.-I. (2003) - Estimating limits to the spatial extent and suitability of sole (*Solea solea*) nursery grounds in the Dover Strait. *Journal of Sea Research, 50, p. 151-165*
- EASTWOOD P.-D., MEADEN G.-J. (2004) - Introducing greater ecological realism to fish habitat models. In : *GIS / Spatial Analyses in Fishery and Aquatic Sciences (Vol. 2)*, Nishida, T., Kailola, P. J., Hollingworth, C. E. (Eds.) (p. 181-198), Fishery-Aquatic GIS Research Group, Saitama, Japan. 735 pp.
- FOREST A. (2001) - Ressources halieutiques hors quotas du Nord Est Atlantique : bilan des connaissances et analyse de scénarios d'évolution de la gestion. *Ifremer. Contrat Ifremer/MAPA - Réf. 99-I1-03-01. Rapport final.*
- FOUCHER E. (2004) - Évaluation annuelle du stock de coquilles Saint-Jacques de la baie de Seine. *Résultats de la campagne COMOR 34. Ifremer août 2004.*
- GUEGUEN G. (1997) - L'extraction des granulats marins : quels besoins ? Quels impacts sur l'environnement ? *Mémoire de DESS. Universités de Caen et Rouen.*
- GUITTON J., DINTHEER C., DUNN M.-R., MORIZUR Y. et TÉTARD A. (2003) - Atlas des pêcheries de la Manche. *Ifremer (Éd.), France, 216 pp.*
- HAMON J.-Y., LEYNAUD G. et PERTUS J.-P. (1992) - L'exploitation des granulats marins et la cohabitation avec la pêche professionnelle. *Rapport des Ministères de l'Environnement et de l'Industrie et du Secrétariat d'Etat à la Mer.*
- Ifremer (1984) - Recherche de sites pour l'extraction de granulats marins dans le Nord-Pas de Calais : fiche d'avancement des travaux au 1-12-84. Bilan des actions entreprises en 1984 pour le domaine de l'environnement littoral. *Convention entre la région Nord-Pas de Calais et Ifremer, Annexe 9.*
- Ifremer, CREOCEAN (1992) - Extraction de granulats marins et activités halieutiques en Manche orientale. *CREOCEAN / 22108.*
- Ifremer, MAFF/DFR (1993) - Identification biogéographique des principaux stocks exploités en Manche, relations avec ceux des régions voisines. Biogeographical identification of English Channel fish and shellfish stocks. *Contrat Ifremer/MAFF/DG XIV n°91/1211416/BMF. Rapp. Intern. Ifremer, RI-DRV-RH Boulogne-sur-mer, 93/028, 256 pp.*
- LAMPERT L., DAGAULT F., DAVOULT D., LOQUET N., MAHEUX F. et DELPECH J.-P. (2005) - Surveillance écologique et halieutique du site de Paluel, année 2004. *Rapport scientifique annuel - Rapp. Ifremer RST 05.01 LERN, mars 2005, 173 pp.*
- LEMOINE M. (1989) - Les pêches artisanales en Manche orientale : flottilles et ressources halieutiques de la région Nord-Pas de Calais. *Rapport Ifremer, région Nord-Pas de Calais, 89 pp.*
- LEMOINE M. et GIRET M. (1991) - Les pêches artisanales de la Manche orientale : flottilles et ressources halieutiques. *Ifremer, Centre de Brest, 119 pp.*
- LEMOINE M., CLABAUD P., SIMON S. et AUGRIS C. (1999) - Étude de la souille expérimentale d'exploitation de granulats dite « souille CNEXO » en baie de Seine. Étude morpho-sédimentologique et faunistique entre 1981 et 1996. Synthèse des connaissances. *Ifremer., 23 pp.*
- LE PAPE O., MORIN J., ROGERS S.-I., RIOU P., COPPIN F., CARPENTIER A., LEMOINE M. (2000) - Nursery grounds in the coastal zone of the Eastern Channel : typology and management measure. *Rapp. Fin. Contrat CE-DG XIV, 97/0030, 65 pp.*
- LE PAPE O., GUILLOT S. et LEMOINE M. (1996) - Bilan halieutique préalable à l'extraction expérimentale de granulats marins en baie de Seine. *Ifremer, Contrat de Plan Interrégional du Bassin Parisien, 32 pp.*
- MAHE K., DESTOMBES A., COPPIN F., KOUUBI P., Vaz S., LEROY D., CARPENTIER A. (2005) - Le rouget barbet de roche *Mullus surmuletus* (L. 1758) en Manche orientale et mer du Nord. *186 pp.*

NEWELL R.-C., SEIDERER L.-J. et HITCHCOCK D.-R. (1998) - Impact de l'activité de dragage en milieu littoral : synthèse sur la sensibilité des ressources biologiques à la perturbation et sur leurs potentialités de recolonisation. *Oceanography and marine Biology : an annual review*.

PASCOE S. (Éd.), (2000) - Bioeconomic modelling of the fisheries of the English Channel. *Contract FAIR CT 96-1993, Final report. CEMARE Rep., 53, 162 pp.*

PAWSON M.-G. (1995) - Biogeographical identification of English Channel fish and shellfish stocks. *Report No. No. 99, Directorate of Fisheries Research, Lowestoft, U. K*

RIOU P. (1999) - Étude des nurseries côtières et estuariennes de sole *Solea solea* et de plie *Pleuronectes platessa* en Manche Est. Importance écologique de l'estuaire de Seine. *Thèse de doctorat de l'Université de Caen : 125 pp.*

RIOU P., LE PAPE O., et al. (2001) - Relative contribution of different sole and plaice nurseries to the adult population in the Eastern Channel: application of a combined method using generalized linear models and geographic information system. *Aquat. Living Resour.* **14** : p. 125 -135.

TASSEL M. (1988) - Biologie halieutique de la limande (*Limanda limanda*, L. 1758) en Manche orientale et mer du Nord. *Thèse de doctorat USTL, 237 pp.*

TÉTARD A., BOON M., BENNETT D., BERTHOU P., BOSSY S., CASEY J., DE CLERCK R., DELPECH J.-P., DINTHEER C., GIRET M., LARGE P., LATROUITE D., LEMOINE M., MILLNER R., MORIZUR Y., OZANNE S., PALMER D., PAWSON M., PICKETT G. et VINCE M. (1995) - Catalogue international des activités des flottilles de la Manche, approche des interactions techniques. *Brest, Ifremer, 337 pp.*

TOUPIN A. (2002 a) - L'extraction de granulats marins et ses impacts environnementaux : synthèse bibliographique critique. *ARMINES DIREM, décembre 2002.*

TOUPIN A. (2002 b) - L'extraction des granulats marins et ses impacts sur l'environnement : une synthèse des connaissances. *Mémoire de fin d'études. École des Mines de Paris.*

TOUSSAINT A. et BOYER S.-A. (1983) - La pêche artisanale boulonnaise. *Mémoire de DEA Halieutique ENSA Rennes/ISTPM Boulogne-sur-mer, 62 pp. + Annexes.*

ULRICH C. (2000) - Modélisation multi-flottille et multi-métier des pêcheries artisanales de la Manche. Évaluation plurispécifique des stocks, étude des interactions techniques et intégration dans la modélisation bioéconomique. *Thèse de doctorat de l'ENSAR, Rennes, 350 pp.*

ULRICH C., GASCUEL D., DUNN M.-R., LE GALLIC B., DINTHEER C. (2001) - Estimation of technical interactions due to the competition for resource in a mixed-species fishery, and the typology of fleets and métiers in the English Channel. *Aquat. Living Resour.*, **14**(5), P. 267-281.

VAZ S., CARPENTIER A. et COPPIN F. (2004) - Eastern English Channel Fish Community from 1988 to 2003 and its relation to the Environment. *ICES Annual Science Conference CM 2004/K : 40.*

VAZ S., MARTIN C.-S., ERNANDE B., EASTWOOD P.-D., COPPIN F., HARROP S., MEADEN G.-J. et CARPENTIER A. (2005 a) - Modelling Fish Habitat Suitability in the Eastern English Channel. *ICES CM 2005/O : 23.*

VAZ S., MARTIN C.-S., ERNANDE B., COPPIN F., HARROP S. and CARPENTIER A. (2005 b) - Using geostatistics to quantify annual distribution and aggregation patterns of fishes in the Eastern English Channel. *ICES CM 2005/L : 21.*

Autres documents consultés

BERNARD S. et HARLAY X. (1994) - De la répartition des larves de poissons plats en général à celle de *Solea solea* en particulier en Manche et mer du Nord. *Rapport de Maîtrise USTL/Station Marine de Wimereux , 71 pp. + Annexes.*

BLÉARD I. (1996) - Répartition et abondance du tacaud (*Trisopterus luscus*) en Manche orientale : campagne CGFS 95 (technique de pêche et analyse des résultats). *Rapport de Maîtrise. Université Catholique de Lille, faculté libre des sciences/Ifremer Boulogne-sur-mer. 79 pp.*

CHARLET E. (1996) - Étude du cycle de vie des poissons plats en Manche orientale : œufs, larves et juvéniles. *Rapport de stage ULCO Station Marine de Wimereux, 23 pp. + bibl. + Annexes.*

COPPIN I. (1984) - La crevette rose (*Palaemon serratus*, Pennant) : biologie et pêche (bibliographie), Tourteau (*Cancer pagurus*, Linné 1758) : biologie et pêche à Audresselles (PDC), (comparaison avec la pêche bretonne). *Rapport de stage Ifremer Boulogne-sur-mer, 16 pp.*

DELPECH J.-P., GRELLIER P., PERONNET I., TÉTARD A., MARTIN J., WOERHLING D., DUVAL P., LEGAGNEUR E., VINCENT A., GIRET M. et LACROIX N. (1983) - Étude de surveillance écologique des ressources halieutiques de Gravelines (Nord). Rapport définitif 1^{er} novembre 1981-31 octobre 1982. *Rapport Contrat EDF ISTPM. Vol. 1 : 79 pp. Vol. 2 : 209 pp.*

DELVAL C. et DESMARCHELIER M. (1982) - Biologie du flet (*Platichthys flesus* L.). Étude des chalutages effectués sur le littoral Nord-Pas de Calais. *Mémoire de DEA USTL/Station Marine de Wimereux. 120 pp. + Annexes.*

- DESMARCHELIER M. (1986) - Contribution à l'étude des populations de tacauds *Trisopterus luscus* (L., 1758) en Manche orientale et dans le sud de la mer du Nord. *Thèse de doctorat USTL*, 172 pp.
- DOREL D., MAUCORPS A. (1976) - Note sur la granulométrie des frayères de hareng en Manche orientale. *CIEM, Comité des Poissons Pélagiques, C.M. 1976 : H : 20*.
- DUQUESNE S. (1990) - Effet de la pollution métallique littorale : bioaccumulation et mécanismes de détoxification chez des espèces de poissons d'intérêt commercial. *Rapport d'activité au 1^{er} juin 1990. USTL/Station Marine de Wimereux, 17 pp.*
- DURAND J.-L. (1977) - Étude préliminaire de la biologie et de la pêche de la sole en Manche orientale (du Cap Gris-Nez à la pointe d'Ailly). *Thèse ENSAR, septembre 1977*.
- GRIOCHE A. (1994) - Répartition de l'ichtyoplancton au large de la Côte d'Opale en période printanière. *Mémoire de DEA Université Pierre et Marie Curie Paris VI, 170 pp.*
- GRIOCHE A. (1998) - Dynamique de l'écophase ichtyoplanctonique en Manche orientale et sud mer du Nord. Approche multispécifique et description de deux espèces cibles : *Solea solea* (L.) et *Pleuronectes flesus* (L.) Thèse de doctorat ULCO, 272 p. + Ann..
- HARLAY X., 1997. Dynamique d'une nourricerie intertidale de plie en période printanière. *Mémoire de DEA, ETES, MNHN, 63 pp + bibl + Annexes.*
- HOUGHTON R.-G., HARDING D. (1976) - The plaice of the English Channel : spawning and migration. *J. Cons. Int. Explor. Mer, 36 (3) : p. 229-239.*
- LEFRANC G. (1970) - Biologie de la morue du sud de la mer du Nord et de la Manche orientale. *Revue des Travaux de l'ISTPM, 34 : p. 277-296.*
- LEMOINE M. (1979) - Inventaire des ressources halieutiques et conchylicoles de la Manche. *Inst. Scient. et Tech. des Pêches Marit. édit, janvier 1979.*
- MARYNIAK C. (1998) - Étude de la dynamique d'une nourricerie de poissons plats de la Côte d'Opale. *Rapport de Maîtrise USTL/Station Marine de Wimereux, 15 pp. + bibl.*
- MARYNIAK C. (1999) - Étude de l'évolution saisonnière de la composition des assemblages ichtyoplanctoniques et du fonctionnement d'une nourricerie du sud de la mer du Nord. *Mémoire de DEA, USTL, 28 pp.*
- MESNIL B. (1983) - Indices d'abondance des juvéniles de poissons plats devant les côtes françaises de Manche Est et mer du Nord, résultats des campagnes DYFS (1977 à 1982). *CIEM, Comité des Poissons Démersaux, CM 1983/G : 55.*
- PÉRONNET I. et TÉTARD A. (1984) - Évolution pluriannuelle des nourriceries de poissons plats dans le secteur de la baie de Somme. *CIEM. CM 1984/G : 22, Comité des Poissons Démersaux, 16 pp.*
- PÉRONNET I. et TÉTARD A. (1985) - Étude de deux nourriceries des côtes françaises de la Manche orientale et du sud mer du Nord. *Annales Biologiques du CIEM. Vol. 39, mai 1985.*
- PÉRONNET I. et TÉTARD A. (1986) - Étude de deux nourriceries des côtes françaises de la Manche orientale et du sud mer du Nord. *Annales Biologiques du CIEM. Vol. 40, janvier 1986.*
- RIOU P. (1994) - Analyse descriptive et dynamique de onze années d'échantillonnage halieutique en baie de Somme. Caractérisation d'une nourricerie côtière. *Rapport de DESS informatique appliquée aux Sciences de la vie. Ifremer DRV-RH Port-en-Bessin. 68 pp.*
- SAFRAN P. (1984) - Contribution à la connaissance de la pêche accessoire dans la pêcherie artisanale de crevettes grises (*Crangon crangon*, L.) en baie de Canche (Pas-de-Calais). *Mémoire de DEA USTL/ ISTPM Boulogne-sur-mer, 155 pp.*
- SAFRAN P. (1987) - Étude écologique d'une nourricerie littorale de poissons nectobenthiques le long du Pas-de-Calais par méthodes statistiques multivariées. *Thèse doctorat USTL, 104 pp.*
- SAFRAN P. (1990) - Variabilité spatio-temporelle de la structure d'une nourricerie de poissons nectobenthiques : une étude descriptive. *Oceanologica Acta, 13 : p. 97-106.*
- SHELTON R.-G.-J., and ROLFE M.-S. (1972) - The biological implications of aggregate extraction: recent studies in the English Channel. *ICES, Fisheries Improvement Committee, CM 1972/E : 26.*
- TASSEL M. (1984) - Biologie de la limande (*Limanda limanda*, L.) d'après l'étude des débarquements des pêcheurs artisans du port de Boulogne-sur-mer. *Mémoire de DEA USTL/Laboratoire ISTPM de Boulogne-sur-mer. 89 pp. + bibl. + Annexes.*
- WESTERBERG H., RÖNNBÄCK P. and FRIMASSON H. (1996) - Effects of suspended sediments on cod egg and larvae and on the behaviour of adult herring and cod. *ICES C.M. 1996, E : 26, 13 pp.*
- WOEHLING D., GIRET M. et HALGAND D. (1979) - Reproduction des poissons et température de l'eau. Cas du sprat (*Sprattus sprattus*, L.) et de la sole (*Solea vulgaris*, Quensel) sur différents sites en Manche et sud de la mer du Nord. *In Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. 2^{ième} journées de la thermoécologie. EDF Direction de l'équipement, 1981 : p 97-119.*

6.1.2. Façade « Loire-Gironde »

Les principales activités halieutiques sont la petite pêche et la pêche côtière. La petite pêche correspond à des temps de sortie inférieurs à 24 heures, la pêche côtière à des temps de pêche compris entre 24 et 96 heures.

Divers documents, notamment des rapports anciens, présentent et cartographient la répartition spatiale des différentes flottilles dans le golfe de Gascogne (Autissier et Le Masson, 1981 ; Descamps et Léauté, 1988), ayant pour but de « décrire les caractéristiques physiques des bateaux de pêche du Sud de la Loire, d'analyser leur activité (en terme d'engins de pêche utilisés et de secteurs fréquentés), ainsi que la présentation des débarquements en poids et en valeur ».

Ce travail a permis de mettre en évidence « le poids économique des artisans armés à la pêche côtière et les petits artisans dans les pêcheries côtières du Sud du golfe, représentant 88 % de la flottille, 61 % des puissances et débarquant près de 40 % en poids et en valeur de la production totale ».

Il existe, en effet, divers documents relativement anciens concernant les activités halieutiques (Guérault *et al.*, 1983, Gondeaux *et al.*, 1988). Il s'agit cependant d'études plus ou moins limitées géographiquement et non répétitives.

Des études plus récentes permettent de disposer d'états validés des flottilles de pêche. Ainsi, Léauté et Caill-Milly (2003) ont réalisé l'inventaire des activités halieutiques du secteur compris entre la Loire et le Pays Basque. En parallèle, le Système d'Information Halieutique, pérenne, permet d'obtenir une étude plus générale des activités. Un exemple des états de flottilles est fourni pour les pêcheries des deux façades Manche et Atlantique (Berthou *et al.*, 2002). On peut constater, à travers ces divers documents que la réglementation appliquée à la pêche est relativement complexe. La thèse «La mer côtière d'Iroise à Finistère» (Trouillet, 2004) permet d'avoir un aperçu, à l'aide de cartes représentatives, de la réglementation des pêches pour le golfe de Gascogne.

Des communications récentes dressent des bilans de connaissances sur les pêcheries du golfe de Gascogne et fournissent les éléments structurels et dynamiques des exploitations halieutiques (Thébaud et Guyader, 2005).

D'autres travaux présentent les caractéristiques actuelles des flottilles de pêche du golfe de Gascogne (Daurès *et al.*, 2005).

La reproduction des espèces marines est le plus souvent concentrée sur des frayères définies par des paramètres hydrologiques et sédimentaires. Les types d'habitat (pélagique, benthique, côtier, hauturier) et les saisons de ponte sont propres à chaque espèce. La phase de croissance des juvéniles s'opère sur les nourriceries, dont beaucoup se situent dans la zone côtière inférieure à 25 mètres de profondeur, dans les secteurs biologiquement les plus riches comme les estuaires et les baies adjacentes. Pour les poissons, la période juvénile dure plusieurs années. De ce fait, la sensibilité des nourriceries est un élément permanent. Afin que les jeunes géniteurs puissent atteindre les frayères, les habitats doivent permettre un continuum. Ce point est particulièrement sensible pour les espèces marines dont les frayères se situent en zone fluviale (amphihalins potamotoques, tels que les salmonidés, les aloses) et qui doivent pouvoir transiter sans contrainte par les estuaires.

On peut donc dire qu'il y a saisonnalité des frayères et voies de migration (qui sont globalement très peu connues), tandis que les nourriceries (assez bien connues et localisées) ont un caractère permanent. D'où des mesures de protection différentes à leur égard.

Sur la façade atlantique, après une étude exhaustive des peuplements halieutiques des baies et estuaires entre le golfe du Morbihan et la côte des Landes (Guérault *et al.*, 1996), les sites de nourriceries ont été décrits plus précisément en prenant l'exemple de la sole, espèce benthique représentative des peuplements

halieutiques. Un modèle des habitats de nourriceries a été élaboré (Le Pape *et al.*, 2003) qui fournit les aires potentielles dont la qualité détermine la production halieutique.

Documents de référence

BOLOPION J., FOREST A. et SOURD J. (2000) - Rapport sur l'exercice de la pêche dans la zone côtière de la France. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, janvier 2000, *version finale*, 113 pp. + figures.

BOUCHOT G. *et al.* (1975) - Les effets des extractions de sables et graviers marins sur l'environnement et la pêche. Bilan des études effectuées depuis mars 1974 dans le cadre d'une exploitation expérimentale. *CIEM, CM 1975/E* : 17 pp.

DÉSAUNAY Y., DOREL D., LEMOINE M., BEILLOIS P. (1977) - Étude de l'effet des exploitations des agrégats marins sur les activités halieutiques en sud Bretagne. Activités et ressources halieutiques de la baie d'Étel. *Rapport de contrat CNEXO/ISTPM n°75-1342-B*, 89 pp.

DÉSAUNAY Y., DOREL D., DURAND J.-L., BEILLOIS P. (1980) - Effets de l'exploitation des agrégats marins sur les activités halieutiques. *Rapport de contrat CNEXO/ISTPM n°77-1876-32*, 79 pp.

ICES. (2001) - Effects of extraction of marine sediments of the marine ecosystem. *Report of the ICES WGEXT, Cooperative Research Report n°247* : p. 70-80.

ISTPM (1981) - Étude de l'exploitabilité du gisement marin de granulats « Pilier SN3 ». *Rapport d'étude, convention BRGM-ISTPM n°27-44-06, laboratoire « Pêches - Nantes », Y. Désaunay, rédacteur*, 29 pp.

LÉAUTÉ J.-P. et CAILL-MILLY N. (2003) - Caractéristiques des petites pêches côtières et estuariennes de la côte atlantique du sud de l'Europe. *Synthèse du contrat PECOSUDE. Ifremer*, 66 pp.

TALIDEC C., *et al.* (2004) - Scénarios d'aménagement des activités de pêche dans la bande côtière bretonne. *Rapport intermédiaire pour la région Bretagne (CPER). Ifremer / UBO / CEDEM / Agrocampus*, 143 pp.

TROUILLET B. (2004) - La « mer côtière » d'Iroise à Finistère - Étude géographique d'ensembles territoriaux en construction. *Thèse de doctorat, Université de Nantes*, 293 pp.

Autres documents consultés

ADNITT C., STANILAND R., LEWIS J. (2004) - The future of environmental impact assessment for marine aggregate extraction, best practice and emerging issues. *Proceedings of the Institute of Marine Engineering, Science and Technology. Part C. Journal of Marine Science and Environment, Vol. C1* : p. 36-44.

AUTISSIER I. et Le Masson V. (1981) - Les pêcheries du Golfe de Gascogne : problèmes et possibilités d'aménagement. *Rapport Ifremer*, 216 pp.

BERTHOU P., *et al.* (2002) - Synthèse des Pêcheries 2002. Flotte mer du Nord-Manche-Atlantique. *Ifremer, Plouzané*, 80 pp.

BOYD S.-E. et REES H.-L. (2003) - An examination of the spatial scale of impact on the marine benthos arising from marine aggregate extraction in the central English Channel.

BOYD S.-E. *et al.* (2004) - Assessment of the rehabilitation of the sea bed following marine aggregate dredging. *Science series technical report. CEFAS, Vol. 121*, 154 pp.

CAYOCCA F., DU GARDIN B. (2003) - Assessing the impact of sand extraction on the shore stability : project for a methodological framework. *EMSAGG Conference, Delft University, NL*, 5 pp.

CEFAS (2001) - A workshop to discuss the feasibility and practicability of developing ecological quality objectives for aggregate extraction areas. *CEFAS Lowestoft, UK*, 93p p.

Comité de gestion de la taxe parafiscale sur les granulats (1978) - BRGM, CNEXO, ISTPM. Ressources littorales en granulats des Régions Bretagne et Pays de Loire. *Rapport 78 SGN 521 MAR*. 30 pp. + annexes + cartes.

CRESSARD A., LEMAIRE A., LENOBLE J.-P. (1976) - Les granulats marins siliceux et calcaires du littoral français. *Rapport CNEXO/COB/GA*, 20 pp.

DEBYSER J. (1975) - Les problèmes de l'environnement liés à l'exploitation des sables et graviers marins. *CNEXO, Département Ressources minérales, note technique n° 51, octobre 1975*.

GROOT DE S.-J. (1996) - The physical impact of marine aggregate extraction in the North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 53 (6) : p. 1051-1053

DE HALDAT C. (1978) - La pêche à la crevette grise dans les pertuis charentais. *Mémoire ENSAR-ISTPM, La Rochelle*, 32 pp.

DÉSAUNAY Y., BEILLOIS P. (1976) - Les effets de l'exploitation des sables et graviers sur la pêche et la faune marine en baie de Seine orientale. *Rapport CNEXO/ISTPM n°73-854*.

DESCAMPS P, et LEAUTE J.-P. (1988) - Flottes et pêches maritimes du Sud du Golfe de Gascogne. *Rapport scientifique et technique de l'Ifremer*.

DESPREZ M. (2000) - Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English Channel : short—and long-term post dredging restoration. *ICES Journal of Marine Science*, 57 (5) : p. 1428-1438.

DINTHEER, C. (1980) La pêche de Quiberon à la Vilaine. *La pêche maritime*, p. 93-98.

DUPILET D. (2001) - Le règlement des conflits d'usage dans la zone côtière entre pêche professionnelle et autres activités. *Rapport remis à M. Le Premier Ministre*, 3 avril 2001, 57 pp.

FAO (2003) - Fisheries management 2. The ecosystem approach to fisheries. *Report 4 (suppl. 2)*, Rome, 112 pp.

GENEY M. (1975) - Étude de la pêche artisanale dans les pertuis charentais. *Mémoire ENSAR-ISTPM, centre de La Rochelle*, 40 pp. + annexes (ronéo).

GONDEAUX E. (1988) - Analyse typologique de la flottille du Mor-Braz. *Ifremer-DRV-88.022-RH/Nantes. Ifremer, Nantes*, 40 pp.

GUÉRAULT D. et BEILLOIS P. (1983) - Les ressources halieutiques exploitées par les flottilles des Pays de Loire. Première partie : description des flottilles et des activités halieutiques, année 1981, 6 fascicules. *ISTPM Ifremer, Nantes*.

GUÉRAULT D. (1984) - Description des flottilles et des activités halieutiques des Quartiers Maritimes de Nantes, Saint-Nazaire, Noirmoutier, année 1982. *ISTPM Ifremer Nantes, rapport à diffusion restreinte n°38*, 4 fascicules.

GUÉRAULT D., DOREL D. et DÉSAUNAY Y. (1996) - Cartographie des nourriceries littorales de poissons du Golfe de Gascogne. *Rapport de l'étude 95-11-01-02 pour le Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation. Ifremer, Nantes*.

ICES (1999) - Conseil International pour l'Exploration de la Mer. *Report of the working group on the effects of extraction of marine sediments on the marine ecosystem*.

ICES (2000) - Conseil International pour l'Exploration de la Mer. *Report of the working group on the effects of extraction of marine sediments on the marine ecosystem*.

ICES (2004) - Conseil International pour l'Exploration de la Mer. *Report of the working group on the effects of extraction of marine sediments on the marine ecosystem*.

LEMOINE M. (2002) - Note d'information au comité national des pêches maritimes sur l'exploitation des granulats marins et sur l'étude de ses effets potentiels. *Commission Bande Côtière du 7 octobre 2002*. 10 pp.

LE PAPE O., CHAUVET F., MAHÉVAS S., LAZURE P., GUÉRAULT D. et DÉSAUNAY Y. (2003) - Quantitative description of habitat suitability for the juvenile common sole (*Solea solea*, L.) in the Bay of Biscay (France) and the contribution of different habitats to the adult population. *Journal of Sea Research* 50, p. 139-149.

ROBINSON J.-E., NEWELL R.-C., SEIDERER L.-J., SIMPSON N.-M. (2005) - Impacts of aggregate dredging on sediment composition and associated benthic fauna at an offshore dredge site in the southern North Sea. *Marine Environmental Research*, 60 (1) : p. 51-68.

SEIDERER L.-J., NEWELL R.-C. (1999) - Analysis of the relationship between sediment composition and benthic community structure in coastal deposits : implications for marine aggregate dredging. *ICES Journal of Marine Science*, 56 (5) : p. 757-765.

6.2. Panorama des connaissances dans le domaine des peuplements benthiques

6.2.1. Façade « Manche-Est »

Les peuplements benthiques de la Manche sont sous la dépendance du courant de marée, qui transite entre la mer d'Iroise et le détroit du Pas-de-Calais, où son intensité se renforce. Plus ce courant est fort et plus le sédiment est grossier, jusqu'à être constitué de fonds durs, à l'entrée de la mer du Nord et dans la zone centrale, la plus profonde. A l'inverse, les sédiments les plus fins se trouvent le long des côtes et dans les estuaires.

Le gradient est également observé sur les eaux, qui passent d'un caractère océanique sténotherme (dont la température varie peu) à un caractère nettement continental à l'Est.

A ce gradient hydrologique Ouest-Est, s'ajoute un gradient côte-large du sédiment, qui affecte la composition des peuplements. De plus, la turbidité côtière ajoute à ce gradient et confine les algues à des secteurs éloignés des côtes (Gentil, 1980).

Les inventaires de peuplements benthiques de la Manche et plus spécialement de la Manche orientale, ont débuté, côté français, avec les travaux des laboratoires marins côtiers associés dans le Gréco-Manche (Wimereux, Roscoff, Dinard) auxquels se sont joints d'autres équipes (Paris VI). A la suite de Cabioch qui avait décrit la Manche occidentale en 1968, Gentil (1976) publie la carte des peuplements de la baie de Seine, reprise en 1997 (Gentil et Cabioch, 1997). Cabioch et Glaçon publient en 1975 la carte des peuplements benthiques d'Antifer à la baie de Somme et, en 1977, la carte des peuplements benthiques de la baie de Somme au Pas-de-Calais. Ces principaux travaux synthétiques sont réalisés dans les années 1970.

Les différents biotopes décrits par ces auteurs peuvent être regroupés en quatre entités : un faciès très côtier de sables fins envasés à *Abra alba*, un faciès situé plus au large de sables fins à moyens propres à *Ophelia borealis*, un faciès de sables grossiers à *Amphioxus lanceolatus* et à bivalves, suite du faciès à *Venus* de la Manche occidentale et un faciès de cailloutis à graviers à épibiose sessile à *Ophiotrix fragilis*.

Depuis, Prygiel *et al.* (1988), Souplet *et al.* (1990), Davout (1990) puis Migné et Davout (1997) cartographient les peuplements du Pas-de-Calais. Reprenant ces différents travaux, Sanvicente-Añorve *et al.* (2002) en réalisent une interprétation basée sur des analyses multivariées et comparent les peuplements des côtes anglaises, françaises et belges.

Ponctuellement, des documents cartographiques détaillés ont été réalisés dans le cadre de contrats sur l'impact des centrales EDF. A Penly, Drévès *et al.* (1995, 1997, 2002, 2005), réalisent des cartes bio-sédimentaires de la bande côtière par sonar à balayage latéral, tandis que Desprez (2000) analyse l'impact des extractions de granulats dans cette même zone. De la même manière, des observations régulières sont réalisées devant la centrale de Paluel (Seine-Maritime) par Davout et Migné (1994-2003).

La première phase du projet franco-britannique Interreg III A, baptisé CHARM (Eastern Channel Habitat Atlas for Marine Ressources Management) et piloté en France par le laboratoire Ifremer de Boulogne-sur-mer, a permis de réaliser un atlas des habitats en Manche Orientale (Carpentier et Harrop, 2005). A partir des données disponibles (notamment des documents cités ci-dessus), il présente une analyse descriptive de l'environnement, des peuplements benthiques et des ressources exploitées, pour une aide à la gestion.

Références bibliographiques

CABIOCH L. (1968) - Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale. *Cah. Biol. Mar.* 9 (5) : 493-720.

CABIOCH L. et GENTIL F. (1975) - Distribution of the benthic communities in the eastern part of the Bay of Seine. *C. R. Hebd. Séances Acad. Sci., Paris, Ser. D.* 280(5) : 571 - 574.

CABIOCH, L. et GLAÇON R. (1975) - Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, de la baie de Somme au Pas-de-Calais. *C. R. Hebd. Séances Acad. Sci., Paris, Ser. D* 280(4) : 491-494.

CABIOCH L., GENTIL F., *et al.* (1975-1976) - Doc.1 : Observations sur les peuplements benthiques de la baie de Seine et sur la re-colonisation après des extractions d'agrégats. Doc.2 : Écologie du benthos de la Manche et critères de protection du milieu marin ; les peuplements benthiques du Nord du pays de Caux. Doc 3 : Distribution des peuplements benthiques en baie de Seine. *Rapport Station biologique de Roscoff; contrat n°75/5136.*

CABIOCH L., GENTIL F., *et al.* (1977) - Le Macrobenthos des fonds meubles de la Manche, distribution générale et écologie. *Biology of Benthic organisms; 11. European Symposium on Marine Biology, Galway (Eire), Octobre 1976. O. C. P. J. B. Keegan B., ed., Pergamon Press : 115-128.*

- CABIOCH L. et GLACON R. (1977) - Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, du Cap d'Antifer à la baie de Somme. *C. R. Hebd. Séances Acad. Sci., Paris, Ser. D.* **285**(3) : 209-212.
- CABIOCH L., GENTIL F., GLAÇON R., RETIERE C., (1978) - Le bassin oriental de la Manche, modèle de distribution de peuplements benthiques dans une mer à fortes marées. *Journal de Recherche Océanographique, volume 3, n°1* : 24.
- CARPENTIER A., HARROP S., *et al.* (2005) - Atlas des habitats des ressources marines de la Manche orientale. Projet CHARM - Rapport final Phase 1 (2003-2005) et Atlas. *Contrat Programme Européen Interreg IIIA, CEE.*
- CLABAUT P. et DAVOULT D. (1989) - Interaction biocénose benthique-sédiment en milieu infra-tidal à haute énergie. Exemple de la baie de Wissant (Manche orientale). *C.R. Acad. Sci. Ser.2* **308**(15) : 1349-1356.
- DAUVIN J.-C. (Éd.) (1997) - Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et mer du Nord: synthèse, menaces et perspectives. *Collection Patrimoines Naturels / IEGB / Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris* : 376 p.
- DAVOULT D., DEWARUMEZ J.-M., PRYGIEL J., RICHARD A., (1988) - Carte des peuplements benthiques de la partie française de la mer du Nord. *Publication Ifremer, Station Marine de Wimereux et Région Nord-Pas de Calais* : 1-30 + 1 carte .
- DAVOULT D. (1990) - Biofaciès et structure trophique du peuplement des cailloutis du Pas-de-Calais (France). *Oceanologica Acta* **13** : 335-348.
- DAVOULT D. et MIGNÉ A. (1994-2003) - Le domaine benthique subtidal. *In : Surveillance écologique et halieutique du site de Paluel, Rapport Ifremer. Contrat EDF.*
- DAVOULT D. et MIGNÉ A., (1994) - Le domaine benthique subtidal *in: Surveillance écologique et halieutique du site de Paluel. Rapport Ifremer, contrat EDF.*
- DAVOULT D. et MIGNÉ A. (2004) - Le benthos subtidal. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Paluel. *Rapport Ifremer pour EDF: 107-125.*
- DESPREZ, M. (2000) - Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the french coast of the Eastern English Channel: short and long term post-dredging restoration. *ICES Journal of Marine Science* **57** : 1428-1438.
- DREVES L. et CLABAUT P. (1989) - Le domaine benthique *in: Arzul et al. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche ouest), année 1988. Rapport Ifremer dero-el/89-22* : 45-133.
- DREVES L., CLABAUT P., *et al.* (1995) - Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier de Penly (mission Sonpen, mai 1992). *Rapport Ifremer, del-brest-95.01: 92 p. + 3 cartes hors texte.*
- DREVES L., CLABAUT P., *et al.* (1995) - Pylar, 1993 ; reconnaissance biomorphosédimentaire des fonds marins au large de Dieppe - Le Tréport (Seine-Maritime, France). *Rapport Ifremer del-brest 95-20* : 132 p. + annexes + 2 cartes hors texte.
- DREVES L., CLABAUT P., *et al.* (1997) - Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier entre la pointe d'Ailly et Criel-sur-mer (mission Pycaux, juillet 1996). *Rapport Ifremer del-brest 97.17: 46 p. + annexes - 2 cartes 1/10 000 hors texte.*
- DREVES L., CLABAUT P., *et al.* (2002) - Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier entre Dieppe et Criel-sur-mer (mission Pycasso, avril 2000). *Rapport Ifremer del/sr/02.10* : 62 p. + 2 cartes 1/10 000 hors texte.
- DREVES L., CLABAUT P., *et al.* (2005) - Étude biomorphosédimentaire du domaine marin entre Dieppe et Criel-sur-mer (Seine maritime, France) (mission Cauxsom, juin-juillet 2004). *Rapport Ifremer, en cours.*
- DUGLET A. (1977) - Preliminary investigations on phytocoenoses of French Channel coasts (from Cap Levy to baie des Veys). *Bull. Soc. Phycol. France.* **22** : 206-216.
- GENTIL F. (1976) - Distribution des peuplements benthiques en baie de Seine. *Thèse 3^{ème} cycle, Université P. et M. Curie, Paris VI* : 70 p.+ annexes.
- GENTIL F. (1980) - Les peuplements benthiques de la baie de Seine ; caractères généraux et liaisons biogéographiques. *Comptes-rendus du 105^{ème} congrès national des sociétés savantes. Section des Sciences. Caen, 1980. fasc. 3* : 125-138.
- GENTIL F. et CABIOCH L. (1997) - Les biocénoses subtidales macrobenthiques de la Manche, conditions écologiques et structure générale. *In : Les biocénoses marines et littorales des côtes Atlantique, Manche et mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives, Dauvin J.-C., (Éd.), Service du Patrimoine naturel, IEGB, MNHN. Paris* : 68-78.
- GENTIL F. et CABIOCH L. (1997) - Carte des peuplements macrobenthiques de la baie de Seine et Manche centrale sud. *Éd. de la Station Biologique de Roscoff, Université Paris VI et CNRS-UPR. 9042, carte A3 et notice 18 p.*
- GLAÇON, R. (1980) - État zéro de la souille de Dieppe ; reconnaissance du benthos et analyses chimiques. *Rapport de contrat 79/5907 CNEXO-Station marine de Wimereux* : 29 p. + annexes.
- GUILLAUMONT, B. et HAMON D. (1983) - Étude écologique de projet EDF du site de Penly : chap. 9 : le zoobenthos subtidal, *Rapport CNEXO* : 1-47.

MIGNÉ A. et DAVOULT D. (1997) - Distribution quantitative de la macrofaune benthique du peuplement des cailloutis dans le détroit du Pas-de-Calais (Manche orientale, France). *Oceanologica-acta* **20**(2) : 453-460.

ROMONT R. (1996) - Caractérisation multiparamétrique de la qualité des sédiments et description des communautés macrozoobenthiques associées des ports de Dunkerque ouest et Boulogne-sur-mer et des estuaires de l' Aa et de la Canche (Région Nord-Pas de Calais, France). *Thèse Université Nord-Pas de Calais* : 227 p.

SANVICENTE-ANORVE L. (1995) - Détermination des structures benthiques spatiales en Manche orientale au moyen de méthodes d'analyse multivariante et de techniques d'interpolation. *Thèse Université de Paris VI* : 298 p.

Documents consultés

BRETON G. (1981) - Observations sur l'écologie et les peuplements des bassins du port du Havre (France). *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre* **68** : 45-48.

BROWN C.-J., COOPER K.-M., *et al.* (2002) - Small-scale mapping of sea-bed assemblages in the eastern English Channel using sidescan sonar and remote sampling techniques. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. **54**(2) : 263-278.

BROWN C.-J., HEWER A.-J., *et al.* (2004) - Mapping seabed biotopes at Hastings Shingle Bank, eastern English Channel. Part 1: Assessment using sidescan sonar. *Journal of the Marine Biological Association of U.K.* **84**(3) : 481-488.

CASTRIC-FEY A., GIRARD-DESCATOIRE A., GENTIL F., DAVOULT D., DEWARUMEZ J.-M. (1997) - Macrobenthos des substrats durs intertidaux et subtidiaux. In : *Les biocénoses marines et littorales des côtes Atlantique, Manche et mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives*, Dauvin J.-C., (Éd.). Service du Patrimoine naturel, IEGB., MNHN. Paris : 83-95.

DAUVIN J.-C. (1997) - Évolution à long terme des peuplements de sédiments fins sablo-vaseux de la Manche et de la mer du Nord. *Oceanis* **23**(1) : 113-144.

DAUVIN J. C., THIEBAUT E., *et al.* (2004) - Spatial structure of a subtidal macrobenthic community in the Bay of Veys (western Bay of Seine, English Channel). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **307**(2) : 217-235.

DAVOULT D., DEWARUMEZ J.-M., *et al.* (1998) - Long-term changes (1979-1994) in two coastal benthic communities (English Channel) : analysis of structural developments. *Oceanologica Acta* **21**(4) : 609-617.

DESPREZ M., DUCROTOY J.-P., *et al.* (1986) - Fluctuations naturelles et évolutions artificielles des biocénoses macrozoobenthiques intertidales de trois estuaires des côtes françaises de la Manche. *Hydrobiologia* **142** : 249-270.

DESROY N., WAREMBOURG C., *et al.* (2003) - Macrobenthic resources of the shallow soft-bottom sediments in the eastern English Channel and southern North Sea. *ICES Journal of Marine Science* **60** (1) : 120-131.

DEWARUMEZ J.-M., DAVOULT D. (1997) - Les biocénoses subtidales macrobenthiques en Manche orientale et mer du Nord. In : *Les biocénoses marines et littorales des côtes Atlantique, Manche et mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives*, Dauvin J.-C., (Éd.), Service du Patrimoine naturel, IEGB., MNHN. Paris : 79-82.

ELKAIM B. et RYBARCZYK H. (2000) - Structure du peuplement des invertébrés des zones halophiles de la baie de Somme (Manche orientale). *Cahiers de Biologie Marine* **41** (3) : 295-311.

ELLIS J.-R. et ROGERS S.-I. (2000) - The distribution, relative abundance and diversity of echinoderms in the Eastern English Channel, Bristol Channel, and Irish Sea. *Journal of the Marine Biological Association U.K.* **81** (1) : 127-138.

FOSTER S.-R.-L., BROWN C.-J., *et al.* (2004) - Mapping seabed biotopes at two spatial scales in the Eastern English Channel. Part 2: Comparison of two acoustic ground discrimination systems. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. **84**(3) : 489-500.

FROMENTIN J.-M., DAVUIN J.-C., *et al.* (1997) - Long-term variations of four macrobenthic community structures. Long-term changes in marine ecosystems: methods of analysis, case studies and between-site comparisons. *Oceanologica-acta* **20**(1) : 43-53.

GHERTSOS K., LUCZAK C., *et al.* (2001) - Identification of global and local components of spatial structure of marine benthic communities: example from the Bay of Seine (Eastern English Channel). *Journal of Sea Research* **45** (1) : 63-77.

GLAÇON R. (1975) - Faune et flore du littoral du Pas-de-Calais et de la Manche orientale. *Rapport de la station de biologie marine de Wimereux* : 46 p.

IRLINGER J.-P. (1985) - Dynamique du peuplement macrobenthique des sables fins envasés de la baie de Seine orientale. *Thèse Université Paris VI, Paris* : 297 p.

KAISER M.-J. et SPENCE F.-E. (2002) - Inconsistent temporal changes in the megabenthos of the English Channel. *Marine Biology (Berlin)* **141** (2) : 321-331.

MALLEK-ZOUHIRI S. (1999) - Composition qualitative et quantitative du suprabenthos et macrozooplancton en trois sites de l'Atlantique nord-est (Manche, Golfe de Gascogne et seamounts du sud des Açores) et répartition océanique du mysidace néritique *Anchialina agilis*. *Thèse Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris France* : 2 vol., 288 p.

MANTE C., DURBEC J.-P., *et al.* (1997) - Analyse de l'évolution temporelle de communautés macrobenthiques à partir des probabilités de présence des espèces. In : *Long-term changes in marine ecosystems: methods of analysis, case studies and between-site comparisons*. *Oceanologica Acta* **20** (1) : 71-79.

Marine Biological Association (1957). *Plymouth Marine Fauna*. Plymouth.

MOUZY P., DAUVIN J.-C., *et al.* (1998) - Biological components from the Seine Estuary: First results. *Hydrobiologia* **373 – 374** (1-3) : 333 - 347.

NEWELL R.-C., SEIDERER L.-J., *et al.* (2004) - Impacts of marine aggregate dredging on benthic macrofauna off the south coast of the United Kingdom. *Journal of Coastal Research* **20**(1) : 115-125.

OYENEKAN J.-A. (1988) - Benthic macroinfauna in a polluted English estuary. *Archiv fur Hydrobiologie* **111** (4) : 585-599.

PRYGIEL J., DAVOULT D., *et al.* (1988) - Description et richesse des peuplements benthiques de la partie française de la mer du Nord. *Comptes rendus de l'Académie des sciences Série-3: Sciences de la vie*. **306** (1) : 5-10.

RATSIMBAZAFY R. (1998) - Spectres de biomasse des peuplements benthiques de sables grossiers de la Manche. *Thèse Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris France* : 214 p.

REES H.-L. (1987) - A survey of the benthic fauna inhabiting gravel deposits off Hastings, Southern England. *ICES CM* **1987/L**(19) : 9 p.

SANVICENTE-ANORVE L., LEPRETRE A., *et al.* (1996) - Large-scale spatial pattern of the macrobenthic diversity in the eastern English Channel. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* **71** (1) : 153-160.

SANVICENTE-ANORVE L., LEPRÉTRE A., *et al.* (2002) - Diversity of benthic macrofauna in the eastern English Channel: comparison among and within communities. *Biodiversity and Conservation* **11** (2) : 265 -282.

SOUPLET A. (1977) - Contribution à l'étude écologique d'un estran rocheux en Seine-Maritime. *Thèse Université de Bretagne Occidentale, UBO, Brest*.

SOUPLET A., GLAÇON R., *et al.* (1980) - Distribution des peuplements benthiques littoraux en mer du Nord, du cap Blanc-Nez à la frontière de Belgique. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences de Paris* **290** : 627-630.

SYLVAND B. (1995) - La baie des Veys (littoral occidental de la baie de Seine, Manche), 1972-1993 : structure et évolution à long terme d'un écosystème benthique intertidal de substrat meuble sous influence estuarienne. *Thèse Université de Caen, Caen* : 395 p.

TIMSIT O., SYLVAND B., *et al.* (2004) - Intertidal macrozoobenthos evolution of the "Baie des Veys" between 1985 and 2000. *Comptes Rendus Biologies* **327**(1) : 51-64.

VALLET C. (1997) - Le compartiment suprabenthique des fonds circalittoraux de la Manche : composition faunistique et quantitative, et rôle des transferts benthos/pelagos. *Thèse Université Lille* : 422 p.

WANG Z. et DAUVIN J.-C. (1994) - The suprabenthic crustacean fauna of the infralittoral fine sand community from the bay of Seine (Eastern English Channel): composition, swimming activity and diurnal variation. *Cahiers de Biologie Marine* **35** (2) : 135-155.

WANG Z., DAUVIN J.-C., *et al.* (1994) - Preliminary data on the near-bottom meso- and macrozooplanktonic fauna from the eastern Bay of Seine: faunistic composition, vertical distribution and density variation. *Cahiers de Biologie Marine* **35** (2) : 155-176.

ZOUHIRI S. et DAUVIN J.-C. (1996) - Diel changes of the benthic boundary layer macrofauna over coarse sand sediment in the western English Channel. *Oceanologica Acta* **19** (2) : 141-153.

6.2.2. Façade « Loire-Gironde »

Dans le Golfe de Gascogne, le plateau continental, d'une centaine de mètres de profondeur, n'en occupe environ que les deux tiers, le reste étant du domaine abyssal.

Tout le golfe est directement sous l'influence des houles de l'Atlantique, et la plus ou moins grande proximité du talus continental entraîne des différences dans l'amortissement de la houle, dans la stabilité des sédiments et des peuplements benthiques associés.

Cette zone littorale peut être divisée schématiquement en deux par le plateau rocheux de Rochebonne : au nord le plateau breton sud armoricain où s'étend la grande

vasière, et au sud le golfe de Gascogne proprement dit, de l'estuaire de la Gironde à la frontière espagnole.

Les travaux de bionomie benthique de la partie nord du golfe sont réalisés pour l'essentiel par l'Université de Brest, avec les travaux de thèse de Glémarec (1969), et la publication d'un atlas bio-sédimentaire (Chassé et Glémarec, 1976). A leur suite, Hily (1976) décrit les Pertuis Charentais, dont Sauriau (1992) complète l'inventaire, Guillou (1980) décrit les sables fins côtiers de quelques baies.

L'estuaire de la Loire est étudié par l'Université de Nantes (Marchand, 1979 ; Robineau, 1986), celui de la Gironde par celle de Bordeaux I (Sorbe, 1978, 1980).

Un atlas biosédimentaire, daté de 1976, présente une carte générale au 1/500 000 suivie de cinq feuilles au 1/100 000 détaillant les secteurs littoraux de Brest, Pont-Croix, Quimper, Lorient et Vannes. Cet atlas est étendu aux pertuis charentais, avec une feuille au 1/50 000, où Hily (1976) décrit essentiellement des peuplements de sédiments fins, en milieux côtiers et turbides et analyse leur productivité. Dans le bassin de Marennes, Sauriau (1992) analyse les peuplements de mollusques non cultivés. Blanchard *et al.* (2004) analysent l'impact de la pêche au chalut sur la faune benthique, en plusieurs points de la grande vasière.

L'extérieur de l'île d'Oléron, jusqu'à l'embouchure de la Gironde, est décrit par Lagardère (1970-72) qui regroupe les peuplements en cinq entités : vases pures à *Abra alba* - *Melinna palmata* ; vases « molles » plus ou moins sableuses à *Abra alba*, *Terebellides stroemi* et *Amphiura filiformis* ; sables gris à *Donax vittatus*, *Donax trunculus*, *Nucula turgida* ; sables roux à *Ditrupa arietina* et *Amphioxus lanceolatus* et sables grossiers à *Spisula ovalis*, *Ophelia borealis*.

Faure (1969, 1972) décrit les estrans de l'île de Ré et de quelques sites des côtes charentaises ; ce sont essentiellement des peuplements sableux à *Macoma balthica*, *Tellina tenuis* et *Tellina fabula*, *Donax trunculus*.

Au sud de la Gironde, précisément de la latitude de Lacanau (45°N) à celle de Contis (44°N), et de la côte à la profondeur d'environ 100 m, Monbet (1972) décrit les peuplements benthiques littoraux. Il y distingue deux ensembles, sous l'influence des courants et de la température, dont la limite se trouve vers - 43 m. Cinq peuplements y sont notés : A la côte 1) sable moyen dunaire côtier à *Nephtys cirrosa*, (avec un faciès hydraulique très mobile) et 2) sable fin côtier à *Venus gallina* et bivalves. Au large, un peuplement (3) à sable moyen à *Echinocyanus pusillus* et *Ophelia borealis* (avec une variante à *Abra prismatica*, liée aux courants), 4) sable fin de transition, au large, à *Hyalinoecia grubei* et *Venus gallina*, et 5) sable grossier à *Amphioxus lanceolatus*, *Venus fasciata*, très répandu.

Références bibliographiques

CHASSÉ C. et GLEMAREC M. (1976) - Atlas des fonds meubles du plateau continental du golfe de Gascogne. Cartes biosédimentaires. *Documents ICA., Université Brest : T.1, 6 cartes, 8 p.*

CHASSÉ C., GLEMAREC M., *et al.* (1979) - Répartition des biomasses de la macrofaune endogée des sédiments meubles du golfe de Gascogne (Nord et Centre). *J. Rech. Oceanogr.* **4** (2) : 3-9.

D'ELBEE J., PROUZET P., *et al.* (2001) - Océanographie du golfe de Gascogne. In : *Actes du 7^{ème} colloque international de Biarritz, 4-6 avril 2000. Actes des colloques de l'Ifremer.* **31** : 200 p.

DE MONTAUDOUIN X. et SAURIAU P.-G. (2000) - Contribution to a synopsis of marine species richness in the Pertuis Charentais Sea with new insights in soft-bottom macrofauna of the Marennes-Oleron Bay. *Cahiers de Biologie marine* **41** (2) : 181-222.

FAURE G. (1969) - Bionomie et écologie de la macrofaune des substrats meubles des côtes charentaises. *Téthys* **1** (3) : 751-778.

FAURE G. (1972). Contribution à l'étude bionomique et écologique des plages de l'île de Ré. *Téthys* **3** (3) : 619-637.

GLEMAREC M. (1969) - Les peuplements benthiques du plateau continental Nord-Gascogne. *Thèse Université Paris* : 167 p. + annexes.

GUILLOU J. (1980). Les peuplements de sables fins du littoral Nord-Gascogne. *Thèse 3^{ème} cycle, Université Brest* : 209 p.

HILY C. (1976) - Écologie benthique des pertuis charentais. *Thèse Université de Bretagne Occidentale, UBO, Brest* : 236 p.

LAGARDERE F. (1970) - Les fonds de pêche de la côte ouest de l'île d'Oléron. Cartographie bionomique. *Thèse 3^{ème} cycle, Université Aix-Marseille* : 103 p.

LAGARDERE F. (1971) - Les fonds de pêche de la côte ouest de l'île d'Oléron. Cartographie bionomique ; le milieu. *Téthys* **3** (1) : 57-78.

LAGARDERE F. (1972a) - Les fonds de pêche de la côte ouest de l'île d'Oléron. Cartographie bionomique. II - remarques systématiques biologiques et écologiques. *Téthys* **3** (2) : 265-281.

LAGARDERE F. (1972b) - Les fonds de pêche de la côte ouest de l'île d'Oléron. Cartographie bionomique ; les peuplements benthiques. *Téthys* **3** (3) : 507-538.

SAURIAU P.-G. (1992) - Les mollusques benthiques du bassin de Marennes-Oléron ; estimation et cartographie des stocks non cultivés. *Thèse Université Brest* : 309 p. + cartes.

Documents consultés

BLANCHARD F., LE LOCH F., *et al.* (2004) - Fishing effects on diversity, size and community structure of the benthic invertebrate and fish megafauna on the Bay of Biscay coast of France. *Marine Ecology Progress Series* **280** : 249-260.

GLEMAREC, M. (1975). Benthos du plateau continental sud-armoricain, Rapport de contrat UBO-CNEXO 75/1277.

GLEMAREC M., GROS P., *et al.* (1979) - Functioning of a muddy sand ecosystem: seasonal fluctuations of different trophic levels and difficulties in estimating production of the leader macrofauna species. *In: Production benthique dans le Golfe de Gascogne. Rapport Université de Bretagne occidentale UBO Brest - Contrat CNEXO 78/1862.*

LAUBIER L. *et* MONNIOT C. (1985) - Les peuplements profonds du golfe de Gascogne. *Campagne Biogas, Ifremer* : 629 p.

LE LOCH F. (2004) - Structure, fonctionnement et évolution des communautés benthiques des fonds meubles exploités du plateau continental Nord-Gascogne, *Thèse Université Brest Océanographie biologique* : 326 p.

MARCHAND J., DENAYER D., *et al.* (1977) - Étude écologique de la basse Loire, de Nantes à Saint-Nazaire (invertébrés et vertébrés). *Rapport lab. biol. mar. ISTPM* : 2 vol.

MARCHAND J. (1979) - Les peuplements macrobenthiques du secteur polyhalin de l'estuaire de la Loire ; évolution saisonnière. *Rapport lab. biol. mar. ISTPM-Nantes* : 35 p. + annexes.

MARCHAND J. *et* GASCUEL D. (1988). - Seasonal dynamics of the zoobenthic communities in the mesohaline zone of the Loire estuary (France). *Hydrobiologia* **160** (2) : 129-139.

ROBINEAU B. (1986) - Les peuplements benthiques de l'estuaire de la Loire : distribution spatio-temporelle : reproduction et croissance des Bivalves Tellinides. *Thèse Université Brest* : 328 p.

ROBINEAU B. (1987) - Caractérisation des peuplements macrozoobenthiques de l'estuaire de la Loire. *Vie-et-milieu* **37** (2).

SAURIAU P.-G., DE MONTAUDOUIN X., *et al.* (2001) - « Marin-Pertuis »: a new database on the marine invertebrates of the Pertuis Charentais Sea. *In "Actes du 7^{ème} colloque international d'océanographie du golfe de Gascogne, Biarritz, 4-6 avril 2000." Actes Colloq. Ifremer.* **31** : 75-77.

SORBE J.-C. (1972) - Écologie alimentaire de l'ichthyofaune chalutable du golfe de Gascogne sud. *Thèse 3^{ème} cycle, Université Marseille* : 125 p.

SORBE J.-C. (1978) - Faunistical inventory of amphipods in the Gironde estuary. *Bull. Cent. Étud. Rech. Sci., Biarritz* **12** (2) : 369-381.

SORBE J.-C. (1980-81) - La macrofaune vagile de l'estuaire de la Gironde. Distribution et migration des espèces. Modes de reproduction, régimes alimentaires. *Oceanis* **6** (6) : 579-592.

SORBE J.-C. (1984) - Contribution à la connaissance des peuplements suprabenthiques néritiques sud-Gascogne, *Thèse d'Etat, Université Bordeaux I* : 265 p.

Conclusion

Ce premier volet de l'étude menée par l'Ifremer concerne l'identification (situation, nature, volume) des ressources en matériaux marins sur les façades « Manche-Est » (sept départements) et « Loire-Gironde » (quatre départements).

Le ré-examen des données de base (sismique réflexion, carottages) a permis, en particulier pour le paléo-réseau de la « Manche-Est » à l'intérieur de la ZEE française, d'évaluer le volume des ressources à 116 600 millions de m³, volume bien supérieur à ce qui avait été annoncé dans des documents précédents qui ne prenaient en compte que le résultat d'études locales, réalisées dans le cadre de l'inventaire national des granulats marins.

Sur la façade « Loire-Gironde », le volume des ressources, réparties en trois entités, est estimé à 19 830 millions de m³.

La nature des matériaux n'est connue uniquement à l'endroit du carottage ; les variations latérales de faciès sont importantes du fait de l'origine fluviatile des dépôts et rendent délicates la définition précise de la répartition des sédiments à l'échelle d'une « façade » mais aussi d'un gisement.

Pour être totalement exhaustif, il serait pertinent d'intégrer, à l'avenir, les résultats des recherches menées, en cours à la date du rapport, par les entreprises privées elles-mêmes (3 permis en « Manche-Est »).

De même, une partie des matériaux sableux, issus du dragage portuaire, sont susceptibles de pouvoir être utilisés dans la filière BTP. Cet aspect des ressources fait partie d'un programme initié en 2005 par le Centre d'Études Techniques Maritimes Et Fluviales (CETMEF) et l'Ifremer.

Références bibliographiques

Façade « Manche-Est »

Documents de référence

ALLUVIAL MINING (1972) - Report on the AMdril sampling survey undertaken on the continental shelf off the northern coast of France, part one : la Manche orientale. *Contrat CNEXO 1972/547*.

ALLUVIAL MINING (1972) - Report on the AMdril sampling survey undertaken on the continental shelf off the northern coast of France, part two : la baie de Seine. *Contrat CNEXO 1972/548*.

AUGRIS C. (1986) - Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la Région Nord-Pas de Calais, 1 rapport, 6 cartes et des annexes. *Éd. Ifremer - Région Nord-Pas de Calais*.

BEICIP (1972) - Recherche de sables et graviers en Manche orientale. *Contrat CNEXO 1972/507*.

BEICIP (1973) - Baie de Seine : Recherche d'agrégats marins. *Contrat CNEXO 1972/506, rapport 30.554*.

Campagne CNEXO en baie de Seine (1976). *Ifremer*

CNEXO et Faculté des sciences de Rennes (1969) - Rapport Scientifique : étude stratigraphique de carottes de roches prélevées en Manche Orientale. *Contrat 69/79*.

CNEXO-Centre Océanologique de Bretagne - GGGM (1984) - Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Nord-Pas de Calais.

GEOTECHNIP (1969) - Reconnaissance géologique de la Manche orientale. *Contrat CNEXO 1969, rapport FL/mh n°10/69*.

GEOTECHNIP (1970) - Prospection au large de Gravelines. *Contrat CNEXO 1970, rapport FL/mh n°2/70*.

GEOTECHNIP (1971) - Recherche de graviers au large de Boulogne et Wissant. *Contrat CNEXO, Port Autonome de Dunkerque, 1971, rapport FL/mh n°GT 11/71*.

Laboratoire des Ponts et Chaussées de Lille (1969) - Étude géotechnique de sédiments de la Manche. *Contrat CNEXO P.V. 4817/0*.

Travaux scientifiques

LERICOLAIS G. (1997) - Évolution plio-quadernaire du fleuve Manche : stratigraphie et géomorphologie d'une plateforme continentale en régime périglaciaire. *Thèse n° 1730 Université Bordeaux I*.

Cartes

AUFFRET et ALDUC (1982) - La Manche orientale, carte des paléo-vallées et des bancs sableux (échelle 1/500 000 et notice explicative). *Université de Caen, CNEXO, BRGM et CNRS*.

AUGRIS C., CLABAUT P., DEWEZ S., AUFFRET J.-P. (1987) - Carte des sédiments superficiels au large de Boulogne-sur-mer, Échelle 1/43 400. Éd. Ifremer - Région Nord-Pas de Calais.

AUGRIS C., VICAIRE O., CLABAUT P. (1989) - Carte des sédiments superficiels au large de Calais-Dunkerque - Échelle 1/43 100. Éd. Ifremer - Région Nord-Pas de Calais.

AUGRIS C., CLABAUT P., TESSIER B. (1995) - Le domaine marin du Nord-Pas de Calais. Carte des formations superficielles. Échelle 1/100 000. Éd. Ifremer, Région Nord-Pas de Calais et Université des Sciences et Technologies de Lille.

Documents consultés

Rapports d'étude

CABIOCH L. et GENTIL F. (1979) - Étude de la souille expérimentale CNEXO de la baie de Seine Orientale. *Rapport final d'exécution des travaux CEOBM-station biologique-29211 Roscoff (contrat CNEXO 79/6065 et affectation CNRS A 50/9031).*

LEMOINE M., CLABAUT P., SIMON S., AUGRIS C. (1999) - Étude de la souille expérimentale d'exploitation de granulats marins dite "souille CNEXO" en baie de Seine. Évolutions morpho-sédimentaire et faunistique entre 1981 et 1996. Synthèse des connaissances. *Rapport pour le compte de la préfecture de Région Haute-Normandie.*

Travaux scientifiques

ALDUC D. (1979) - La Manche Orientale : étude géomorphologique du réseau de paléovallées. *Thèse 3^{ème} Cycle, Université de Caen, 146 p.*

ALDUC D., AUFFRET J.-P., CARPENTIER G. LAUTRIDOU J.-P., LEFEBVRE D., PORCHER M. (1979) - Nouvelles données sur le Pléistocène de la basse vallée de la Seine et son prolongements sous marin en Manche orientale. *Bull. Info. Des Geol. Du Bassin de Paris, 16, p. 27-33.*

ANTOINE P. (1993) - Le système de terrasses du bassin de la Somme : modèle d'évolution morpho-sédimentaire cyclique et cadre paléo-environnemental pour le Paléolithique. *Quaternaire, 4, 1, p. 3-16.*

AUFFRET J.-P. et LARSONNEUR C. (1971) - Paléo-vallées et bancs sableux entre l'estuaires de la Seine et le Nord Cotentin. *Bull. Soc. Geol. Normandie, 64, p. 21-34.*

AUFFRET J.-P., AUGRIS C., CLABAUT P., LABET F. (1988) - Étude des transits sédimentaires en baie de Wissant (Pas-de-Calais). *Annales de la Société Géologique du Nord.*

BOURILLET J.-F., REYNAUD J.-Y., BALTZER A., ZARAGOSI S. (2003) - The "Fleuve Manche": the sub-marine sedimentary features from the outer shelf to the deep-sea fans. *Journal of Quaternary Science, 18: 261-282.*

CLABAUT P. (1988) - Dynamique sédimentaire dans le détroit du Pas-de-Calais (large des côtes françaises). *Thèse n°215, Université Lille I (Flandre-Artois).*

CORBAU C. (1991) - Bilan sédimentaire pluri-décennal du littoral dunkerquois. *Mémoire de DEA géologie et géochimie sédimentaires, Université Paris Sud-Orsay.*

DEWEZ S. (1988) - Sédimentation et dynamique en Manche orientale (de la baie d'Authie au cap d'Alprech). *Thèse n°188, Université Lille I (Flandre-Artois).*

GARNAUD S. (2003) - La sédimentation fine sur une plate-forme interne actuelle macrotidale : la baie de Seine sud-orientale (France). *Thèse de l'Université de Caen (Basse-Normandie)*.

GOURMELON F., AUGRIS C., Di NOCERA L., BESLIN H. (1998) - Un système d'information géographique en milieu marin (Dieppe - Le Tréport, Seine-Maritime). *Norois, Poitiers, t. 45, n°177, pp. 75-79.*

HERMAN J.-P. (1996) - Caractérisation des phénomènes hydrodynamiques responsables des dunes géantes dans le détroit du Pas-de-Calais. *Mémoire de DEA 3GS, Université Lille I et Paris XI-Orsay.*

LARSONNEUR C. (1971) - Manche centrale et baie de Seine. Géologie du substratum et des dépôts meubles. *Géologie, Université de Caen, 394 p.*

LE BOT S. (2001) - Morphodynamique de dunes sous-marines sous influence des marées et des tempêtes. Processus hydro-sédimentaires et enregistrements. Exemple du Pas-de-Calais. *Thèse n°2934, Université Lille I*

PORNON H. (1992) - Les SIG, Mise en oeuvre et applications. *Paris, Éd. Hermès.*

QUESNEY A. (1983) - Manche occidentale et mer Celtique. Étude des paléovallées, des fosses et des formations superficielles. *Thèse 3^{ème} cycle, Université de Caen, 162 p.*

Revue de l'Institut Français du Pétrole et annales des combustibles liquides (1969). *Éd. TECHNIP, vol. 24 n°4.*

ROUET P. (1991) - Les données dans les systèmes d'information géographique. *Paris, Éd. Hermès.*

SCOURSE J.-D., HALL IAN R., MAC CAVE I.-N., YOUNG J.-R., SUGDON C. (2000) - The origin of Heinrich layers: evidence from H2 for European precursor events. *Earth and Planetary Science Letters, 182: 187-195.*

TOUPIN A. (2004) - L'extraction de granulats marins : impacts environnementaux. Synthèse bibliographique. *Fascicules de l'industrie minière. ISBN 2-9517765-4-3.*

VICAIRE O. (1991) - Dynamique sédimentaire en mer du Nord méridionale (du cap Blanc-Nez à la frontière belge). *Thèse n°816, Université Lille I (Flandre-Artois).*

Mémoires

ARQUIE G. et TOURENQ C. (1990) - Granulats. *Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, ISBN 2-85978-133-1.*

AUGRIS C. et CRESSARD A.- P. (1984) - Les granulats marins. *Publication CNEXO n°51.*

AUGRIS C., CLABAUT P. et VICAIRE O. (1990) - Le domaine marin du Nord-Pas de Calais. Nature, morphologie et mobilité des fonds. *Éd. Ifremer - Région Nord-Pas de Calais.*

AUGRIS C., CLABAUT P., COSTA S., GOURMELON F., LATTEUX B. (2004) - Évolution morpho-sédimentaire du domaine littoral et marin de la Seine-Maritime. *Éd. Ifremer, Conseil Général de la Seine-Maritime, EDF.*

BAAS J.-H., LAFITE R., LAIGNEL B., CLAUDEL O. (1997) - Exploration of gravel in the paleovalley of the river Somme, la Manche. *Laboratoire de Géologie, Université de Rouen et groupe d'étude des milieux estuariens et littoraux (Saint-Valéry-sur-Somme).*

BEAUCHAMP J., BADAIRE C., BINET C., CHARPENTIER, DUPONT J.-P. (1994) - Sédimentologie de la baie de Somme. *Travaux du Département de géologie de l'Université de Picardie*, ISSN 0298-0614, Tome 3.

BRESSOLIER C. et REGRAIN R. (1985) - Bibliographie analytique des côtes de France : Picardie, de l'estuaire de la Canche à Onival. *Mémoire du laboratoire de géomorphologie de l'École Pratique des Hautes Études*, n°40.

CALLIES P. et LECHEVALIER C. (1981) - Bibliographie analytique des côtes de France (d'Onival au cap de la Hague). *Mémoire du laboratoire de géomorphologie de l'École Pratique des Hautes Études ERA 867 CNRS*, n°36.

Catalogue sédimentologique des côtes françaises (de la baie de Seine à la baie de Somme). *Tome 2, laboratoire central d'hydraulique de France*.

Catalogue sédimentologique des côtes françaises : côtes de la mer du Nord de la Manche (de la frontière belge à la baie du Mont Saint-Michel) (1986). *Collection de la direction des études de l'électricité de France*, 61.

CETE et DRE de Haute Normandie (2000) - Utilisation des matériaux de Haute Normandie, guide technique : Les granulats marins.

Catalogue sédimentologique des côtes françaises : côtes de la mer du Nord et de la Manche. De la frontière belge à la baie de Somme (1986). *Collection de la direction des études et des recherches d'électricité de France. LNH-LCHF*, 133 p.

Colloque sur la géologie de la Manche. (1972). *Mémoire BRGM*, 79, 323 p.

Données économiques maritimes françaises (2003) - Éd. Ifremer

Cartes

VASLET D., LARSONNEUR C., AUFFRET J.-P. (1978) - Carte des sédiments superficiels de la Manche au 1/500 000 et notice explicative. *BRGM, Orléans*, 17 p.

AUFFRET J.-P., ALDUC D., LARSONNEUR C., SMITH A.-J. (1980) - Cartographie du réseau des paléovallées et de l'épaisseur des formations superficielles meubles de la Manche orientale. *Ann. Inst. Océanogr., Paris*, 56, 5, p. 21-35

AUFFRET et ALDUC (1982) - La Manche orientale, écorché géologique et bathymétrie au toit du bedrock (échelle 1/500 000 et notice explicative). *Université de Caen, CNEXO, BRGM et CNRS*.

AUGRIS C., CLABAUT P., BOURILLET J.-F., DREVES L. (1993) - Carte morpho-sédimentaire du domaine marin côtier entre Dieppe et Le Tréport (Seine Maritime). Échelle 1/20 000. Éd. Ifremer - ESTRAN - EDF.

Congrès (poster)

AUGRIS C. et BOURILLET J.-F. (1990) - Estimation des ressources minérales sous-marines. *Congrès de l'Industrie minière, 5-8 juin 1990, Strasbourg*.

AUGRIS C. et CRESSARD A.- P. (1991) - Les matériaux de la mer. *Congrès de l'Industrie minière, 8-11 octobre 1991, Poitiers*.

AUGRIS C., CLABAUT P. et BOURILLET J.-F. (1993) - Morphologie et sédimentologie du domaine marin côtier entre Dieppe et Le Tréport (Seine-Maritime). 4^{ème} *Congrès français de sédimentologie, Lille*.

GOURMELON F., AUGRIS C., Di NOCERA L., BESLIN H. (1996) - Analyse des fonds marins par l'outil système d'information géographique (SIG) (Dieppe - Le Tréport, Seine-Maritime). *Colloque Formations superficielles et Géomorphologie. Rouen, 19 mars.*

Autres documents

AUFFRET J.-P. et D'OZOUVILLE L. (1986) - Cartographie du prisme sédimentaire holocène en Baie de Seine orientale par sismique réflexion à haute résolution. *In : Éd. Ifremer, La Baie de Seine (GRECO-MANCHE), Université de Caen, pp. 109-116.*

BAILLARGEON S. (2005) - Le krigeage : revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations. *Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en statistique pour l'obtention du grade de Maître ès sciences.*

GRATTON Y. (2002) - Le Krigeage : la méthode optimale d'interpolation spatiale. *Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau-Terre-Environnement, Québec) - Les articles de l'Institut d'Analyse Géographique, Juin 2002, www.iag.asso.fr.*

LARSONNEUR C., BOUYASSE P., AUFFRET J.-P. (1982) - The superficial sediments of the English Channel. *Sedimentology, 29, p. 851-864.*

LE CORRE G. (1998) - Outil d'analyse par Krigeage. *Ifremer - Sète : Atelier SIG COPEMED - Malaga 15-19/12/1998.*

SMITH A.-J. (1985) - A catastrophic origin for the paleovalley system of the eastern english channel. *Marine Geology, 64, p. 65-75.*

Façade « Loire-Gironde »

Documents de référence

Rapport

BEICIP (1973) - Recherche d'agrégats marins au Sud de la Bretagne. *Contrat CNEXO 1973/767, rapport 30687.*

BEICIP (1975) - Recherche d'agrégats marins au Sud de la Bretagne. *Contrat CNEXO 1974/11.055, rapport 30864.*

BRGM (1975) - Recherches par sondages des granulats marins au Sud de la Bretagne. *Contrat CNEXO 1975/1262/B, rapport 75 SGN 205 MAR.*

BRGM (1976) - Recherche de granulats marins dans la zone des pertuis charentais. Étude par sismique réflexion continue. *Contrat CNEXO 1975, rapport 76 SGN 173.*

BRGM (1976) - Recherche de granulats marins dans la zone des pertuis charentais. Rapport d'implantation de sondages. *Contrat CNEXO 1976, rapport 76 SGN 431 MAR.*

BRGM - SGN (1978) - Étude géologique préliminaire à la recherche de granulats au large de l'estuaire de la Gironde. *Contrat CNEXO, rapport 78 SGN 404 AQI.*

BRGM (1978) - Recherche de granulats marins dans la zone de l'embouchure de la Gironde. Étude par sismique réflexion continue. *Contrat CNEXO, rapport 78 SGN 574 GPH.*

BRGM (1979) - Recherche de granulats marins au large de l'estuaire de la Gironde. Rapport d'implantation de sondages. *Contrat CNEXO, rapport 79 SGN 442 MAR.*

BRGM (1980) - Détermination des possibilités d'emploi de matériaux prélevés au large de la Gironde pour la confection de bétons hydrauliques. Étude géotechnique, Mai 1980. *Contrat CNEXO, rapport 80 SGN 386 MTX.*

BRGM (1980) - Recherche de granulats marins au large de l'estuaire de la Gironde. Profils géologiques dans la zone favorable Juin 1980. *Contrat CNEXO, rapport 80 SGN 370 AQUI.*

CNEXO (1976) - Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la Bretagne. Les gisements du Sud de la Bretagne, Mars 1976.

CNEXO (1977) - Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Poitou-Charentes, Octobre 1977.

CNEXO (1978) - Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région de Bordeaux. Bibliographie et résultats géophysiques, Décembre 1978.

CNEXO (1980) - Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région de Bordeaux, Septembre 1980.

Laboratoire Pont et Chaussées de Saint-Brieuc (1975) - Recherche de granulats marins au Sud de la Bretagne. *Dossier 44.4.1.235.*

Laboratoire Pont et Chaussées de Saint-Brieuc (1977) - Pertuis charentais. Rapport technique "granulats marins". *Dossier 44.7.1.019.*

Documents consultés

Travaux scientifiques

ALLEN G.-P. (1991) - Sedimentry process and facies in the Gironde estuary ; a recent model for macrotidal estuary systems. *In Smith D.G., Reinson G.E., Zaitlin B.A., Rahmani R.A. (Éd.), Clastic Tidal Sedimentology, Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, Mémoire 16, pp. 29-40.*

ALLEN G.-P., POSAMENTIER H.-W. (1993) - Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill : the Gironde estuary, France. *Journal of sedimentary petrology, vol. 63, n°3, pp. 378-391.*

ALLEN G.-P., POSAMENTIER H.-W. (1994) - Transgressive facies and sequence architecture in mixed tide- and wave-dominated incised valleys : example from the Gironde estuary, France. *Incised-valley Systems : origin and Sedimentary Sequences, Dalrymple R.W., Boyd R.J., Zaitlin B.A. (Éd.), SEPM (Soc. Sédiment. Geol.) Spécial Publications, n°51, Tulsa, pp. 225-240.*

BRESSOLIER C. (1984) - Bibliographie analytique des côtes de France : Landes et pays Basque, de la pointe de la Négade à la frontière franco-espagnole. *Mémoire du laboratoire de géomorphologie de l'École Pratique des Hautes Études, n°37.*

BRESSOLIER C. (1986) - Bibliographie analytique des côtes de France : de la pointe du Payré (Vendée) à l'estuaire de la Gironde inclus. *Mémoire du laboratoire de géomorphologie de l'École Pratique des Hautes Études, n°41.*

LERICOLAIS G. *et al.* (1998) - Reconnaissance par stratigraphie sismique haute résolution de la paléo-vallée de la Gironde sur le plateau continental. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes, 326, pp. 701-708.*

LERICOLAIS G. *et al.* (2001) - Seaward pinching out and internal stratigraphy of the Gironde incised valley on the shelf (Bay of Biscay). *Marine Geology*, 175, pp. 183-197.

WEBER N. (2004) - Morphologie, architecture des dépôts, évolution séculaire et millénaire du littoral charentais : Apport de la sismique réflexion combinée à des suivis bathymétriques et validée par des vibro-carottages. *Thèse Université de la Rochelle*, 374 p.

WEBER N., CHAUMILLON E., TESSON M., GARLAN T. (2004) - Architecture and morphology of the outer segment of a mixed tide and wave-dominated-incised valley, revealed by HR seismic reflection profiling: the paleo-Charente River, France. *Marine Geology*, 207, pp. 17-38.

Mémoires

PIEDNOIR S. (2004) - Les Granulats marins. *Rapport de Mémoire de Master « Sciences et Technologies » Mention Terre-Océan-Aménagement-Environnement de l'Université Bordeaux I – CETE du Sud-Ouest*, 66 p.

Catalogue sédimentologique des côtes françaises : côtes de la Manche et de l'Atlantique (de la baie du Mont Saint-Michel à la frontière espagnole) (1987). *Collection de la direction des études de l'électricité de France*, 65.

Autres documents

Carte sédimentologique sous-marine des côtes de France (1968) - Feuille de Saint-Nazaire. Échelle 1/100 000. Éd. DGRST-CNEXO.

Carte sédimentologique sous-marine des côtes de France (1969) - Feuille de Pont-Croix. Échelle 1/100 000. Éd. DGRST-CNEXO.

Carte sédimentologique sous-marine des côtes de France (1971) - Feuille de l'Île d'Yeu. Échelle 1/100 000. Éd. DGRST-CNEXO.

Carte sédimentologique sous-marine des côtes de France (1972) - Feuille de Lorient. Échelle 1/100 000. Éd. DGRST-CNEXO.