

Claude AUGRIS
Alain P. CRESSARD

P 502/1

Découvrez plus de documents
accessibles gratuitement dans [Archimer](#)

22 MARS 1984

EXCLU DU PRÊT

LES GRANULATS MARINS

PUBLICATIONS DU
CENTRE NATIONAL
pour
L'EXPLOITATION
DES OcéANS

RAPPORTS SCIENTIFIQUES
ET TECHNIQUES N° 51-1984

BIBLIOTHÈQUE
B.P. 357 29273 BRISTOL CEDEX

Publications du Centre National pour l'Exploitation des Océans
(CNEXO)

Rapports scientifiques et techniques - N° 51

EXCLU DU PRÊT

les granulats marins

Claude AUGRIS - Alain P. CRESSARD

1984

2

CNEXO
BNDO - DOCUMENTATION
B.P. 337 - 29273 BREST CEDEX

ISSN - 0339 - 2899

© Centre National pour l'Exploitation des Océans, 1984

Tout est dans la mer à qui cherche bien.

Joseph CONRAD

1 - LE POTENTIEL FRANÇAIS

I. RECHERCHE ET VALORISATION	15
1. Origine et mise en place	15
- Origine fluviale	15
- Anciens cordons littoraux	16
- Accumulation par les courants	16
2. Méthodes de prospection	16
- Méthodes indirectes	16
- Méthodes directes	20
3. Identification géotechnique	20
- La granularité des matériaux	21
- La propreté des sables	21
- La teneur en coquilles calcaires	22
4. Cas des sables calcaires	23
5. Ressources et réserves : notion évolutive	24
II. INVENTAIRE PAR RÉGION	26
1. Nord-Picardie	27
2. Normandie	27
3. Bretagne - Pays-de-Loire	29
4. Poitou-Charentes	33
5. Aquitaine	33
6. Languedoc-Roussillon	35
7. Provence - Côte d'Azur	35
8. Corse	35

2 - L'EXPLOITATION DES GRANULATS MARINS

I. TECHNIQUES D'EXPLOITATION	39
1. Les dragues	39
- Les dragues à bennes preneuses	39
- Les dragues aspiratrices	39
. au point fixe	39
. en marche	40
2. Transport et déchargement des matériaux	41
3. Contraintes du dragage	42
- Les profondeurs	42
- Les distances entre le gisement et les points de déchargement	42
- Les conditions météorologiques	42
II. DRAGAGE ET ENVIRONNEMENT	43
1. Analyse du phénomène	43

2. Une expérience originale :	
la souille expérimentale de la baie de Seine	45
- Études sur la dispersion des éléments fins	46
- Comblement de la souille et mouvement sur les fonds	47
- Repeuplement de la souille	48
3. Dragages et milieu	49
- Modifications de la morphologie	49
- Les remises en suspension des matériaux fins	50
. les dunes sous-marines	51
. les remplissages fluviaux	51
. la "découverte"	51
- Les conséquences sur les ressources vivantes	52
. espèces benthiques	52
. ressources halieutiques	54
III. ASPECTS ÉCONOMIQUES	55
1. Phases de recherche	55
- Recherche bibliographique	55
- Prospection	55
- Études en laboratoire	56
- Études d'environnement	57
2. Une trilogie : extraction - transport - déchargement	58

- LA SITUATION DANS DIVERS PAYS

I. LA FRANCE	61
1. La législation	61
2. Les activités	62
- L'extraction	62
- Le déchargement	62
- Le traitement	63
- La production	63
3. L'armement sablier français	66
- Les entreprises	66
- Les sabliers et les dragues	66
- Les effectifs	68
- Le syndicat national des armateurs	68
II. LA GRANDE-BRETAGNE	69
III. AUTRES PAYS	72
PERSPECTIVES	75
RAPPORTS	77
BIBLIOGRAPHIE	85

GRANULATS MARINS

L'urbanisation, la protection des sites et la sauvegarde de nappes d'eau souterraines réduisent les zones d'exploitation de granulats alluvionnaires. La mer offre des possibilités de substitution. Les granulats marins constituent en France un potentiel appréciable dans l'approvisionnement en matériaux des régions côtières. De nombreuses campagnes à la mer sur le plateau continental français mettant en œuvre différents moyens de prospection (sismique, carottage, dragage) et techniques d'identification ont permis au CNECO de dresser l'inventaire des ressources et de mettre en évidence des gisements exploitables. L'exploitation des granulats en France est répartie en Manche et en Atlantique. Elle est tributaire de divers facteurs : éléments techniques, impact sur l'environnement et données économiques. Le dragage des granulats marins est soumis à la législation minière. Les entreprises qui exploitent ce type de matériaux représentent 29 armements comptant 40 navires sabliers. D'autres pays utilisent les matériaux marins pour leurs besoins ; parmi eux, la Grande-Bretagne est l'un des plus importants producteurs.

MARINE AGGREGATES

The urbanization, the sites conservation and the safe keeping of underground water levels reduce the exploitations of alluvial aggregates. The sea proposes replacing possibilities. In France, the marine aggregates represent a valuable potential in the supplying of materials of the coastal regions. Various cruises at sea on the French continental shelf, using different prospecting means (seismic, coring, dredging) and identificating methods, gave to CNECO the opportunity to draw up the inventory of the resources and to show off exploitable deposits. In France, the exploitation of aggregates is divided among the Channel and the Atlantic ; it is dependent on various factors : technics, impact upon environment, economics. The marine aggregates situation is submitted to the Mining Legislation ; 29 companies exploit this kind of materials assisted by 40 vessels. Other countries use marine materials for their needs, among them, Great-Britain is one of the most important productive country.

MEERESGRANULATE

Der Städtebau, der Umweltschutz sowie die Absicherung von Grundwasserflächen verkleinern immer mehr die Abbauzonen von Sand und Kies. Das Meer bietet eine Ersatzmöglichkeit dafür. In den Küstengegenden Frankreichs bieten die Meeresgranulate eine hoffnungsvolle Möglichkeit für die Zukunft. Zahlreiche Sucharbeiten auf dem französischen Kontinentalsockel und verschiedene Förderungsmittel (Geophysik-Bohrarbeiten) haben dem Meeresinstitut CNEXO erlaubt, die Inventur der im Meer befindlichen Vorkommen zu machen und die Abbauzonen abzugrenzen. Die Förderung der Meeresgranulate in Frankreich wird im AERMelkanal und an der Atlantikküste durchgeführt; sie ist jedoch von verschiedenen Problemen abhängig, wie z.B. von den Techniken, vom Umweltschutz und den wirtschaftlichen Folgen. Der Abbau der Meeresgranulate unterliegt der Gesetzgebung für Bergbau. 29 Reedereien, die dafür 40 Schiffe zu ihrer Verfügung haben, bauen z.Zt. die Meeresgranulate ab. Andere Länder nützen die Meeresgranulate für ihren Eigenbedarf; Grossbritannien gehört zu den größten Produzenten.

ARIDOS MARINOS

La urbanización, la protección de los parajes y la conservación de las capas de agua subterráneas disminuyen las áreas de explotación de aluviones. El mar ofrece posibilidades de sustitución. En Francia, los aridos marinos constituyen un abastecimiento potencial de materiales para las comarcas costeras. Numerosas investigaciones de la *plataforma continental francesa con medio de geofísica, testigos y dragados*, permitieron al CNEXO de establecer el inventario de los recursos y de determinar yacimientos explotables. En Francia la explotación de los aridos es repartida a lo largo de las costas de la Mancha y del Atlántico; esta dependiente de varios factores: técnicos, medio ambiente y económicos. La situación de los aridos marinos depende de la legislación minera; 29 empresas explotan esos materiales con 40 buques "arenales". Otros países utilizan las arenas marinas para sus necesidades; entre ellos Inglaterra esta el mas importante productor.

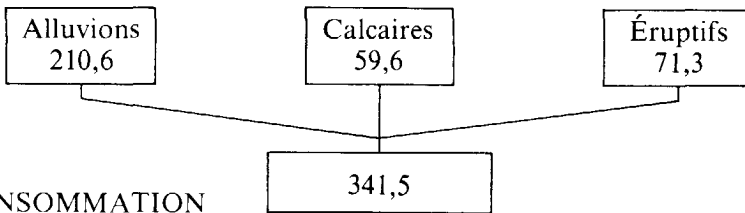
SUBSTANCES MINÉRALES EXTRAITES EN FRANCE MÉTROPOLITAINE EN 1981

Substance	Quantité (en milliers de tonnes)	Substance	Quantité (en milliers de tonnes)
Granulats (alluvions + concassés)	368 500	Spath fluor	245
Minerai de fer	21 600	Barytine.....	175
Houille	18 600	Ardoise	84,5
Gaz naturel.....	10 200 (m ³)	Minerai de zinc	37,4
Sel	7 103	Phosphate	28,7
Lignite	2 945	Minerai de plomb ..	26,6
Potasse	1 969	Uranium	2,857
Soufre	1 926	Tungstène	0,591
Bauxite	1 865	Antimoine	0,312
Pétrole	1 676	Argent	0,053
Talc	313	Minerai d'étain.....	0,044
		Or.....	0,0027

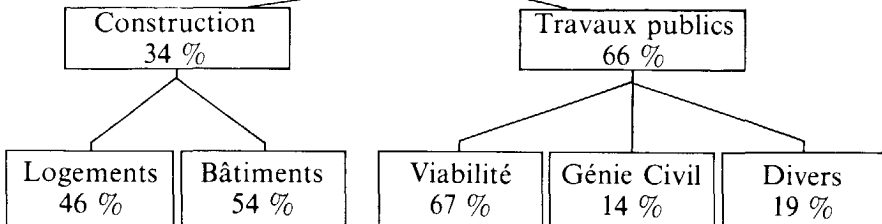
Source : Annales des Mines.

DESTINATION DES GRANULATS EN FRANCE POUR 1982

PRODUCTION (en millions de tonnes)



CONSOMMATION
(en pourcentage)



Source : Union nationale des producteurs de granulats (U.N.P.G.)

Dans les pays industrialisés, la demande en granulats utilisés pour les travaux publics et pour le bâtiment se stabilise depuis quelques années. Elle se situe actuellement aux environs de 6 tonnes par habitant et par an.

En France, les granulats occupent la première place parmi les substances minérales exploitées, soit 368 millions de tonnes en 1981. Les produits alluvionnaires représentent 2/3 de ce tonnage ; le reste est fourni par les matériaux rocheux et une faible partie par les sous-produits industriels (tableau 1).

Les granulats sont des matériaux minéraux comprenant les sables et graviers d'alluvions, les matériaux concassés de carrière, les sous-produits industriels, les déchets de mines, les matériaux issus de la destruction d'ouvrages et, accessoirement, les granulats expansés. Les granulats couvrent trois usages principaux :

- la fabrication des bétons, pour lesquels sont utilisés surtout les matériaux alluvionnaires ;
- la confection des couches de roulement des routes, pour lesquelles les matériaux concassés à haute performance sont préférés ;
- l'édification des couches de base et de fondation des routes, pour lesquelles le critère dominant de choix dépendra essentiellement du coût du matériau rendu sur le chantier.

Cette distinction n'est pas rigide. De plus en plus, la nature des granulats est moins liée à l'utilisation qu'au type de matériau rencontré sur place.

La répartition de l'utilisation des granulats en France est environ de 50 % pour les bétons dans le bâtiment et les travaux publics, de 40 % pour la construction ou le renforcement des chaussées, et 10 % pour des emplois divers (tableau 2).

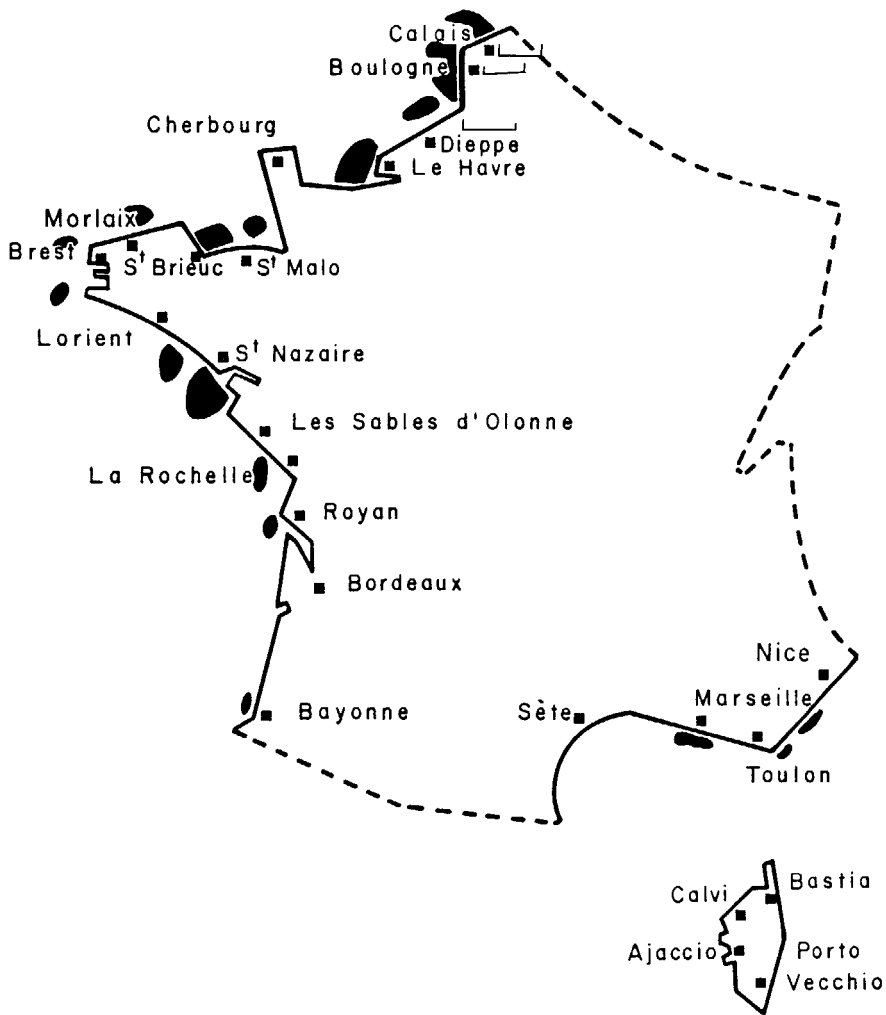


Fig. 1 : Zones prospectées par le CNEXO.

A ce jour, 300 km² de territoire national ont été exploités en carrière et, à ce rythme, en 1990, c'est près de 800 km² qui seront exploités. Cela peut paraître faible en regard de la superficie totale du pays, mais il faut savoir que les transports ont une incidence très forte sur le coût des matériaux, aussi les exploite-t-on dans des sites proches des grands centres urbains et industriels et, de ce fait, le marché des granulats est régional.

Actuellement, ce sont les vallées alluvionnaires situées près de ces grands centres qui sont le plus activement exploitées. Or leurs réserves ne sont pas inépuisables. Les contraintes d'urbanisme, la protection des sites et le souci primordial de sauvegarder les nappes d'eaux souterraines tendront à stériliser une partie, chaque année plus importante, des zones où la demande se fait la plus forte. Ces raisons ont conduit à rechercher de nouvelles sources d'approvisionnement ayant des propriétés équivalentes : la mer offre une de ces possibilités.

C'est pourquoi le CNEXO a entrepris, depuis 1969, la reconnaissance de la couverture des sédiments meubles du plateau continental français en collaboration avec les ministères concernés et l'appui des administrations régionales. En une dizaine d'années, les principaux secteurs ont été étudiés et un grand nombre de rapports ont fait apparaître les ressources et les réserves exploitables. Une superficie totale de 5 000 km² environ a été prospectée, grâce à 6 800 km de sismique, 850 dragages et 650 carotages totalisant 2 500 mètres décrits et analysés. Cet échantillonnage porte sur 33 milliards de m³ sur lesquels 600 millions peuvent être des réserves exploitables (fig. 1).

Cette première phase doit permettre à chacune des régions concernées d'entrevoir la part qu'elle pourra donner aux granulats marins dans son approvisionnement, car ce type de matériaux ne trouve sa justification que s'il peut se substituer aisément aux granulats classiques.

Parallèlement à ces recherches, le CNEXO a engagé un programme d'étude sur les répercussions de l'exploitation industrielle des sables et graviers sur l'environnement marin et sur les activités économiques du domaine maritime. Ce programme dont les études portent sur plusieurs années a été réalisé en coordination avec différents laboratoires et donne lieu à des contrats de recherches avec des organismes publics (ISTPM, CEA, BRGM), ou avec des sociétés industrielles.

Cette publication présente les principaux résultats ainsi que les différents aspects du sujet. Toutefois, elle ne prétend pas apporter une solution aux nombreux problèmes posés mais des éléments de réflexion. L'expérience acquise au CNEXO dans ce domaine et l'importante documentation rassemblée permettront aux régions concernées et aux industriels désirant s'orienter vers ces matériaux d'entreprendre d'autres recherches et le développement de la phase industrielle.

LISTE DES ORGANISMES

B.R.G.M. :

Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

C.E.A. :

Commissariat à l'Énergie Atomique.

C.E.B.T.P. :

Centre d'Expérimentation du Bâtiment et des Travaux Publics.

I.N.R.A. :

Institut National de la Recherche Agronomique.

I.S.T.P.M. :

Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes.

L.C.H.F. :

Laboratoire Central d'Hydraulique de France.

S.N.A.M. :

Syndicat National des Armateurs Extracteurs de Matériaux Marins.

U.N.P.G. :

Union Nationale des Producteurs de Granulats.

1^{re} partie :

LE POTENTIEL FRANÇAIS

I. RECHERCHE ET VALORISATION

Les granulats marins sont caractérisés :

- par leur composition minéralogique : matériaux silicatés ou carbonatés (sables siliceux ou calcaires) ;
- par leur origine ; on distingue :
 - les matériaux lithoclastiques, provenant de l'érosion de roches cristallines ou sédimentaires (sables terrigènes),
 - les matériaux bioclastiques, issus de la fragmentation et du remaniement d'organismes après leur mort (sables biogènes ou coquilliers).

Les granulats marins qui font l'essentiel de cette publication sont les matériaux silicatés lithoclastiques du plateau continental français ; ils sont présentés suivant leur mode de dépôt, car c'est la caractéristique principale des gisements.

1. ORIGINE ET MISE EN PLACE

Origine fluviale

Le Quaternaire récent est marqué par une alternance de périodes de glaciation et de réchauffement.

Lors des périodes froides, la formation de calottes glaciaires a provoqué une baisse du niveau des mers, qui a pu atteindre 150 m dans certaines régions. Cette régression a eu pour effet d'augmenter la longueur des fleuves, de changer leur profil d'équilibre et de favoriser une reprise de l'érosion. Ainsi, les plateaux continentaux ont été entaillés de profondes vallées dans lesquelles des terrasses alluviales se sont mises en place.

Lors des périodes de réchauffement, le niveau de la mer remontant a recouvert les nouvelles vallées. Cette transgression a repris et remanié les dépôts fluviaux qui se sont "fossilisés" à un moment donné.

Actuellement, par des méthodes géophysiques, on retrouve les emplacements de ces anciennes vallées, ou paléovallées, sur les plateaux continentaux.

Toutefois, au cours de leurs périodes marines, ces vallées ont aussi piégé des sables marins dont la teneur en élément carbonaté peut être très variable et ces sables plus fins, parfois coquilliers, constituent la "découverte" de ces gisements.

Anciens cordons littoraux

Au cours des régressions, la ligne du rivage s'est établie à des niveaux actuellement submergés et des dépôts comme ceux que l'on peut observer sur les côtes actuelles se sont mis en place. Lors des transgressions, certains ont été remaniés, d'autres pas. On peut ainsi retrouver ces anciennes lignes de rivage dont la caractéristique est de se situer parallèlement aux isobathes. Ces dépôts peuvent être constitués de galets ou de sables graveleux. Ils sont plus importants sur les plateaux continentaux ayant un gradient de pente plus faible.

Accumulation par les courants

Lors du jeu des transgressions et des régressions, de nombreux dépôts, fluviaux ou littoraux, ont été remaniés par le jeu des courants. Les matériaux, surtout des sables, se sont ainsi "redéposés" en bancs parallèles aux courants puissants par faibles profondeurs ou perpendiculairement aux courants plus faibles à grandes profondeurs. Ces bancs peuvent être formés de sables fins siliceux ou bien de sables coquilliers.

2. MÉTHODES DE PROSPECTION

Pendant une dizaine d'années, des études systématiques ont été entreprises, utilisant des moyens importants : campagnes de géophysique (sismique réflexion), campagnes de prélèvement à l'aide de drague, benne, carottier ou vibrocarottier, études en laboratoire sur les matériaux.

Les reconnaissances sont réalisées à bord de navires disposant d'un système de radio-navigation (Decca, Toran, Sylédis...) Elles s'effectuent selon deux types de méthodes : indirectes et directes.

Méthodes indirectes : les méthodes géophysiques

L'étude par sismique réflexion a pour objet la détermination du volume des sédiments meubles reposant sur un substratum et la morphologie de celui-ci. L'appareillage mis en œuvre crée, immédiatement sous la surface de l'eau, un ébranlement qui se propage d'une manière identique à une onde lumineuse. En arrivant sur le fond, une partie de l'onde mécanique est réfléchi, tandis que l'autre pénètre dans les sédiments ; le phénomène de réflexion se produit à chaque interface, séparant les différents niveaux (figure 2). 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.

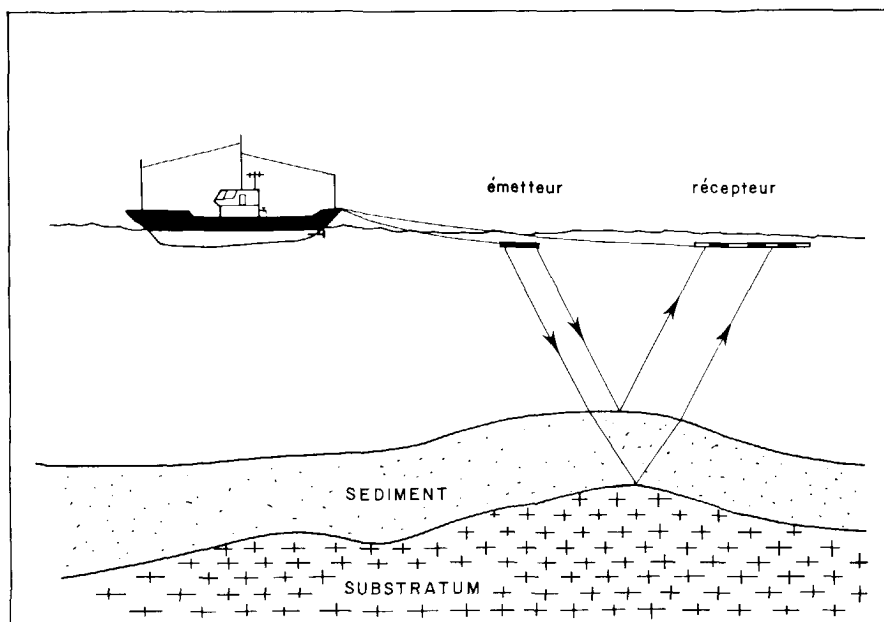


Fig. 2 : Principe de la sismique réflexion.

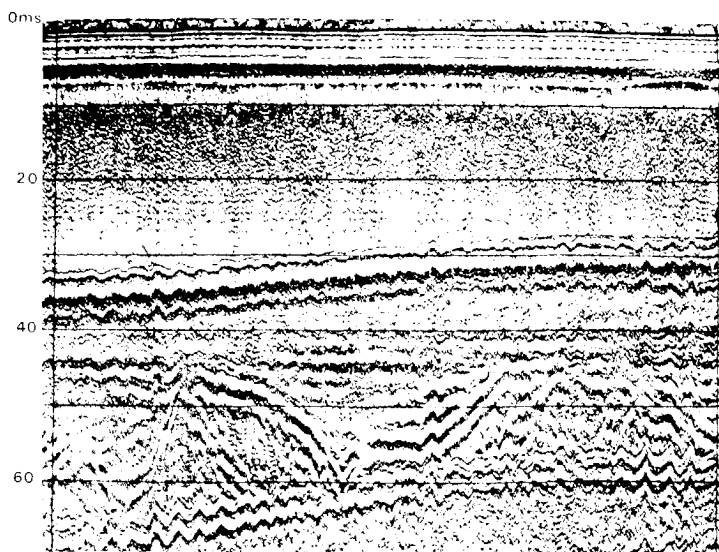
La précision obtenue dépend :

- du choix des vitesses de propagation : le doute peut être levé par quelques profils de sismique réfraction qui permet le contrôle des vitesses et des épaisseurs.
- de la détermination des échos successifs qui dépend de la qualité du signal émis par la source, du bruit de fond lié à l'état de la mer et du contraste des vitesses de propagation dans les divers niveaux.

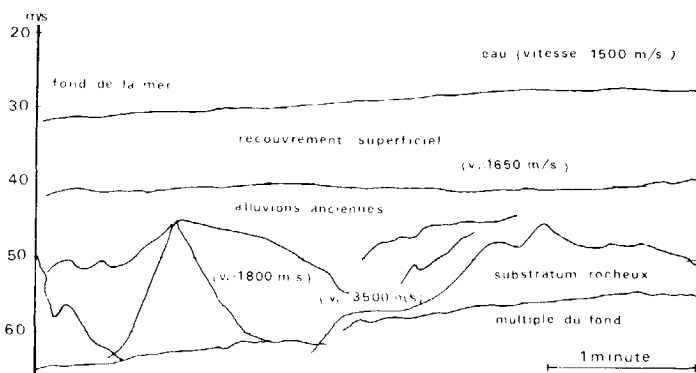
Selon le type de reconnaissance envisagé, les sources sismiques sont différentes. Le type "Étinceleur", libérant une énergie comprise entre 1 000 et 24 000 joules, est utilisé pour son pouvoir de pénétration à la définition du substratum. Par contre, le type "Boomer" libérant une énergie comprise entre 500 et 1 000 joules, ou le type "Uniboom", libérant entre 100 et 300 joules, sont utilisés pour leur pouvoir de résolution à la définition des divers niveaux sédimentaires.

L'interprétation des enregistrements de sismique (fig. 3 et 4) entraîne l'établissement de cartes des profondeurs du toit de substratum, les isobathes, et de cartes des épaisseurs des sédiments meubles dites isopaques.

ENREGISTREMENT ORIGINAL



INTERPRÉTATION COUPE-TEMPS



COUPE INTERPRÉTATIVE

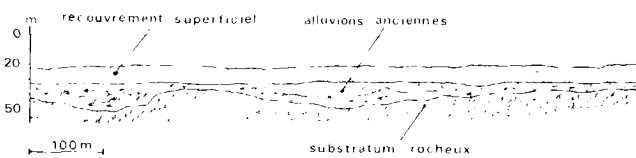
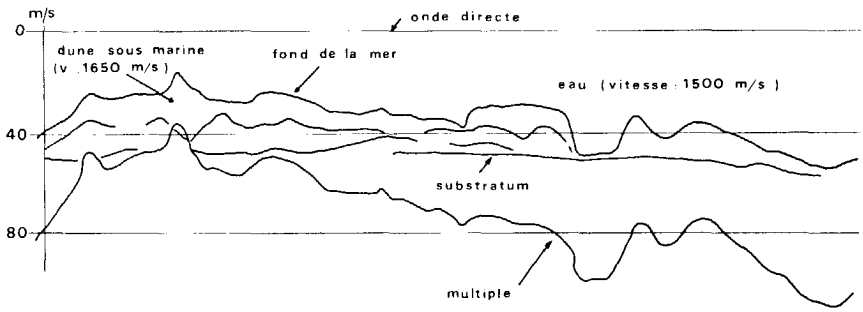


Fig. 3 : Enregistrement de sismique réflexion d'une paléovallée (méthode étincelleur).

ENREGISTREMENT ORIGINAL



INTERPRÉTATION COUPE-TEMPS



COUPE INTERPRÉTATIVE

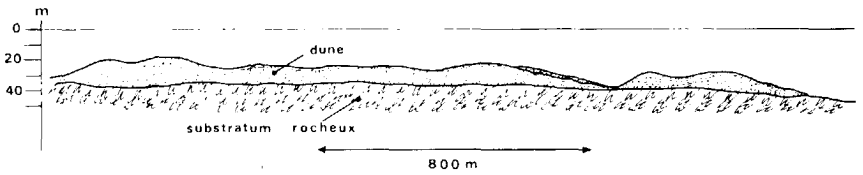


Fig. 4 : Enregistrement de sismique réflexion d'un système dunaire (méthode étincelleur).

Méthodes directes : les sondages carottés

Ils permettent l'évaluation quantitative des accumulations mises en évidence par la sismique et de vérifier des hypothèses sur les vitesses et les épaisseurs.

Les carottes recueillies sont étudiées à bord du navire : photographie, description, granulométrie, calcimétrie, minéralogie (cf. p. IV couverture). Les résultats sont intégrés afin de définir, dans l'ensemble de la zone prospectée, le secteur susceptible de donner lieu à une exploitation industrielle.

En corrélant les carottes, dont la composition est connue, avec les enregistrements sismiques, qui indiquent les différents niveaux et leur épaisseur, il est possible d'orienter l'implantation des sondages au fur et à mesure de la prospection.

Ainsi, par une étude quantitative et synthétique donnée par la sismique et par une connaissance qualitative et analytique fournie par le carottage, les caractéristiques d'un gisement exploitable sont-elles déterminées. Les volumes de matériaux mis en évidence par sismique réflexion constituent les ressources du plateau continental.

3. IDENTIFICATION GÉOTECHNIQUE

L'opération de base commune à toute étude de gisement consiste à situer les matériaux dans une classification géotechnique appliquée à la définition des conditions d'utilisation des granulats.

Les documents de base sont les fascicules 23, 28 et 65 du "Cahier des prescriptions communes". (1)

Les principaux critères d'identification définis par ces documents sont :

- la granularité du matériau,
- la propreté du sable,
- les proportions de grains siliceux, ce qui revient à mesurer la teneur en calcaire dans le cas de sables à grains siliceux et coquilles calcaires.

Toutefois, ces critères ne sont pas toujours suffisants pour caractériser un bon sable à béton. C'est ainsi que la présence de coquilles calcaires n'est pas souhaitable en forte proportion, surtout s'il s'agit d'éléments très creux et arrondis. De même, les micas et, à un degré moindre, certains feldspaths, sont très nocifs, notamment quand leur taux atteint 5 à 7%.

(1) La révision de ces fascicules, sous la forme d'un cahier de clauses techniques générales, actuellement en cours, apportera peut-être des dispositions différentes.

En l'absence de directives précises sur les proportions limites de ces éléments nocifs dans les sables, l'influence des coquilles ou des micas sur la qualité des bétons peut être mise en évidence en procédant à des essais sur mortiers. Ces essais consistent à comparer certaines caractéristiques (maniabilité, résistances mécaniques, retrait, etc.) des mortiers confectionnés avec le sable étudié à celles du mortier normal défini par les normes en vigueur.

La granularité des matériaux

Elle est définie par l'analyse systématique des courbes granulométriques de chaque unité sédimentaire rencontrée dans les sondages.

La représentation de la répartition granulométrique des matériaux d'un même gisement se réalise sur un diagramme triangulaire dont les pôles sont trois fractions granulométriques équilibrées en pourcentage dans un *sable* répondant aux spécifications du fascicule 65 :

- fraction fine : 0 à 0,315 mm
- fraction moyenne : 0,315 à 1,25 mm
- fraction grossière : 1,25 à 5 mm

Cette représentation offre l'avantage de porter sur un même graphique toutes les caractéristiques granulométriques d'un gisement, de visualiser les différents groupes de sables et de déterminer la composition granulométrique moyenne du gisement.

La propreté des sables

Elle est appréciée en fonction des paramètres suivants :

- **l'équivalent de sable (ES)** selon les prescriptions du fascicule 65 du "Cahier des prescriptions communes" :
 - ES > 70 pour tous les bétons courants,
 - ES > 75 pour bétons courants de résistance élevée et bétons de qualité,
 - ES > 80 pour bétons de qualité à haute résistance et bétons exceptionnels.
- **la quantité d'éléments fins inférieurs à 80 μ** , cette quantité devant être inférieure à 2%.
- **le dosage des matières organiques** pour certains types de sables vasards.

Il faut noter que la propreté des sables est améliorée au cours de l'extraction par dragues aspiratrices, les éléments fins étant remis en suspension. Toutefois, les mesures concernant la propreté du matériau en place demeurent importantes pour apprécier la rentabilité et le caractère plus ou moins polluant de l'extraction.

La teneur en coquilles calcaires

Au delà de 30 %, elle peut être nuisible.

Ce paramètre a été apprécié selon les taux suivants :

- teneur inférieure à 10 % : acceptable ;
- teneur comprise entre 10 et 20 % : moyenne, à confirmer par des essais sur mortiers ;
- teneur comprise entre 20 et 30 % : forte, essais sur mortiers indispensables ;
- teneur supérieure à 30 % : inacceptable.

Ces chiffres correspondent à des taux pondéraux de CaCO_3 déterminés par analyse chimique, soit à raison d'une analyse par échantillon dans le cas de sables fins homogènes par exemple, soit en effectuant la moyenne pondérée des teneurs en calcaire de chaque fraction granulométrique d'un échantillon. Parallèlement à l'analyse chimique, l'examen des échantillons à la loupe binoculaire permet de déterminer par comptage le pourcentage numérique des débris de coquilles dans chaque fraction granulométrique.

Le pourcentage de coquilles s'est avéré le plus souvent supérieur à la teneur pondérale en CaCO_3 . Le rapport entre les deux mesures semblant lié pour une part importante à la forme des débris de coquilles, il pourra être très intéressant, quand l'expérience le permettra, d'analyser la signification de ces mesures au niveau du traitement des sables coquilliers (élimination ou broyage des coquilles) ou encore pour préciser, à partir d'essais sur mortiers, les taux de calcaire admissibles en fonction de la forme des coquilles.

La présence de micas en quantité notable et parfois de feldspaths, selon l'expérience acquise, est néfaste sur la maniabilité du béton et surtout sur les résistances, le retrait et la tendance à la fissuration de ces bétons.

Aussi est-il intéressant de déterminer par comptage à la loupe binoculaire les proportions respectives de ces éléments nocifs dans les échantillons analysés.

En l'absence de directives précises sur les taux à ne pas dépasser, il apparaît que l'action des micas est déjà sensible à partir d'une teneur de l'ordre de 5 %, alors que la nocivité des feldspaths dépend surtout de leur état d'altération.

C'est donc à partir des teneurs en micas de l'ordre de 5 % que des essais sur mortiers ont été conseillés pour donner une appréciation sur l'incidence de ces éléments nocifs qui se manifeste :

- d'une part, par la diminution importante de la maniabilité,
- d'autre part, par des chutes de résistance en flexion et compression.

Les comptages minéralogiques effectués par fraction granulométrique permettent de mettre en évidence la répartition des teneurs en micas en fonction de la taille des matériaux. En général, les micas se retrouvent dans la fraction fine, ce qui peut amener une amélioration sensible de la composition minéralogique au cours de l'exploitation par dragues aspiratrices, les éléments fins étant remis en suspension et souvent éliminés avec la surverse.

4. CAS DES SABLES CALCAIRES

Les sables calcaires proviennent de la destruction d'organismes à squelette calcaire, vivant sur le fond, soit fixés, soit en mouvement. A leur mort, leurs restes se déposent et, sous l'effet des courants, sont broyés et piégés dans des zones d'accumulation qui prennent généralement la forme de dunes.

Les sables calcaires ont été les premiers sables exploités sur le domaine public maritime, particulièrement en Bretagne où l'intensification des cultures agricoles sur des sols à pH acide nécessite une utilisation croissante d'amendements calcaires. Les ressources de sables calcaires les plus importantes se situent au nord-ouest et à l'ouest de la Bretagne sous forme d'un réseau de dunes hydrauliques constituées de débris coquilliers.

En 1969, le CNEOX attirait l'attention des cimentiers sur ces dunes dont la composition apparaissait intéressante pour la fabrication du ciment : la Bretagne étant dépourvue de terrains calcaires, l'approvisionnement en ciment vient des régions avoisinantes. Les prospections réalisées en 1972 par sismique et dragages ont montré que les huit sites retenus contenaient plus de 1 milliard de m³ de matériaux. Des sondages réalisés sur l'un d'eux, le banc du Four, ont confirmé l'homogénéité granulométrique sur les huit premiers mètres et la teneur élevée en carbonates (83%).

De plus, des études sur le dessalage des sables marins calcaires ont permis la définition d'un procédé économique de traitement requérant malgré tout d'importantes quantités d'eau douce. Enfin, d'autres travaux confiés à l'INRA ont mis en évidence la valeur agronomique de ces sables, à la fois pour l'amendement des sols et pour la croissance des plantes fourragères. Cette utilisation pourrait remplacer le maërl (1) dont les gisements sont limités et mal connus.

(1) Terme breton désignant des dépôts grossiers constitués de débris organiques calcaires, principalement des algues.

5. RESSOURCES ET RÉSERVES : NOTION ÉVOLUTIVE

Plus que les gisements terrestres, les gisements de granulats marins sont tributaires, pour leur exploitation, de l'évolution des moyens techniques ainsi que des conditions économiques. Aussi a-t-on fixé assez arbitrairement dans nos résultats une frontière entre les ressources et les réserves exploitables. En effet, pour que les ressources puissent être considérées **actuellement** comme réserves exploitables, il est nécessaire :

- qu'elles soient situées à moins de 30 mètres sous le niveau des plus basses mers, afin d'en permettre le dragage avec les équipements disponibles.
- qu'il n'existe dans leur voisinage aucune activité humaine que la mise en exploitation pourrait gêner : pêche, conchyliculture, nautisme, câbles sous-marins, routes maritimes, zones de mouillage, zones d'essais de la Défense nationale ;
- qu'elles soient en dehors de secteurs reconnus comme essentiels à l'équilibre écologique du milieu marin : aire de pontes de poissons, faune et flore benthiques assurant le renouvellement de la nourriture des espèces commerciales, etc.
- que la nature des matériaux (granulométrie, minéralogie, teneur en carbonates) permette l'utilisation pratiquement immédiate avec le minimum de résidus ; en effet, le rejet en mer risquant d'entraîner une pollution du gisement et certaines perturbations du milieu marin, il faudra transporter ces résidus dans des zones de rejet, jugées moins sensibles, ce qui occasionnera d'importantes augmentations du prix de revient ;
- qu'elles soient pratiquement exemptes de recouvrement inutilisable, lequel poserait un problème similaire de rejet.

Si l'on tient compte de toutes ces contraintes, les réserves exploitables actuellement connues se réduisent à 600 millions de mètres cubes. Toutefois, ces conditions ne peuvent en aucune manière être considérées comme définitives, elles évoluent dans l'espace et dans le temps, selon les régions. Avec le temps ou pour des raisons économiques, dans une région donnée, les ressources pourraient très bien passer à l'état de réserves et inversement ; aussi faut-il être prudent pour présenter les possibilités de gisement.

Ainsi, les besoins actuels de la Bretagne semblent plutôt s'orienter vers les sables à béton, alors qu'en baie de Seine, il est surtout recherché des graviers. Le démarrage de certains projets d'équipement peut entraîner, pour une catégorie de matériaux, un accroissement temporaire de la demande à laquelle les structures d'approvisionnement à terre ne pourront pas répondre.

En théorie du moins, l'exploitation en mer possède une mobilité qui devrait lui permettre de s'adapter, avec une certaine souplesse, aux variations de la demande. Ceci sous-entend que soient suffisamment bien connues les ressources conditionnelles, c'est-à-dire celles qui pourraient être exploitées avec profit sous réserve d'une certaine évolution du marché de l'offre et de la demande.

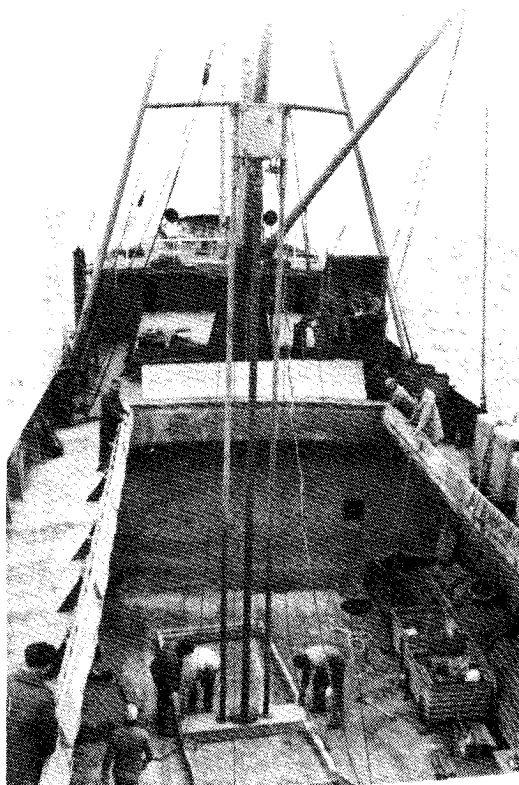
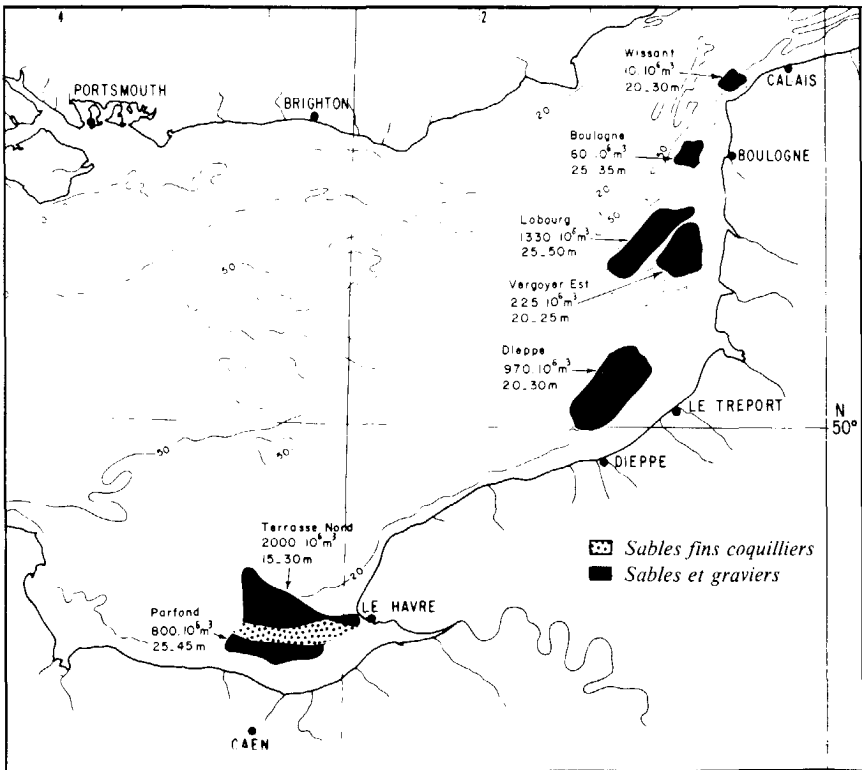


Photo 1 : Mise en œuvre du carottier.

II. INVENTAIRE PAR RÉGION

Les résultats acquis au cours de nombreuses campagnes à la mer (géophysique, sondage, dragage) sont présentés par région (1). Pour chacune, on signale les possibilités des ressources connues, les réserves actuellement exploitables ainsi que les autres axes de recherche possibles.



ZONES PROSPECTÉES EN MANCHE CENTRALE ET ORIENTALE

(1) Une liste de rapports établis par région est fournie à la fin p. 77.

1. NORD-PICARDIE

Dans le Nord-Pas-de-Calais, les matériaux alluvionnaires sont peu représentés (23 % de la production en 1981) et les matériaux de substitution déjà couramment utilisés : schistes houillers, calcaires du Boulonnais et de l'Avesnois, roches éruptives de Belgique.

En Picardie, les matériaux alluvionnaires sont activement exploités (98 % de la production en 1981) et les matériaux de substitution peu nombreux.

Ressources

Les ressources de ces régions sont estimées à 1625 millions de m³ de sables et graviers siliceux réparties sur quatre zones :

- dune littorale de **Wissant**,
- système dunaire et terrasse de **Boulogne**,
- terrasse de **Lobourg** et paléovallée du **Vergoyer**.

Réserves

Les secteurs de **Boulogne** et **Wissant** sont connus, ce dernier a déjà fait l'objet d'exploitation.

Autres possibilités

- La paléovallée de la **Canche**,
- Les grands bancs du large : **Out Ruytingen**, **Dyck occidental**.

2. NORMANDIE

Cette région sera à court terme démunie en matériaux alluvionnaires ; en 1981, elle produisait 25,4 millions de tonnes de granulats dont 67 % provenaient des alluvions.

Ressources

La grande **vallée de Dieppe** et la **baie de Seine** sont les deux principales zones de ressources de cette région. Elles totalisent 3 770 millions de m³ de sables et graviers siliceux.

Le site de la baie de Seine est composé, du nord au sud, de trois ensembles :

- l'importante terrasse ancienne marquant la limite nord de la paléovallée de la Seine,
- le banc de Seine,
- la vallée sous-marine du Parfond qui marque le sud de la terrasse ancienne.

Réserves

- La **vallée de Dieppe** est partiellement exploitée ; des reconnaissances complémentaires visant à déterminer l'extension du gisement seront réalisées.
- Un secteur en **baie de Seine** situé à 6 milles dans le nord-ouest de la souille expérimentale a été étudié en 1976. Ce secteur contient trois gisements potentiels : deux ont fait l'objet de travaux supplémentaires de prospection par dragage et des demandes d'autorisation d'extraction ont été déposées.
- La souille du **CNEXO en baie de Seine**, dite souille expérimentale, exploitée de 1974 à 1980, a été créée afin d'étudier les effets d'une extraction industrielle de granulats marins sur l'environnement. Le volume de matériaux extrait a été de 2 880 000 m³.

Autres possibilités

- Une étude a été réalisée au large du Tréport et pourrait aboutir à la détermination d'un gisement.
- La paléovallée de la Somme.

3. BRETAGNE - PAYS DE LOIRE

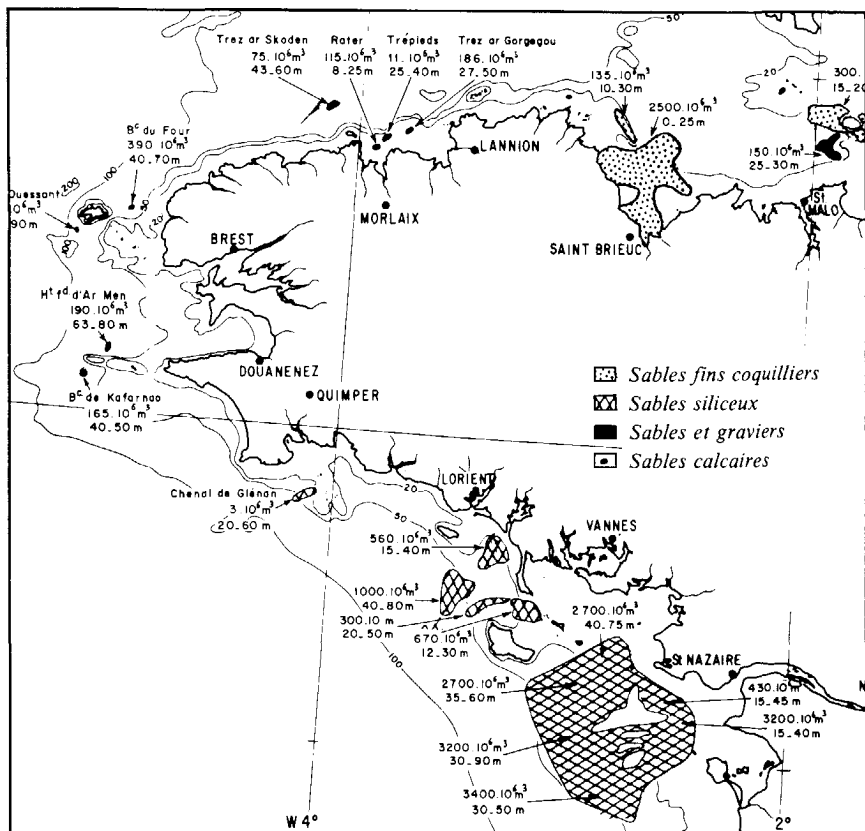
La Bretagne ne contient pratiquement que des carrières de roches massives, à l'exception du bassin de Rennes où l'on exploite quelques gisements alluvionnaires. Les difficultés d'approvisionnement se situent dans le domaine des sables à béton. La part de ces sables est de 18 % sur une production de 21 millions de tonnes en 1981.

Les Pays de Loire doivent à court terme suppléer aux extractions dans le lit du fleuve. Ces matériaux extraits fournissaient une large part de l'approvisionnement local ainsi que celui de la Bretagne. En 1981, les Pays de Loire produisaient 29 millions de tonnes de granulats dont 35 % d'origine alluvionnaire.

Ressources

Les études effectuées dans ces régions ont permis de retenir six secteurs totalisant 22 500 millions de m³ de matériaux.

- **Le golfe de Saint-Malo** contient deux accumulations :
 - le nord-ouest des îles Chausey composé de 300 Mn de m³ de sables coquilliers ;
 - le sud-ouest des îles Chausey composé de 150 Mn de m³ de sables et graviers siliceux.
- **La baie de Saint-Brieuc** est couverte de sables fins coquilliers sur une épaisseur de 5 à 10 mètres avec, à l'est de Paimpol, une dune de sable calcaire biogène.
- **La baie de Morlaix** est une des deux régions contenant des dunes hydrauliques constituées de débris coquilliers. Quatre bancs ont été étudiés : Trezen ar Gorgegou, Trépieds, Rater et Trezen ar Skoden. Les dragages superficiels ont indiqué une teneur en carbonates de l'ordre de 70 %.
- **La mer d'Iroise** recèle également quatre bancs de sables organogènes : banc du Four, haut-fond d'Ouessant, haut-fond d'Armen, banc de Kafarnao.
- **La région île de Groix - Belle-Ile** présente quatre sites : le sud-ouest de la pointe d'Erdeven (560 millions de m³), la dune hydraulique du banc des Poulins et de Taillefer (670 millions de m³), la paléovallée de la Teignouse (300 millions de m³) et le sud de l'île de Groix (1 000 millions de m³).
- **L'estuaire de la Loire** contient une quantité importante de matériaux siliceux répartie en quatre secteurs :
 - la paléovallée de **La Vilaine** (2 700 millions de m³) qui contient une formation de sables roux formant la dune de Hoëdic (250 millions de m³) ;



ZONES PROSPECTÉES
SUR LES COTES DU MASSIF ARMORICAIN

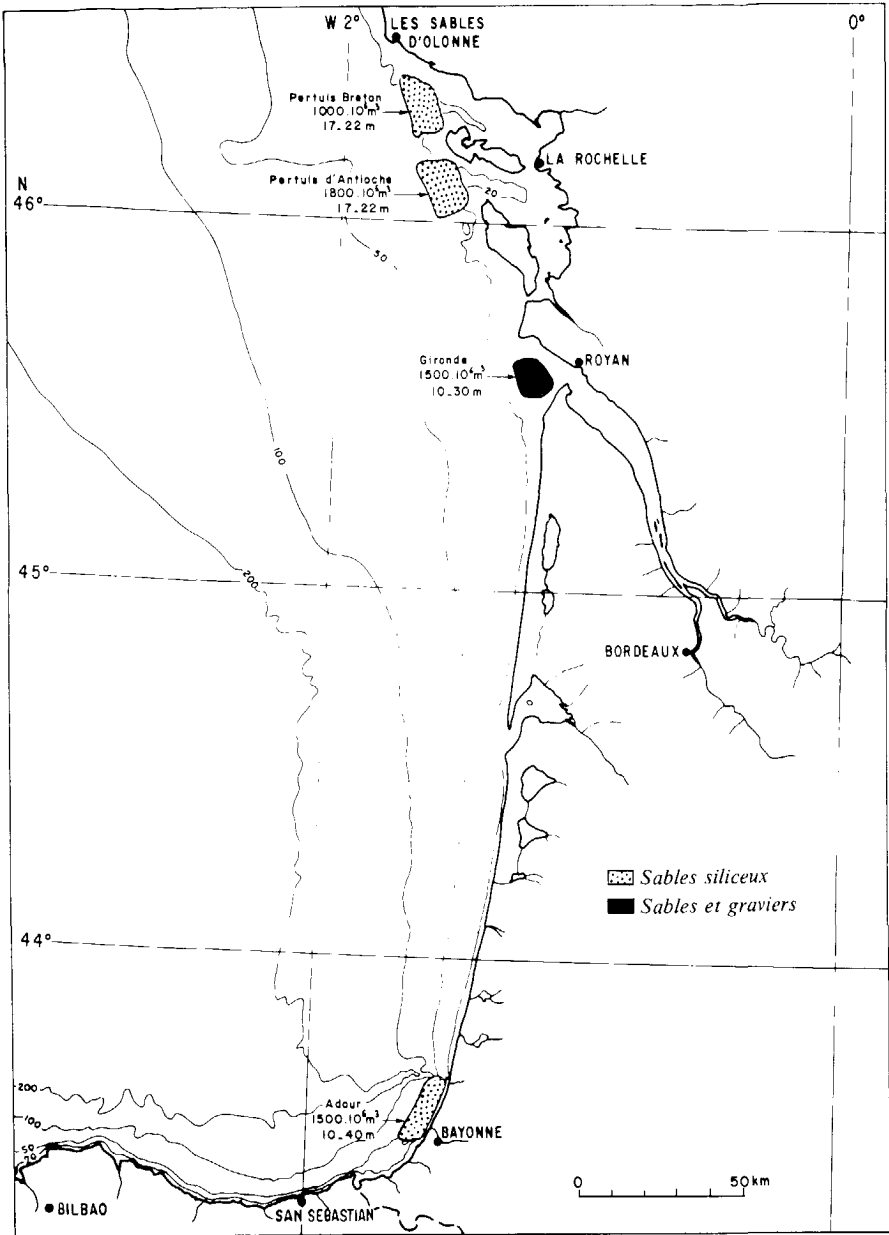
- le banc de **Guérande** (2 700 millions de m³) moins profond et principalement composé de sables roux ;
- la paléovallée de la **Loire** composée d'un chenal principal (3 200 millions de m³ entre 15 et 40 mètres) et de deux divisions en aval (3 200 millions et 3 400 millions de m³) ;
- l'accumulation du **Croisic** (430 millions de m³).

Réserves

- A la suite de travaux récents, un gisement de 6 km², situé au **nord de Saint-Malo**, a été mis en évidence. Cette réserve de nature sablo-graveleuse a la composition granulométrique suivante: 34 % de sables moyens à fins, 30 % de sables grossiers et 36 % de graviers.
- Un secteur au nord de la pointe de Plestin dans la **baie de Lannion** a été retenu malgré la grande variabilité des niveaux sédimentaires. Une campagne de dragages sur le site, à partir d'une drague aspiratrice au point fixe, a montré qu'il est possible d'exploiter les matériaux dont la granulométrie moyenne se situe entre 0,5 et 2 mm, étant entendu que les éléments fins sont rejetés à la mer avec la surverse.
- Le **gisement de la Gardenne**, au sud-est de Lorient, renferme 18 millions de m³ de matériaux répartissant ainsi: 20 % de sables fins, 54 % de sables moyens à grossiers, 10 % de sables très grossiers, 16 % de graviers. Une extension de ce gisement est possible vers le nord.
- La **zone de Taillefer**, entre Belle-Ile et la presqu'île de Quiberon, n'a pas été retenue comme gisement car les sables qui la composent ne sont pas conformes aux spécifications en vigueur dans le domaine des sables à béton (teneur en carbonates trop élevée, 50 %). Toutefois, d'autres débouchés sont à envisager: amendement calcaire, utilisation pour le remblaiement.
- Le **gisement du Pilier**, au sud-ouest de Saint-Nazaire, contient 24 millions de m³ de matériau selon la composition suivante: 24 % de sables fins, 62 % de sables moyens à grossiers, 14 % de graviers. Des possibilités de prolongation existent vers le sud-ouest, ainsi que des indices intéressants de présence de graviers à l'est du gisement.

Autres possibilités

Large de l'Odet, de l'Aven, du Belon et de la Laïta.



ZONES PROSPECTÉES
SUR LES COTES DE L'AQUITAINE

4. RÉGION POITOU-CHARENTES

Cette région utilise surtout des granulats issus du concassage de roches calcaires dont les utilisations sont pour l'instant essentiellement routières. La production de cette région en 1981 a été de 16,3 millions de tonnes, dont 26 % de granulats d'alluvions.

Ressources

Les secteurs du **pertuis Breton** et du **pertuis d'Antioche** contiennent 2 800 millions de m³ de sables siliceux.

Réserves

Chacun des secteurs présente un gisement. La zone du **pertuis d'Antioche** contient le gisement de "Chassiron" d'une surface de 10,5 km², situé à 15 milles du port de La Pallice et constitué de sables moyens à grossiers. La zone du **pertuis Breton** contient le gisement des "Sables-d'Olonne" d'une surface de 9,5 km², situé à 8 milles du port des Sables-d'Olonne et constitué de sables moyens à grossiers.

Autres possibilités

Le pertuis de **Maumusson**.

5. AQUITAINE

Les deux grands pôles de consommation, la région de Bordeaux et le département des Pyrénées-Atlantiques, sont très largement tributaires des granulats alluvionnaires. Les extractions dans les lits de la Garonne et de la Dordogne sont appelées à disparaître, ce qui posera le problème de l'approvisionnement de l'agglomération bordelaise.

Ressources

Du fait de la forme rectiligne de la côte et de l'absence de ports entre le Verdon et Bayonne, les prospections ont été effectuées au large de la Gironde et de l'Adour, mettant en évidence 3 000 millions de m³ de sables et graviers siliceux.

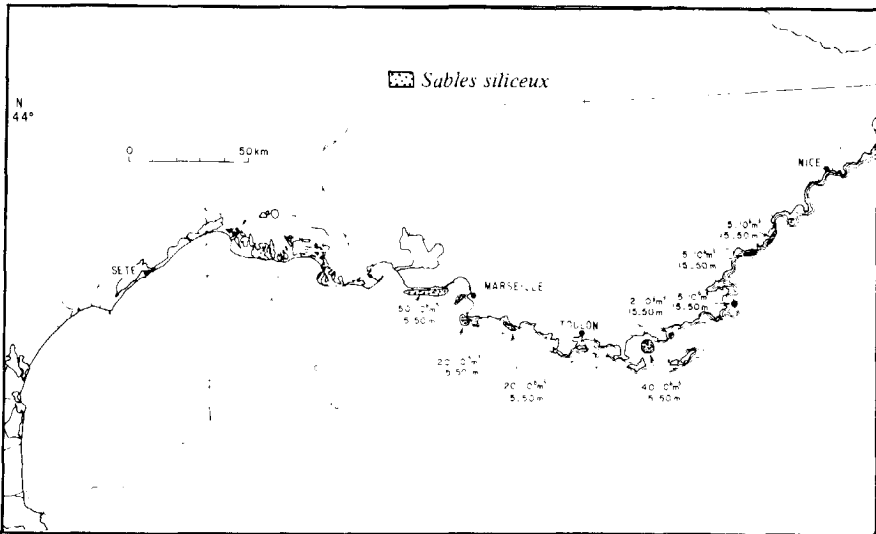
Réserves

- Le gisement du **Matelier**, situé au sud de la pointe de la Coubre (estuaire de la Gironde), contient des matériaux sablo-graveleux issus du démantèlement des terrasses du Riss, actuellement visibles dans le Médoc. Il présente la composition suivante : 25 % de sables fins, 35 % de sables moyens, 25 % de sables grossiers et 15 % de graviers.

— **Le gisement de l'Adour**, estimé à 10 millions de m³, outre ses caractéristiques sédimentologiques, présente deux particularités intéressantes : sa situation proche de l'embouchure de l'Adour limitant les transports et sa faible profondeur le rendant accessible à tout type de bateau. L'accumulation a la composition suivante : 50 % de sables fins, 25 % de sables moyens, 25 % de sables grossiers et 10 % de graviers.

Autres possibilités

Au large de Bayonne, vers le sud.



ZONES PROSPECTÉES
SUR LES COTES DE LA MÉDITERRANÉE

6. LANGUEDOC-ROUSSILLON

Les vallées alluvionnaires des départements de la région fournissent actuellement la majeure partie des granulats à béton. La production alluvionnaire représente 51% des 16,6 millions de tonnes de granulats.

Aucune reconnaissance systématique n'a été réalisée en mer, mais des études bibliographiques ont montré que les épandages sablo-graveleux du Roussillon pourraient faire l'objet de prospections détaillées, ceci à des profondeurs avoisinant 50 mètres.

7. PROVENCE - COTE D'AZUR

Le Var et les Alpes-Maritimes, gros consommateurs de granulats, se fournissent essentiellement dans les vallées alluvionnaires. Les graves problèmes posés par les extractions dans le lit du Var amèneront à envisager leur substitution. Déjà, dans les Bouches-du-Rhône, les calcaires sont utilisés pour les routes et le béton.

Ressources

Malgré l'étroitesse de son plateau continental, cette région recèle 150 millions de m³ de sables siliceux.

Réserves

Les accumulations mises en évidence, situées dans des baies, sont le support des herbiers à posidonies et, de ce fait, pour le moment, aucune étude de détail visant à déterminer des gisements exploitables n'est envisagée.

8. CORSE

Aucune étude systématique n'a été effectuée dans cette région ; cependant, la partie est et surtout sud-est avec un plateau continental plus large pourrait faire l'objet de recherches.

2^e partie :

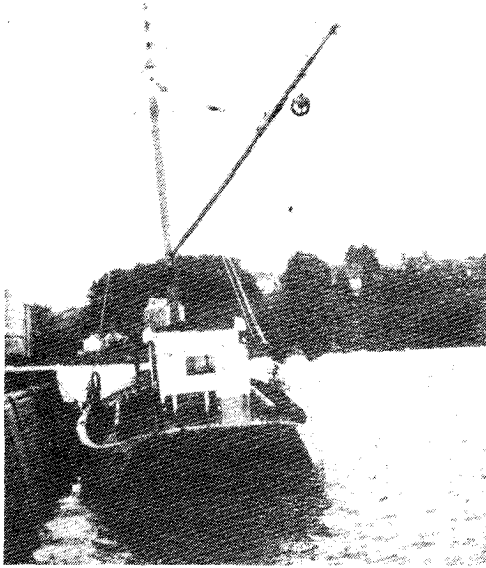
L'EXPLOITATION DES GRANULATS MARINS

L'exploitation des sables et graviers marins est relativement ancienne. Déjà, Pline dans son "Histoire Naturelle" dit que "*la Bretagne et les Gaules avaient inventé l'art de fertiliser leur sol, au moyen d'une certaine terre, marga*". Il s'agit essentiellement de la "marne", soit d'origine terrestre, soit d'origine littorale (marl: maërl).

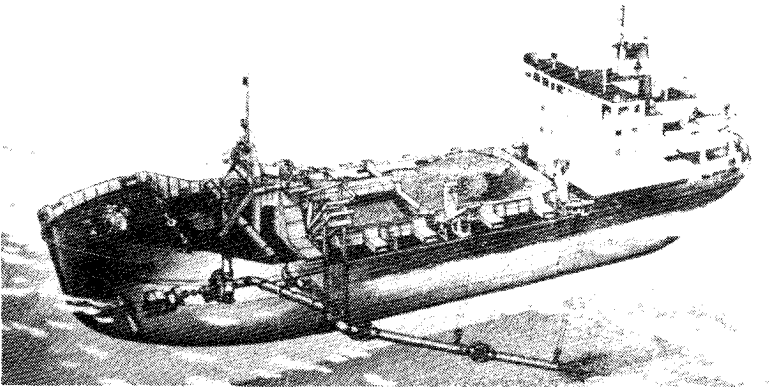
Camden écrit dans son ouvrage "Britannia", au début du XVII^e, "*que les habitants des Cornwall ont la liberté d'extraire du sable de la mer, et le droit de le transporter dans tout l'intérieur du pays où il s'emploie à la fertilisation des terres; et qu'ils jouissent de ce privilège, en vertu d'une concession de leur duc Richard (deuxième fils de Jean-sans-Terre, duc de Cornwall en 1199), qui leur fut confirmée par une charte de la quarante cinquième année du roi Henri II (1261)*".

Plus tard, Colbert institue un droit pour les communes du littoral de prélever les sables nécessaires à leur besoin. Dans les ports, il existe des quais aux "sabliers", où les bateaux déchargent à marée haute ce qu'ils ont prélevé sur les bancs sur lesquels ils s'échouent à marée basse.

Après l'avènement de la machine, les treuils deviennent plus efficaces et des dragues à bennes vont sur les premiers gisements sous-marins. Les quantités prélevées toutefois restent modestes et elles ne sont utilisées que pour les besoins locaux, à l'exception des "amendements marins".



*Photo 2 : Drague à benne (Armement BESCOND)
(cliché C. Augris).*



*Photo 3 : Drague aspiratrice en marche (doc. South Coast Shipping Company -
Southampton).*

I. TECHNIQUES D'EXPLOITATION

Il y a une vingtaine d'années, on trouvait dans la plupart des ports des dragues de 40 à 80 m³ exploitant des gisements très côtiers. C'est la nécessité d'entretien des chenaux portuaires qui a permis le développement des grandes dragues à élinde. Cette technique a permis de favoriser la construction de navires pouvant charger plusieurs milliers de m³, de dépasser ainsi les besoins propres des zones portuaires et, par ailleurs, de maintenir un approvisionnement au cœur de métropoles qui, s'étant développées, voyaient leurs ressources terrestres extrêmement éloignées comme à Londres par exemple.

1. LES DRAGUES

Il existe de très nombreux types de dragues capables d'exploiter les gisements de matériaux marins ; elles se classent selon la technique de prélèvement.

Les dragues à bennes preneuses

Majoritaires en France par leur nombre et non par leur tonnage, ces dragues exploitent au point fixe, mouillées sur leurs ancres, à l'aide d'une benne mise en œuvre au moyen d'un mât de charge ou d'une grue (photo 2). Le rendement effectif dépend du remplissage de la benne et de la nature du terrain. Une drague à benne ne permet pas un dragage régulier mais une succession d'excavations dont l'espacement est variable selon la profondeur. Cette technique est actuellement en désuétude et seuls les bateaux de faible tonnage l'utilisent ; c'est un système demandant un temps très long de chargement et qui reste tributaire des conditions météorologiques.

Les dragues aspiratrices

Les dragues aspiratrices sont des navires automoteurs et autoporteurs où les matériaux sont remontés en continu dans une élinde sous forme d'un mélange biphasé (eau-sédiment) ; le mouvement est entretenu à l'aide d'une pompe à déblais.

Il existe deux types de dragues aspiratrices :

- **Les dragues aspiratrices au point fixe** travaillent mouillées sur une ancre et creusent une série d'entonnoirs contigus qui seront ensuite nivelés par le jeu des courants. Le dragage se fait par une élinde latérale (conduite d'aspiration) dirigée vers l'avant et suspendue à des bossoirs qui permettent au bec de reposer sur le fond.

Certains becs d'élinde sont aménagés pour faciliter la mise en suspension des matériaux solides à l'aide d'un fort jet d'eau. Ces dragues sont principalement utilisées dans des zones étroites ou pour le dragage de bancs isolés de faible surface. L'utilisation de ces navires exige des conditions météorologiques favorables.

- **Les dragues aspiratrices en marche** (photo 3) travaillent en faisant route à vitesse lente (2 à 3 nœuds) en creusant des sillons plus ou moins profonds, selon le type de bec et les conditions de dragage (fig. 5). Les treuils d'élinde sont munis de compensateur de houle qui permettent d'opérer jusqu'à 3 m de creux. Les becs d'aspiration sont articulés autour d'un axe horizontal qui facilite leur contact permanent avec le sol. Ces navires, travaillant selon la méthode dite des "profils parallèles", doivent posséder un système de positionnement précis.

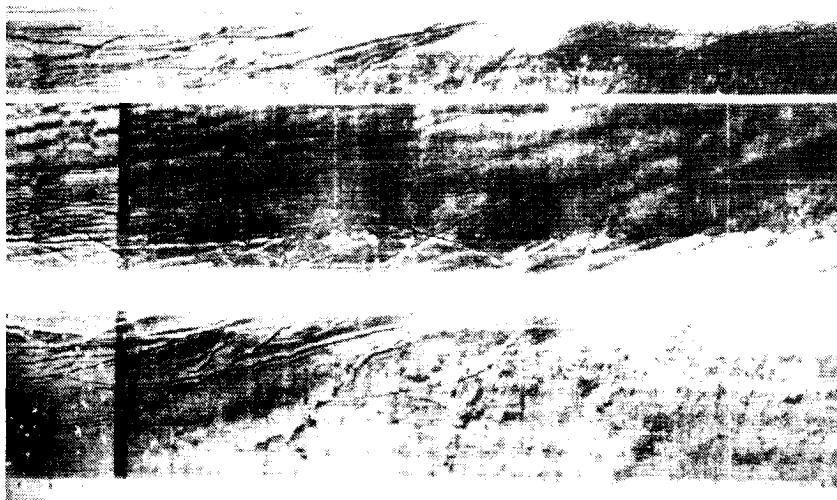


Fig. 5 : Sillons de dragage (enregistrement au sonar latéral du C.O.B.).

2. LE TRANSPORT ET LE DÉCHARGEMENT DES MATÉRIAUX

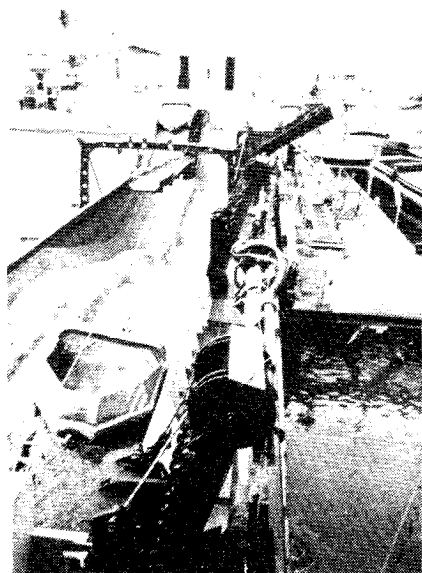
Dans toutes les dragues aspiratrices, les matériaux remontés sont mis dans une cale où ils se décantent : l'eau de la surverse repart en entraînant les particules les plus fines. Ces dragues offrent l'avantage de "laver" les matériaux ; elles permettent de travailler dans de meilleures conditions de sécurité.

Les dragues assurent le transport entre le gisement et le port. La plupart des dragues actuelles sont autonomes, c'est-à-dire qu'elles ne nécessitent pas une aide extérieure pour leur déchargement.

Elles se déchargent de trois manières :

- par **clapage** : en souille devant un quai, c'est une méthode très rapide, mais qui exige des moyens supplémentaires de reprise,
- à **sec** : à l'aide de grues, de godets ou de tapis roulants ; cette méthode permet de mettre les matériaux à terre directement sur le quai (photo 4) ;
- par **refoulement hydraulique** : cette technique très rapide offre l'avantage de réaliser un stockage à une certaine distance du quai.

Actuellement, les entreprises s'orientent de plus en plus vers les dragues porteuses aspiratrices en marche pouvant décharger par refoulement hydraulique.



*Photo 4 : Déchargement à sec
(doc. A.R.C. Marine Ltd - Southampton).*

3. CONTRAINTES DU DRAGAGE

Les profondeurs

Actuellement, les dragues les plus perfectionnées peuvent draguer sous 35 mètres d'eau ce qui, compte tenu d'une exploitation sur 4 à 5 m d'épaisseur de gisement et d'un marnage moyen de 3 à 4 m, nécessite de trouver des gisements par des profondeurs inférieures à 25 mètres sous le zéro des cartes marines. En fait, dans certaines régions où le marnage est plus important, en Bretagne par exemple, et où les dragues sont plus petites, c'est entre 15 et 20 mètres sous le zéro que se situe la limite.

Les distances entre le gisement et les points de déchargement

Cette distance correspond au temps de transit entre le point de déchargement et le gisement. Il faut raisonner en temps dans le cas de port "à marée": le bateau est limité par les hautes mers et ne peut effectuer que deux rotations par 24 heures. Donc, s'il faut 4 heures environ entre l'arrivée dans le port, le déchargement hydraulique et la sortie, et 3 heures pour le chargement, le navire dispose de 5 heures de transit au cours desquelles il peut parcourir environ 50 milles nautiques: c'est dire qu'une distance de 25 milles entre le gisement et le port peut permettre deux rotations par jour. Toutefois, dans le cas de port en eau profonde, en diminuant cette distance, on peut augmenter le nombre de rotations.

Dans la plupart des cas au-delà de 25 milles, une seule rotation par 24 heures est possible et, parfois, la distance peut excéder 80 milles, ainsi pour l'approvisionnement de Roscoff, Tréguier, Ouistreham, à partir du gisement du sud de l'Angleterre par exemple.

Les conditions météorologiques

Les conditions météorologiques limitent le nombre de jours par an où un gisement est exploité. De plus, ce nombre est tributaire de la profondeur du gisement: car plus le navire doit draguer avec une élinde verticale, plus l'action de la houle risque de détériorer le matériel; il faut alors utiliser des navires de plus fort tonnage.

II. DRAGAGE ET ENVIRONNEMENT

I. ANALYSE DU PHÉNOMÈNE

Les différents processus par lesquels le dragage est susceptible d'affecter le milieu marin ont fait l'objet d'inventaires tant en France qu'à l'étranger (tableau 3 et fig. 6) . De nombreux mécanismes ont été invoqués dont certains sont plus théoriques que réels. On peut résumer l'essentiel de la façon suivante :

- La drague, en modifiant la topographie du fond, peut rendre la zone d'extraction impropre au chalutage, même après cessation des activités.
- Si le dragage a lieu à faible distance des côtes, l'équilibre du littoral peut être affecté, entraînant des modifications des lignes de rivage et en particulier des plages.
- En cours de dragage, le pompage des matériaux au fond, de même que la surverse, entraînent la mise en suspension d'une partie de la fraction fine du sédiment. Cette turbidité, indépendamment de la gêne intrinsèque qu'elle peut causer dans les zones touristiques, peut provoquer une baisse de la transparence de l'eau, ayant pour conséquence une diminution de la pénétration de la lumière, donc de la photosynthèse. On a aussi évoqué le danger que pouvait constituer la désorption d'éléments toxiques fixés par la vase au cours de sa remise en suspension. On a signalé enfin des sédimentations intempestives dans les régions qui avoisinent la zone d'extraction.

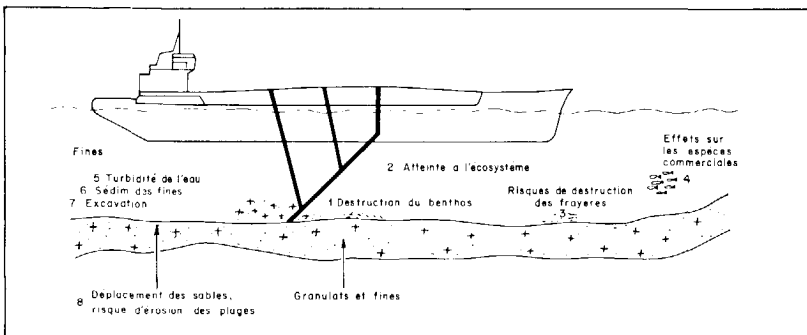


Fig. 6 : Schéma des effets de dragage sur l'environnement.

CAUSES	CONSEQUENCES	CONSEQUENCES POSSIBLES	ÉTUDES ENTREPRISES	TECHNIQUES
Dragages	1 → Suppression du benthos	Modification de la productivité benthique.	- Étude préalable des peuplements benthiques. - Études des relations benthos/substrat.	Prélèvement systématiques sur zones et approches. Dragues, bennes, photos. T.V.
	2 → Modification écosystème	"idem" + productivité planctonique.	- Surveillance des peuplements et vitesse de repeuplement.	Modèle mathématique d'écologie prévisionnelle.
	3 → Risque de destruction des frayères.	Modification de la capacité de reproduction de l'espèce.	- Étude de la qualité de l'eau. - Période de fixation des larves benthiques.	Mesure hydrologique. Pêches horizontales stratifiées.
	4 →	Effets sur les espèces commerciales.	- Dépendance des espèces commerciales vis-à-vis du benthos. - Localisation des frayères.	Étude des contenus stomacaux. Enquête et reconnaissance systématiques.
Remise en suspension des fines	5 → Turbidité de l'eau + lavages des sédiments.	Action sur le plancton	- Hydrodynamique de la circulation. - Aire de dispersion et de dépôt des particules fines.	Mesures directes. Études par : - traceurs radioactifs - modèle mathématique de dispersion et de pollution résultante.
		Action sur le benthos		
	6 → Sédimentation des "fines".	Dépôts sur plages ou zones conchylicoles.		Photos aériennes.
	7 → Changement de topographie et de circulation	Surcreusement ou comblement des souilles.	Zone impropre aux chalutages.	- Surveillance et vitesse de comblement des souilles.
8 →		Érosion des plages.		Profil topographique.

— Avec les sédiments, l'élinde pompe les organismes vivants sur le fond. Un certain temps est donc nécessaire avant qu'ils ne reviennent coloniser la zone qui a été exploitée. Parfois même, si le substrat naturel de ces organismes a été enlevé, ils ne reviendront pas. Deux cas sont à considérer : ou bien ces organismes présentent un intérêt en eux-mêmes (*frayères de harengs, coquillages comestibles*) ou bien, sans avoir d'intérêt commercial, ces organismes, comme maillon de la chaîne alimentaire, servent de nourriture à d'autres espèces activement exploitées.

On discutera ces différents processus en s'appuyant soit sur l'expérience acquise en baie de Seine, soit sur les données scientifiques disponibles.

Les travaux réalisés autour de la souille expérimentale du CNEXO ont appris comment étudier les problèmes, qu'il s'agisse des inventaires faunistiques, de la définition de la dépendance des poissons vis à vis du benthos, de la mise en suspension de fines, de la nature des contrôles à faire sur l'évolution topographique du milieu.

2. UNE EXPÉRIENCE ORIGINALE : LA SOUILLE EXPÉRIMENTALE DE LA BAIE DE SEINE

Afin de connaître les répercussions de l'exploitation des granulats sur l'environnement marin, le CNEXO avait décidé, en 1972, d'entreprendre le dragage d'une zone limitée en baie de Seine, dans des conditions contrôlées scientifiquement (fig. 7). Cette souille expérimentale a été draguée entre 1974 et 1980 dans une terrasse ancienne du cours sous-marin de la Seine par des fonds de l'ordre de 20 m. Le creusement a été effectué par une drague aspiratrice en marche d'une capacité de 2 500 m³ ; le volume extrait a été de 2 880 000 m³.

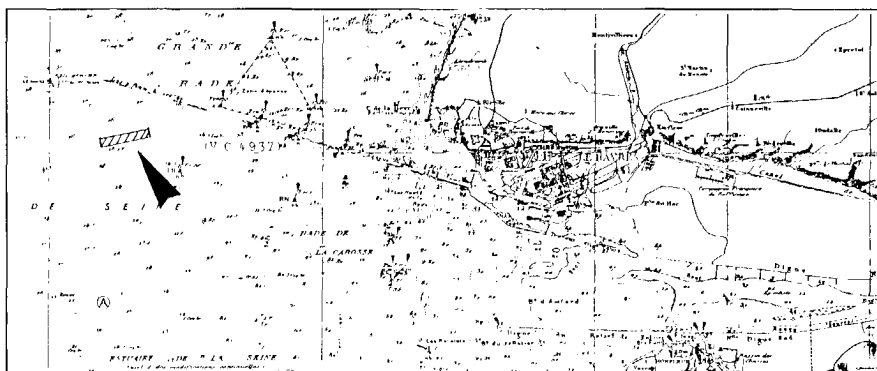


Fig. 7 : Souille expérimentale du CNEXO.

Sur le site même et aux alentours, divers types de mesures ont été effectués de même que des observations visant à caractériser les effets immédiats de l'exploitation, tant sur le plan des activités de pêches que sur les plans biologique, hydrologique et sédimentologique.

Études sur la dispersion des éléments fins

Le stock sédimentaire de la gravière expérimentale contient des matériaux de granulométrie très variée, accompagnés de sédiments fins en quantité variable, jamais négligeable.

Le dragage provoque la remise en suspension d'environ 10 % de la quantité (conditions de dragage d'une drague aspiratrice de fort tonnage). Les particules rejetées à une concentration de 5 à 25 g/l sont inférieures à 0,300 mm; environ 20 % sont inférieures à 0,040 mm et capables de subir la dispersion turbulente du milieu.

La trajectoire et la vitesse d'un nuage peu concentré de particules inférieures à 0,040 mm sont proches de celles de l'eau mesurée à l'aide de flotteurs ou de perches immergées. Elles apparaissent, par contre, différentes de celles déterminées par un courantographe dont les mesures ponctuelles ne sont pas représentatives de l'ensemble d'un site.

Par mer agitée (houle de 3 m d'amplitude) et vent fort, on observe une stratification: le nuage de particules dans la couche superficielle de l'ordre de quelques mètres se déplace à une vitesse beaucoup plus rapide que les couches plus profondes. Par mer agitée, il y a, par contre, déplacement à même vitesse sur toute la hauteur d'eau. Ceci se traduit par une homogénéité de répartition des particules sur une verticale qui est obtenue 15 à 30 minutes après le rejet.

La vitesse moyenne de décantation des particules en milieu naturel, de l'ordre de 1,5 mm/s, est 10 fois supérieure à la vitesse médiane mesurée en laboratoire. L'erreur serait donc grande si l'on basait les estimations d'une pollution sédimentaire sur des valeurs obtenues en laboratoire. En nature, cette vitesse moyenne de décantation diminue lorsque l'amplitude de la houle augmente.

Les taux de décantation sont faibles: 150 à 300 g/T.s. Ils augmentent avec le coefficient de marée et donc avec la vitesse de propagation des courants et diminuent lorsque l'amplitude de la houle s'affaiblit.

Un grand nombre de coefficients de dispersion longitudinaux et transversaux ont été calculés à la suite d'expériences. Ils sont tous compris entre 0,01 et 0,4 m²/s. Ils sont à peine plus grands dans le sens longitudinal que dans le sens transversal. Ce qui veut dire que le nuage garde son entité; il subit un transport en masse en se dispersant lentement. Ainsi, autour d'une zone de dragage industriel, il existera des masses d'eaux turbides qui se déplaceront au gré des courants et qui ne retrouveront leur transparence aux rayons lumineux que lentement. Le coefficient de dispersion longitudinal augmente avec l'amplitude de la houle tandis que le coefficient transversal décroît.

Comblement de la souille et mouvement sur les fonds

Les mesures de courant à proximité des fonds et l'étude du transport sédimentaire par charriage avec des traceurs radioactifs à vie longue nous ont permis de déterminer la vitesse critique d'entraînement et le diamètre des particules capables de subir un entraînement. Les particules inférieures à 0,3 mm et les concentrations en pélites inférieures à 400 g/l subiront un transport: c'est-à-dire la totalité des matériaux rejetés lors de l'extraction des sables par une drague aspiratrice.

Par contre, étant donné que la granulométrie naturelle des fonds est riche en sédiments grossiers, le temps nécessaire au recomblement d'une souille de 10⁶ m³ sera de l'ordre du siècle. L'entrave au chalutage est donc une gêne permanente dans le cas d'exploitation en profondeur en baie de Seine.

Cette étude met donc en évidence quelques paramètres physiques qui devraient permettre aux spécialistes de mieux apprécier les nuisances éventuelles des particules en suspension. Elle montre à plusieurs reprises combien la mesure au laboratoire est différente de l'estimation globale de l'expérience réalisée en vraie grandeur.

L'ouverture d'une nouvelle gravière nécessite des mesures courantologiques très minutieuses, notamment à la perche en surface, et au voisinage du fond par un courantographe adapté, puis une étude sédimentologique et rhéologique des matériaux inférieurs à 0,040 mm. Ces données permettent d'établir un modèle prévisionnel de la répartition des suspensions et du comportement des fonds marins.

Repeuplement de la souille

Les observations réalisées quelques mois après l'arrêt du dragage montrent différentes colonisations du fond de la souille.

Le recouvrement par l'épifaune sessile des surfaces de sédiments grossiers dégagées, paraît peu important ; malgré tout, on note la présence de bryozoaires et d'hydrires.

De son côté, la faune vivant mobile sur le fond, ou épifaune vagile, est surtout caractérisée par l'abondance d'étoiles de mer et la présence plus restreinte de tourteaux et araignées de mer.

La faune vivant dans le sédiment ou endofaune rencontrée témoigne d'un substrat de sédiments sableux envasés, telle que des tubicoles et des échinodermes.

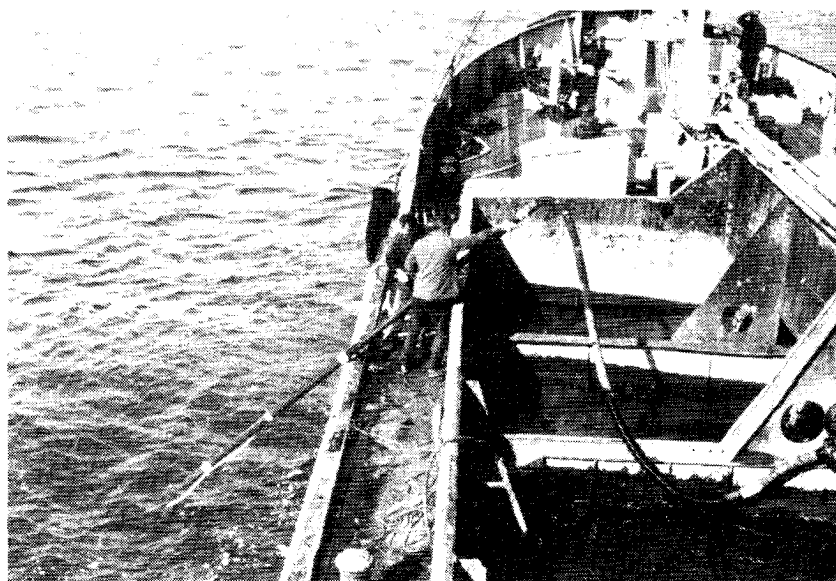


Photo 5 : Mesures par traceurs radioactifs.

3. DRAGAGES ET MILIEU

Modifications de la morphologie

Sur le plan morphologique, les gisements de matériaux du fond de la mer sont de deux types :

- des reliefs, bancs et dunes sous-marines, dominant la topographie générale, comme les accumulations de sables calcaires en Bretagne ou les “bassurelles” de la Manche ;
- des cours sous-marins d'anciens fleuves, remplissages de chenaux fluviaux : lits sous-marins de la Seine, de la Somme, de la Loire, etc.

Si la zone exploitée est un relief, sa suppression ne peut gêner le chalutage, à condition toutefois qu'une certaine quantité de matériaux soit laissée en place de façon à ne pas mettre à jour des aspérités éventuelles du substratum rocheux.

Si par contre on exploite des remplissages de chenaux, les excavations ainsi creusées peuvent constituer un obstacle au chalutage. On aura alors intérêt à ne pas laisser les extractions se faire de façon anarchique et extensive. Elles devront être réalisées en des sites bien définis, bien repérés et de superficies limitées sur des gisements de grosse épaisseur. L'exploitant disposera ainsi d'un volume élevé sans avoir à modifier le fond de la mer sur une grande surface.

D'une façon générale, on évitera les exploitations extensives de minces couches de galets et de graviers par drague aspiratrice en marche qui laissent le fond de la mer labouré de sillons importants. Ces sillons ne disparaîtront pas nécessairement une fois l'extraction terminée et peuvent constituer un obstacle sérieux au chalutage. Dans certains cas, le transit sédimentaire lié aux courants de marée peut amener, en quelques années, le comblement de l'excavation ou l'effacement des sillons. Mais il ne faut pas compter, à priori, sur un tel processus qui est loin d'être général. Une telle hypothèse doit s'appuyer sur une bonne étude des courants locaux et des transits sédimentaires qui y sont associés. Cette surveillance est en cours dans le cas de la souille expérimentale en baie de Seine, mais aucun comblement significatif n'a été constaté.

A diverses reprises, on a évoqué le fait qu'une tendance à la stagnation peut se développer dans les excavations et que des conditions anoxiques et toxiques puissent s'installer. De telles conditions sont très peu probables en baie de Seine où les courants sont importants : on a observé, dans le fond de la souille expérimentale le développement de rides (ripple-marks), qui montre que même sa partie la plus profonde est parcourue par des courants significatifs empêchant toute stagnation. De tels phénomènes de stagnation sont probablement très exceptionnels et

ne se développent que dans des mers ou des baies fermées, dépourvues de courants de marée. Ils se produisent naturellement en Baltique ou dans les étangs du Languedoc, mais ne sont pas signalés sur nos côtes, même dans des milieux relativement fermés comme la baie de l'Aiguillon ou le bassin d'Arcachon ; dans de tels cas, le flot et le jusant empêchent toute immobilité de l'eau. Il faut signaler enfin que les lieux où de tels phénomènes sont susceptibles de se produire sont des zones calmes où la sédimentation de matériaux fins prédomine et où, par conséquent, les gisements de sables et graviers de qualité sont exceptionnels ou absents.

En ce qui concerne les risques d'érosion de la côte liés aux extractions situées près du rivage, on apportera une attention particulière à l'examen de la bathymétrie et à l'étude de la houle et de la marée dans le secteur. Rappelons, en particulier, que des modifications de la bathymétrie entraînent des changements dans la réfraction, le déferlement et l'obliquité de la houle par rapport au rivage qui peuvent porter atteinte à l'équilibre du littoral.

La prudence incite à interdire toute extraction trop proche des côtes. Cette restriction ne devrait pas gêner l'exploitation de la plupart des gisements liés aux anciens cours des fleuves et qui se continuent vers le large ; dans de tels cas, l'interdiction d'extraire dans la zone côtière ne limitera pas sensiblement les réserves disponibles. Au-delà de ce domaine, les risques d'érosion seront faibles.

D'autre part, des études du Laboratoire Central d'Hydraulique de France ont montré, pour la côte des Landes, que toute extraction située au-delà de 20 m de profondeur n'avait pas d'effets néfastes sur le littoral.

Pour les petites exploitations à caractère artisanal, travaillant sur banc, et les cordons littoraux submergés situés près des côtes, une grande prudence s'impose et l'autorisation d'extraction ne peut, en tout état de cause, être donnée qu'après une expertise sédimentologique soignée.

Les remises en suspension des matériaux fins

On convient habituellement d'appeler matériaux fins ou fraction fine les matériaux dont la dimension est inférieure à 80 microns. Du fait de leur taille, ils se maintiennent longtemps en suspension, même en eau calme. D'autre part, bien qu'il ne s'agisse pas de vrais colloïdes, ils en présentent, comme les argiles, certaines propriétés : floculation et absorption. Dans les sédiments marins du plateau continental, ils sont essentiellement représentés par du quartz, de l'argile et de la matière organique.

En première approximation, la quantité de "fines" dépendra donc des formations exploitées. Différents cas sont à considérer :

- **Les dunes sous-marines**, bancs de sables : en règle générale, leur teneur en matériau fin est nulle ou très faible. Ces dépôts ne se forment que dans les régions où les courants sont suffisamment forts pour transporter la fraction sableuse. Ces matériaux sont bien classés et leur exploitation ne pose, sur ce plan, aucun problème.
- **Les remplissages fluviaux** de chenaux (fig. 8) : à la différence des précédents, ils sont mal classés et constitués de sables, de graviers et même de galets, en fonction de la vitesse des courants fluviaux qui régnaient au moment de leur dépôt ; on y trouve parfois de lentilles d'argile.

A l'intérieur de la formation, la teneur en argile peut varier très rapidement horizontalement et verticalement. En baie de Seine, on constate, durant les opérations de dragage, des augmentations rapides de la turbidité qui sont liées au fait que la drague rencontre par moment ces lentilles interstratifiées.

- **La "découverte"** : souvent, les gisements ont été depuis leur formation recouverts de dépôts marins plus ou moins fins, contenant parfois de la matière organique ; cela constitue la "découverte". Ces dépôts, sans intérêt pour l'exploitant qui recherche les sables et graviers, sont enlevés et rejetés ailleurs. Le pourcentage de fraction fine de ces dépôts doit être mesuré. Le site de leur rejet doit être soigneusement choisi.

Il est donc indispensable, avant d'exploiter, de procéder à une évaluation de la teneur en matériaux fins de la formation proprement dite ainsi que de la découverte. Cette évaluation devra être faite sur un échantillonnage représentatif qui tiendra compte de l'hétérogénéité de ce genre de formation (coupes complètes du gisement).

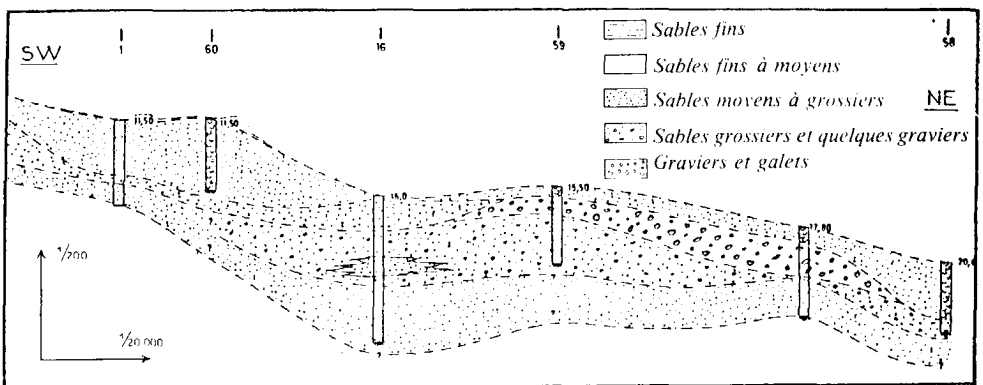


Fig. 8 : Coupe géologique dans le gisement du Matchier (au large de la Gironde).

En règle générale, néanmoins, la remise en suspension d'une quantité notable de matériaux fins est inévitable. Les tolérances qu'on peut accepter sont variables d'une région à l'autre :

- **face aux grands fleuves** dont la charge alluviale est considérable, les tonnages remis en suspension par la drague peuvent se révéler négligeables ou marginaux.
- **à proximité des zones d'herbiers**, sur la Côte d'Azur ou sur certains points du littoral breton, où la transparence de l'eau favorise les développements d'algues, des mises en suspension, même faibles, peuvent se révéler dommageables.

Dans les zones où des remises en suspension importantes pourraient être tolérées, d'autres facteurs doivent être pris en considération : vitesse de dispersion des matériaux fins, leur aire de distribution, les possibilités de sédimentation nouvelle.

On a évoqué à plusieurs reprises la possibilité d'effets nocifs qui pourraient résulter de la remise en suspension de matériaux fins ayant absorbé ou fixé des éléments ou des composés toxiques : ions métalliques, pesticides, hydrocarbures. Sur ce point, les remarques suivantes peuvent être faites : les dépôts qui piègent ces éléments sont essentiellement constitués de vase riche en matière organique et en sulfure. L'argile des gisements en est généralement dépourvue. D'autre part, ces argiles déposées à une époque "préindustrielle" ne sont en général pas polluées. Le problème se pose uniquement pour la couche de vase qui peut constituer la découverte du gisement.

Les conséquences sur les ressources vivantes

— Les espèces benthiques

Il existe, dans le milieu marin, deux grandes catégories d'organismes (vivants) : les uns, sur le fond ou à l'intérieur du sédiment, constituent le benthos ; les autres, en pleine eau, constituent la flore et la faune pélagiques et le plancton. Cette distinction n'est qu'approximative. Certains animaux vivants en pleine eau pondent sur le fond, c'est le cas de quelques espèces de poissons, comme les harengs. D'autres vivent à l'état adulte sur le fond mais possèdent des formes larvaires planctoniques : c'est le cas de nombreux invertébrés marins dont beaucoup de mollusques et de crustacés. Enfin, pour leur alimentation, nombreux sont les animaux vivant en pleine eau qui viennent consommer les organismes benthiques.

Bien qu'elle ne soit pas nettement tranchée, cette distinction permet de séparer deux catégories d'effets du dragage : les **effets directs** qui résultent de l'extraction, avec le sédiment, des organismes vivant sur le fond et les **effets indirects** beaucoup plus diversifiés, tels que la suppression d'une nourriture naturelle pour les espèces vivant en pleine eau ou la modification des conditions écologiques dans les eaux au-dessus de la zone d'extraction.

Les modifications biologiques liées au dragage auront toujours pour cause principale les changements que celui-ci provoquera dans la nature lithologique des fonds. En effet, l'écologie nous enseigne que, dans une région donnée, les différents types de fonds sont habités par des peuplements spécifiques. Sur les substrats durs : rochers, galets, se développent des formes fixées dont dépend tout un peuplement d'organismes prédateurs ou associés. Aux fonds meubles et suivant la nature du dépôt (granulométrie, teneur en matière organique, etc.) correspond toute une série de peuplements particuliers.

En Manche, ces relations nature du fond-nature du peuplement, sont maintenant bien établies. Il en résulte une conséquence pratique immédiate :

Si la drague enlève complètement un dépôt superficiel d'un type donné, et met à jour un substratum différent, le peuplement qui viendra recoloniser ces endroits sera différent du précédent. En baie de Seine, à l'emplacement de la souille expérimentale, le fond était constitué de sables fins auxquels correspondait un certain peuplement à *Ophelia borealis*, du nom de l'espèce d'Annelide polychète dominante. L'enlèvement de cette couche de sable et la mise à jour de galets et de graviers, se traduit par l'apparition d'une faune sessile différente de la précédente. Par ailleurs, s'il n'y a pas de découverte et que l'on veuille respecter l'équilibre biologique existant, il faudra toujours s'abstenir d'épuiser le gisement ; il sera alors nécessaire de laisser sur le substratum rocheux une certaine épaisseur du dépôt meuble d'origine.

Les modifications biologiques qui résulteront d'un changement éventuel de la lithologie du fond ne sont pas nécessairement dommageables. Elles ne le seront que lorsqu'un site privilégié sera détruit. L'effet peut, par contre, se révéler positif sur les fonds à ophiures, organismes prolifiques, voraces, destructeurs qui sont impropres au chalutage.

On peut même envisager que des changements de la nature du fond puissent constituer une étape du contrôle biologique des organismes qui s'y développent. Néanmoins, l'état des connaissances est actuellement tel qu'on ne peut pas prendre de risque en ce domaine et que, d'une manière générale, toutes les précautions doivent être prises pour conserver la nature du fond initial.

Une autre contrainte, déjà évoquée et aussi importante, sera la limitation des aires exploitées. On conçoit que plus la surface draguée est importante, plus la zone dépeuplée sera grande. A tonnage récupérable égal, l'exploitation de quelques sites particuliers sur des gisements épais doit être favorisée au détriment des gisements moins épais mais de grande surface.

Afin de mieux cerner la taille et le nombre d'exploitations tolérables dans une région donnée, les travaux effectués en baie de Seine ont été orientés vers l'étude des vitesses de recolonisation. Les observations ont montré qu'elles sont grandes. Néanmoins, dans une première phase, il se passe ce qu'on observe dans les espaces vierges. L'occupation est anarchique et dépend du stock larvaire disponible dans le plancton dans les mois qui suivent les opérations de dragage. Plusieurs années sont nécessaires pour qu'après diverses fluctuations, une sélection se produise et permette l'établissement d'un peuplement stable.

— Les ressources halieutiques

Compte tenu de la nature même d'un écosystème, le nombre de ces effets est pratiquement infini. Il avait donc été décidé de concentrer l'effort sur les sujets qui paraissaient les plus importants : l'étude de la dépendance des espèces commerciales vis-à-vis de cette nourriture naturelle que constitue le benthos. L'examen de l'alimentation des poissons les plus abondants (carrelet, limande, sole, merlan, lieu jaune, grondin, etc.) permet effectivement de connaître ce degré de dépendance. Ainsi, les Pleuronectidés tirent la totalité de leur nourriture des invertébrés benthiques. Il y a là encore une raison supplémentaire pour préserver le benthos et, par voie de conséquence, limiter l'aire d'extension des zones draguées.

D'une façon générale, il faut, en particulier, faire très attention aux aspects suivants :

- la formation d'excavations qui réduisent les possibilités de chalutage dans la région exploitée,
- les risques éventuels d'érosion à la côte,
- la mise en suspension de quantités importantes de particules fines considérées par rapport à la turbidité naturelle du milieu,
- la fragilité du sol marin sur le plan de la productivité et son importance vis à vis du benthos et, plus généralement, de l'équilibre biologique qui imposera de limiter la taille des exploitations.

III. ASPECTS ÉCONOMIQUES

1. PHASES DE RECHERCHE

Recherche bibliographique

Cette étude préliminaire est indispensable pour cerner le contexte géologique de la région concernée et aboutit à la réalisation d'une synthèse de toutes les données existantes. Il est ainsi possible d'identifier, en fonction de l'histoire sédimentaire locale, certains secteurs favorables à la prospection.

Prospection

Cette recherche a pour but de trouver des sites favorables à une exploitation industrielle des sables et graviers. Cette prospection doit permettre de connaître la position précise, la nature et la granulométrie du gisement, la superficie et l'épaisseur des dépôts. Ainsi peut-on évaluer le volume des matériaux disponibles et apprécier leur valeur commerciale. Pour cela, on devra réaliser, à partir de navires disposant d'un positionnement le plus précis possible, afin de permettre une localisation sans ambiguïté des zones reconnues favorables, deux types d'études :

- **L'étude géophysique** : elle se réalise au moyen de la sismique réflexion. Un émetteur (source sismique) envoie dans l'eau des ondes qui, en pénétrant dans les couches sous le fond, se réfléchissent partiellement sur chaque discontinuité du fond. Les ondes réfléchies sont captées par des hydrophones en surface puis enregistrées en fonction de leur temps d'arrivée et, à partir d'hypothèses concernant la vitesse de propagation de l'onde dans le sédiment et en utilisant de nombreux profils qui se recourent (maillage de la zone), on peut évaluer les volumes et reconstituer la géométrie dans l'espace des gisements.
- **L'étude géologique** : elle permet d'identifier les différentes couches par prise d'échantillons sur des points choisis le long des profils sismiques. Différentes méthodes sont employées :
 - le dragage par drague légère, type ROMANOVSKY,
 - le carottage par carottier, CNEXO-VILLE ou vibro-carottier,
 - l'analyseur de fond qui permet une évaluation en continu de la nature granulométrique des sédiments superficiels.

Cette étude est généralement suivie d'analyses en laboratoire afin de déterminer les différents traitements que les matériaux devront subir avant leur commercialisation.

PHASES DE RECHERCHE DE MATÉRIAUX MARINS

Durée moyenne : 12 - 18 mois

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE Recherche bibliographique des zones probables	5 % du coût
ÉTUDE GÉOPHYSIQUE Sonar latéral Sismique réflexion <i>Estimation quantitative</i>	25 % du coût
ÉTUDE GÉOLOGIQUE Sondage carotté <i>Estimation qualitative</i>	35 % du coût
ÉTUDE EN LABORATOIRE Granulométrie - Minéralogie - Calcimétrie Géotechnique - Maniabilité des mortiers Éprouvettes de béton	15 % du coût
ÉTUDE D'ENVIRONNEMENT	20 % du coût

Études en laboratoire

L'objectif principal d'une campagne en mer est de localiser des gisements de granulats susceptibles de pallier la pénurie des sables à bétons terrestres, liée à l'accroissement continu de la consommation dans un contexte régional donné :

- arrêt de l'exploitation des dunes,
- ressources alluvionnaires terrestres limitées.

C'est en fonction des caractéristiques spécifiques aux granulats à bétons que sont appréciées les propriétés des différents échantillons recueillis au cours des travaux de sondage en mer.

Ces propriétés ont une large influence sur les possibilités de commercialisation des granulats. L'exemple des sables du gisement du Matelier au large de la Gironde est significatif pour cerner les traitements à apporter à certains matériaux marins en vue de les rendre convenables à la fabrication des bétons. Ce gisement, découvert en 1979, contient des matériaux moyens, bien triés, riches en sable siliceux (90 % de quartz). Les essais de résistance mécanique réalisés ont donné des résultats satisfaisants et conformes aux spécifications (fascicules 23 et 65). Par contre, la granularité est mal adaptée à la fabrication des bétons hydrauliques, car ceux-ci requièrent une composition granulométrique étalée. Les sables du Matelier sont trop riches en éléments compris entre 0,16 mm et 0,63 mm.

Pour pouvoir utiliser ces matériaux, il faut donc diminuer cette quantité d'éléments, soit en éliminant une partie, soit en y ajoutant des éléments plus fins et plus grossiers. La première solution de traitement ne semble pas envisageable car il faudrait éliminer 70% de sable pour obtenir un module de finesse convenable (problème de criblage et de stockage de la fraction résiduelle).

La deuxième solution semble plus réalisable, et particulièrement dans cette région où il existe des sables issus de concassage de calcaires tendres.

Études d'environnement

Des méthodes et un savoir-faire permettent d'analyser correctement les demandes d'extraction ainsi que de conseiller les services compétents sur les facteurs à contrôler en cours d'exploitation.

On peut donc, sans crainte majeure, mais sous réserve d'une analyse sérieuse des demandes, accorder certaines autorisations d'exploitation sur le plateau continental français, d'autant plus que celles-ci ont encore un caractère très ponctuel.

Néanmoins, les taux d'extraction sont actuellement faibles : quelques millions de tonnes par an. L'évolution des besoins laisse prévoir que dans une dizaine d'années ce taux d'extraction se chiffrera par dizaine de millions de tonnes. On se trouvera donc confronté à une situation nouvelle et il est possible, si une gestion rationnelle du milieu marin n'est pas mise sur pied d'ici là, qu'on dépasse, dans certaines régions, le niveau tolérable d'exploitation. Pour déterminer ces seuils, une meilleure connaissance des zones exploitées doit être acquise, ainsi que celle des équilibres biologiques dont elle est le siège. C'est aussi un problème plus général qui touche l'ensemble des rejets à la mer, des pollutions par les fleuves, des développements industriels. Du fait même du caractère synergique de tous ces facteurs d'altération du milieu, il va falloir, dans un tout prochain avenir, les penser dans leur ensemble comme on gère, dans leur ensemble, les problèmes de l'eau dans une agence de bassin.

Ces études d'impact devront donc comprendre :

- une étude hydrodynamique du milieu (courants, houles, marées),
- une étude sédimentologique,
- une étude du milieu benthique
- une étude des ressources halieutiques
- une prévision des conséquences probables
- des propositions pour en limiter les effets.

2. UNE TRILOGIE : EXTRACTION - TRANSPORT - DÉCHARGEMENT

L'avènement des dragues aspiratrices en marche a permis d'augmenter la taille des navires et de diminuer le temps de rotation ; la quantité de matériaux déchargés quotidiennement devient importante, le plus souvent supérieure au marché journalier. Ainsi, une drague de 3 000 tonnes de chargement effectuant trois rotations par jour pendant 20 jours débarquera 180 000 tonnes, soit environ 100 000 m³. Si la cadence de commercialisation est d'environ 1 000 m³ par jour, il faut prévoir le stockage sur place de 80 000 m³ afin d'éviter les ruptures de charge.

C'est ainsi que les installations à terre devront comprendre un quai d'accostage des navires, des aires d'entrepôt, le raccordement à l'eau industrielle, une alimentation électrique, quelques bâtiments et un pont bascule. Le déchargement nécessite une bande transporteuse, un tunnel de reprise pour un stock de 10 000 m³, une installation de traitement (criblage et parfois concassage), le traitement des eaux usées et du matériel de carreau (manipulation des produits finis).

Il est possible d'évaluer l'investissement de telles structures qui sont la base de toute opération commerciale de matériaux marins :

- investissement d'une drague de 3 500 tonnes (longueur 100 m, largeur 16 m, tirant d'eau en charge 5,30 m), équipée d'une pompe centrifuge avec élinde de 0,80 à 1 m de diamètre, capable de travailler sous 35 m d'eau avec des creux de 5 m environ : coût = 40 à 45 millions de francs (valeur 1982).
- investissement à terre : 9,5 millions de francs
 - quai, aires d'entrepôt, eau industrielle : 0,5 millions de francs
 - alimentation électrique : 0,2 millions de francs
 - bâtiments et pont bascule : 0,4 millions de francs
 - bande transporteuse et tunnel de reprise : 0,5 millions de francs
 - installation de traitement : 5 millions de francs
 - traitement des eaux usées : 0,4 millions de francs
 - matériel de carreau : 2,5 millions de francs

Outre ces investissements de base, de nombreuses taxes et redevances viennent s'ajouter au prix de revient de la tonne de matériaux extraite :

- droit de port	1,00 F/tonne
- pilotage	0,50 F
- lamanage	0,20 F
- courtage	0,15 F
- dockers	0,30 F
- taxe parafiscale	0,05 F
- redevance domaniale	2,00 F
- autres droits	0,05 F

soit **4,25 F**

Dans l'hypothèse d'une exploitation de 800 000 tonnes par an et compte tenu des investissements, le prix de revient de la tonne se situe entre 30 et 35 F. Dans le cas le plus simple d'un caboteur transformé en drague (cas courant en Bretagne) avec une installation de criblage, le prix de revient de la tonne diminue jusqu'à 24 F environ.

3^e partie :

LA SITUATION DANS DIVERS PAYS

I. LA FRANCE

1. LA LÉGISLATION

L'exploitation des sables et graviers siliceux marins entre dans le champ d'application de la législation minière.

Longtemps considérés comme produits de carrières ou comme produits de mines —suivant qu'ils se situaient à l'intérieur ou à l'extérieur des eaux territoriales (donc en deça ou au-delà de 12 milles nautiques)— les granulats marins relevaient, pour leur exploitation, d'une réglementation applicable au domaine terrestre et totalement inadaptée au domaine maritime.

Avec la loi n° 76-646 du 16 juillet 1976 (1) relative à la prospection, à la recherche et à l'exploitation des substances minérales non visées à l'article 2 du Code Minier et contenues dans les fonds marins du domaine public métropolitain, suivie des décrets n° 80-470 du 18 juin 1980 (3) portant application de cette loi et n° 80-204 du 11 mars 1980 (2) relatif aux titres miniers, la réglementation applicable à l'exploitation des granulats marins prend une orientation "maritime" et s'adapte à ce milieu très spécifique.

Qu'ils soient situés à l'intérieur ou à l'extérieur des eaux territoriales, les sables et graviers siliceux marins sont désormais considérés comme produits de mines (on envisage d'y inclure les sables calcaires et le maërl).

Leur exploitation est donc soumise à la délivrance de titres miniers. Les demandes de titres miniers et d'autorisations domaniales faisant l'objet d'un dossier unique comprenant notamment une évaluation des quantités de substances que le demandeur envisage d'extraire annuellement sont définies par l'arrêté du 6 novembre 1980 (4). Les autorisations domaniales sont délivrées pour la durée du titre minier. L'exploitation est frappée d'une redevance domaniale définie comme redevance d'occupation temporaire du domaine public maritime.

(1) *J.O. du 17.07.76*

(3) *J.O. du 27.06.80*

(2) *J.O. du 16.03.80*

(4) *J.O. du 13.01.81*

La prospection, la recherche et l'exploitation des granulats marins font désormais l'objet de titres miniers délivrés par le Ministre chargé des Mines.

La mise en place de cette nouvelle réglementation ouvre la voie d'une exploitation rationnelle des ressources minérales sous-marines et doit permettre enfin le développement de l'exploitation des granulats marins.

2. LES ACTIVITÉS

L'extraction

L'extraction est réalisée au moyen de deux techniques bien distinctes: le prélèvement mécanique par benne preneuse et l'aspiration hydraulique par pompe.

La plus ancienne, la technique de la benne preneuse, est encore largement utilisée: elle équipe 22 navires sur les 40 en service en France. Cette technique est particulièrement adaptée à l'exploitation des accumulations limitées en superficie et de grande épaisseur.

Le déchargement

Tous les navires sabliers armés en France sont de type "porteurs" et "auto-déchargeurs". De même que pour l'extraction, deux techniques sont principalement utilisées pour décharger les matériaux extraits: la benne preneuse et le refoulement hydraulique.

Mise en œuvre par mât de charge ou par la grue du bord, la benne preneuse est utilisée pour le déchargement à sec des matériaux.

A l'inverse, le déchargement hydraulique impose de réinjecter de l'eau dans la cale du navire pour fluidifier les matériaux extraits et les aspirer au moyen de la pompe du bord qui les refoule sur le quai dans un bac de décantation.

Plus rapide, cette deuxième technique nécessite cependant un investissement supplémentaire pour la construction de bacs de décantation et ne permet pas l'utilisation immédiate des matériaux déchargés.

Les matériaux marins exploités dans les eaux territoriales françaises sont débarqués dans 28 ports du littoral compris entre Calais et Bordeaux et représentent, pour certains, la quasi totalité du trafic portuaire.

Le traitement

Les matériaux marins exploités en France sont l'objet de traitement plus ou moins élaborés selon leur destination. Le but des opérations est d'améliorer, par des méthodes physiques et mécaniques, la qualité et la présentation des matériaux sans en altérer leur valeur propre.

De nombreuses installations de traitement fonctionnent avec le lavage, le criblage, accessoirement le broyage des éléments les plus grossiers, l'élimination des coquilles, afin de répondre aux spécifications granulométriques du marché.

La production

La production totale de matériaux marins exploités en 1982 dans les eaux territoriales françaises a été de 4 Mn de tonnes de sables et graviers siliceux et de 0,6 Mn de tonnes d'amendements calcaires, auxquels il faut ajouter environ 1 Mn de tonnes débarqués provenant d'Angleterre (tableau 4).

Les matériaux marins représentent environ 1,2 % de la production globale des granulats ; le chiffre d'affaires réalisé par l'armement français est d'environ 80 millions de francs.

Tableau 4 - **Amendements calcaires marins exploités dans les eaux territoriales françaises**

(Source : S.N.A.M.)

Département	Ports	Production en tonnes		
		1980	1981	1982
Ille-et-Vilaine :	St-Malo	152 615 t	167 400 t	135 570 t
	Total	152 615 t	167 400 t	135 570 t
Côtes-du-Nord :	St-Brieuc-Le-Légué	76 015 t	45 550 t	70 200 t
	Paimpol	1 700 t	6 480 t	1 935 t
	Pontrieux	74 893 t	73 000 t	90 500 t
	Tréguier	1 600 t	19 000 t	15 130 t
	Lannion	550 t	7 950 t	12 375 t
	Total	154 758 t	151 980 t	190 140 t
Finistère :	Morlaix	47 911 t	47 804 t	45 300 t
	Roscoff	—	—	6 100 t
	Pont-L'Abbé	43 045 t	36 511 t	38 462 t
	Loctudy	5 548 t	1 842 t	9 383 t
	Quimper-Corniguel	32 223 t	28 482 t	32 802 t
	Concarneau	9 550 t	10 890 t	11 779 t
	Quimperlé	—	2 885 t	8 840 t
	Total	138 277 t	128 414 t	152 666 t
Morbihan :	Lorient	15 219 t	9 510 t	9 426 t
	Hennebont	20 855 t	34 990 t	36 559 t
	Vannes	—	5 740 t	650 t
	Total	36 074 t	50 240 t	46 635 t
	Total amendements	481 724 t	498 034 t	525 011 t

**Sables et graviers
exploités dans les eaux territoriales françaises**

(Source : S.N.A.M.)

Département	Ports	Production en tonnes		
		1980	1981	1982
Seine Maritime :	Le Havre Dieppe	372 716 t	385 090 t	383 639 t
		693 436 t	471 010 t	418 992 t
	Total	1 066 152 t	856 100 t	802 631 t
Ille-et-Vilaine :	St-Malo Redon	54 250 t	37 350 t	42 275 t
		—	32 300 t	27 970 t
Total		54 250 t	69 550 t	70 245 t
Côtes-du-Nord :	St-Brieuc-Le Légué Paimpol Pontrieux Tréguier Lannion	87 020 t	76 680 t	75 985 t
		240 t	14 250 t	15 400 t
		23 400 t	25 200 t	30 300 t
		55 350 t	71 580 t	65 090 t
		84 160 t	81 500 t	59 435 t
	Total	250 170 t	269 210 t	246 210 t
Finistère :	Morlaix Roscoff Abers Benoist, Ildut Landerneau Brest Le Fret (Crozon) Camaret Loctudy Quimper-Corniguel Concarneau Quimperlé	41 108 t	40 730 t	43 300 t
		—	2 850 t	3 455 t
		200 000 t	211 448 t	194 398 t
		15 600 t	18 270 t	14 785 t
		—	16 000 t	—
		18 050 t	12 680 t	12 250 t
		2 650 t	3 620 t	1 350 t
		2 472 t	2 710 t	1 739 t
		76 431 t	83 285 t	81 893 t
		26 820 t	26 685 t	26 475 t
		17 229 t	17 000 t	16 500 t
	Total	400 360 t	435 278 t	396 145 t
Morbihan :	Lorient Hennebont Vannes	243 860 t	291 590 t	250 610 t
		47 875 t	36 816 t	37 138 t
		8 450 t	—	—
	Total	300 185 t	328 406 t	287 748 t

Département	Ports	Production en tonnes		
		1980	1981	1982
Loire Atlantique :	Montoir-de-Bretagne	600 000 t	452 950 t	773 250 t
	St-Nazaire	—	170 440 t	201 235 t
	Nantes	200 000 t	277 755 t	239 498 t
	Nantes Ste-Luce	—	53 420 t	62 940 t
	Nantes-Cordemais	—	—	131 550 t
	Total	800 000 t	954 565 t	1 408 473 t
Vendée :	Sables-d'Olonne	185 680 t	173 990 t	159 270 t
	Total	185 680 t	173 990 t	159 270 t
Charente-Maritime :	La Rochelle-Pallice	319 954 t	325 340 t	331 845 t
	La Rochelle-Port	—	—	39 430 t
	Rochefort-sur-Mer	11 325 t	15 046 t	52 590 t
	Tonnay-Charente	—	58 390 t	64 050 t
	Royan	167 558 t	135 530 t	127 690 t
	Barzan	—	88 710 t	109 545 t
	Mortagne-sur-Gironde	125 800 t	68 990 t	36 460 t
	Total	624 637 t	692 006 t	761 610 t
Gironde :	Blaye	10 000 t	9 000 t	7 800 t
	Pauillac	5 000 t	10 000 t	19 410 t
	Total	15 000 t	19 000 t	27 210 t
	Total sables et graviers :	3 696 434 t	3 798 105 t	4 159 542 t

Sables et graviers marins Importations

(Source : S.N.A.M.)

	Ports	Importations		
		1980	1981	1982
	Dunkerque	848 768 t	855 909 t	814 352 t
	Calais	166 590 t	164 466 t	118 924 t
	Boulogne	1 803 t	588 t	1 042 t
	Fécamp	22 577 t	17 000 t	30 501 t
	Caen-Ouistreham	54 580 t	40 789 t	40 418 t
	Tréguier	4 696 t	—	—
	Roscoff	65 800 t	56 350 t	43 324 t
	Brest	20 339 t	—	—
	Total	1 185 153 t	1 135 102 t	1 048 561 t

3. L'ARMEMENT SABLIER FRANÇAIS

Les entreprises

Le marché national des granulats marins se partage entre les sociétés de commercialisation qui, possédant un permis d'extraction sur un gisement, sous-traitent le dragage à des compagnies la plupart du temps étrangères (hollandaises, anglaises ou belges) possédant de puissants navires et, d'autre part, des sociétés purement françaises qui exploitent, traitent les matériaux et les commercialisent.

L'exploitation des granulats et amendements marins est réalisée en France par 29 armements français répartis sur le littoral ouest compris entre Saint-Malo et Bordeaux.

75 % de ces entreprises sont de type artisanal et 25 % de type industriel ou semi-industriel.

Géographiquement, ces armements sont implantés à raison de 1 à 5 par département côtier : Ille-et-Vilaine 1, Côtes-du-Nord 5, Morbihan 2, Loire-Atlantique 3, Charente-Maritime 5, Gironde 2, à l'exception du Finistère qui compte 11 armements sabliers.

Héritage d'une activité ancestrale liée, d'une part, à l'exploitation des amendements marins —faute de ressources calcaires terrestres— et, d'autre part, à une multitude de petits ports disséminés dans les abers et multiples estuaires de l'ouest de la Bretagne, les armements sabliers concentrés dans le département du Finistère représentent en nombre 38 % de l'armement français.

Les sabliers et les dragues

40 navires sabliers sont armés en France à l'exploitation des granulats et amendements marins. Parmi ces navires, 18 disposent d'un équipement de type drague aspiratrice, soit 45 % de la flotte sablière, et 22 sont équipées de bennes preneuses mises en œuvre au moyen d'un mât de charge ou d'une grue.

Les avantages économiques de la technique de l'aspiration des matériaux ont conduit, au cours des cinq dernières années, à une utilisation accrue des dragues. Avec 18 unités en service, elles représentent en jauge brute 75 % de la flotte sablière française.

Compatible avec l'utilisation de navires à plus fort tonnage, pouvant travailler par gros temps et dans de meilleures conditions de sécurité, augmenter le nombre des rotations et exploiter à des profondeurs plus importantes avec de moindres pertes de temps, la drague aspiratrice a permis de réaliser des gains de productivité très importants et constitue, pour la flotte sablière, un progrès technique indiscutable.

Tous les navires sabliers actuellement en service sont des navires porteurs et réalisent simultanément les trois opérations : extraction des matériaux, transport maritime et déchargement à quai.

Les effectifs

L'effectif embarqué sur les navires sabliers français est d'environ 200 personnes. L'armement français de navires sabliers emploie un effectif global d'environ 310 personnes dépendant directement de l'exploitation des granulats et amendements marins.

Les usines et installations de traitement des matériaux extraits emploient par ailleurs un effectif supérieur à 1 000 personnes.

Le syndicat national des armateurs

Le développement spectaculaire de l'activité des armements sabliers au cours de la période 1958-1970 a très vite conduit la profession à s'organiser et à se regrouper pour défendre les intérêts communs liés à cette activité.

Ainsi, dès 1969, naissait à Pontrioux (Côtes-du-Nord) le syndicat des armateurs sabliers de Bretagne-Nord, issu de l'extension du syndicat des sabliers des Côtes-du-Nord, premier syndicat ayant regroupé les membres de la profession. Quatre ans plus tard, les armements de la côte sud rejoignent le syndicat constitué en 1969 qui, en 1973, prend alors la dénomination de syndicat des armateurs sabliers de Bretagne, lequel regroupe les Armateurs des quatre départements bretons.

En 1977, devant la menace de l'exploitation des granulats et amendements marins par des dragues étrangères dans les eaux territoriales françaises, tous les armements français se réunissent pour s'opposer aux dérogations au monopole du pavillon et jeter les bases d'un syndicat national.

Un an plus tard, en mars 1978, le syndicat national des armateurs extracteurs de matériaux marins (S.N.A.M.) dont le siège est à Nantes, est officiellement créé.

Composé uniquement de membres actifs, il regroupe des personnes armant des navires affectés à l'extraction et à l'exploitation des amendements, des sables et gravières marins siliceux ou calcaires.

SABLIERS FRANÇAIS

Nom	Jauge brute en Tx	Capacité		Benne ou drague	Armement
		en T	en m ³		
Diamont I'	50	60	40	B	J. Poirier - St-Pierre-et-Miquelon
Muguet	42	65	40	B	Y. Le Carou - Lézardrieux
Aviateur Mermoz	29	65	50	B	R. Corolleur - Lampaul-Plouarzel
Fleur de Mai	40	80	55	B	J. Arzel - Lampaul-Plouarzel
Fleur du Trégor	67	120	70	B	Y. Le Jolu - Tréguier
Goyen	83	120	80	B	Sté M.T.M. - Lannilis
Noël Pascal	93	125	85	B	F. Bescond - Landéda
Dieu Protège	75	130	90	B	P. Floch - St-Pabu
Reine du Léon	76	130	90	B	L. Guélenno - Landéda
Le Scorff	94	140	90	B	J. Le Reste - Hennebont
Toulfoen II	90	140	100	B	J. Bauséjour - Quimperlé
Saint-Vorand	99	150	120	B	C. Donat - Pont-l'Abbé
Kerdonis	146	155	120	B	Y. Le Carou - Lézardrieux
Jean-Michel	128	175	140	B	Sté Sabliers de l'Odet - Bénodet
Plouasnou	196	220	140	D	S.A.E.M. Prigent - Morlaix
Plouvorn	244	220	140	D	S.A.E.M. Prigent - Morlaix
Treaz-Gwenn	194	220	150	B	X. Hansen - St-Pabu
Belle Gelica	195	250	160	B	F. Cholet - Grezillac
Reine des Abers	145	200	160	B	Y. Quéméneur - Lampaul-Plouarzel
Kerlidou	205	240	160	B	F. Bescond - Landéda
Sir Cedric	269	225	170	D	Sté Derrien-Bichue - Lannion
Falleron	208	280	200	B	J. Quéméneur - Lampaul-Plouarzel
Banco	269	400	230	B	Sté Sabliers de l'Odet - Bénodet
Zorba	269	400	250	B	L. Rivière - Royan
Penfoul	330	430	270	B	Sté Sabliers de l'Odet - Bénodet
Kenavo	299	550	310	D	Sté Sabliers de l'Odet - Bénodet
Don Pedro	420	600	350		Sté Blayaise de Transports - Blaye
Franjack	498	740	380	D	Sté Sagua - La Guadeloupe
Don Pancho	408	600	380	D	L. Rivière - Royan
Atlantique	470	950	415	D	Sté C.E.T.R.A. - Donges
Ferlas	481	670	420	D	L. Piriou - Ploumagoar
Corsen	499	800	500	D	L. Piriou - Ploumagoar
Secma	536	800	500	D	Sté Timac - St-Malo
Amiral Duperré	652	800	500	D	L. Rivière - Royan
Nathalie	714	1 807	546	D	Sté S.A. RE. LO - Nantes
Timac	791	1 200	685	D	Sté Timac - St-Malo
Grand Charles	716	1 300	685	D	Sté S.T.F.M.O. - Nantes
Pertuis	1 270	1 660	800	D	Sté D.T.M. - La Rochelle
Santiago de Bougado	897	1 500	800	D	Sté C.E.T.R.A. - Donges
Trofa	999	1 750	948	D	Sté C.E.T.R.A. - Donges

II. LA GRANDE-BRETAGNE

La Grande-Bretagne reste le pays qui, depuis 1959, utilise de façon courante les matériaux marins pour son équipement. A cette époque, ce pays extrayait 3,9 millions de tonnes équivalant à 5,7 % de la production totale des granulats. Actuellement, avec 19 %, représentant 16,5 millions de tonnes, elle est le premier producteur européen de granulats marins (fig. 9).

L'étude des ressources est liée, en Grande-Bretagne, à l'octroi de permis de recherche et d'exploitation. L'entreprise intéressée se charge elle-même de la prospection, et les résultats obtenus sont sa propriété.

Cependant, les renseignements sont regroupés à l'Institute of Geological Sciences et au Crown Estate, organisme qui n'a pas d'équivalent en France. Les huit membres de cet organisme, "Crown Estate Commissioners", sont nommés par le gouvernement et délivrent les permis d'exploration et d'exploitation à l'intérieur des eaux territoriales.

Le permis de recherche autorise une société à prospecter pendant deux ans et à prélever jusqu'à 1 000 tonnes de matériaux pour les analyses.

L'obtention du permis d'extraction exige un procédé plus compliqué. Les commissionnaires consultent d'abord le ministère de l'Environnement ; s'il existe un danger d'érosion des côtes, le permis est refusé sans recours possible. D'autre part, les commissionnaires consultent le ministère de l'Énergie pour l'emplacement des oléoducs et gazoducs, le ministère de la Défense pour les zones réservées à la Marine et le Département des Postes pour l'emplacement des câbles sous-marins.

Si un désaccord existe, les commissionnaires procèdent à des négociations afin de trouver une solution satisfaisante. En cas de désaccord, l'exploitation peut être interdite partiellement ou entièrement ; il n'existe pas d'autorité officielle pour décider de la valeur des arguments des différents ministères.

Les entreprises anglaises ont souvent deux sources d'approvisionnement : marine et terrestre. Les matériaux terrestres sont, la plupart du temps, transportés par route, le réseau ferroviaire étant insuffisant. Ces ressources sont importantes mais la réglementation sur l'environnement est draconienne de sorte que, de plus en plus, il sera nécessaire d'importer des matériaux marins.

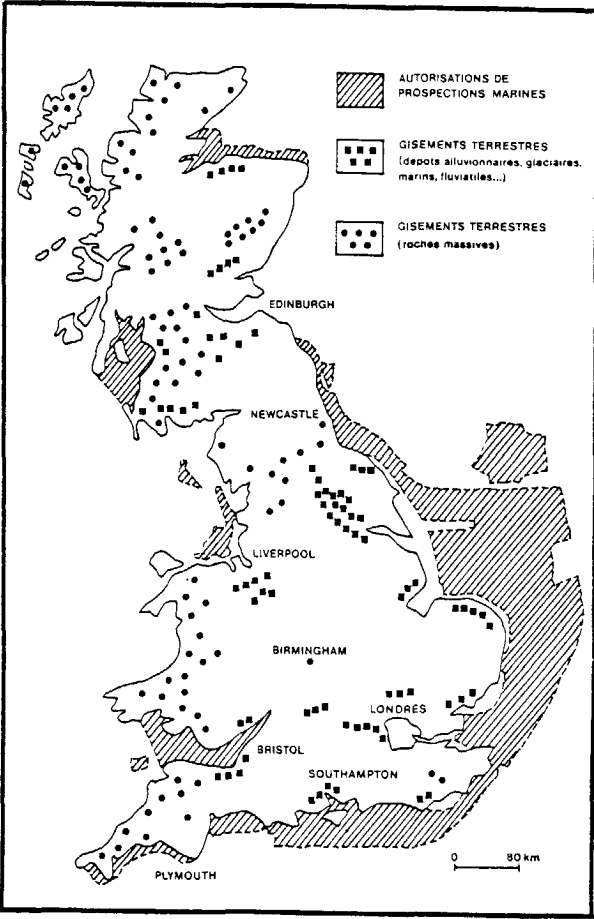
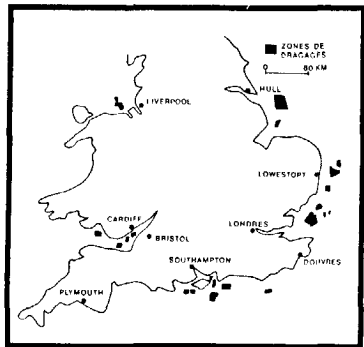


Fig. 9 :
Les granulats marins
en Grande-Bretagne.



Dans ce contexte, les granulats marins ont effectué une percée importante sur le marché. L'exemple du sud-est de l'Angleterre avec Londres est caractéristique. En effet, les dragues peuvent remonter la Tamise et arriver jusqu'au centre de la capitale. Les matériaux sont traités sans avoir subi aucune rupture de charge depuis le gisement. Un court voyage routier les amène sur les lieux de consommation. Ainsi, le coût des transports n'a qu'une influence limitée sur le prix des granulats marins.

De ce fait, les entreprises se sont développées et ont acquis des moyens techniques plus importants. En 1960, les dragues avaient une capacité moyenne de 700 tonnes et étaient déchargées à quai par des grues terrestres. Actuellement, la capacité moyenne est de 3 000 tonnes et les bateaux déchargent leurs matériaux eux-mêmes.

L'industrie britannique des sables et graviers marins se répartit en sept importantes compagnies qui fournissent 95 % des matériaux dragués dans la Manche et dans la mer du Nord. Les 5 % restant proviennent d'une dizaine de petits exploitants travaillant dans les estuaires et les rivières.

La production annuelle de matériaux marins est de 26 millions de tonnes dont 20 % sont destinés aux ports du nord de la France, de la Belgique et de la Hollande.

Les producteurs de granulats terrestres et marins sont regroupés dans une association qui compte 190 sociétés : S.A.G.A. (Sand and Gravel Association). Son but n'est pas le commerce, mais concerne surtout les problèmes techniques, l'utilisation des sables et graviers, l'information sur l'évolution des lois en vigueur et la promotion de leur profession. Pour la partie marine de cette association, elle s'attache en plus à assouplir les liens avec les administrations qui réglementent l'extraction en mer.

III. AUTRES PAYS

De nombreux pays s'approvisionnent depuis longtemps en mer pour leurs besoins en sables et graviers.

Ainsi, le Japon en 1968 produisait déjà 13 millions de tonnes de granulats marins représentant 8% de la production totale; l'accroissement fut rapide car, en 1971, les extractions en mer étaient alors de 45 millions de tonnes représentant 12% de la production globale (1^{er} producteur mondial). Actuellement, le Japon produit 57 millions de tonnes (fig. 11).

Devant cette augmentation des exploitations et par crainte d'épuisement des réserves, le Service Géologique du Japon a entrepris, depuis quelques années, la reconnaissance de zones situées jusqu'à 100 m de profondeur.

En 1980, les U.S.A. produisaient 720,6 Mn de tonnes de sables et graviers destinés à la construction et à l'industrie; cette même année, l'Australie en produisait 134,5 Mn de tonnes. Dans ces deux importants pays, la part des matériaux marins dans leur approvisionnement reste faible (fig. 10).

En Europe, les Pays-Bas et le Danemark produisaient en 1977 respectivement 7,6 et 9,5 millions de tonnes de granulats marins.

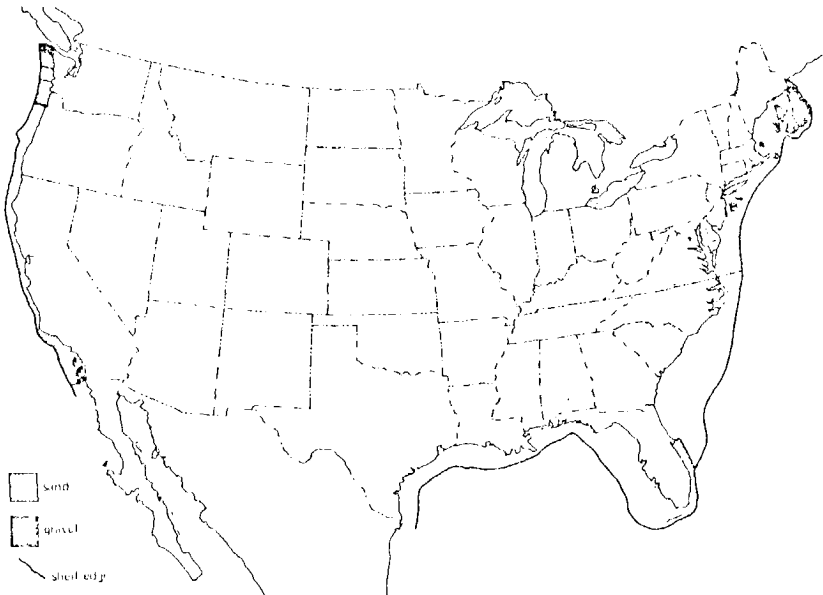


Fig. 10 : Exploitation des sables et graviers aux États-Unis.

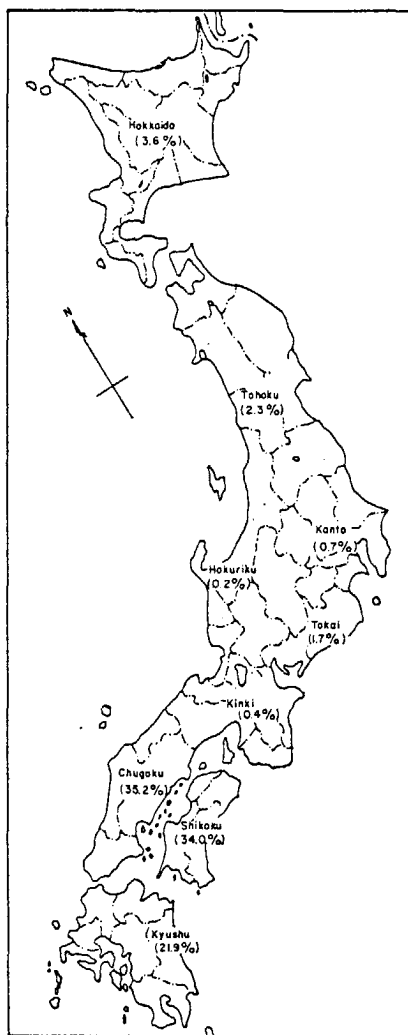


Fig. 11 : Exploitation des sables et graviers au Japon.

PERSPECTIVES

Actuellement en France, la part des granulats marins dans la production nationale n'atteint pas 2%. Or, les réserves sont importantes près des régions déficitaires en matériaux de construction (large de la Loire pour la Bretagne, Vendée, Pays de Loire, en Baie de Seine pour la région parisienne). Sans atteindre le taux de l'Angleterre, les extractions de matériaux en mer pourraient augmenter dans les années à venir et se répartir le long des côtes de la Manche et de l'Atlantique sur les gisements déjà reconnus.

Ces gisements bien répertoriés ont fait l'objet d'études prises en charge par le CNEXO. D'autres études particulières, tout ou partie financées par des industriels sont réalisées depuis dans le but de localiser de nouveaux sites (baie de Lannion), ou de préciser l'extension de zones déjà connues (baie de St-Malo, large de Dieppe, baie de Seine).

De plus, des actions sont envisageables pour développer les granulats marins : études technologiques, géotechniques et d'environnement.

ÉTUDES TECHNOLOGIQUES

Un nouveau type de drague capable de travailler jusqu'à 35 m de profondeur, avec des creux de 4 à 5 m, tout en restant dans les limites de 1 500 tonnes de chargement permettrait l'approvisionnement de nombreux ports. En effet, les dragues actuelles sont souvent de trop grande capacité pour les ports secondaires français : tels Le Tréport, Ouistreham, Saint-Malo, Saint-Brieuc, Lannion, Morlaix, Quimper, Lorient, Les Sables-d'Olonne.

Les chantiers français seraient capables de concevoir et de construire un tel navire.

ÉTUDES GÉOTECHNIQUES

Il serait utile de réviser les normes de teneur en carbonates. En effet, dans de nombreux cas, la teneur en carbonates des sables marins excède 20%, or, lorsqu'il s'agit de débris de coquilliers, la qualité des bétons reste très acceptable. Une étude systématique à partir de la fabrication de mortiers et de bétons pourraient être envisagée.

Le C.E.B.T.P. et les laboratoires des Ponts et Chaussées pourraient conjointement réaliser cette étude.

Un autre domaine où les sables marins peuvent avoir un rôle à jouer est leur utilisation comme sables correcteurs de matériaux concassés dont les qualités pourraient être ainsi améliorées (exemple des matériaux du gisement du Matelier).

ÉTUDES D'ENVIRONNEMENT

Si devant quelques grandes régions industrielles le CNEXO a localisé des gisements susceptibles de pallier à leur approvisionnement dans les années à venir, il reste que la constitution d'un dossier d'impact nécessite un investissement scientifique qui n'est pas à la portée des pétitionnaires.

Le problème de l'approvisionnement en matériaux étant d'intérêt public, le CNEXO peut, sur les gisements considérés comme utiles pour le développement régional, réaliser les études géologique, biologique et hydrologique. Les résultats seront mis à la disposition des administrations régionales qui pourront les fournir aux demandeurs, ceux-ci auront alors la charge de réaliser le dossier d'impact.

Ces trois types d'études devraient permettre aux granulats marins de devenir en France des matériaux de substitution, comme ils le sont devenus en Angleterre ou au Japon.

Enfin, l'expérience acquise par le CNEXO en France pourra être utilisée soit dans les départements et territoires d'outre-mer, soit dans les pays en voie de développement.

Dans les départements d'outre-mer, les Antilles par leur nature géologique ont des problèmes d'approvisionnement en granulats ; actuellement, les matériaux extraits sont surtout calcaires (sables coralliens). Dans les territoires d'outre-mer, la Polynésie assure ses besoins grâce à quelques importations fort coûteuses.

Dans les pays en voie de développement, le savoir-faire s'adaptera aux nécessités locales :

- pour les granulats siliceux : techniques de recherche et d'estimation de gisement, études d'environnement.
- pour les granulats calcaires : recherche et valorisation de ces matériaux pour la fabrication des ciments ou l'amendement agricole.

RAPPORTS "GRANULATS MARINS" RÉALISÉS POUR LE COMPTE DU CNEOX

(Ces rapports peuvent être consultés au
Centre Océanologique de Bretagne, Brest)

ÉTUDES RÉGIONALES

	N° classe- ment CNEOX
Région Nord-Picardie	
<i>Géophysique :</i> GÉOTECHNIP - <i>Prospection au large de Grave-lines</i> - Contrat CNEOX, 1970.	3
<i>Géophysique :</i> GÉOTECHNIP - <i>Recherche de graviers au large de Boulogne et Wissant</i> - Contrat CNEOX, port autonome de Dunkerque, 1971.	4
<i>Géotechnique :</i> LABO P. et Ch. LILLE - <i>Étude géotechnique de sédiments de la Manche</i> - Contrat CNEOX 1969.	1
<i>Géophysique :</i> GÉOTECHNIP - <i>Reconnaissance géologique de la Manche orientale</i> - Contrat CNEOX, 1969.	2
<i>Géophysique :</i> BEICIP - <i>Recherche de sables et graviers en Manche orientale</i> - Contrat CNEOX, 1972/507.	6
<i>Sondage :</i> ALLUVIAL MINING - <i>Report on the amdrill sampling survey undertaken on the continental shelf off the northern coast of France, part one: la Manche orientale</i> - Contrat CNEOX, 1972/547.	7
 Région Normandie	
<i>Géophysique :</i> GÉOTECHNIP - <i>Reconnaissance géologique de la Manche orientale</i> - Contrat CNEOX, 1969.	2
<i>Géophysique :</i> BEICIP - <i>Recherche de sables et graviers en Manche orientale</i> - Contrat CNEOX, 1972/507.	6
<i>Sondage :</i> ALLUVIAL MINING - <i>Report on the amdrill sam-</i>	

	<i>pling survey undertaken on the continental shelf off the northern coast of France, part one : la Manche orientale - Contrat CNEXO, 1972/547.</i>	7
<i>Géophysique :</i>	BEICIP, Baie de Seine - <i>Recherche d'agrégats marins - Contrat CNEXO, 1972/506.</i>	8
<i>Sondage :</i>	ALLUVIAL MINING - <i>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.</i>	9
<i>Économie :</i>	SERETE ÉTUDES - <i>Exploitation des sables et graviers d'origine marine pour l'approvisionnement de la région parisienne à l'horizon 1985 - Contrat CNEXO, 1972.</i>	10
<i>Maërl :</i>	Labo Géomorphologie de EPHE - <i>Le maërl sur le littoral français de la Baie de Seine à la Baie de Bourgneuf - Contrat CNEXO, 71/360.</i>	16
<i>Environnement :</i>	CEA-LCHF - <i>Étude des gravières marines. Comportement physique des particules fines remises en suspension - Contrat CNEXO.</i>	33
<i>Environnement :</i>	CNRS, Station Biologique de Roscoff - <i>Benthos de la Manche et effets des extractions d'agrégats sur l'environnement marin - Contrat CNEXO, 75/5136.</i>	34
<i>Environnement :</i>	ISPTM - <i>Les effets de l'exploitation des sables et graviers sur la pêche et la faune marine en Baie de Seine orientale - Contrat CNEXO, 73/854.</i>	35
<i>Environnement :</i>	CNRS, Station Biologique de Roscoff - <i>Étude de la souille expérimentale de la Baie de Seine - Contrat CNEXO, 79/6065.</i>	61

Région Bretagne - Pays de Loire

Sables siliceux

<i>Géophysique :</i>	BEICIP - <i>Recherche de sables et graviers dans le golfe de Saint-Malo - Contrat CNEXO, 1972/508.</i>	11
<i>Sondage :</i>	ALLUVIAL MINING - <i>Report on the amdrill sampling survey undertaken on the continental</i>	

	<i>shelf off the northern coast of France, part three: North Brittany</i> - Contrat CNEXO, 1972/549.	12
<i>Géophysique :</i>	BRGM - <i>Recherche de granulats marins dans le golfe normand-breton</i> - Étude par sismique-réflexion, Contrat CNEXO, rapport 80 SGN 918 MAR, décembre 1980.	55
<i>Sondage :</i>	BRGM - <i>Recherche de granulats marins dans le golfe normand-breton</i> - Étude par vibro-sondages, Contrat CNEXO, rapport 80 SGN 675 MAR, octobre 1980.	56
<i>Géotechnique :</i>	C.E.T.E. de l'Ouest, laboratoire régional de Saint-Brieuc- <i>Étude géotechnique des granulats marins prélevés au sud-ouest des Iles Chausey</i> - Contrat CNEXO, 80/6337, septembre 1982.	59
<i>Synthèse :</i>	CNEXO - <i>Recherche de granulats marins dans le golfe normand-breton</i> - avril 1982.	60
<i>Bibliographie :</i>	BRGM - <i>Recherche de granulats marins en Baie de Lannion</i> - Étude bibliographique, Contrat CNEXO, rapport 79 SGN 556 MAR.	46
<i>Géophysique :</i>	BRGM - <i>Recherche de granulats marins en Baie de Lannion</i> - Étude par sismique-réflexion continue, Contrat CNEXO, rapport 79 SGN 547 MAR.	47
<i>Sondage :</i>	BRGM - <i>Recherche de granulats marins en Baie de Lannion</i> - Rapport technique de la mission de sondages, Contrat CNEXO, 79 SGN 528 MAR.	48
<i>Synthèse :</i>	CNEXO - <i>Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région de Lannion</i> - janvier 1981.	57
<i>Géophysique :</i>	BEICIP - <i>Recherche d'agrégats marins au sud de la Bretagne</i> - Contrat CNEXO, 1973/767.	18
<i>Géophysique :</i>	BEICIP - <i>Recherche d'agrégats marins au sud de la Bretagne</i> - Contrat CNEXO, 1974/1055.	20
<i>Géophysique :</i>	BEICIP - <i>Recherche par sondage des granulats marins au sud de la Bretagne</i> - Contrat CNEXO, 1975/1262/B, 75 SGN 205 MAR.	25

<i>Géotechnique :</i>	Labo P. et Ch. SAINT-BRIEUC - <i>Recherche de granulats marins au sud de la Bretagne</i> - Dossier 44.4.1.235.	26
<i>Synthèse :</i>	CNEXO - <i>Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la Bretagne. Les gisements du sud de la Bretagne</i> - mars 1976.	29
<i>Environnement :</i>	ISTPM - <i>Effets de l'exploitation des granulats marins sur les activités halieutiques</i> - Contrat CNEXO, ISTPM 77/1876, février 1980.	50
<i>Environnement :</i>	ISTPM - <i>Effets de l'exploitation des granulats marins sur les activités halieutiques en Sud Bretagne</i> - Contrat CNEXO, ISTPM 75/1342 B.	58
<i>Géophysique :</i>	CNEXO - <i>Les granulats marins siliceux et calcaires du littoral breton</i> - Note techn. n° 52, juillet 1976.	30
<i>Bibliographie :</i>	T.P.F. sur les granulats, CNEXO - BRGM-ISTPM - <i>Ressources littorales et granulats des régions Bretagne et Pays de Loire</i> .	41
<i>Économie :</i>	SERETE ÉTUDES - <i>Exploitation des sables et graviers d'origine marine pour l'approvisionnement de la région Bretagne</i> - Contrat CNEXO, 1974.	21
 <i>Sables calcaires</i>		
<i>Géophysique :</i>	BRGM - <i>Prospection de sables calcaires organogènes au large de Roscoff et en Iroise</i> - Contrat CNEXO - Ciments Français - Ciments LAFARGE, 72 SGN 417 MAR.	13
<i>Dragage :</i>	BRGM - <i>Reconnaissance détaillée des accumulations de sables biodétritiques calcaires de l'Iroise</i> - Contrat CNEXO 1973/827, 74 SGN 279 MAR.	17
<i>Sondage :</i>	BRGM - <i>Sables biodétritiques calcaires de l'Ouest de la Bretagne</i> - Contrat CNEXO, SGN 366 MAR, 1974.	19
<i>Valorisation :</i>	INRA, Station Agronomique de Quimper - <i>Étude des possibilités d'utilisation des sables calcaires organogènes marins découverts au</i>	

large de la Bretagne comme amendements calcaires - Contrat CNEXO, 74/1143, 75/1291 B, 76/5374, 77/5526, septembre 1979. 49

Maërl

Bibliographie : Labo Géomorphologie de EPHE - *Le maërl sur le littoral français de la Baie de Seine à la Baie de Bourgneuf* - Contrat CNEXO, 71/360. 16

Région Poitou-Charentes

Géophysique : BRGM - *Recherche de granulats marins dans la zone des pertuis charentais* - Étude par sismique-réflexion continue, Contrat CNEXO, 1975, 76 SGN 173 MAR. 31

Sondage : BRGM - *Recherche de granulats marins dans la zone des pertuis charentais, rapport d'implantation de sondages* - Contrat CNEXO, 1976, 76 SGN 431 MAR. 32

Géotechnique : Labo P. et Ch. SAINT-BRIEUC - *Pertuis charentais, rapport technique "granulats marins"* - Dossier 44.7.1.019. 37

Synthèse : CNEXO - *Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région Poitou-Charentes* - octobre 1977. 36

Environnement : ISTPM - *Effets de l'exploitation des granulats marins sur les activités halieutiques, contrat CNEXO-ISTPM 77/1876, février 1980.* 50

Région Aquitaine

Bibliographie : BRGM-SGN - *Étude géologique préliminaire à la recherche de granulats au large de l'estuaire de la Gironde* - Contrat CNEXO, 78 SGN 404 AQUI. 42

Géophysique : BRGM - *Recherche des granulats marins dans la zone de l'embouchure de la Gironde* - Étude par sismique-réflexion continue, Contrat CNEXO, 78 SGN 574 GPH. 43

<i>Synthèse :</i>	CNEXO - <i>Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région de Bordeaux - Bibliographie et résultats géophysiques</i> , décembre 1978.	44
<i>Sondage :</i>	BRGM - <i>Recherche de granulats marins au large de l'estuaire de la Gironde - Rapport d'implantation de sondages</i> , Contrat CNEXO, rapport 79 SGN 442 MAR.	45
<i>Géotechnique :</i>	BRGM - <i>Détermination des possibilités d'emploi de matériaux prélevés au large de la Gironde pour la confection de bétons hydrauliques - Étude géotechnique</i> , Contrat CNEXO, rapport 80 SGN 386 MTX mai 1980.	52
<i>Bibliographie :</i>	BRGM - <i>Recherches de granulats marins au large de l'estuaire de la Gironde. Profils géologiques dans la zone favorable</i> - Contrat CNEXO, rapport 80 SGN 370 AQUI, juin 1980.	53
<i>Synthèse :</i>	CNEXO - <i>Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région de Bordeaux</i> - septembre 1980.	54
<i>Géophysique :</i>	BRGM - <i>Campagne de sismique-réflexion continue pour la reconnaissance de sédiments meubles au large de l'Adour</i> - Contrat CNEXO, 77 SGN 472 MAR.	38
<i>Sondage :</i>	BRGM - <i>Recherche de granulats marins au large de l'Adour (sondages)</i> - Contrat CNEXO, 77 SGN 535 MAR.	39
<i>Synthèse :</i>	CNEXO - <i>Recherche de granulats marins pour l'approvisionnement de la région de Bayonne</i> - août 1978.	40
<i>Environnement :</i>	ISTPM - <i>Effets de l'exploitation des granulats marins sur les activités halieutiques</i> - Contrat CNEXO-ISTPM 77/1876, février 1980.	50

Région Languedoc-Roussillon

Bibliographie : Centre de Recherches de Sédimentologie Marine de Perpignan. *Recherche de granulats marins dans le golfe du Lion* - Étude biblio-

graphique, Contrat CNEXO 78/5755, mars 1980. 51

Région Provence-Côte d'Azur

- Géophysique* : MUSÉE OCÉANOGRAPHIQUE DE MONACO-
Recherches lithosismiques sur les sables du plateau continental du cap Couronne au cap Martin- Contrat CNEXO, 1971/320. 5
- Géophysique* : MUSÉE OCÉANOGRAPHIQUE DE MONACO-
Sables et graviers entre l'embouchure du Rhône et la frontière italienne- Contrat CNEXO, 1972/471. 14
- Bibliographie* : BLANC J. - *Recherche sur les gîtes sous-marins de sables et graviers sur le précontinent de Provence occidentale*- Contrat CNEXO, 1972/475. 15
- Bibliographie* : BLANC J. - *Recherche de sédimentologie appliquée au littoral du delta du Rhône de Fos au Grau du Roi*- Contrat CNEXO, 75/1193. 27

TECHNOLOGIE

- Technologie* : Univ. de NANTES - *Le dessalement des sables marins par lavage, par aspersion*- Contrat CNEXO, 74/953. 22
- Technologie* : ALSTHOM - *Tech. des Fluides, dessalage des sables marins calcaires*- Contrat CNEXO- R- 11987. 23
- Technologie* : ALSTHOM Tech. des Fluides - *Installation de dragage de sables marins calcaires à partir d'une tour fixe* - Contrat CNEXO - R - 12066. 24
- Technologie* : ALSTHOM Tech. des Fluides - *Extraction à moyenne profondeur d'agrégats marins*- Contrat CNEXO, 75/1404 R - 12621. 28

ENVIRONNEMENT

<i>Sédimentologie :</i>	CEA-LCHF - <i>Étude des gravières marines : comportement physique des particules fines remises en suspension</i> - Contrat CNEXO.	33
<i>Biologie :</i>	CNRS - <i>Station biologique de Roscoff, Benthos de la Manche et effets des extractions d'agrégats sur l'environnement marin</i> - Contrat CNEXO, 75/5136.	34
<i>Biologie :</i>	ISTPM - <i>Les effets de l'exploitation des sables et graviers sur la pêche et la faune marine en Baie de Seine orientale</i> - Contrat CNEXO, 73/854.	35
<i>Biologie :</i>	ISTPM - <i>Effets de l'exploitation des granulats marins sur les activités halieutiques en Sud Bretagne</i> - Contrat CNEXO-ISTPM 75/1342 B.	58
<i>Biologie :</i>	ISTPM - <i>Effets de l'exploitation des granulats marins sur les activités halieutiques</i> - Contrat CNEXO-ISTPM 77/1876 - février 1980.	50
<i>Biologie :</i>	CNRS, Station Biologique de Roscoff - <i>Étude de la souille expérimentale de la baie de Seine</i> - Contrat CNEXO, 79/6065.	61

BIBLIOGRAPHIE

- AMARGER P., BOUSQUET H. (1977) - *La place des granulats dans l'approvisionnement en sable de la Bretagne* - Rapport de fin d'études de l'E.N.S. Mines de Paris. 238 p.
- BERTON Y. (1977) - *Approvisionnement de la France en matériaux de carrières: granulats - perspectives* - Séminaire granulats marins. B.R.G.M. Orléans. p.4-25.
- BLANC J. (1975) - *Recherche sur les gîtes de sables et agrégats sur la marge continentale de la Provence*. Bull. Soc. Géol. Fr., 7^e sér. XVII (4), p. 521-528.
- BOUTMIN G. et al. (1981) - *Sur les possibilités d'utiliser les sables marins comme substitution des sables de Loire dans la région nantaise*. Séminaire national: gestion régionale des sédiments. Propriano. Doc. B.R.G.M. 30. p.41-54.
- BRIN A. (1980) - *Sables et graviers marins* - 9^e colloque A.S.T.F.O. Vol. A. p.127-135.
- BUREAU D'INFORMATIONS ET DE PRÉVISIONS ÉCONOMIQUES (1973) - *L'économie de la mer en Bretagne* - 109 p.
- CABIOCH J.-François (1981) - *L'approvisionnement en granulats de la région Bretagne*. Rapport de fin d'études de l'E.N. des Ponts et Chaussées. 96 p.
- CASCIANO F.-M., PALMER R.-Q. (1969) - *Potential of offshore sand as an exploitable resource in Hawaiï*. Univ. Hawaiï. Sea Grant Program. 69-4. 32 p.
- CASTAING P., KLINGEBIEL A., LEGIGAN Ph. (1975) - *Les gisements d'agrégats sous-marins du golfe de Gascogne: guides de prospection*. Carrières. Mater. 136, p. 38-43.
- CHAZAN W. (1978) - *Les richesses méconnues du plateau continental*. Carrières. Mater. 169, p. 29-33.
- COLMENERO M. (1978) - *La taxe parafiscale sur les granulats: bilan des trois années d'application*. Carrières. Mater. p. 69-71.
- CONSOLIDATED GOLD FIELDS AUSTRALIA Ltd, ARC MARINE Ltd (1980) - *Environmental impact statement, Marine aggregate project*. 3 vol.
- CRESSARD A.-P. (1974) - *Les répercussions de l'activité industrielle des sables et graviers sur l'environnement marin et sur les activités économiques du domaine maritime* - Programme de recherche CNEXO-ISTPM. Publications du CNEXO. 37 p.

CRESSARD A.-P., LAPIERRE F. (1974) - *Recherche et exploitation des sables et graviers marins*. Colloque international sur l'exploitation des océans. Bordeaux. Vol. 2 - Bx 136.

CRESSARD A.-P. (1975) - *Influence de l'exploitation des sables et graviers sur le milieu marin*. Terra. Aqua. 8/9. p. 24-33.

CRESSARD A.-P., SCOLARI G. (1976) - *L'exploitation des granulats marins, leur place dans l'économie nationale*. 7^e colloque ASTEO. p. 14-21.

CRESSARD A.-P., CHEVASSU G., LE BRIS J. (1977) - *Identification géotechnique des matériaux dans le cadre d'une recherche de granulats marins*. Bull. : liaison Lab. Ponts et chaussées, n^o spécial IV, p. 81-86.

CRESSARD A.-P., LEMAIRE J., LENOBLE J.-P. *Les granulats siliceux et calcaires du littoral français* - Bull. liaison lab. Ponts et Chaussées, n^o spécial IV, p. 69-80.

CRESSARD A.-P. (1977) - *Environnement et protection des sites* - Séminaire granulats marins. B.R.G.M. Orléans. p. 72-83.

CRESSARD A.-P. (1977) - *Les sables calcaires en Bretagne* - Séminaire granulats marins. B.R.G.M. Orléans. p. 38-49.

CRESSARD A.-P., GÉRARD B. (1978) - *L'action du CNEXO dans la recherche de granulats marins, méthodologie et présentation d'un exemple au large de l'estuaire de la Gironde* - Séminaire international : ressources minérales sous-marines. Orléans. p. 61-75.

CRESSARD A.-P., SCOLARI G. (1980) - *La production de granulats marins, une augmentation lente mais continue* - Carrières. Mater., 185, p. 39-41.

CRESSARD A.-P., AUGRIS C. (1981) - *Les granulats marins du plateau continental, exploitation et contraintes d'environnement* - Séminaire national : gestion régionale des sédiments. Propriano, doc. B.R.G.M., 30, p. 29-33.

CRESSARD A.-P., AUGRIS C. (1982) - *French shelf sand and gravel regulations* - 14th annual Offshore Technology Conference, Houston. p. 717-720.

CRESSARD A.-P., AUGRIS C. (1982) - *Granulats et amendements marins en Bretagne* - Penn. Bed., 107, p. 158-168.

CRESSARD A.-P., (1982) - *Les granulats du plateau* - MER. 3, p. 17.

CRESSARD A.-P., AUGRIS C. (1982) - *Étude des phénomènes d'érosion côtière liés à l'extraction de matériaux marins sur le plateau continental* 4^e congrès international de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur. New-Delhi. Vol. 7. p. 203-211.

DEBYSER J. (1975) - *Les problèmes de l'environnement liés à l'exploitation des sables et graviers marins* - Publication CNEXO. 8 p.

- DENIAUX B. (1979) - *Régime juridique de certaines extractions minérales en mer au large de la France métropolitaine (sables, graviers et amendements)* - Mémoire DESS "Droit de la mer". Université de Bretagne Occidentale.
- DUPONT P. (1982) - *Approvisionnement en granulats de la région d'Ile de France. Perspectives d'évolution jusqu'à l'an 2000* - Mémoire Ingénieur C.N.A.M. Paris, 132 p.
- DURRET L.-F., JACQUET D. (1978) - *Les matériaux de remplacement : les granulats marins* - Carrières. Mater., 167, p. 57-62.
- GENDRE A. (1977) - *Problèmes de dragage* - In.: Séminaire granulats marins B.R.G.M. Orléans, p. 50-71.
- GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN (1975) - *Exploitation of offshore sand and gravel in Japan*. Proc. 20th session, C.C.O.P., Tokyo. Doc. C.C.O.P. (XII)/24, p. 288-293.
- GLASBY G.-P. (1982) - *Marine mining and mineral research activities in Europe*. Mar. Min. 3 (3-4), p. 379-409.
- GRANT C.-L. et al. (1974) - *A study to understand the environmental and ecological impact of marine sand and gravel mining order to prepare guide lines for mining operations in the sea* - National Technical Information Service, COM-75-10714, 83 p.
- DE GROOT S.-J. (1979) - *The potential environmental impact of marine gravel extraction in the North Sea* - Ocean. Manage. 5, p. 233-249.
- DE GROOT S.-J. (1979) - *An assesement of the potential environmental impact of large scale sand dredging for the building of artificial island in the North Sea* - Ocean. Manage, 5, p. 211-232.
- GUIZOL C. (1978) - *A quel prix commercialiser les granulats marins?* - Séminaire international: ressources minérales sous-marines. B.R.G.M. Orléans, p. 77-96.
- HARRIS L.-G. (1976) - *Environmental assesment of sand and gravel marine mining. Proceeding of the marine minerals workshop* - Silver spring. Md. NOAA. S/T 76-2484. p. 73-79.
- HERBICH J.-B. (1976) - *Technology of sand, gravel and shell marine mining. Proceedings of the marine mineral workshop* - Silver Spring Md. NOAA S/T 76-2484.
- HESS H.-D. (1971) - *Marine sand and gravel mining Industry of the United Kingdom* - NOAA Tech. Rep. ERL 213-MMTC 1. 176 p.
- INTERNATIONAL WORKING GROUP ON THE ABATEMENT AND CONTROL OF POLLUTION FROM DREDGING ACTIVITIES REPORT (1975) - Secretary of state for external affairs, Ottawa, Secretary of State, Washington, 227 p.
- KEMPF M. (1974) - *Les perspectives d'exploitation des fonds de maërl du*

plateau continental du nord-est du Brésil - Colloque international sur l'exploitation des océans. Bordeaux. 2. Vol. 2 - Bx 105.

LAHUEC G. (1973) - *Contribution à l'étude de quelques problèmes géologiques liés au dragage en mer* - Thèse 3^e cycle, géologie appliquée, Nantes, 238 p.

LUTTIG G. (1978) - *Present and future economic value of marine sand and gravel.* Ind. Miner. p. 53-57.

MIGNIOT C., VIGUIER J. (1978) - *Influence de l'extraction en mer des granulats sur l'équilibre du littoral* - Séminaire international: ressources minérales sous-marines. B.R.G.M. Orléans, p. 97-129.

MOORE G.-W., LUKEN M.-D. (1979) - *Offshore sand and gravel resources of the Pacific Northwest* - Oreg. geol., 41 (9), p. 143-151.

NEBRIJA E.-L., WELKIE C.-J., MEYER R.-P. (1978) - *Geophysical, geological exploration and evaluation of offshore sand and gravel deposits* - 10th annual offshore technology conference, p. 1187-1198.

OTTMANN F. (1974) - *Le dessalement des sables marins* - Colloque international sur l'exploitation des océans - Bordeaux. 2, vol. 2. Bx 103.

PIRIOU L. (1979) - *L'industrie des granulats marins* - Carrières. Mater., 172, p. 29-30.

POINSSOT A. (1977) - *Administration et réglementation françaises* - Séminaire granulats marins. B.R.G.M. Orléans, p. 84-114.

SEMA (1977) - *Matériaux de substitution pour l'approvisionnement de la région bordelaise en granulats* - Service de l'Industrie et des Mines d'Aquitaine - Poitou-Charentes, 124 p.

SCOLARI G. (1981) - *Les ressources minérales des fonds marins. Perspectives mondiales. Potentiel des DOM-TOM. Outre-mer français et exploitation des océans* - Académie des sciences d'outre-mer. Paris, p. 113-123.

S.N.A.M. (1981) - *Activités de l'armement français de navires sabliers.* - Carrières. Mater., 192, p. 23-26.

S.N.A.M. (1981) - *Matériaux marins : bilan positif mais perspectives difficiles* - Carrières. Mater., 195, p. 27.

S.N.A.M. (1981) - *Des matériaux marins pour demain ?* - Carrières. Mater., 198, p. 18-19.

TIMONEY E. (1982) - *Construction materials* - Aust. miner. Ind. Annu. Rev., 1980, Canberra, p. 101-103.

TIXERONT M. (1977) - *Granulats marins : reconnaissances générales et détaillées* - Séminaire granulats marins. B.R.G.M. Orléans, p. 26-37.

U.N.P.G. (1982) - *Les économies d'énergie dans les établissements de production de granulats* - Collection technique n° 1, 48 p.

U.N.P.G. (1983) - *L'industrie des granulats dans l'économie française - Analyses et propositions*. 31 p.

WEBB P. (1978) - *Legal and economic aspects of dredging marine aggregates in the United-Kingdom* - Séminaire international: ressources minérales sous-marines. B.R.G.M. Orléans, p. 49-60.

WELKIE C.-J., MEYER R.-T. (1982) - *Exploration and assessment of offshore sand and gravel, Western lake Michigan* - Mar. Min., 3 (3-4), p. 315-377.

WINTERHALTER M. (1974) - *Les sables et graviers marins en Finlande* - Colloque international sur l'exploitation des océans. 2, Bordeaux, vol. 2, Bx 101.

Working group on effects on fisheries of marine sand and gravel extraction. 1st meeting Lowestoft. ICES C.M. 1974/E : 8, 52 p.

Working group on effects on fisheries of marine sand and gravel extraction - 3rd meeting - Rijswijk - ICES C.M. 1979/E : 3, 47 p.

Achévé d'imprimer sur les presses de Cloître Imprimeurs
Saint-Thonan - 29220 Landerneau - Mars 1984