

Evaluation des Risques Naturels Littoraux - SCoT Provence-Méditerranée - Evaluation des stocks sédimentaires littoraux, diagnostic préliminaire

Rapport final

BRGM/RP-63951-FR

Octobre 2014

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM-12RIS2408

A. Stépanian



Vérificateur :

Nom : Y. Balouin

Fonction : Chef de projet littoral

Date : 15 juillet 2015

Signature:

Approbateur :

Nom : C. Arnal

Fonction : Directrice régionale PACA

Date : 12 août 2015

Signature:



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.



Mots-clés : milieu littoral, sédimentation littorale, plage, érosion littorale, cellule sédimentaire, stocks sableux, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Var

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Stépanian A. (2014) – Evaluation des Risques Naturels Littoraux - SCoT Provence-Méditerranée - Evaluation des stocks sédimentaires littoraux, diagnostic préliminaire. Rapport final. BRGM/RP-63951-FR, 76 p., 29 ill., 4 ann., 1 CD.

Synthèse

L'objectif de ce projet est de réaliser un premier état des connaissances sur les stocks sédimentaires littoraux sur le littoral du SCoT Provence-Méditerranée, en termes de ressources et d'usages. Cette analyse se base sur des informations bibliographiques avec pour but de déterminer les zones qui sont intéressantes à investiguer par la suite lors d'une campagne de prospection géophysique dédiée.

Sur le plateau continental varois, les investigations menées par le CNEXO dans les années 1970 sur la recherche de granulats exploitables pour des applications industrielles ont montré que les gisements sont rares, et sont soumis à des contraintes environnementales très importantes, en raison de la présence de l'herbier de posidonies. Trois gisements potentiels (au large de Bandol, ouest du tombolo de Giens, et centre de la rade d'Hyères) ont été identifiés au niveau d'incisions du substratum rocheux. Les sédiments y sont majoritairement sableux, avec une composante plus ou moins forte de matériaux fins. Cependant, leur exploitation était fortement déconseillée par les auteurs en raison des impacts probables sur l'état écologique de l'herbier de posidonies et par voie de conséquences, à terme, sur la stabilité du trait de côte.

En revanche, à l'exception des plages de Porquerolles, qui ont fait l'objet de prospection spécifique en 2010, il reste une importante lacune de connaissance de l'état du prisme littoral proche dans les petits-fonds (corps sableux entre la plage et l'herbier de posidonies) alors qu'elle est indispensable pour apprécier, à court-terme, la résistance effective de la plage à des phénomènes érosifs ponctuels lors de tempêtes et pour évaluer son potentiel de restauration naturelle, à moyen terme.

L'analyse bibliographique et l'examen des données disponibles ont permis de déterminer 9 secteurs du littoral qui sont intéressants et prioritaires pour une prospection géophysique ultérieure.

Ces différentes zones étudiées feront l'objet d'un levé géophysique par sismique réflexion à l'aide d'un boomer. Le plan d'échantillonnage sera composé de profils de longueur variable en fonction de la distance entre la plage et l'herbier.

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. CONTEXTE	9
1.2. OBJECTIF DU PROJET	9
1.3. ORGANISATION DU RAPPORT	10
2. Le littoral du SCOT Provence-Méditerranée.....	11
2.1. CONTEXTE SEDIMENTAIRE DU LITTORAL VAROIS.....	11
2.2. LES PLAGES DU LITTORAL VAROIS	13
2.2.1. Géomorphologie	13
2.2.2. Evolution morphologique.....	13
2.2.3. Impacts anthropiques sur les plages.....	13
2.3. OPERATIONS DE GESTION DES STOCKS SEDIMENTAIRES SUR LE TERRITOIRE DU SCOT PROVENCE-MEDITERRANEE	17
2.4. ZONES DE PROTECTION ENVIRONNEMENTALES LE LONG DU LITTORAL DU SCOT PROVENCE-MEDITERRANEE.....	19
3. Intérêts de l'évaluation des stocks sédimentaires littoraux pour la gestion des risques côtiers	21
3.1. GENERALITES.....	21
3.2. PRINCIPE DES OPERATIONS DE RECHARGEMENT DES PLAGES	22
3.2.1. Généralités	22
3.2.2. Localisation des rechargements.....	23
3.2.3. Exemples connus	24
3.2.4. Bilan	25
3.3. IDENTIFICATION ET UTILISATION DES GISEMENT DE SABLES MARINS	25
3.3.1. Réglementation – principes généraux et textes de lois.	26
3.3.2. Les techniques d'extraction marine.....	27
3.3.3. Conclusion.....	28
4. Données géophysiques	29
4.1. DONNEES PETROLIERES	29
4.2. RECHERCHES DE GRANULATS MARINS SUR LE PLATEAU CONTINENTAL PROVENÇAL (CNEXO).....	29
4.2.1. Typologie des gîtes marins sur plateau provençal	31

4.2.2. Gisements reconnus au large du littoral du SCoT PM	31
4.2.3. Conclusion	33
4.3. TRAVAUX DE RECHERCHE DE BRUNEL (2010).....	33
4.4. SYNTHÈSE SUR LES DONNÉES GEOPHYSIQUES DISPONIBLES.....	37
5. Données sédimentologiques	39
5.1. BANQUE DE DONNÉES DE GÉOLOGIE MARINE (BGM)	39
5.2. DONNÉES CARTE G – SHOM	39
5.3. CARTOGRAPHIE DES BIOCENOSSES MARINES	41
5.4. DONNÉES BATHYMETRIQUES LITTO3D	44
5.5. SYNTHÈSE	45
5.5.1. Données cartographiques.....	45
6. Conclusion	49
7. Bibliographie.....	53

Liste des illustrations

Illustration 1 - Le littoral du SCoT Provence-Méditerranée (Livre bleu du SCoT Provence Méditerranée).....	12
Illustration 2 - Plage naturelle des Vieux Salins d'Hyères (février 2013)	14
Illustration 3 - Plage du Lavandou (février 2013)	15
Illustration 4 – Plage artificielle du Mourillon (février 2013).....	15
Illustration 5 – Localisation des plages artificielles et naturelles sur le littoral du SCoT Provence-Méditerranée.....	16
Illustration 6 – Sources des matériaux utilisés pour le rechargement des plages du SCoT Provence-Méditerranée.	18
Illustration 7 – Localisation des zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (Etat initial de l'Environnement)	19
Illustration 8 - Processus naturels (A) et anthropiques (B) impliqués dans l'évolution morphologique de la zone côtières. D'après Cazenave et Le Cozannet (2014).	22
Illustration 9 – Exemple de rechargement en sable au moyen d'une drague en mer (à gauche – Virginia beach, USA) ou par camions (à droite- La Baule, France).....	23
Illustration 10 – Rechargement massif de sable aux Pays-Bas – source Sand Motor.	24
Illustration 11 - Schéma récapitulatif des textes de loi et de leurs champs d'application (source : IFREMER, projet beachmed).....	26
Illustration 12 - Etapes de la procédure pour l'extraction de sable en mer (source : beachmed).	27

Illustration 13 - Inventaire des données de sismique pétrolière disponible sur le plateau continental varois au large du Territoire du SCoT PM, enregistrées au Guichet Hydrocarbures – BEPH (www.beph.net).....	30
Illustration 14 - Gisements potentiels reconnus par l'institut Océanographique de Monaco (SOGREAH, 1984).....	31
Illustration 15 - Plan de prospection géophysique en rade de Hyères (Leenhard et al., 1972)	32
Illustration 16 - Exemple de profils sismiques et interprétation sur les plages d'Argent et de la Courtade (Porquerolles). RS : roches, substrat ; DP : dépôts pléistocènes ; USU: unité sableuse supérieure.....	34
Illustration 17 - Carte d'épaisseur de sédiments au-dessus-du substratum rocheux – Plage d'Argent (Porquerolles; Brunel, 2010).	35
Illustration 18 - Carte d'épaisseur de sédiments au-dessus-du substratum rocheux – Plage de la Courtade et Notre-Dame (Porquerolles ; Brunel, 2010).	36
Illustration 19 - Carte de nature des fonds (source datashom.gouv)	40
Illustration 20 - Classification des biocénoses benthiques (CG83, 2010).	41
Illustration 21 Répartition superficielle des sédiments sur le plateau continental. Sources : carte des biocénoses marines (CG83), Banque de Données de Géologie Marine (BRGM), SHOM).....	42
Illustration 22 - Zones d'affleurement des zones sableuses susceptibles d'être prospectées.	43
Illustration 23 - Données topobathymétrique Litto 3D sur le périmètre du SCoT Provence-Méditerranée (SHOM)	44
Illustration 24 - Apparence des zones d'affleurement sableux sur les données Litto3D (MNT à 5 m) - Secteur Sud de Bormes-les-Mimosas (SHOM).....	45
Illustration 25 – Synthèse cartographique des connaissances sur les épaisseurs sableuses.....	46
Illustration 26 – Cartographie des zones cibles à investiguer	47
Illustration 27 - Zones cibles identifiées pour une investigation des stocks sédimentaires.	50
Illustration 28 - Zones prioritaires d'investigation par prospection géophysique.....	51
Illustration 29 : Schéma montrant les conditions conditionnant les choix d'une barge (source : beachmed).	60

Liste des annexes

Annexe 1 - Les types de dragues utilisées pour du dragage de sédiments marins.....	55
Annexe 2- Cartes des épaisseurs sédimentaires sur le plateau continental (CNEXO, Leenhardt, 1972).....	61
Annexe 3- Profils sismiques sur les plages de Porquerolles (Brunel, 2010)	67
Annexe 4 - Banque de données de Géologie Marine du BRGM pour le plateau continental varois au large du SCoT Provence-Méditerranée.....	73

1. Introduction

1.1. CONTEXTE

Dans le cadre de l'élaboration du volet littoral et maritime du SCoT Provence Méditerranée (SCoT PM), qui est un chapitre individualisé valant schéma de mise en valeur de la mer, les communes littorales entre Saint-Cyr-sur-Mer et Le Lavandou ont décidé de mettre en œuvre une étude diagnostic des risques naturels littoraux sur leur territoire (Illustration 1).

Ce besoin repose sur les préoccupations et les interrogations des élus locaux face à des situations d'érosion et d'exposition du littoral aux coups de mer, mais également sur le constat que les connaissances scientifiques sur les phénomènes d'érosion chronique des plages et sur la cartographie des zones soumises à la submersion marine ne sont pas actuellement suffisantes ou précises, et ce, malgré la disponibilité sur le secteur d'un certain nombre d'études ponctuelles sur la thématique de l'érosion côtière.

De plus, une réactualisation des connaissances s'impose du fait de la disponibilité de données récentes, acquises ou en cours d'acquisition (ortho-photographie littorale, données topographiques et bathymétrique Litto3D), mais également en raison des changements importants dans le comportement dynamique des plages et du trait de côte, constatés depuis une dizaine d'années par les habitants et les élus du littoral.

Dans ce contexte, le Syndicat Mixte du SCoT Provence-Méditerranée et le BRGM ont établi un partenariat pour disposer d'une connaissance actualisée des risques littoraux à travers un projet de caractérisation des aléas¹ littoraux érosion et submersion marine, à l'échelle du périmètre du SCoT PM.

1.2. OBJECTIF DU PROJET

L'objectif de ce projet est de réaliser un état des connaissances concernant les volumes sableux littoraux présents sur le territoire du SCoT PM. Ceci dans le but d'identifier les zones qui sont bien renseignées en termes d'épaisseurs sédimentaires et les secteurs où les données et informations sont fragmentaires ou manquantes.

Cela permettra de mettre en évidence des secteurs où des prospections géophysiques ultérieures pourraient être mises en œuvre pour estimer de manière plus précise les volumes sédimentaires disponibles au droit des plages.

Cet inventaire des informations bibliographiques consiste à rassembler les différentes informations sédimentologiques, géologiques et géophysiques sur les stocks sédimentaires disponibles dans la littérature scientifique et les banques de données publiques.

¹ L'aléa est défini comme un phénomène naturel qui se produit à une occurrence donnée. Ainsi, un évènement centennal est un phénomène avec une période de retour de 100 ans, ce qui signifie également que chaque année, il a une chance sur 100 de se produire. Le risque est défini comme l'analyse croisée de l'aléa et des enjeux.

1.3. ORGANISATION DU RAPPORT

Après une présentation des caractéristiques du littoral du SCOT Provence-Méditerranée en termes de géomorphologie, contexte sédimentaire et protections environnementales, les recensements des données géophysiques et sédimentologiques disponibles sur le territoire sont présentés.

Une cartographie de synthèse de l'existant présente l'état des connaissances et les zones potentiellement intéressantes où une prospection plus fine est à envisager.

2. Le littoral du SCoT Provence-Méditerranée

2.1. CONTEXTE SEDIMENTAIRE DU LITTORAL VAROIS

Au large du département du Var, le plateau continental est relativement étroit à l'exception de la rade d'Hyères (Illustration 1).

Une rupture de pente entre -90 et -100 m marque le rivage tel qu'il était lors du dernier maximum glaciaire, il y a environ 18 000 ans BP². Pour rejoindre leur niveau de base, les rivières ont par endroits fortement incisé le plateau rocheux. Les canyons de Toulon et des Stoéchades sont les cicatrices de ces variations du niveau marin, qui se sont répétées plusieurs fois au fur et à mesure des périodes glaciaires/interglaciaire au cours des 100 000 dernières années. En période glaciaire, le niveau de la mer étant plus bas, le plateau continental, alors exondé, était parcouru par les fleuves et les rivières qui y ont déposé les produits de l'érosion des massifs rocheux continentaux.

Lors de la remontée du niveau marin au cours de l'Holocène (depuis 18 000 ans), la mer a remobilisé les dépôts, en particulier les sables, du plateau continental vers le littoral, l'alimentation par les fleuves se poursuivant à un rythme, en volume et en nature, différent en fonction des variations climatiques.

La nature et la répartition des sédiments sur le plateau résultent ainsi d'une histoire géologique récente. Cependant, elles restent également influencées par les agents de forçages actuels, houle et courants, en particulier dans la zone littorale.

De la côte vers le large, le schéma de la répartition des sédiments est le suivant (Blanc, 1975) :

- Sables et graviers du prisme littoral : sables propres et bien classés, fins à grossiers, avec des teneurs en minéraux lourds variant en fonction de leur contexte d'alimentation par l'érosion des falaises rocheuses ;
- Sables bioclastiques en relation avec les herbiers de posidonies, qui constituent des « mattes » épaisses de plusieurs mètres et qui s'accroissent verticalement ;
- Sables du « détritique côtier » ;
- Vases sableuses ;
- Vases.

Dans le cadre de cette étude, la réflexion est portée sur la répartition et les volumes des sables et graviers du prisme littoral, qui sont des matériaux potentiellement utilisables pour des réalimentations du cordon littoral. Les sédiments fins étant par essence impropres à cet usage.

² BP : Before Present (1950).

2.2. LES PLAGES DU LITTORAL VAROIS

2.2.1. Géomorphologie

La spécificité géomorphologique du littoral varois, et en particulier celui du SCoT PM, est la prédominance des plages sableuses accolées à une falaise rocheuse en arrière, le terme géomorphologique consacré de ces systèmes côtiers est « plage de poche ».

Leur particularité est que leur fonctionnement hydro-sédimentaire est, dans la plupart des cas, autonome à l'échelle de la plage, les transferts sédimentaires entre des plages de poches séparées par des caps rocheux étant le plus souvent inexistant. De plus, ces plages jouent un rôle important en tant que « matelas sédimentaire » qui, lorsqu'il est présent, participe à la dissipation de l'énergie de la houle, avant que celle-ci n'attaque le front de la falaise et n'en accentue l'érosion par la création de sous-cavages par exemple.

Les plages de l'Almanarre et de la rade de Hyères, qui forment un cordon sableux quasi-continu de Giens jusqu'à La Londe-les-Maures, sortent de cette définition géomorphologique, en raison de leur ampleur et de la présence, en position arrière-littorale, de la plaine fluviale des fleuves côtiers Roubaud, Gapeau et Pansard-Maravenne. Sur ce secteur de cote basse alluviale, les aménagements nombreux sur le trait de côte (épis, ouvrages portuaires) ont fortement perturbé la dynamique sédimentaire longitudinale au trait de côte (dérive littorale) générée par l'action des vagues, et ont divisé la cellule sédimentaire Miramar - La Badine (cellule n°23, AERM&C, 2005) en plusieurs sous-cellules, isolées artificiellement par les ports et les ouvrages portuaires entre Giens et le Gapeau : Embouchure du Roubaud, Port Saint-Pierre, et Port de la Capte.

Ces ouvrages interrompent la dérive littorale dominante (ici Nord-Sud), avec pour conséquence une forte accrétion au nord des ouvrages (Ayguade, Jardin des mers, nord de la Capte), et des érosions au sud, en raison de pertes sédimentaires non compensées par des apports. La terminaison méridionale du tombolo Est, vers la plage de la Bergerie, est également une zone de dépôt sédimentaire privilégiée.

2.2.2. Evolution morphologique

Comme la majorité des littoraux sableux, les plages de la zone côtière varoise répondent à un modèle classiquement observé avec une érosion saisonnière lors de la période hivernale et une érosion plus ponctuelle mais plus marquée lors des événements de tempêtes.

Elles suivent également des grandes tendances évolutives avec un recul du trait de côte depuis les premières informations quantitatives disponibles (1920) à des vitesses qui varient au cours du temps.

2.2.3. Impacts anthropiques et variabilité des plages

Ces plages, qui sont par définition des zones d'accumulation, sont de plusieurs types, en fonction de leur alimentation sédimentaire naturelle et/ou artificielle.

On distingue ainsi :

- les plages naturelles qui ne sont pas entretenues et qui sont alimentées en matériel sédimentaire par la dérive littorale³, par les transferts depuis l'avant-côte, dans les fonds proches, ou par l'érosion des dunes ou des falaises rocheuses (Illustration 2) ;
- des plages d'origine naturelle mais qui sont marquées par un recul chronique à l'échelle historique et dont le maintien est assuré en grande partie par des rechargements ponctuels ou réguliers de matériel sédimentaire (Illustration 3);
- des plages artificielles, qui constituent des surfaces gagnées sur la mer par des opérations de remblayage et de rechargement massif, et qui nécessitent généralement des apports en sables réalisés de manière récurrente (Illustration 4).



Illustration 2 - Plage naturelle des Vieux Salins d'Hyères (février 2013)

³ La dérive littorale est le transport sédimentaire qui s'effectue parallèlement à la côte sous l'action des vagues qui atteignent de manière oblique le rivage.



Illustration 3 - Plage du Lavandou (février 2013)



Illustration 4 – Plage artificielle du Mourillon (février 2013)

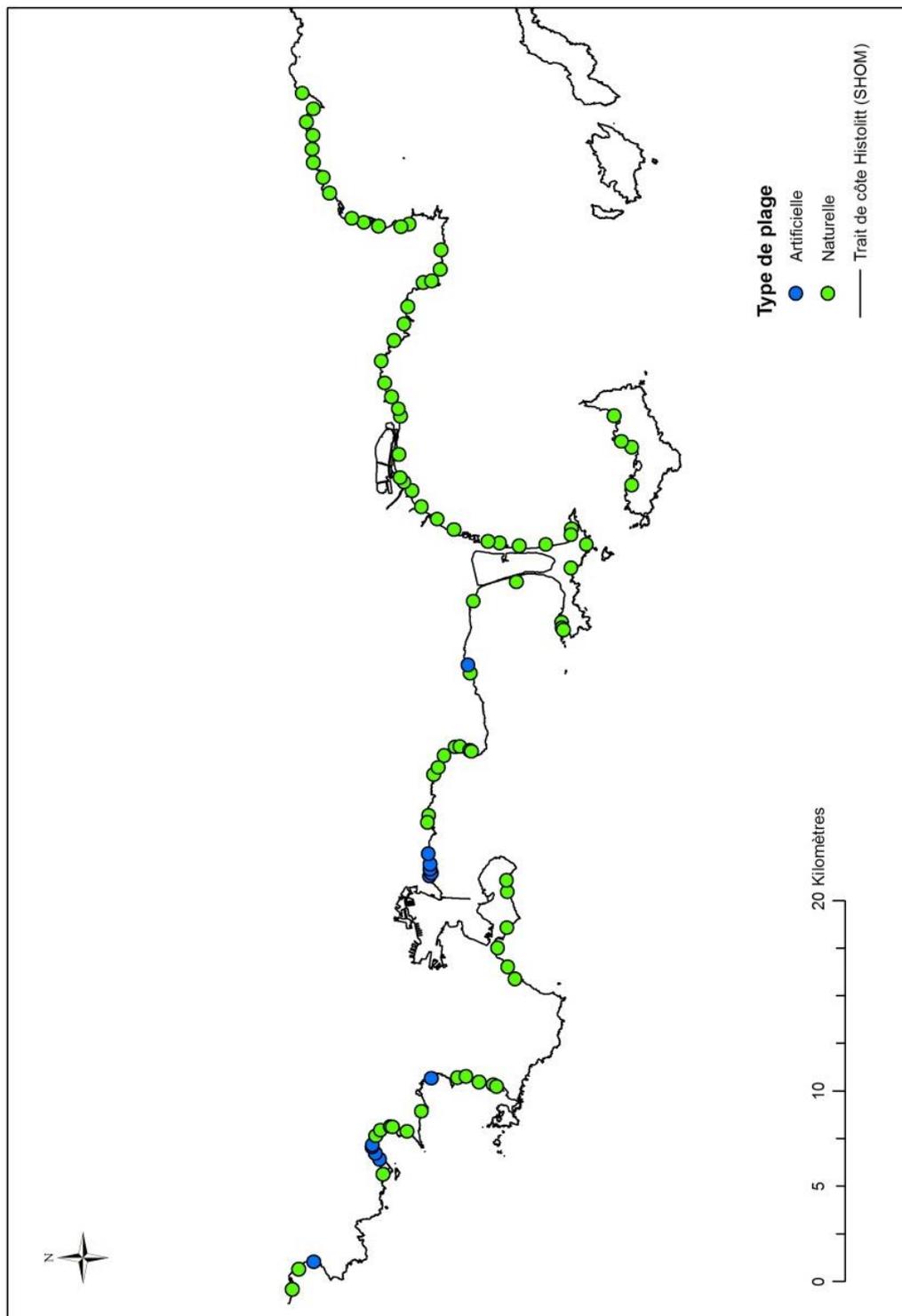


Illustration 5 – Localisation des plages artificielles et naturelles sur le littoral du SCoT Provence-Méditerranée.

Sur certaines plages artificielles ou en érosion chronique, les rechargements en sédiments demeurent généralement indispensables pour maintenir durablement le stock et donc leur stabilité à court et moyen terme.

2.3. OPERATIONS DE GESTION DES STOCKS SEDIMENTAIRES SUR LE TERRITOIRE DU SCOT PROVENCE-MEDITERRANEE

Aujourd'hui, sur le territoire du SCoT PM, des opérations de gestion des stocks sédimentaires sont entreprises, à l'initiative des communes, en suivant différents protocoles :

- des apports extérieurs avec des sédiments de la classe granulométrique des sables (0.62-2 mm) aux galets (20-2000 mm) d'origine continentale issus soit :
 - o d'extraction dans les rivières ;
 - o d'exploitation de carrières, éventuellement par concassage des roches massives siliceuses éruptives ou sédimentaire (grès).
- des apports extérieurs de sédiments sableux d'origine marine :
 - o sables dragués dans les infrastructures portuaires (chenaux, avant-port) ;
 - o sables dragués dans les zones d'accumulation littorale (flèche sédimentaire, jetée extérieure des ouvrages portuaires) ;
- des transferts artificiels de la basse-plage, voire la plage sous-marine, vers le haut de plage, généralement pour constituer un bourrelet sableux destiné à protéger des attaques des vagues en période hivernale.

Ces opérations sont synthétisées dans l'illustration 6.

En revanche, il n'existe pas de rechargements de plage par des stocks sableux marins issus d'exploitation industrielle de gisements éventuels sur le plateau continental au large du littoral.

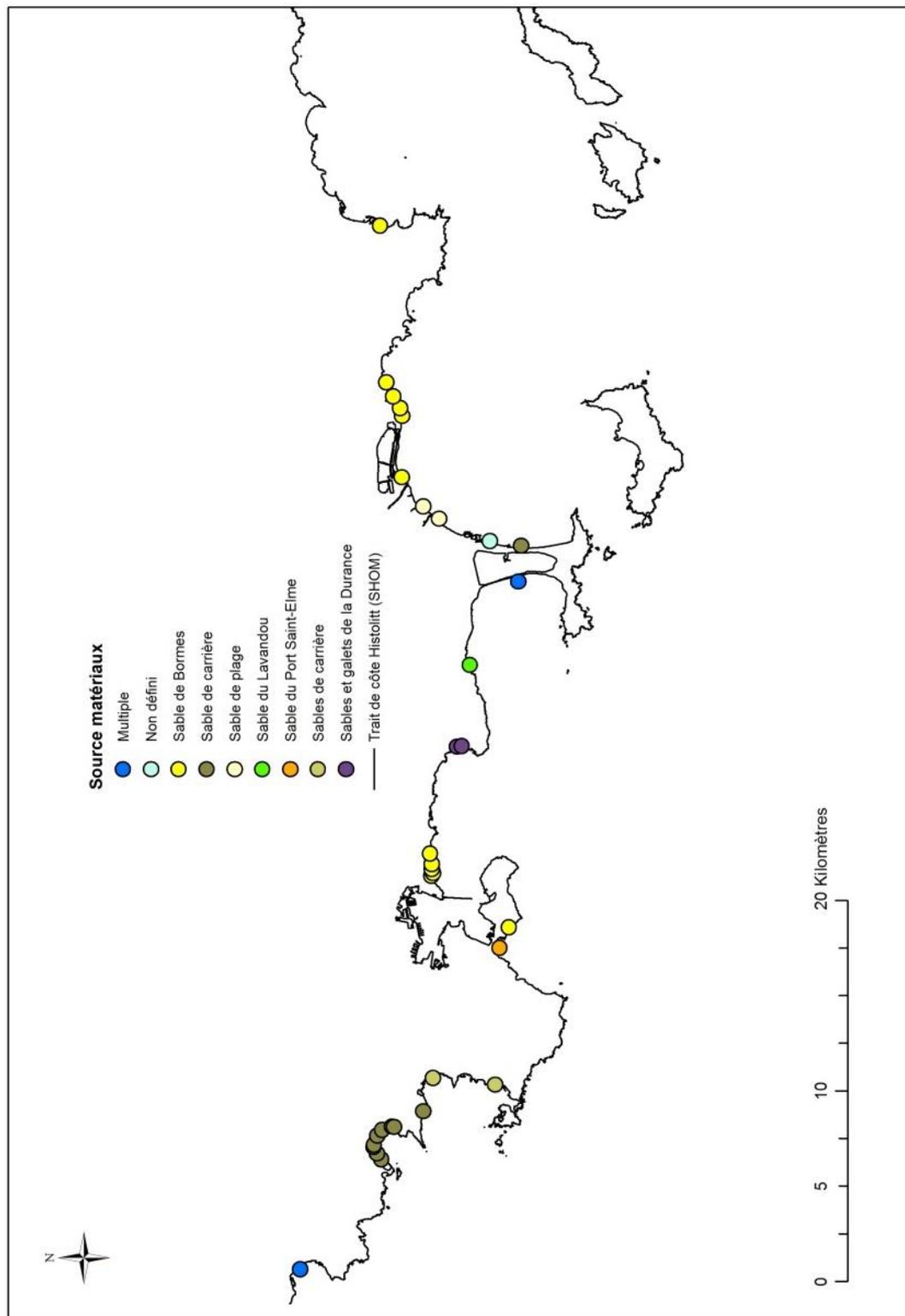


Illustration 6 – Sources des matériaux utilisés pour le rechargement des plages du SCoT Provence-Méditerranée.

2.4. ZONES DE PROTECTION ENVIRONNEMENTALES LE LONG DU LITTORAL DU SCOT PROVENCE-MEDITERRANEE

Plusieurs zones de protection environnementales concernent le territoire du SCoT Provence-Méditerranée (Illustration 7) :

- les Arrêtés de Biotopes (APB) : donnée utilisée ; instauré par le décret n° 77-1295 du 25/11/1977 pris en application de la loi n°76-629 du 10/07/1976 (article R.211-12 et suivants du Code rural). Il permet au préfet de fixer par arrêté les mesures tendant à favoriser, sur tout ou partie du territoire d'un département, la conservation des biotopes nécessaires à l'alimentation, à la reproduction, au repos ou à la survie d'espèces protégées. Certains résultats incluent le domaine public maritime ;
- les Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) : définies par la circulaire n° 91-71 du ministère chargé de l'Environnement, elles sont caractérisées par leur intérêt biologique remarquable. Les ZNIEFF actuelles sont dites de deuxième génération car leur définition a été revue. Elles sont de deux types (1 et 2) et peuvent comprendre des zones situées aussi bien en milieu marin que continental :
 - o type 1 : secteurs de superficie en général limitée, caractérisés par la présence d'espèces, d'associations d'espèces ou de milieux rares, remarquables, ou caractéristiques du patrimoine naturel national ou régional ;
 - o type 2 : inventaire de grands ensembles naturels (massif forestier, vallée, estuaire ...) riches ou avec de fortes potentialités biologiques. Les zones de type II peuvent inclure une partie des zones de type I. La précision de ces zones est moins grande, l'intérêt écologique et/ou l'état de conservation sont moindres ;

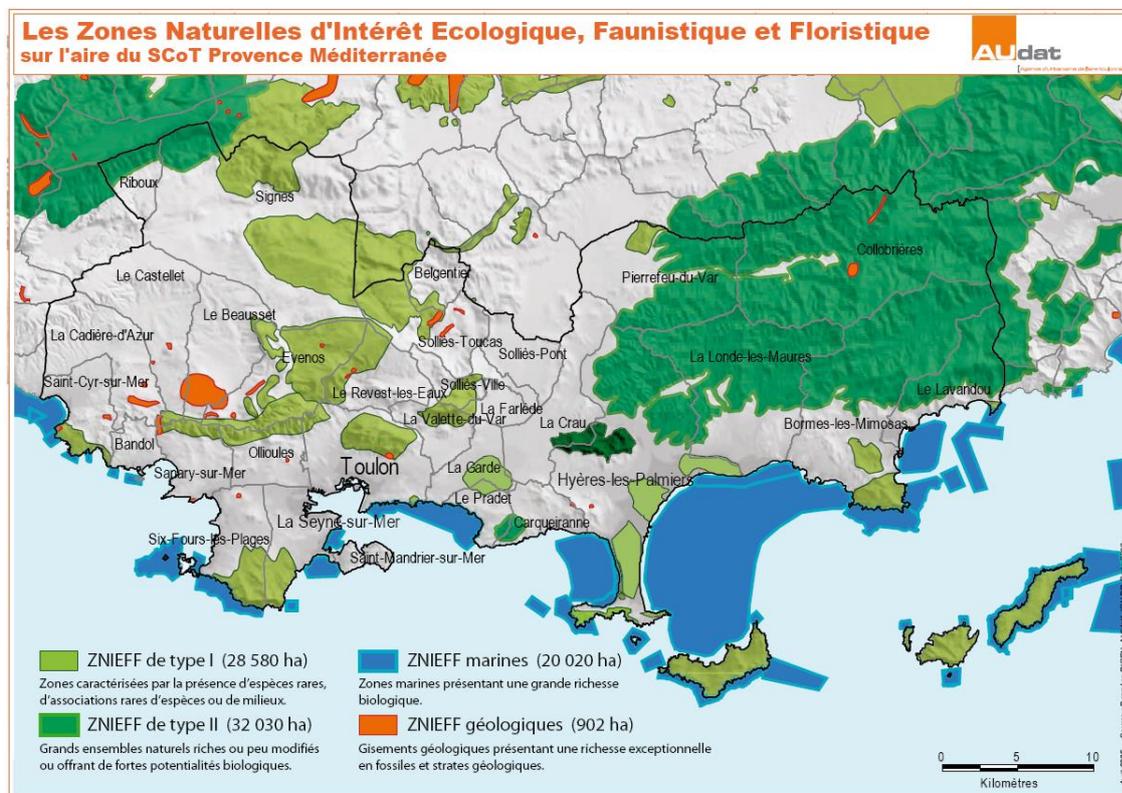


Illustration 7 – Localisation des zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (SCoT, Etat initial de l'Environnement)

- les réserves naturelles (RN): partie du territoire où la conservation de la faune, de la flore, du sol, des eaux, des gisements de minéraux et de fossiles et, en général, du milieu naturel présente une importance particulière et qu'en conséquence, il convient de soustraire à toute intervention artificielle susceptible de la dégrader ;
- les parcs naturels (PN) : territoire de tout ou partie d'une ou de plusieurs communes, classé par décret du Conseil d'Etat en application des articles L.241-1 et suivants du Code rural, en vue de la conservation de son milieu naturel et de l'accueil et de l'information du public. Il comporte une zone centrale strictement protégée, et une zone périphérique consacrée au développement culturel, social et économique du territoire dans le cadre du développement durable ;
- les parcs naturels régionaux (PNR) : territoire avec une politique de protection de l'environnement, d'aménagement du territoire, de développement économique et social, d'éducation et de formation du public ;
- le périmètre de protection autour des réserves naturelles et géologiques (PPRNG) ;
- les réserves de biosphère (RBS) : territoire d'application du programme MAB ("Man and Biosphere") de l'UNESCO, qui consiste à promouvoir un mode de développement économique et social, basé sur la conservation et la valorisation des ressources locales ainsi que sur la participation citoyenne.) ;
- les zones spéciale de conservation (ZSC), zones de protection spéciale (ZPS), les zones importantes pour la conservation des oiseaux (ZICO) et les zones NATURA 2000 (regroupent les ZPS, ZICO et ZSC entre autres) sont des zones de protection de la faune, de la flore et de l'habitat en général (directive habitat et directive oiseaux) ;
- les sites inscrits (SI) : pour la protection des sites d'intérêt artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque. Les sites sont inscrits par arrêté ministériel après avis des communes concernées. L'inscription est proposée pour des sites moins sensibles ou plus humanisés que ceux faisant l'objet d'un classement mais les sites inscrits sont surveillés avec vigilance) ;
- les zones vulnérables (ZV): Zones désignées comme vulnérables à la pollution diffuse par les nitrates d'origine agricole compte tenu notamment des caractéristiques des terres et des eaux ainsi que de l'ensemble des données disponibles sur la teneur en nitrate des eaux et de leur zone d'alimentation ;
- les zones sensibles (ZS) : parties du territoire où la nécessité de préserver le milieu aquatique et les usages qui s'y attachent justifie la mise en œuvre d'un traitement plus rigoureux des eaux résiduaires urbaines avant leur rejet. Le principal critère d'appréciation est le risque d'eutrophisation du milieu mais d'autres critères nécessitant un traitement complémentaire peuvent être retenus comme par exemple la qualité bactériologique pour les zones conchylicoles ou les zones de baignades.

L'ensemble du territoire est donc concerné par des zones de protection de l'environnement qui peuvent impliquer des procédures particulières préalables au prélèvement ou aux dépôts de sables dans la zone littorale, en particulier au titre de la loi sur l'Eau.

3. Intérêts de l'évaluation des stocks sédimentaires littoraux pour la gestion des risques côtiers

3.1. GENERALITES

Les stocks sédimentaires littoraux sont ici définis comme les zones d'affleurement de sédiments sableux qui sont disposées dans la zone littorale et sur le plateau continental proche, et qui ne sont pas le substrat de biocénoses fixatrices, en particulier d'espèces protégées comme, par exemple, les zones d'herbiers de posidonies ou les prairies de cymodocées, dans les milieux méditerranéens.

Cette dénomination rassemble ainsi les masses sableuses sous l'action des agents hydrodynamiques (vagues, courants) et qui peuvent être remobilisées et éventuellement venir alimenter le prisme littoral.

On distingue ainsi :

- le prisme littoral, lui-même, avec la plage aérienne et la plage sous-marine (avant-côte) jusqu'à l'herbier ou les premiers affleurements rocheux ;
- les zones d'accumulation sableuses sous-marines, isolées ou non du prisme littoral, dans la zone bathymétrique 0-30 m.

La connaissance du volume de ces stocks est d'une information prioritaire pour mieux appréhender la résilience des plages et du trait de côte, face à une érosion historique chronique. Elle permet également de mettre en œuvre des stratégies de gestion face à l'érosion chronique du littoral (Illustration 8).

En effet, cette information permet de mieux qualifier et de relativiser l'exposition d'une portion du littoral face à des phénomènes érosifs. Ainsi, par exemple, une plage dont l'évolution du trait de côte présente une tendance au recul marquée mais avec un volume sédimentaire important sur sa partie terrestre ou sur l'avant-côte sera en situation plus favorable vis-à-vis de son évolution à court et moyen terme, par rapport à un secteur avec un stock sédimentaire diminué et où aucun apport naturel ne vient compenser les pertes.

Elle peut également permettre d'anticiper et de quantifier des opérations de transfert sédimentaire depuis les zones de dépôt privilégié vers les zones en déficit ; ce type de gestion dynamique des stocks est employé préférentiellement au sein d'une même cellule hydrosédimentaire⁴.

Et enfin, cette connaissance permet d'identifier des masses sédimentaires en volume suffisant et de qualité adéquate, pour être utilisées pour des opérations de rechargement de plage ou de gestion dynamique des stocks (by-pass, reprofilage, ...) et de fournir ainsi une alternative aux gisements terrestres (carrières).

⁴ La cellule hydrosédimentaire correspond au linéaire côtier à l'intérieur duquel les sédiments circulent sous l'action principale des vagues (dérive littorale) avec peu ou pas d'échanges avec l'extérieur. Les principales limites naturelles le long de la côte sont constituées par les caps rocheux et les embouchures de cours d'eau. Les jetées portuaires peuvent établir une limite d'origine anthropique.

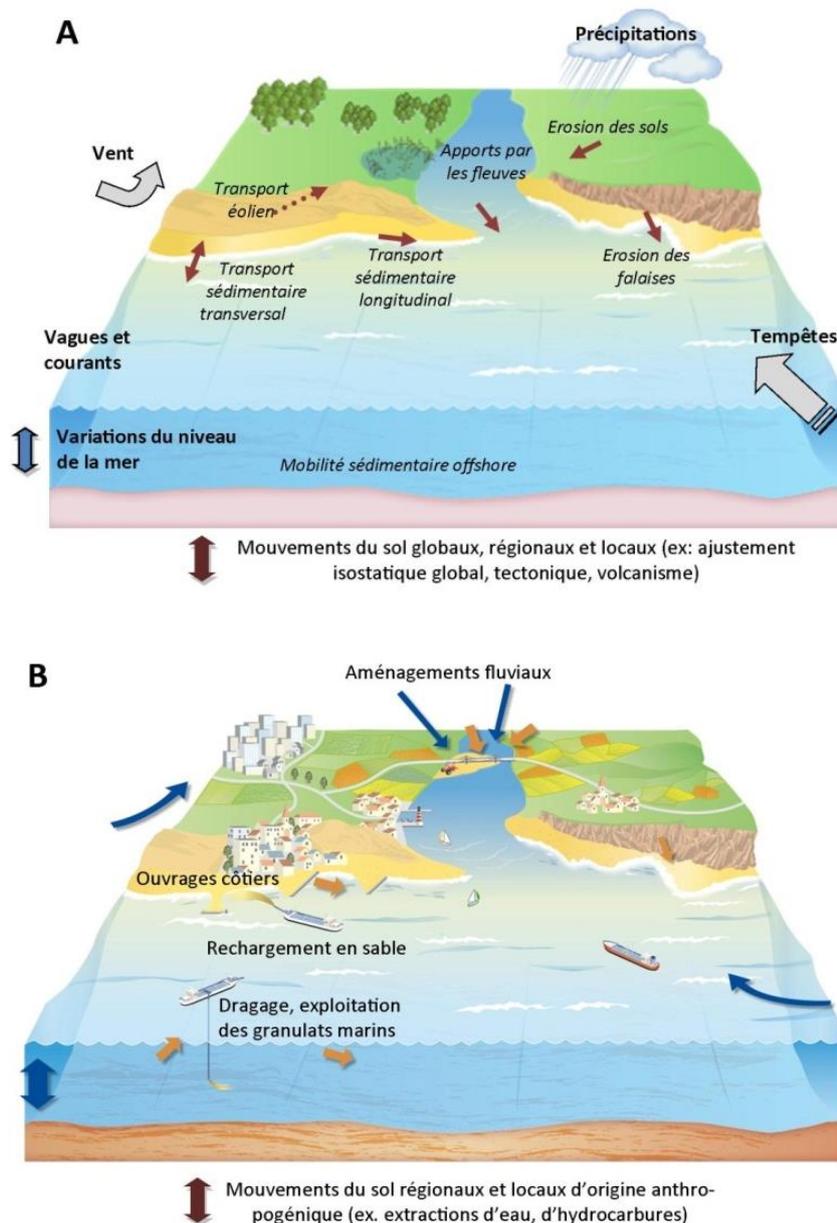


Illustration 8 - Processus naturels (A) et anthropiques (B) impliqués dans l'évolution morphologique de la zone côtière. D'après Cazenave et Le Cozannet (2014).

3.2. PRINCIPE DES OPERATIONS DE RECHARGEMENT DES PLAGES

3.2.1. Généralités

Le rechargement a pour but premier de compenser un budget sédimentaire déficitaire sans perturber le jeu naturel des processus en action sur une côte. Le rechargement artificiel en sédiment (généralement en sable) d'une plage constitue la méthode alternative la plus usitée (Rogers, 2000 ; Hamm et al., 2002 ; Matias et al., 2005 ; Finkl et Walker, 2005) car elle permet en outre d'augmenter potentiellement l'attractivité balnéaire des plages (Finkl, 1996 ; French, 2001 ; Cohen et Anthony, 2005).

Le rechargement n'a pas pour objectif de stopper définitivement l'érosion mais d'accompagner et d'atténuer le recul du trait de côte pour une période donnée qui dépend à la fois des caractéristiques hydrodynamiques du site et du volume rechargé.

L'alimentation de la plage doit se faire à partir d'un sable si possible situé dans les zones d'accrétion de la cellule hydrosédimentaire (accumulation en aval transit par exemple) ou à des profondeurs importantes (au-delà de la profondeur de fermeture⁵ ; Hallermeier, 1981) pour regagner la plage sous l'effet des processus hydrodynamiques naturels. Le transport du sable se fait au moyen de camions ou d'une drague en mer selon que le gisement source et que le dépôt sont à terre ou en mer (Illustration 9).



Illustration 9 – Exemple de rechargement en sable au moyen d'une drague en mer (à gauche – Virginia beach, USA) ou par camions (à droite- La Baule, France)

Pour être efficace, c'est-à-dire obtenir un maintien du sable de manière la plus pérenne possible, le rechargement doit avant tout être adapté au matériel sédimentaire en place en fonction de la nature, de la granulométrie (taille des grains) et du tri des sables. Un sédiment légèrement plus grossier peut être utilisé (Berg et Duane, 1968 ; Newman, 1976). Afin d'optimiser l'intervention et de limiter les impacts sur le milieu, il convient en outre de prendre en considération la bathymétrie (l'évolution des barres pré-littorales notamment) et le fonctionnement hydrosédimentaire du site en fonction du régime de houle et des courants littoraux ainsi que les peuplements benthiques (espèces vivant dans les fonds sableux).

Dans les cas où le sable disponible présente des caractéristiques différentes du sable natif, un facteur de sur-rechargement est parfois appliqué. Il dépend de la compatibilité entre le sable présent sur la plage et celui qui servira pour le rechargement ainsi que de la saison pendant laquelle le rechargement sera réalisé. C'est-à-dire que pour obtenir un volume de $X \text{ m}^3$ sur la plage il faudra en mobiliser $cX \text{ m}^3$, c étant le facteur de sur-rechargement.

3.2.2. Localisation des rechargements

La plage étant composée d'une partie émergée et d'une partie immergée, l'avant-côte, pouvant être constituée de corps sédimentaires communément appelés barres sableuses, la question de la localisation de ces rechargements se pose. Il est effectivement possible de recharger directement la plage émergée, permettant notamment de retrouver un espace de liberté et une largeur suffisant permettant d'accueillir à nouveau des usagers sur les sites touristiques.

C'est la méthode qui est couramment utilisée mais il est également envisageable d'effectuer ces rechargements plutôt sur l'avant-côte notamment en renforçant le volume sédimentaire

⁵ La profondeur de fermeture est la profondeur au-delà de laquelle la houle a un effet négligeable sur le transport sédimentaire.

présent sur les barres sableuse permettant ainsi une meilleure dissipation de la houle (programme LITEAU II, « Les rechargements sédimentaires d'avant-côte : une nouvelle méthode de lutte contre l'érosion côtière »).

Ce sont les caractéristiques du site (type de sédiment, volume nécessaire, morphologie sous-marine, hydrodynamisme, fréquentation, la localisation du gisement, les moyens de transports utilisés...) qui vont jouer un rôle important dans le choix de la technique. Il est également à noter qu'un rechargement entièrement sous-marin n'aura pas d'impact immédiat sur la plage, la visibilité des effets en sera donc limitée.

3.2.3. Exemples connus

Le premier rechargement daterait des années 1920 à Coney Island, à New York (Farley, 1923). Les Etats-Unis y ont recours de manière quasi-systématique depuis les années 1980 (USACE, 2008) et cette technique s'est diffusée très largement en Europe (Hamm et al., 2002 ; Hanson et al., 2002), avec en particulier l'important projet « sand motor » (ou « sand engine ») en cours aux Pays-Bas (<http://www.dezandmotor.nl>).

Ce projet R&D, prévu de 2011 à 2032, est unique au monde de par son ampleur (21.5 millions de m³ sur 128 ha) et son coût (70 millions d'euros). Il a pour ambition de déposer le sable au large pour que la mer le ramène à la côte. Ce projet confirme le très fort investissement des Pays-Bas dans les mesures de gestion des risques côtiers. La majorité du pays se trouvant sous le niveau de la mer, il en va de la sécurité nationale de maintenir la protection offerte par les cordons sédimentaires. Au plan opérationnel, des rechargements plus modestes mais réguliers sont réalisés par le *Rijkswaterstaat* (service du ministère des infrastructures et de l'environnement néerlandais) tous les 5 ans sur l'ensemble du littoral national. Il convient de rappeler que la mer du Nord contient d'importants gîtes de sables à de faibles profondeurs.



Illustration 10 – Rechargement massif de sable aux Pays-Bas – source Sand Motor.

En Méditerranée occidentale, selon Hanson *et al.* (2002), des rechargements ont été effectués en :

- Italie avec 50 rechargements sur 36 sites recensés en 1998 concernant essentiellement de petits volumes à l'exception des rechargements importants des lidos de Venise – 7.3M m³ ;

- Espagne sur pratiquement l'ensemble de la côte méditerranéenne espagnole soit 600 rechargements recensés sur 400 sites en 2002), y compris aux Baléares ;
- France : 26 sites rechargés sont recensés par les auteurs sur la côte méditerranéenne, ce qui est relativement peu.

Le recours aux rechargements sur le littoral méditerranéen français s'est généralisé dans le courant des années 2000 avec notamment le rechargement massif de 1M m³ du Golfe d'Aigues-Mortes en 2008⁶ et une centaine de rechargements recensés sur le littoral du Languedoc-Roussillon depuis les années 1995 (Raynal *et al.*, 2011).

3.2.4. Bilan

Le rechargement de plage a comme double avantage de palier à l'érosion sans perturber la dynamique hydrosédimentaire ni les secteurs littoraux attenants et d'accroître l'espace touristique et récréatif. L'impact paysagé est limité voire nul et l'élargissement voire la surélévation de la plage permet également de réduire la vulnérabilité aux submersions marines.

L'inconvénient principal consiste dans la durée de vie plus ou moins limitée du stock ajouté. Des rechargements successifs et réguliers sont en effet à prévoir et il est nécessaire de bien appréhender au préalable la dynamique hydrosédimentaire du site afin d'optimiser l'opération (Van der Wal, 2004 ; Finkl et Walker, 2005). Le recours à un rechargement massif suivi de rechargements plus modestes ou localisés les saisons suivantes est souvent à envisager.

Le prélèvement des matériaux doit être proche afin de limiter les coûts et les nuisances liés au transport. Enfin, l'impact sur le benthos est important car les organismes vivants sur ou dans les petits fonds (herbiers de posidonies par exemple) se retrouvent enfouis.

Les coûts dépendent de la proximité et de l'exploitabilité du gisement (selon la profondeur, la nature du sédiment,...) et évidemment du volume de sable concerné. En 2004, le coût est estimé entre 20 € et 60 € HT/m³ avec un coût d'entretien très variable selon les rechargements postérieurs envisagés (Beachmed). Le coût des études préalables et des suivis morphologiques à mettre en place sont également à prévoir.

3.3. IDENTIFICATION ET UTILISATION DES GISEMENT DE SABLES MARINS

L'étude EUROSION (2004) recommande l'identification de « réserves stratégiques de sédiments » au large, à terre (dunes, carrières) ou sur le littoral (secteurs en accrétion). Le profil morphologique de la plage ainsi que la saison de rechargement sont également des facteurs importants à prendre en compte pour des opérations de gestion.

L'identification des stocks sableux en mer disponibles au plus proche de la zone en déficit est indispensable pour la mise en œuvre de cette solution à moindre coût.

L'extraction des ressources en sables sur le domaine marin répond à une réglementation spécifique.

⁶ <http://www.languedoc-roussillon.developpement-durable.gouv.fr/l-operation-de-rechargement-du-a525.html>

3.3.1. Règlementation – principes généraux et textes de lois.

Il existe différents types de zones marines en France : les eaux territoriales, les eaux du plateau continental et les eaux de la zone économique exclusive.

Ces différentes zones se subdivisent en :

- eaux territoriales: de 0 à 12 milles (1.852 kilomètres) nautiques (L. du 24/12/71) ;
- eaux du plateau continental : jusqu'à une distance correspondant à une profondeur de 200 mètres au delà de la mer territoriale sauf convention sur les limites entre états ;
- eaux de la zone exclusive : de 12 à 200 milles.

La compétence et la gérance de ces eaux appartiennent à l'Etat qui en possède les droits exclusifs en matière d'exploration et d'exploitation des fonds marins (sol et sous-sol de la mer territoriale) qui sont incorporés dans le domaine public de l'État.

Une fois établie la zone marine où aura lieu le dragage, il faut tenir compte de la réglementation associée au dragage. Le passage des granulats (matériaux dragués) au rang des substances minières par les lois de décembre 1968 (plateau continental) et juillet 1971 (eaux territoriales) a nécessité la création d'une autorisation minière ministérielle.

Les principaux textes et articles de loi ainsi que le contexte géographique où ces textes s'appliquent sont représentés dans l'illustration ci-dessous.

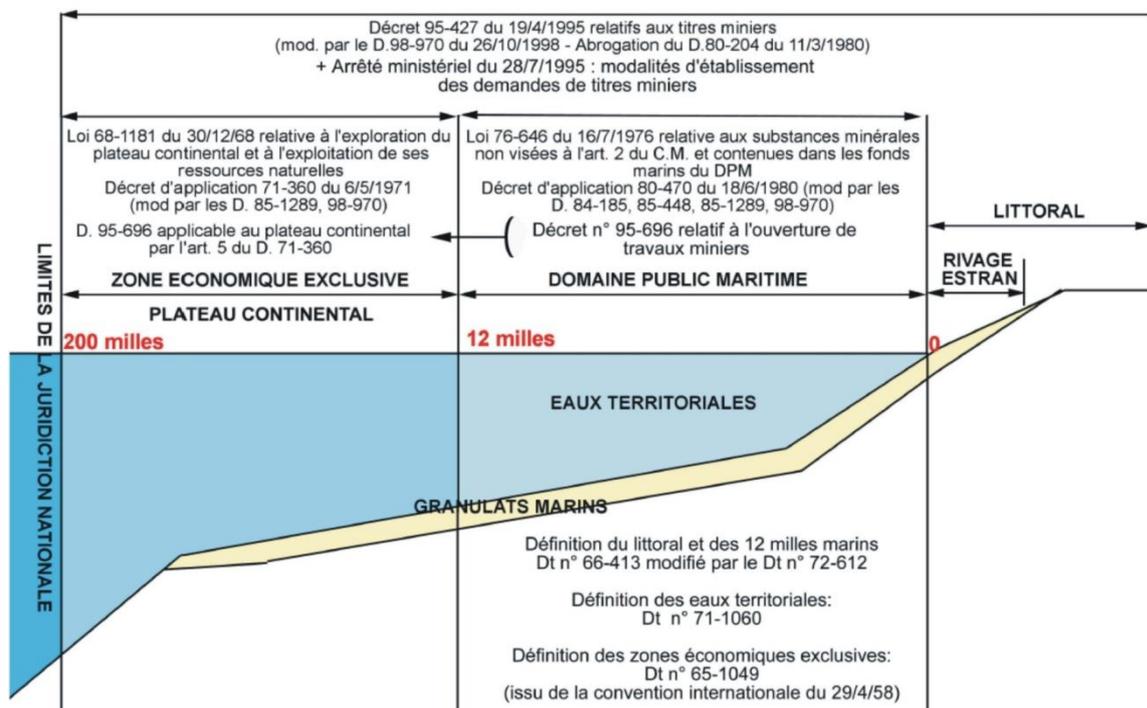


Illustration 11 - Schéma récapitulatif des textes de loi et de leurs champs d'application (source : IFREMER, projet beachmed).

Les activités relatives à la prospection, la recherche et l'exploitation des sables marins sont soumises au code minier, et dans le domaine public maritime au code général des propriétés publiques.

Le décret n°2006-798 du 6 juillet 2006 fixe les règles relatives aux activités de prospection, de recherche et d'exploitation portant sur les substances minérales ou fossiles contenues dans les fonds marins du domaine public et du plateau continental.

Les extractions de matériaux sont donc soumises à l'obtention de trois actes administratifs :

- Un titre minier, en application du décret 95-427 du 19 avril 1995 (modifié) ;
- Une autorisation d'occupation temporaire du domaine public maritime, dite "autorisation domaniale", en application du décret 80-470 du 18 juin 1980 (modifié) ;
- Une autorisation d'ouverture de travaux en application des décrets 80-470 du 18 juin 1980 (modifié) et 95-696 du 9 mai 1995.

Pour obtenir l'autorisation d'effectuer un dragage, il faut effectuer une procédure regroupant différentes obligations et se déroulant en deux phases distinctes (Illustration 12) :

- Phase 1 : l'instruction minière ;
- Phase 2 : l'ouverture des travaux après l'obtention d'une autorisation ministérielle.

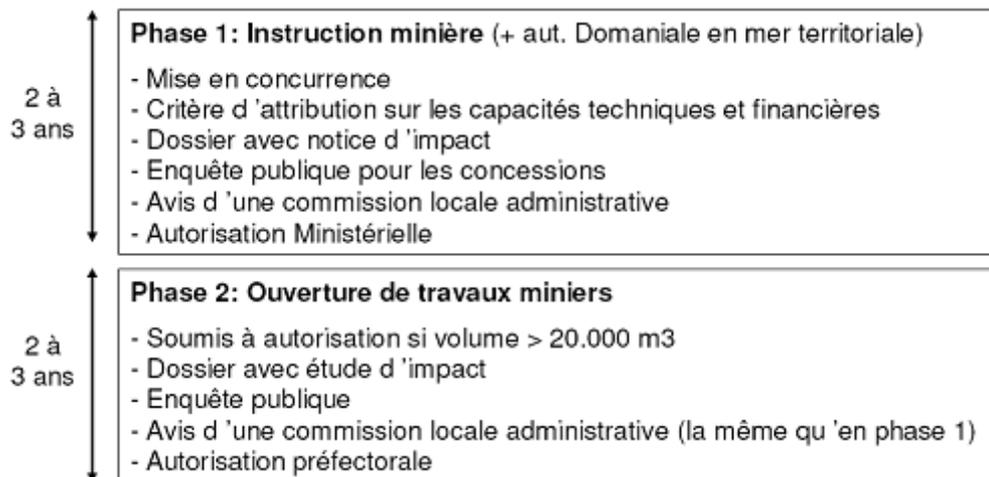


Illustration 12 - Etapes de la procédure pour l'extraction de sable en mer (source : beachmed).

L'ensemble de la procédure peut prendre entre 4 et 6 ans en raison de la complexité et de l'importance du nombre d'organismes sollicités au cours de l'instruction du dossier.

3.3.2. Les techniques d'extraction marine

Le dragage consiste à prélever des matériaux situés en fonds de mer dans le but de les exploiter pour la réalisation de divers travaux (génie portuaire, remblayage et aménagement des plages,...). Le dragage se fait par pompage hydraulique. La pression d'aspiration est créée par une ou plusieurs pompes centrifuges de dragage fixé sur le même tuyau d'aspiration.

Les dragues suceuses qui utilisent ce genre de technologie sont divisées en différentes catégories suivant leurs technologies et leurs fonctionnements :

- les dragues à désagrégateur ;
- les dragues suceuses porteuses à élinde traînante et ;

- les dragues suceuses stationnaires.

Les principes de fonctionnement des dragues sont reportés en Annexe 1 pour information.

3.3.3. Conclusion

La réglementation s'appliquant aux zones côtières est régie par la loi des 12 miles. Cela sous-entend la procédure décrite dans l'illustration 12.

D'après cette procédure, si le volume prélevé est inférieur à 20 000 m³ alors les travaux d'extraction ne sont pas soumis à autorisation.

A cette procédure s'ajoute la réglementation environnementale telle que la présence de ZNIEFF ou de DH (Directive Habitat). De plus, les aspects techniques entrent en compte car selon le lieu où s'effectue le dragage et les volumes prélevés et la profondeur d'extraction, les types de drague (et donc les coûts) varient beaucoup

4. Données géophysiques

Ce chapitre présente les différentes investigations géophysiques qui ont été réalisées avec des objectifs différents, sur le littoral du SCoT PM, au niveau du plateau continental et du prisme littoral.

L'ensemble de ces données constitue une base d'informations sur la structure et la nature géologique du domaine marin, en termes de répartition superficielle de la nature fonds mais également en termes d'épaisseurs sédimentaires pour les formations récentes.

4.1. DONNEES PETROLIERES

Le portail d'accès du Bureau Exploration-Production des Hydrocarbures (BEPH, (www.beph.net)) rassemble les données de sismique pétrolière et de forages qui ont été acquises sur le territoire national par les opérateurs pétroliers, et versés dans le domaine public au titre du code minier.

A la différence d'autres régions françaises, le plateau continental varois n'a fait l'objet que de peu de campagnes d'exploration (Illustration 13). Les données disponibles sont situées très au large de la marge continentale, dans des fortes profondeurs d'eau, et sont de plus, très anciennes.

Pour ces raisons, elles ont été exclues de l'analyse.

4.2. RECHERCHES DE GRANULATS MARINS SUR LE PLATEAU CONTINENTAL PROVENÇAL (CNEXO)

Dans les années 1970, des prospections géophysiques ont été réalisées sur le plateau continental de la Provence pour rechercher des gisements potentiels de sables et graviers à des fins d'exploitation commerciale (construction et travaux publics).

Avant ce travail, aucune étude stratégique sur l'exploitation des sables du plateau continental n'avait été entreprise. Le CNEXO lance alors une étude à large échelle sur les années 1971-1973 pour compléter ce manque de connaissances, avec une campagne de prospection géophysique par sismique réflexion par le Musée Océanographique de Monaco (Leenhard, 1972 ; Blanc et al., 1972).

Avant ces investigations à grande échelle, des extractions sporadiques et désordonnées sur le littoral et le plateau continental provençal avaient été signalées. Ainsi, Blanc et al. (1972) font également état d'extractions dangereuses pour le littoral sur la plage de Giens Ouest (tombolo ouest), à la Capte et dans l'embouchure du Gapeau, et parfois clandestines sur la plage des Sablettes et à Porquerolles.

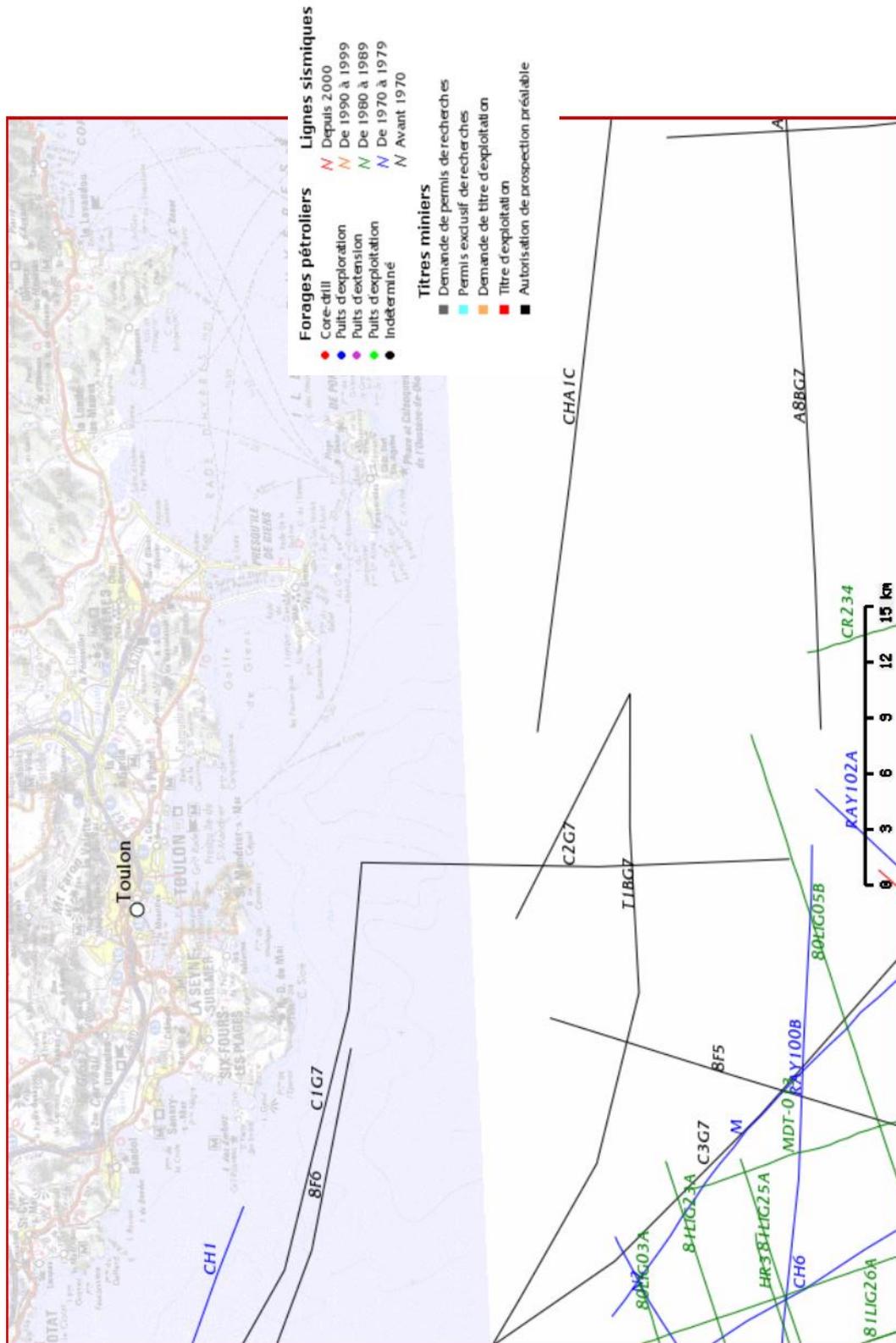


Illustration 13 - Inventaire des données de sismique pétrolière disponible sur le plateau continental varois au large du Territoire du SCoT PM, enregistrées au Guichet Hydrocarbures – BEPH (www.beph.net)

Une série de sites, présélectionnés sur des critères géomorphologiques et en termes de nature superficielle des fonds, ont ainsi fait l'objet d'investigation géophysiques pour évaluer les épaisseurs sédimentaires, dont certains au large du littoral du SCoT PM (Illustration 14).

4.2.1. Typologie des gîtes marins sur plateau provençal

Les gisements identifiés sont généralement des corps sédimentaires fossiles, en ce sens qu'ils ne sont pas réalimentés par des apports liés à des courants actuels, à la différence par exemple des dunes hydrauliques en Manche orientale.

Ainsi, toute extraction entraîne une perte nette dans les stocks sédimentaires jamais compensée. Blanc et al (1972) distinguent deux grands types de gisements sous-marins sur le plateau provençal :

- Sables et amas coquilliers, mis en place lors de la dernière remontée du niveau marin (depuis environ 18 000 ans) : ce sont des sédiments reliques qui ont été probablement piégés par des structures topographiques ;
- Lobes deltaïques sableux, aux anciens débouchés du Rhône (pour la partie ouest-PACA).

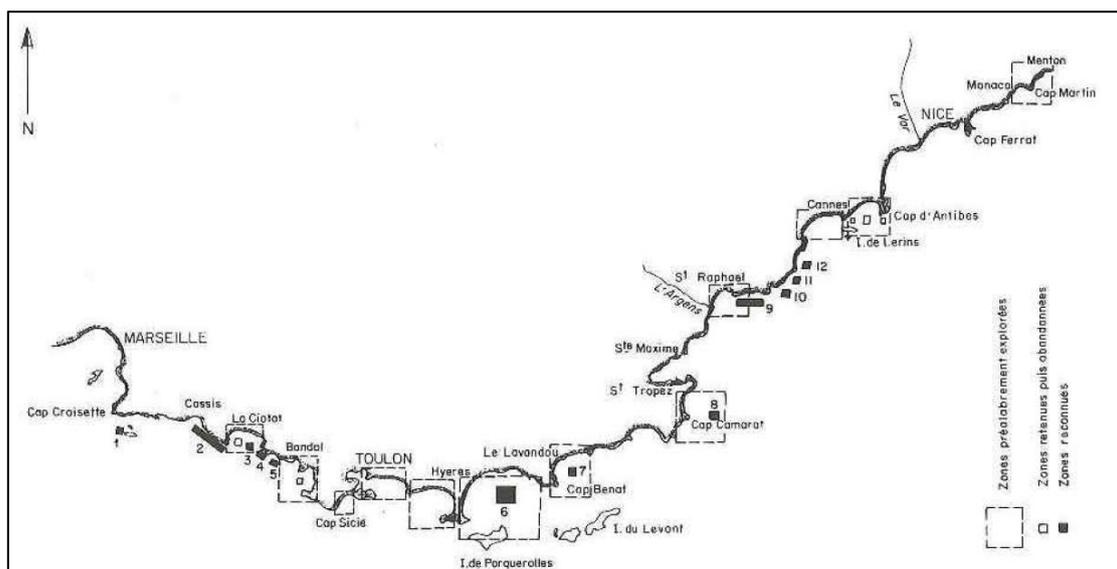


Illustration 14 - Gisements potentiels reconnus par l'institut Océanographique de Monaco (SOGREAH, 1984).

4.2.2. Gisements reconnus au large du littoral du SCoT PM

Une série de sites potentiels a été identifiée au large du littoral du SCoT PM et ceux-ci ont fait l'objet de cartographie des épaisseurs sédimentaires au-dessus du substratum rocheux (Leenhard, 1972) :

- entre la pointe Grenier et la poite du Defend ;
- au centre de la rade d'Hyères (Illustration 15) ;
- dans la rade de Bormes.

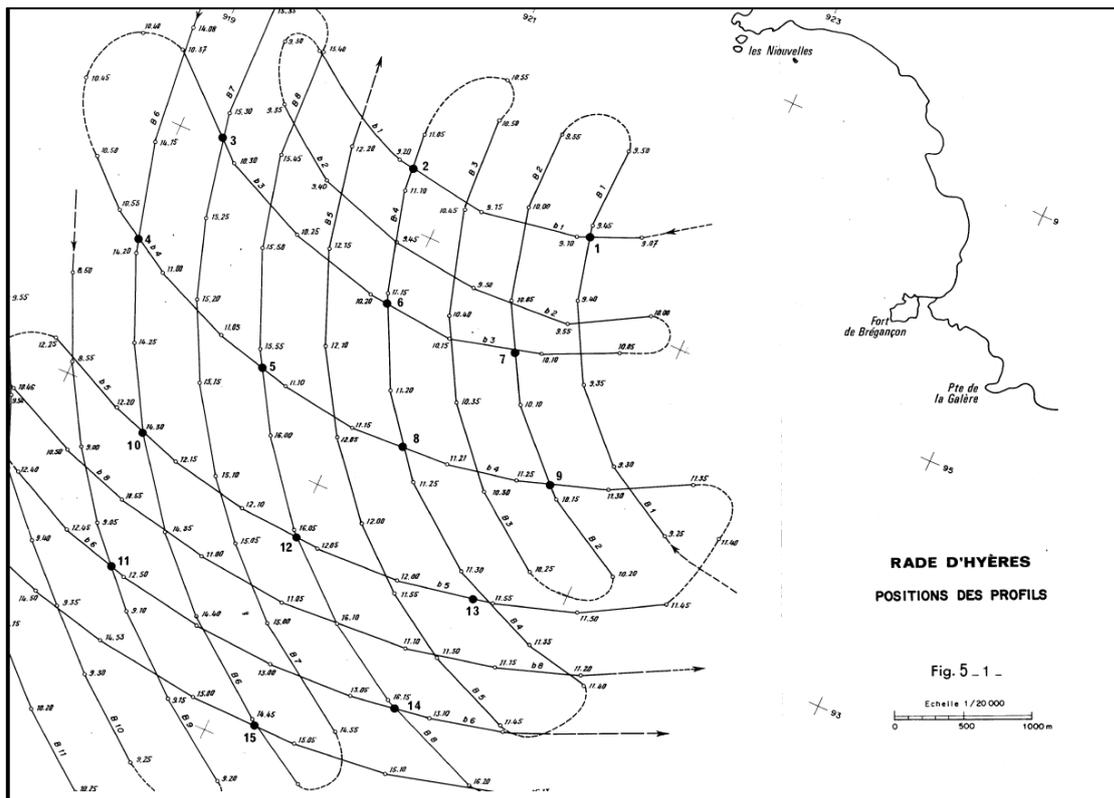


Illustration 15 - Plan de prospection géophysique en rade de Hyères (Leenhard et al., 1972)

Les cartographies des épaisseurs de sédiments, exprimées en vitesse de pénétration des ondes acoustiques⁷ pour ces 3 sites sont rassemblées en Annexe 1. Les épaisseurs déduites varient entre 0 et 20 m, les plus importantes se situant dans la rade d’Hyères.

Les informations ont été synthétisées par site par Blanc et al. (1972) pour une analyse des différentes contraintes pour une exploitation potentielle de ces gîtes.

Il ressort de cette analyse qu’en raison de la proximité de l’herbier de posidonies, les contraintes environnementales sont telles, que les auteurs déconseillent formellement leur exploitation :

- au niveau de la zone du Défend, ils mentionnent que l’exploitation est possible « *si on accepte la destruction de l’herbier du Defend* » ;
- au niveau de la rade d’Hyères, l’exploitation n’est possible qu’entre 30 m et 40 m de profondeur, avec des sédiments très hétérogènes en termes de teneur en particules fines à l’échelle du gîte, et ne peut se faire qu’au risque de détruire à très court-terme « *le plus bel herbier à Posidonies du littoral méditerranéen français* » ;
- le gîte au large de Bormes n’est pas retenu par Blanc et al. (1972) pour être exploitable en raison des relatives faibles épaisseurs sédimentaires reconnues (8 m au maximum, et très localement) et une faible extension des masses sableuses, autour d’un éperon rocheux.

⁷ En sismique réflexion, les épaisseurs sont exprimées en ms temps double (ms-td) qui correspond au temps aller-retour entre la source acoustique et le réflecteur repéré. La vitesse des ondes acoustiques dans les sédiments meubles des fonds sous-marins type sables fins à grossiers est de l’ordre de 1700 m/s, soit 1 ms-td = 0,85 m.

4.2.3. Conclusion

L'exploitation potentielle des granulats marins à partir des investigations menées par le CNEXO dans les années 1970 sur le plateau continental varois s'est ainsi heurtée à une série de contraintes :

- des gisements épars et très localisés probablement sur des irrégularités du substratum rocheux ;
- de faibles ressources en termes d'épaisseurs et de volumes sédimentaires ;
- des sédiments hétérogènes, présentant des fractions vaseuses parfois importantes et nécessitant un nettoyage pour être utilisés ;
- des contraintes environnementales trop importantes, en raison de la proximité de l'herbier de posidonies.

L'ensemble de ces raisons explique qu'à ce jour, aucune étude de gisement n'ait été entreprise de manière extensive à l'échelle du plateau continental varois.

4.3. TRAVAUX DE RECHERCHE DE BRUNEL (2010)

Dans son travail de thèse réalisée au CEREGE (Université Aix-Marseille), Brunel (2010) a réalisé des levés géophysiques par sismique-réflexion à l'aide d'un sondeur de sédiments, afin de quantifier les volumes sédimentaires sur les plages de Porquerolles :

- Plage d'Argent ;
- Plage de la Courtade ;
- Plage Notre-Dame.

L'illustration 16 montre un exemple des données acquises, et interprétées en termes d'architecture interne du prisme littoral et d'épaisseur sédimentaires.

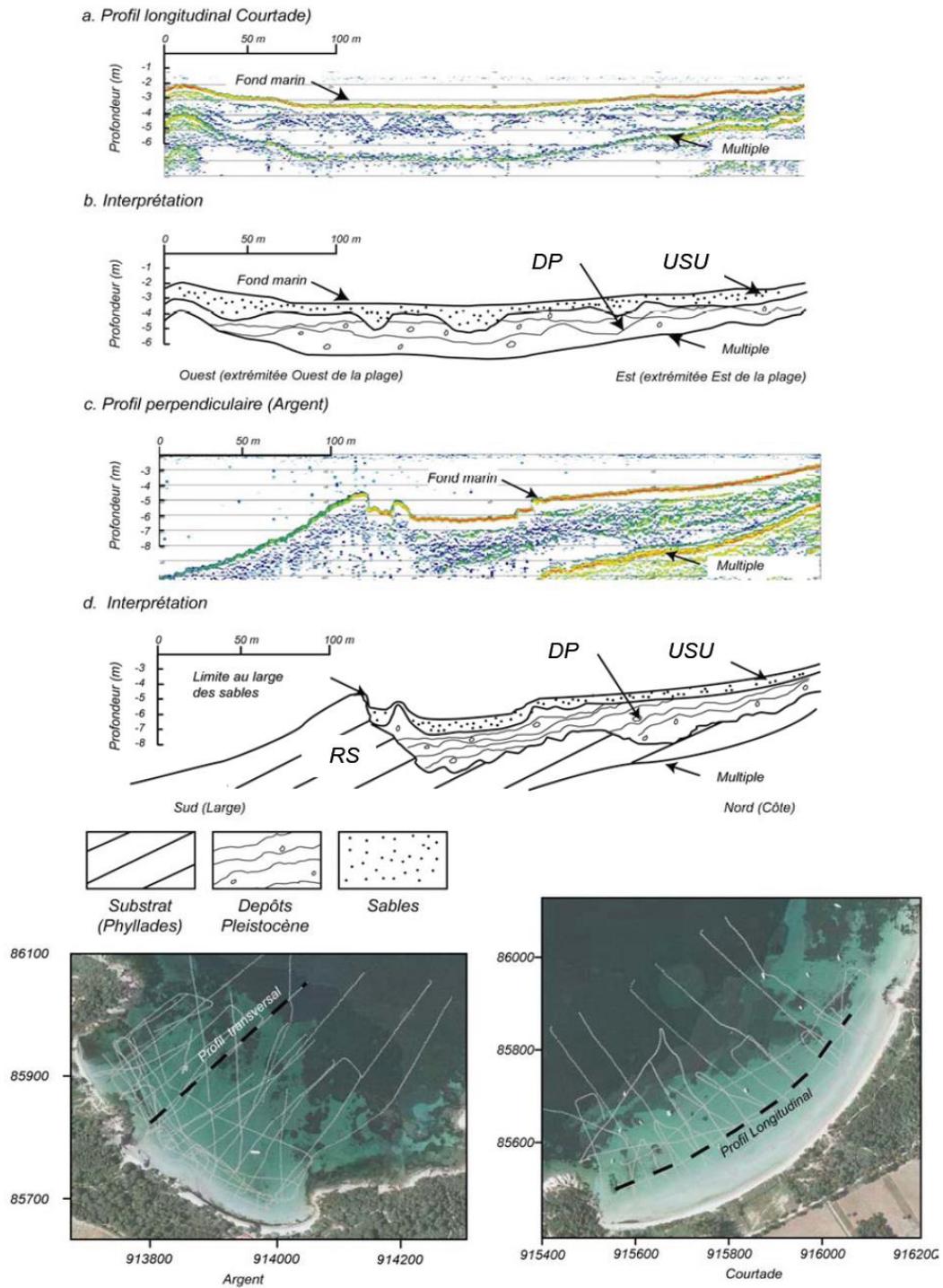


Illustration 16 - Exemple de profils sismiques et interprétation sur les plages d'Argent et de la Courtade (Porquerolles). RS : roches, substrat ; DP : dépôts pléistocènes ; USU: unité sableuse supérieure

L'Annexe 3 rassemble des exemples de profils acquis sur ces trois plages. Pour chacune d'elles, les données sont interprétées sous forme de carte d'épaisseurs de sédiments (cartes d'isopaques, Illustration 17 et Illustration 18).

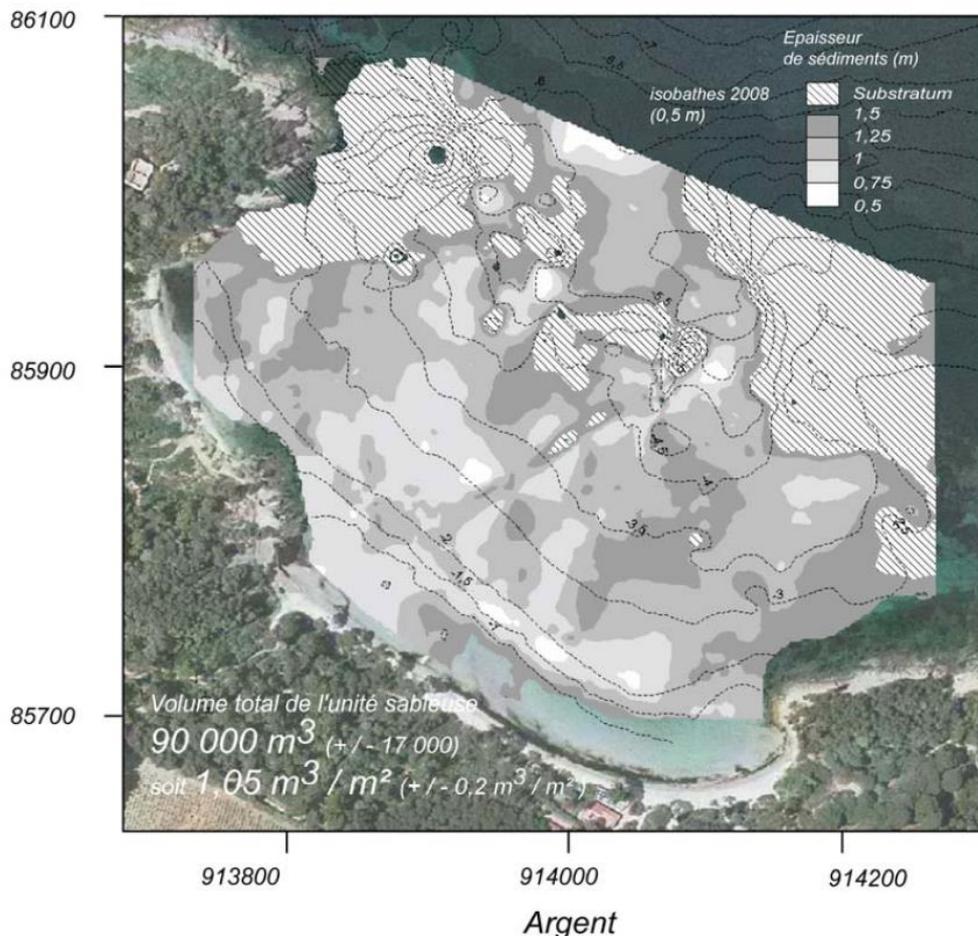


Illustration 17 - Carte d'épaisseur de sédiments au-dessus du substratum rocheux – Plage d'Argent (Porquerolles; Brunel, 2010).

Ces données montrent que sur les plages de Porquerolles, le prisme sableux récent est caractérisé par une épaisseur sableuse moyenne de l'ordre de 1 à 1,5 m. Il repose sur une couche d'âge pléistocène, constituée de sédiments très hétérométriques, affleurant au niveau des falaises vives en arrière des plages. Cette formation repose également sur les schistes et phyllades des Camaures qui constituent le soubassement de l'île de Porquerolles.

Les profils sismiques transversaux sur les trois plages étudiées montrent que le prisme sableux est relativement protégé par les éperons rocheux du substratum rocheux qui affleurent au large et assurent ainsi une protection et un blocage à la côte des sédiments.

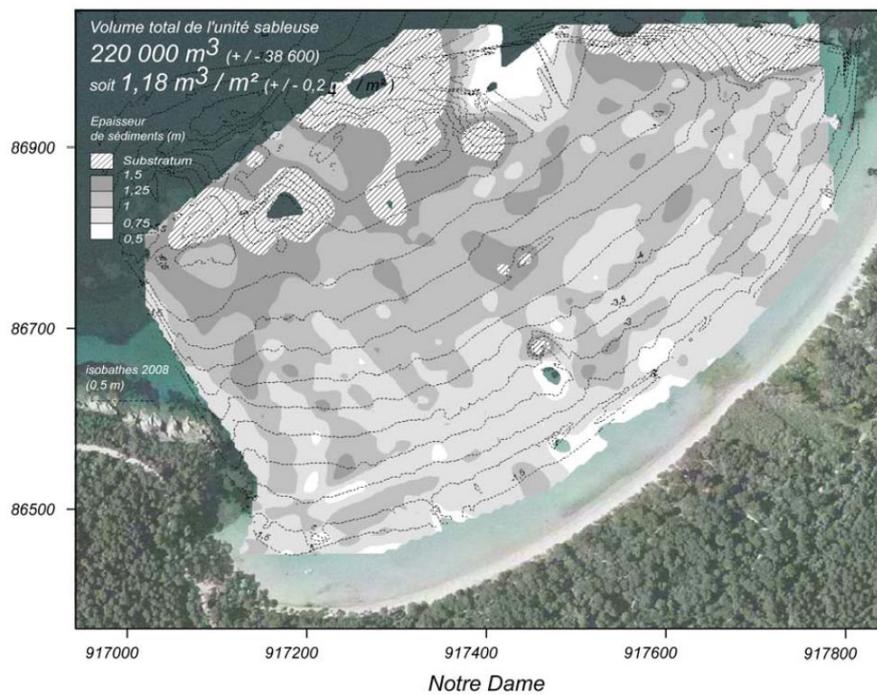
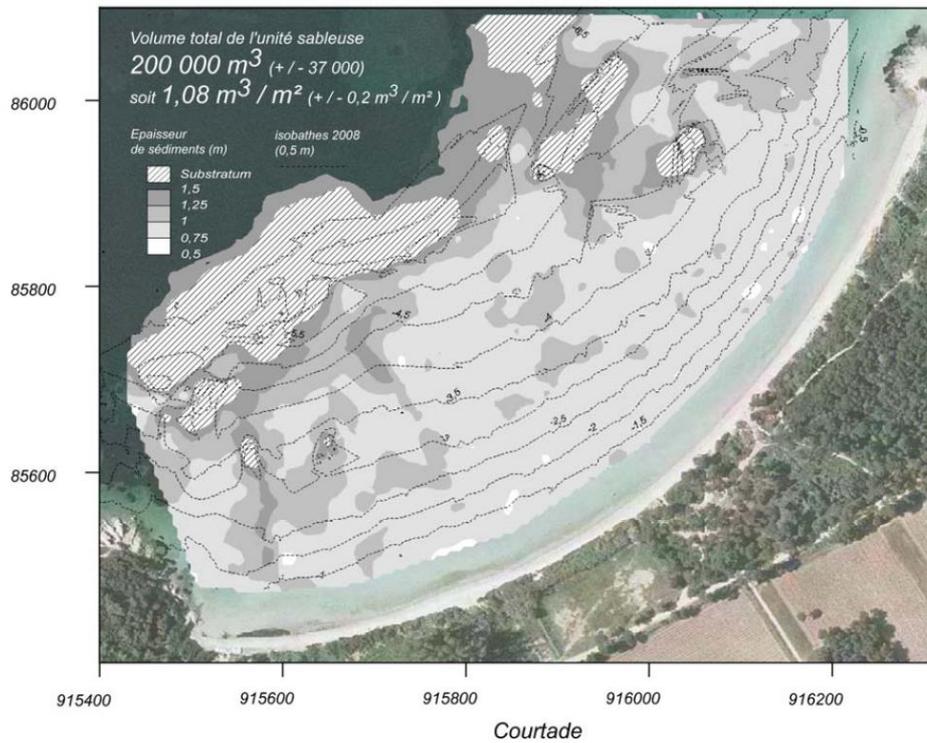


Illustration 18 - Carte d'épaisseur de sédiments au-dessus du substratum rocheux – Plage de la Courtade et Notre-Dame (Porquerolles ; Brunel, 2010).

Sur les plages de Porquerolles, le prisme sédimentaire est une masse sableuse relique dans la mesure où il n'est pas alimenté par des cours d'eau. La seule source d'alimentation possible de la plage est le produit de l'érosion des falaises en arrière.

4.4. SYNTHÈSE SUR LES DONNÉES GÉOPHYSIQUES DISPONIBLES

Les données géophysiques et les informations sur les épaisseurs des sédiments tant sur le plateau continental que sur le prisme littoral, disponibles sur SCoT sont rares et anciennes à l'exception des plages de Porquerolles.

Les travaux du CNEXO dans les années 1970 sur le plateau continental ont montré la rareté des ressources sédimentaires dans des profondeurs exploitables. Ces travaux soulignaient également les risques liés à une exploitation éventuelle, et en particulier la dégradation probable de l'herbier de posidonies, et par conséquent, la déstabilisation des équilibres sédimentaires dans la zone littorale entraînant de fait une aggravation probable des phénomènes d'érosion à la côte.

Pour ces raisons, les exploitations de gisements de granulats en mer étaient fortement ou formellement déconseillées par les auteurs (Blanc *et al.*, 1972).

Les levés géophysiques de Brunel (2010) sur les plages de Porquerolles montrent que le prisme littoral y est peu épais, et que sa répartition est contrainte par le substratum rocheux. C'est enfin une masse sableuse relique dans la mesure où il n'est plus du tout alimenté par des cours d'eau.

Cet inventaire souligne ainsi :

- la faible potentialité du plateau continental pour la recherche de sédiments sableux ;
- la lacune de connaissance sur la structure et le volume du prisme littoral au niveau des plages à l'exception de Porquerolles.

5. Données sédimentologiques

Les différentes sources d'information disponibles sur la répartition des sédiments superficiels sur le territoire du SCoT Provence-Méditerranée ont été consultées pour avoir une visibilité des secteurs d'affleurement des sédiments sableux et graveleux.

5.1. BANQUE DE DONNEES DE GEOLOGIE MARINE (BGM)

La Banque de Géologie Marine (BGM) compile les informations relatives aux prélèvements et aux carottages réalisés sur le plateau continental qui ont été acquis dans le cadre de missions scientifiques ou industrielles, et déclarées au BRGM.

En octobre 2014, la base de données recense 73 entrées :

- des prélèvements de surface (benne Van Veen) dans la rade de Giens et au droit du Cap-Garonne : ils sont de nature sableuse variée (sables fins à sables envasés).
- des carottages réalisés entre 1967 et 1972 au large de la rade de Toulon, entre 81 et 2800 m, dans l'axe du canyon de Toulon. Ces prélèvements essentiellement vaseux sont situés à des profondeurs hors du domaine de la présente étude.

Les données sont présentées dans l'Annexe 4. Etant donné leur localisation à grande profondeur, elles n'ont que peu d'intérêt pour ce qui concerne le présent travail.

5.2. DONNEES CARTE G – SHOM

Le SHOM produit des cartes de nature des fonds (Carte G) élaborées à partir des données sédimentaires recensées, numérisées et intégrées à la Base de Données Sédimentologiques du SHOM (BDSS2D).

Le littoral du SCoT PM est couvert par deux cartes à 1/50 000 (Illustration 19).

En comparaison avec la cartographie des biocénoses benthiques, dont la synthèse a été réalisée par le CG83 (voir plus loin), la précision des données est moindre et elles ne sont donc pas exploitées.

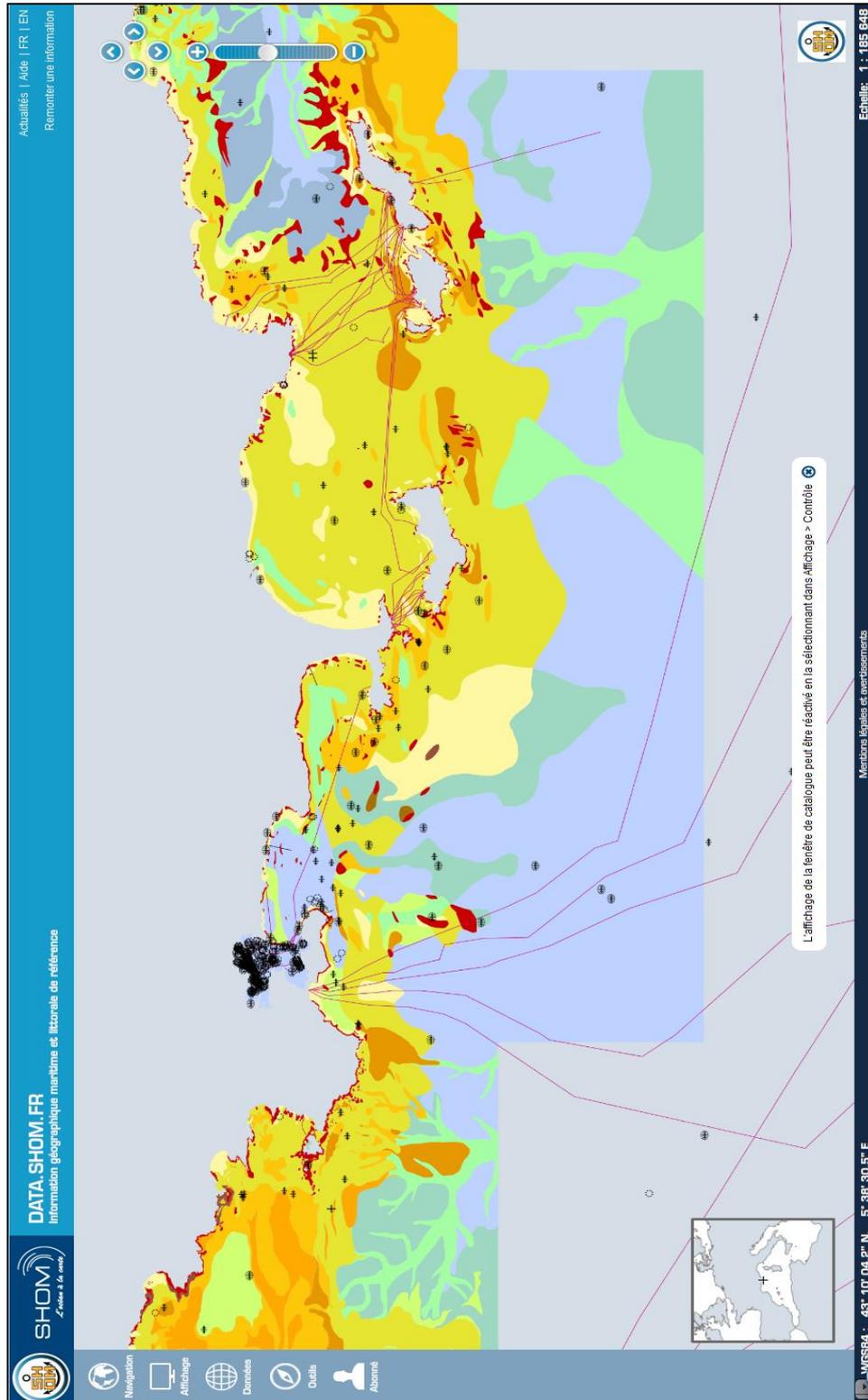


Illustration 19 - Carte de nature des fonds (source datashom.gouv)

5.3. CARTOGRAPHIE DES BIOCENOSES MARINES

Une carte des biocénoses benthiques, issue d'une synthèse des travaux de cartographie sous-marine sur le plateau continental varois, a été réalisée sous maîtrise d'ouvrage du Conseil Général du Var, à l'échelle 1/25 000, dans le cadre de l'élaboration du Schéma Départemental de la Mer et du Littoral du Var (2010).

Elle rassemble essentiellement, les observations réalisées lors de levé de sonar à balayage latéral sur les herbiers de posidonies sur la période 1993-2008, et reclassifiées selon la nomenclature suivante :

Abréviations	Biocénose
	Fond meuble du circalittoral
DC	Détritique côtier
DC rodolithe	Détritique côtier Rodolithe
Dce	Détritique côtier envasé
	Coralligène
C	Coralligène
coralligène	coralligène
	Matte Morte de posidonie
MM	Matte Morte de posidonie
matte	Matte morte de posidonie
Matte Mort	Matte Morte de posidonie
	Herbier de Posidonie
P	Posidonie
PE	Posidonie éparses
HP	Posidonie
Coralligène/Posidonie	Mosaïque posidonie et coralligène
Posidonie	posidonie
PE	Herbier de posidonie clairsemé
	Roches à algues photophiles
E	Enrochement
R	Roche à algues photophiles
Rg	Galets et petits blocs rocheux
	Fond meuble de l'infralittoral
S	Sable
Sg	Sables grossiers

Illustration 20 - Classification des biocénoses benthiques (CG83, 2010).

Les zones recherchées sont les zones de dépôts meubles de sables et sables grossiers. Elles sont essentiellement localisées au niveau du prisme littoral, entre la plage et l'herbier de posidonies (Illustration 22).

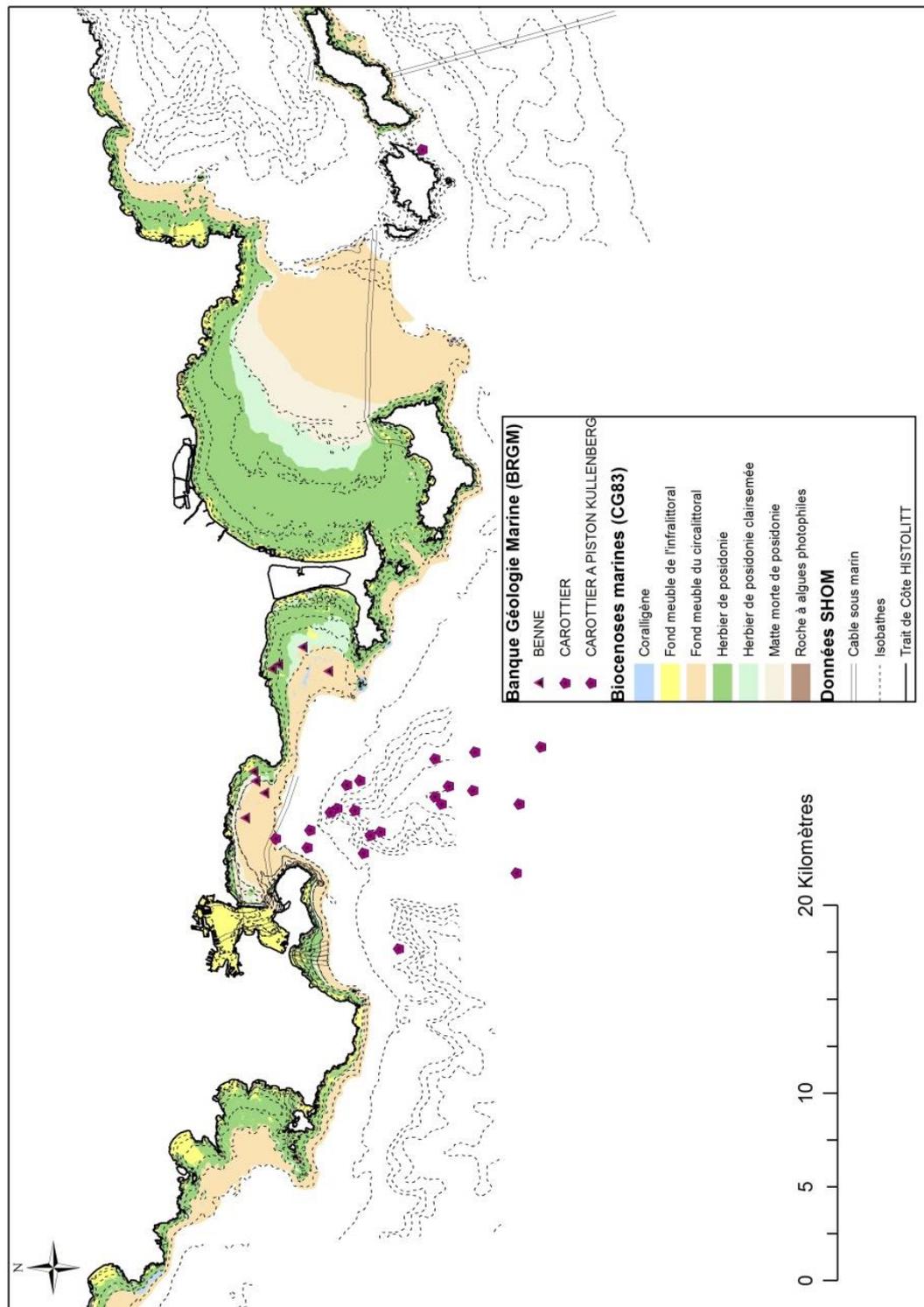


Illustration 21 Répartition superficielle des sédiments sur le plateau continental. Sources : carte des biocénoses marines (CG83), Banque de Données de Géologie Marine (BRGM), SHOM

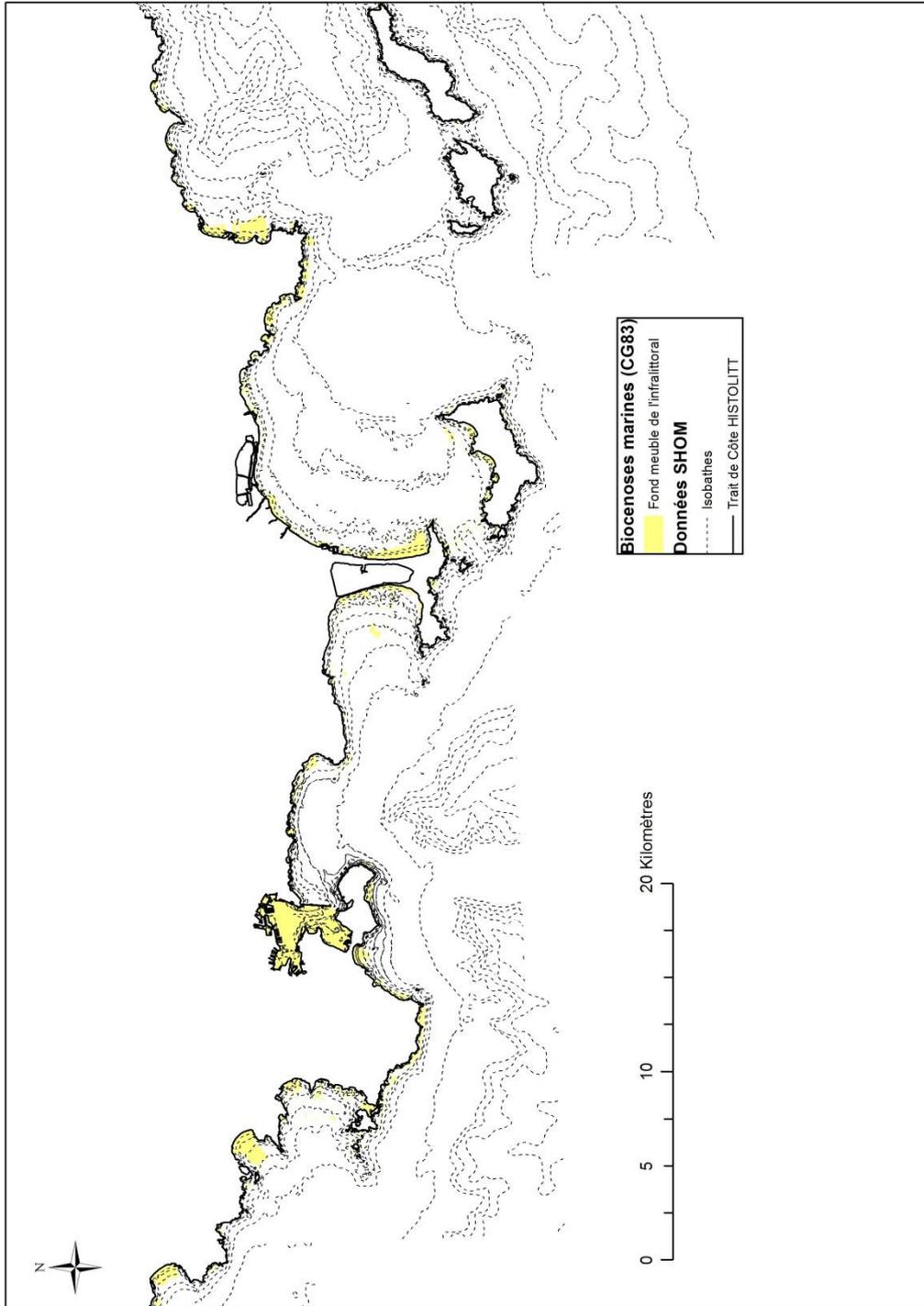


Illustration 22 - Zones d'affleurement des zones sableuses susceptibles d'être prospectées.

5.4. DONNEES BATHYMETRIQUES LITTO3D

Les données bathymétriques, de la base de données Litto3D, constitue également une source d'information précieuse pour l'identification des corps sédimentaires sableux (Illustration 23).

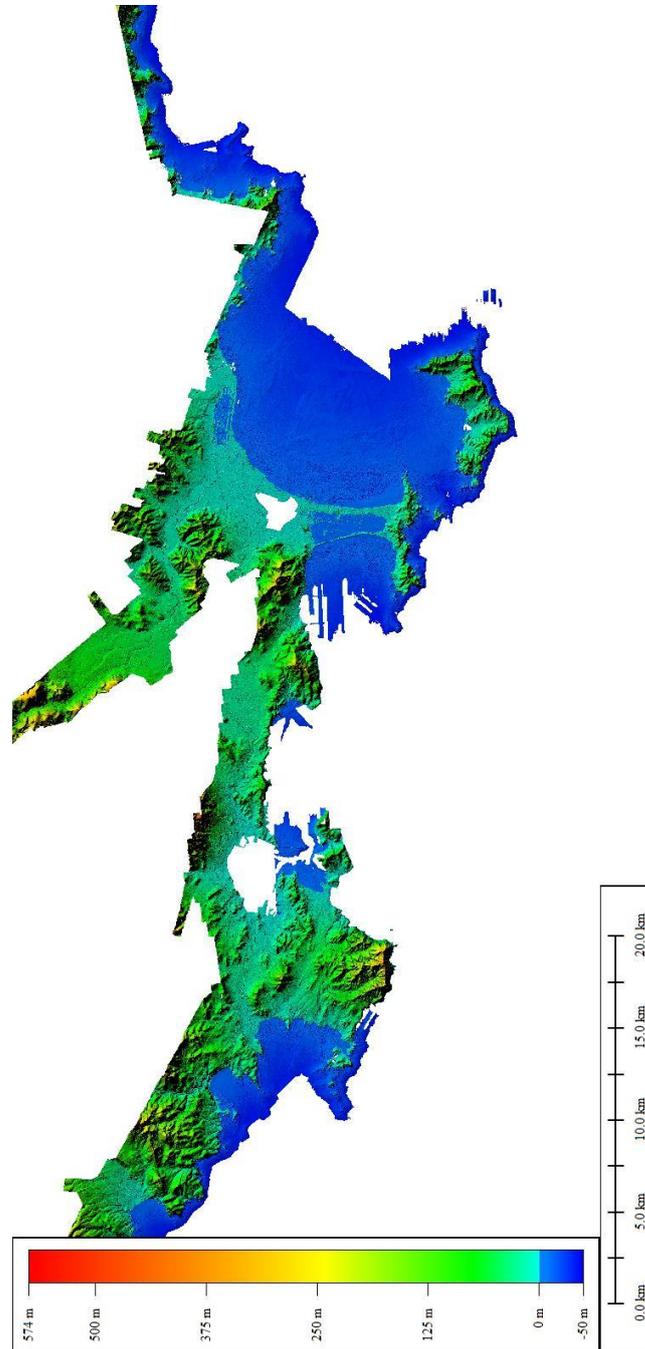


Illustration 23 - Données topobathymétrique Litto 3D sur le périmètre du SCoT Provence-Méditerranée (SHOM)

En effet, la grande densité des points par levés lasers (plusieurs points par m²) sur les surfaces côtières permet de mettre en évidence, par analyse visuelle de la texture, les différences de

nature des fonds. Ainsi, les zones sableuses apparaissent lisses, par rapport aux herbiers de posidonies et aux fonds rocheux (Illustration 24).

Ces différences se marquent d'autant plus que les données sont examinées à haute résolution. Cela permet de préciser finement les limites des zones d'affleurement issues de la carte des biocénoses marines.

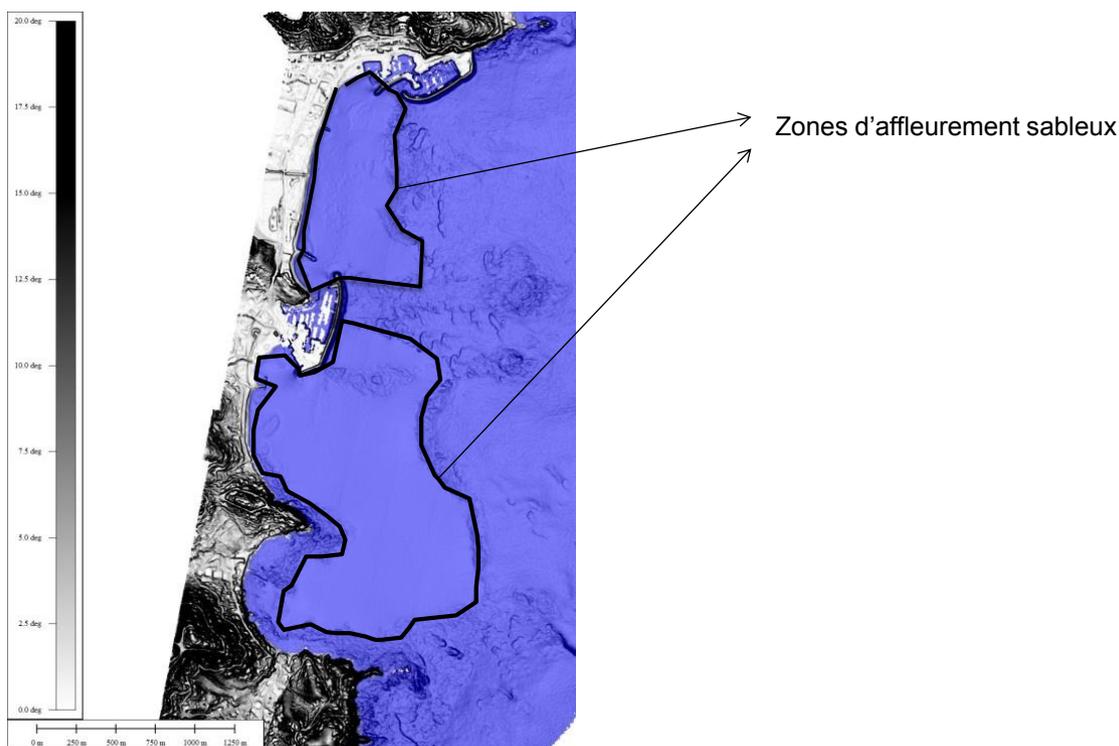


Illustration 24 - Apparence des zones d'affleurement sableux sur les données Litto3D (MNT à 5 m) - Secteur Sud de Bormes-les-Mimosas (SHOM)

5.5. SYNTHÈSE

5.5.1. Données cartographiques

L'illustration 25 résume les informations rassemblées sur les données d'épaisseurs sédimentaires sur le littoral du SCoT Provence-Méditerranée à partir des informations bibliographiques. Elle montre que les avant-plages n'ont pas été étudiées en détail, à l'exception des plages de Porquerolles (Brunel, 2010). Ce sont ces différentes zones qui constituent des cibles pour une prospection géophysique (Illustration 26)

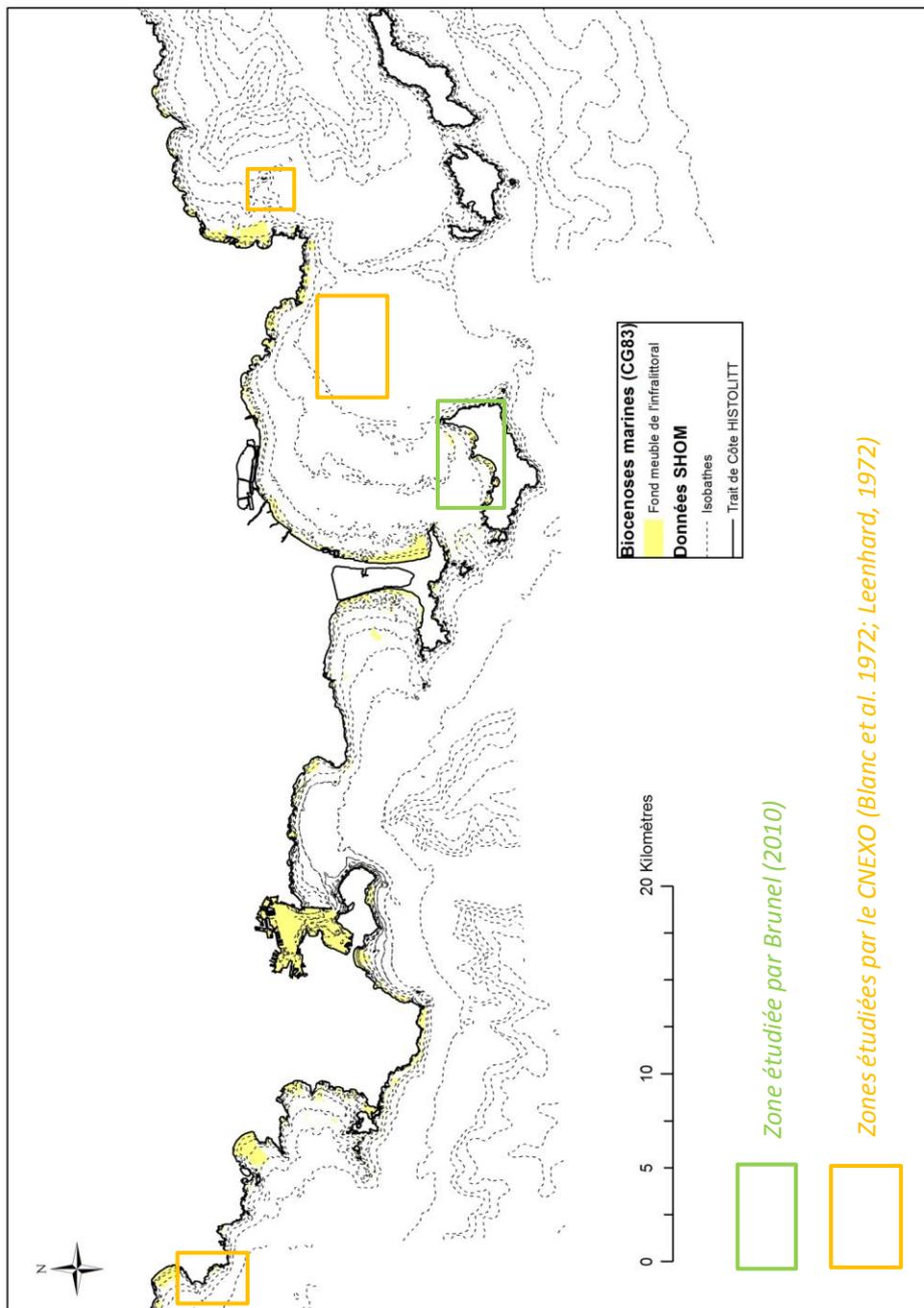


Illustration 25 – Synthèse cartographique des connaissances sur les épaisseurs sableuses

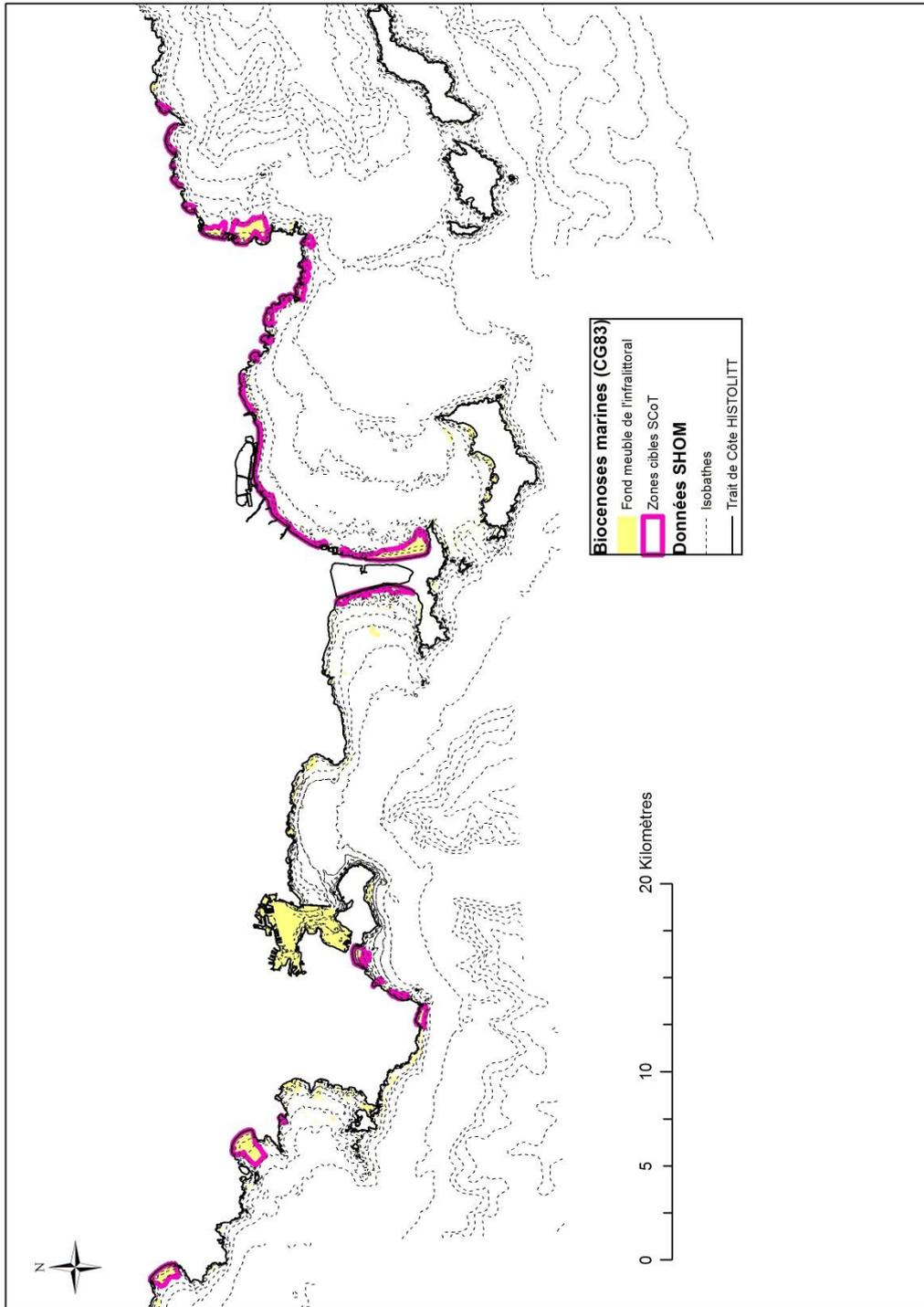


Illustration 26 – Cartographie des zones cibles à investiguer

6. Conclusion

L'objectif de ce projet est de réaliser un premier état des lieux des connaissances sur les stocks sédimentaires littoraux sur le littoral du SCoT Provence-Méditerranée, en termes de ressources et d'usages. Cette analyse se base sur des informations bibliographiques avec pour but de déterminer les zones qui sont intéressantes à investiguer par la suite lors d'une campagne de prospection géophysique dédiée.

Sur le plateau continental varois, les investigations menées par le CNEXO (Blanc, 1972, 1973) sur la recherche de granulats exploitables pour des applications industrielles ont montré que les gisements sont rares, et sont soumis à des contraintes environnementales très importantes, en raison de la présence de l'herbier de posidonies. Ainsi, il avait été identifié trois gisements potentiels (au large de Bandol, ouest du tombolo de Giens, et centre de la rade d'Hyères) au niveau d'incisions du substratum rocheux. Les sédiments y sont majoritairement sableux, avec une composante plus ou moins forte de matériaux fins. Cependant, leur exploitation était fortement déconseillée par les auteurs, déjà à cette époque, en raison des impacts probables sur l'état écologique de l'herbier de posidonies et par voie de conséquences, à terme sur la stabilité du trait de côte. Aussi, la recherche de solutions en termes de ressources sédimentaires sur le plateau continental doit être écartée, pour ce qui concerne la plate-forme interne.

En revanche, il reste une importante lacune de connaissance de l'état du prisme littoral proche dans les petits-fonds (corps sableux entre la plage et l'herbier de posidonies). Sa connaissance est indispensable pour apprécier, à court-terme, la résistance effective de la plage à des phénomènes érosifs ponctuels lors de tempêtes et pour évaluer son potentiel de restauration naturelle, à moyen terme. Certaines plages ont déjà fait l'objet de prospection géophysique, comme sur Porquerolles (Brunel, 2010). Les informations rassemblées viendront ainsi compléter les investigations.

Le tableau dans l'illustration 27 et la cartographie de l'illustration 28 rassemblent les zones identifiées comme étant les plus intéressantes pour faire l'objet d'une estimation des volumes sédimentaires.

Les quelques grandes plages de poche de la grande rade de Toulon ne sont pas des cibles prioritaires dans la mesure où l'herbier est très proche de la côte rocheuse, et les usages y sont nombreux. De plus, la dynamique sédimentaire sableuse y est très réduite.

La plage des Lecques à Saint-Cyr-sur-Mer et, dans une moindre mesure l'anse de Bandol, qui présentent de vastes étendues sableuses sur les fonds marins, sont des zones également intéressantes mais de priorité moindre dans une démarche prospective de gestion dynamique des stocks sédimentaires à l'échelle du SCoT Provence-Méditerranée en raison de leur isolement respectif en termes de dynamique sédimentaire.

Les différentes zones étudiées feront l'objet d'un levé géophysique par sismique réflexion à l'aide d'un boomer. Le plan d'échantillonnage sera composé de profils de longueur variable en fonction de la distance entre la plage et l'herbier.

N°	Zones	N° de cellule sédimentaire AERM&C (2005)	Contexte	Linéaire
1	Plages de la Corniche du Lavandou	24 : Cap Benat- Cap-Nègre	Plages de poches au comportement isolé	3 km
2	Plages du Lavandou	24 : Cap Benat- Cap-Nègre	Grande unité sableuse orientée Est avec dérive littorale résiduelle Nord-Sud et ensablement des ports de Bormes et du Lavandou	3.5 km
3	Littoral la Londe Port-Pothuau	23 : Cap de l'Estérel Port-Miramar	Littoral orienté Sud, avec ensablement du port Miramar et érosion du littoral des vieux salins	5 km
4	Littoral Est Hyères Ceinturon	23 : Cap de l'Estérel Port-Miramar	Littoral orienté Est en érosion chronique, présence du lobe sableux du Gapeau, interruption du transit sédimentaire par les ouvrages portuaires	4 km
5	Littoral Est Hyères La Capte-La Badine	23 : Cap de l'Estérel Port-Miramar	Littoral orienté en érosion au Nord, et zone d'accrétion sous-marine au Sud	4.5 km
6	Tombolo Ouest de Giens	22 : Pointes de Carqueiranne et d'Escampobariou	Littoral très exposé à l'Ouest, Erosion chronique au Nord Accrétion au Sud, courant de décharge vers le large	4 km
7	Plage des Sablettes (La Seyne)	Cellule non définie	Plage de poche, comportement isolé, érosion chronique du trait de côte, avec transferts sableux vers le large	1.5 km
8	Anse de Bandol	20 : ile de Bendor – Pointe de la Cride	Plage de poche, comportement isolé	1.5 km
9	Plage des Lecques	19 : Cap de l'Aigle "Pointe grenier	Plage de poche, comportement isolé	1.5 km

Illustration 27 - Zones cibles identifiées pour une investigation des stocks sédimentaires.

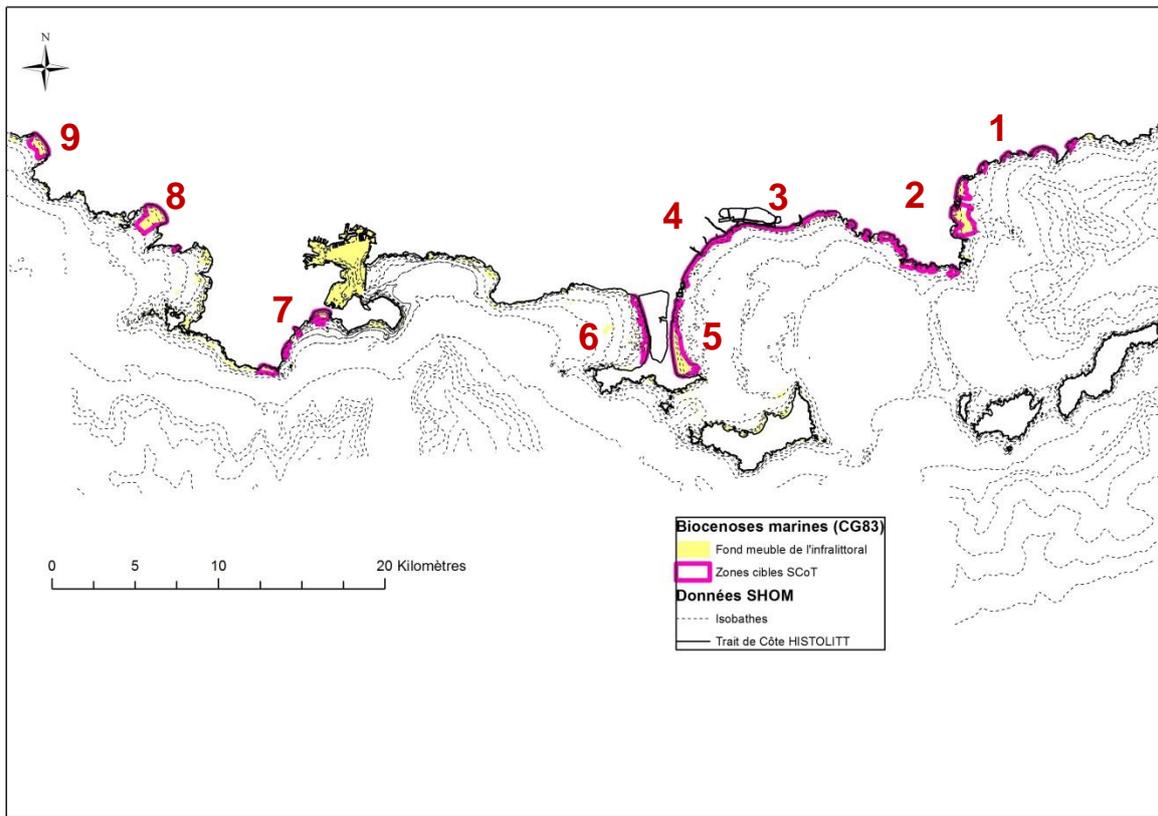


Illustration 28 - Zones prioritaires d'investigation par prospection géophysique

7. Bibliographie

Brunel C. (2010). Evolution séculaire de l'avant-côte de la Méditerranée française. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille I, 470 p.

SOGREAH (1984). Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Méditerranée. Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF, Ed. Eyrolles, 288 p.

Blanc J.J., Picard F., Franza M., et Judy de Grissac A. (1972). Recherches sur les gites sous-marins de sables et de graviers sur le précontinent de la Provence occidentale. Rapport CNEXO, 72/475, 42 p.

Leenhard O. (1972). Sables et graviers entre l'embouchure du Rhône à la frontière italienne. Musée Océanographique de Monaco, CONTRAT CNEXO, 72/471, 6 p.+ cartes.

BEACHMED, 2004. Récupération environnementale et entretien des littoraux en érosion avec l'utilisation des dépôts sablonneux marins : phase A et C. Rapport REF n°14/199 NL/jr, 194 p.

BRGM, 2001. Cartographie des plates formes sous-marines de la Corse entre 0 et 100 mètres de profondeur. Rapport RP-51523-FR, 62p.

RAMOGE, 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia Oceanica*. Pub. :1-202, 174 p.

Annexe 1 - Les types de dragues utilisées pour du dragage de sédiments marins

Les dragues à désagrégateur

Les dragues à désagrégateur sont des dragues de types stationnaires. Ces dragues ont en face de la bouche d'aspiration un désagrégateur rotatif qui désagrège les matériaux solides, ce qui aide au mélange avec l'eau et permet de faciliter le passage à travers le tuyau et le système de pompage.

Ce mélange, une fois passé à travers la pompe pour le sable, est déversé dans une drague. Ce type de drague est souvent connecté à un pipeline de déchargement flottant pour atteindre le rivage. La puissance de pompage est généralement suffisante pour couvrir la distance jusqu'au lieu de déchargement.

Ces dragues sont caractérisées par de grands volumes de production. Elles ont comme autres caractéristiques de fonctionnement : la possibilité de pomper sur plusieurs kilomètres de distance ; une limitation dans la profondeur de travail (pas plus de -35 m) ; le besoin d'un petit équipement spécial (bateau auxiliaire équipé) pour l'ancrage et le repositionnement de la drague ; la difficulté de travailler en haute mer (uniquement par houle modérée) ; l'utilisation de béquilles de support (pieux verticaux) permettant le papillonnage (mouvement latéral progressif) caractéristique de ce type de dragage ; la nécessité d'utiliser des ancres permettant le papillonnage et l'obstruction des canaux de navigation et des accès dans les ports à cause des pipelines flottants et des ancres.

Les dragues à désagrégateur sont principalement utilisées pour : le dragage pour augmenter la profondeur des ports ; la création de nouveaux quais ou de nouveaux canaux ; le broyage et enlèvement de matériaux rocheux de moyenne ou forte dureté et leur déchargement dans des zones spécifiées ; le remblayage de plage dans des zones marines internes ou protégées ; la récupération de terrains marécageux pour la création de nouvelles berges ; l'extraction de sédiments de zones submergées ; le nettoyage de zones polluées par l'enlèvement des terres et des sédiments contaminés et leur déchargement dans des zones réservées.

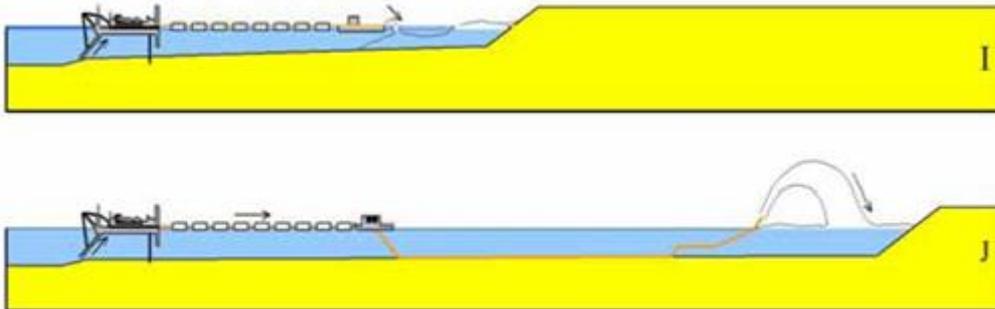


Schéma d'un remblayage de plage avec une drague à désagrégateur (source : beachmed).

Les dragues suceuses à élinde

Les dragues suceuses porteuses combinent les fonctions de dragage et de transport. Ces dragues autopropulsées sont capables de naviguer et de tourner autour d'une zone à draguer tout en stockant les matériaux dragués dans une marie-salope (benne) dont elles sont équipées. Le chargement des matériaux s'effectue au moyen de conduites placées le long de la drague et qui aspirent le fond de la mer à l'aide de puissantes pompes centrifuges. Le déchargement peut s'effectuer soit par ouverture des portes de la benne soit par refoulement via le système des pompes de dragage.

Ces dragues sont caractérisées par un haut niveau de production ; la possibilité de transporter les matériaux sur de longues distances ; leurs dimensions : plus grandes, ces dragues peuvent opérer à de plus grandes profondeurs (au moins 80 mètres et jusqu'à 150 mètres) et sur des distances plus importantes tout en résistant à une hauteur de vague de 1,5 à 2 m et plus ; leur autonomie (dépendent d'aucun auxiliaire) ; leur capacité à fluidifier les sédiments et à les pomper dans un pipeline conçu à cet effet ; la possibilité de décharger les matériaux stockés le long des côtes et elles ne sont soumises à aucune restriction de navigation dans l'aire d'emprunt mais ont besoin d'assistance appropriée pour le travail dans la zone de déchargement prévue.

Les principaux inconvénients sont l'impossibilité de draguer des matériaux durs ou compacts ; l'impossibilité d'opérer dans des zones très restreintes ; la sensibilité à la concentration de débris et la dilution du matériau lors de l'opération de chargement.

En raison de leurs caractéristiques, les dragues suceuses porteuses à élinde traînante sont spécialisées dans les travaux tels que la maintenance ou l'approfondissement des ports, le dragage des canaux d'approche et des bassins de revirement, la création de tranchées sous-marines et le remblayage de plage, la récupération de terres.

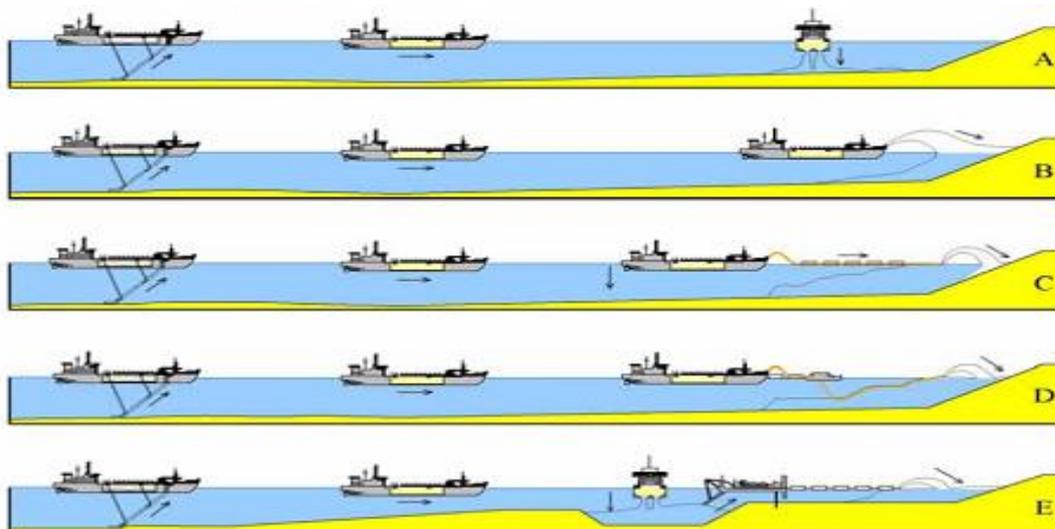


Schéma d'un remblayage de plage avec une drague à élinde traînante (source : beachmed).

Les dragues stationnaires

Elles extraient le sable de la même manière que les dragues suceuses porteuses à élinde traînante mais ne disposent pas de propulsion propre ni de possibilité de stockage des matériaux. Elles déchargent les matériaux dragués via des pipelines ou dans des dragues auxiliaires amarrées le long de la drague. La drague est fixée sur ses ancres et balaie sa zone de travail en papillonnant autour de ses points d'ancrage.

Ces dragues sont caractérisées par des niveaux de production moyens ou élevés et des mélanges de hautes densités et par la possibilité de décharger les matériaux directement sur la plage (ceci en fonction de la distance).

- Les principaux inconvénients sont la difficulté d'opération dans les petits-fonds, la nécessité d'un auxiliaire pour les déplacements, la nécessité d'une mer calme pour les opérations.

Les dragues stationnaires sont principalement conçues pour récupérer directement les matériaux mais parfois elles peuvent décharger les matériaux dans des petites dragues autopropulsées et ainsi, participer à des travaux de remblayage de plage ou des opérations de déchargement de grande envergure.

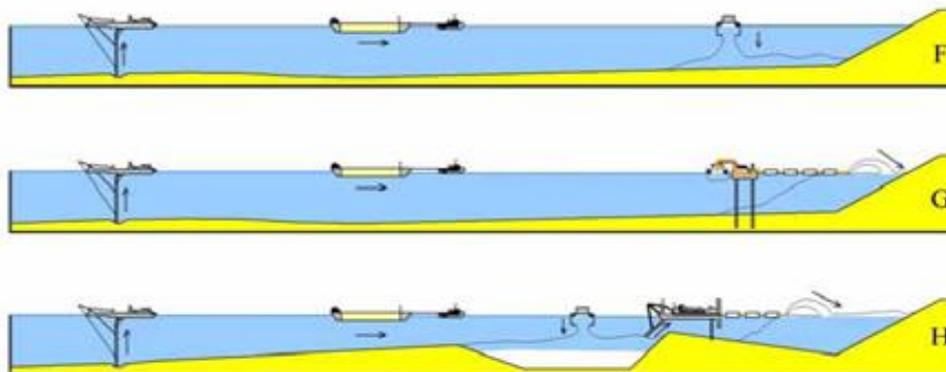


Schéma d'un remblayage de plage avec une drague stationnaire (source : beachmed).

Choix des dragues en fonction des contraintes techniques

Le choix du type et de la taille de la drague dépend du travail souhaité et de l'emplacement du dragage. En effet, le travail en haute mer et/ou à de grandes profondeurs implique l'utilisation de navires de mer spécialement conçus et construits à cet effet. Les règles de sécurité pour les équipages en mer, ainsi que la possibilité de travailler dans des conditions difficiles, imposent l'utilisation d'un équipement hautement sophistiqué capable de travailler en présence de vagues de 1,5 - 2 m et d'extraire du sable à des profondeurs de 40 – 100 m (voire 150 m).

A titre d'exemple, les dragues suceuses à désagrégateur ne peuvent pas opérer dans ces conditions, parce qu'elles ne supportent pas les vagues d'une telle force, et parce que le godet ne peut pas atteindre des profondeurs aussi importantes (profondeur maximum : 30 m). Seules peuvent être utilisées des dragues auto-chargeuses autopropulsées ou autres dragues de haute mer stationnaires spéciales capables d'extraire le sable à des profondeurs de 40 à 150 m (cf. ill. 10).

Profondeur	< 35 m	< 50 m	< 75 m	< 100 m
Petite drague	X			
Drague moyenne	X	X		
Grande drague		X	X	
Drague Jumbo		(X)	X	X

Tableau récapitulatif des profondeurs moyennes de travail des dragues (source : beachmed)

On distingue généralement plusieurs catégories de dragues suceuses porteuses :

- petites dragues : volume entre 1.000 - 3.000 m³ ;
- dragues moyennes : volume entre 3.000 - 8.000 m³ ;
- grandes dragues : volume entre 8.000 - 16.000 m³ et ;
- dragues Jumbo : volume supérieur à 16.000 m³.

L'illustration 11 présente une synthèse des caractéristiques principales de ces dragues. Les dragues dont le volume est inférieur à 1.000 m³ n'ont pas été prises en compte; elles sont utilisées exclusivement pour les travaux dans les ports de mer et les fleuves.

	Petites dragues	Dragues moyennes	Grandes dragues	Dragues Jumbo
Capacité de la marie-salope (m ³)	1.500	6.000	10.000	20.000
Longueur (m)	75	100	135	165
Largeur (m)	13	19	23	30
Profondeur (m)	5,05	9,05	11	12
Profondeur (m)	4,05	8	9	10
Port en lourd (tonnes)	1.700	9.000	16.500	30.000
Puissance totale (kW)	4.500	14.700	19.000	40.000
Profondeur de dragage (m sous le niveau de l'eau)	30	50	50 - 80	130

Les différentes dragues et leurs caractéristiques (source : beachmed).

Les deux paramètres majeurs qui entrent en compte dans le choix d'une drague sont la profondeur de travail et le volume à exploiter. L'utilisation des dragues nécessite un investissement financier conséquent. En effet, les dragues suceuses porteuses à élinde traînante modernes représentent un lourd investissement et leur déploiement est planifié avec rigueur afin d'éviter tout déplacement improductif. Par exemple, le prix journalier d'un voyage (20 à 30 de voyage jours suivant la provenance) d'une grande drague est de 50000 euros (un coût total de 1 million pour 20 jours hors dragage). De plus, la distance à la cote, la main d'œuvre, le carburant ajoutent des coûts non négligeables.

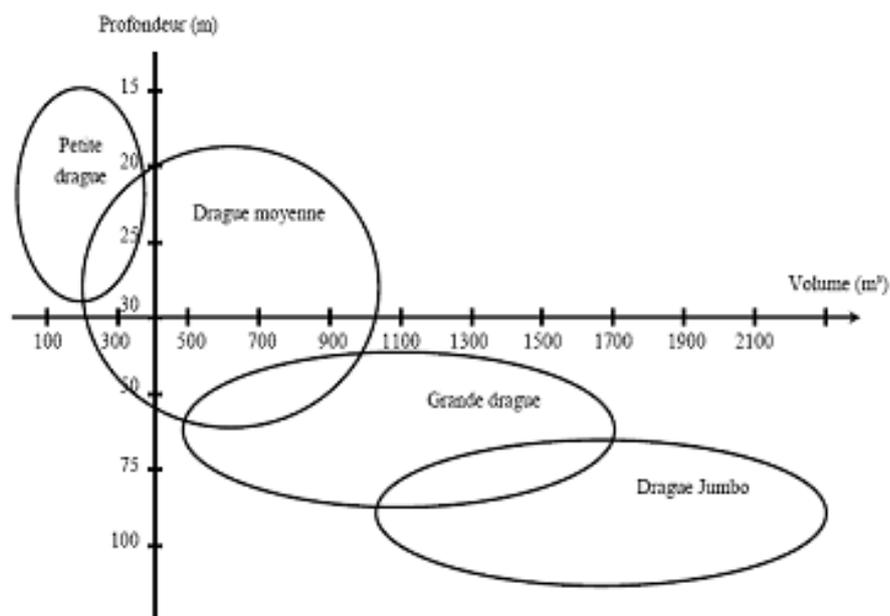
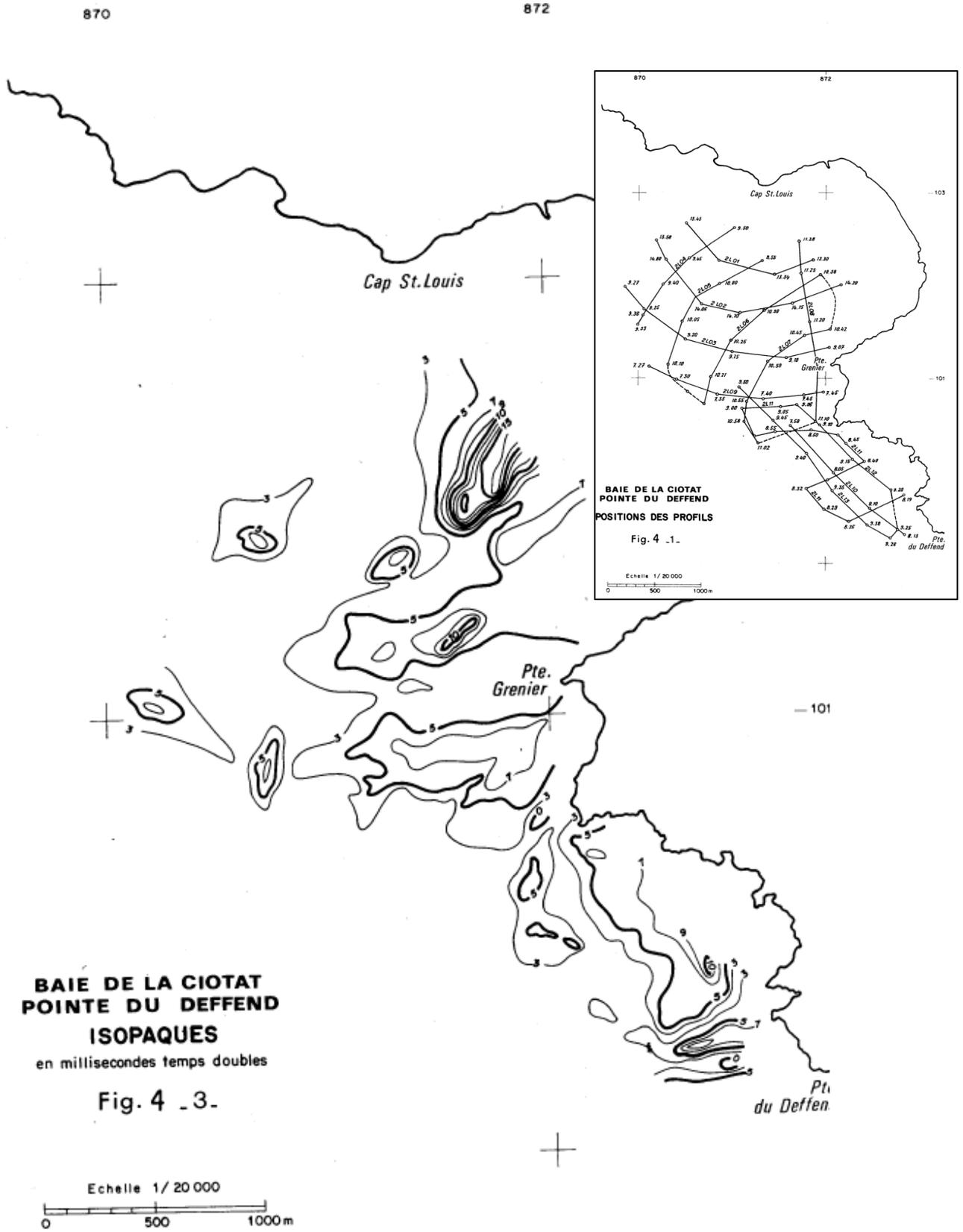
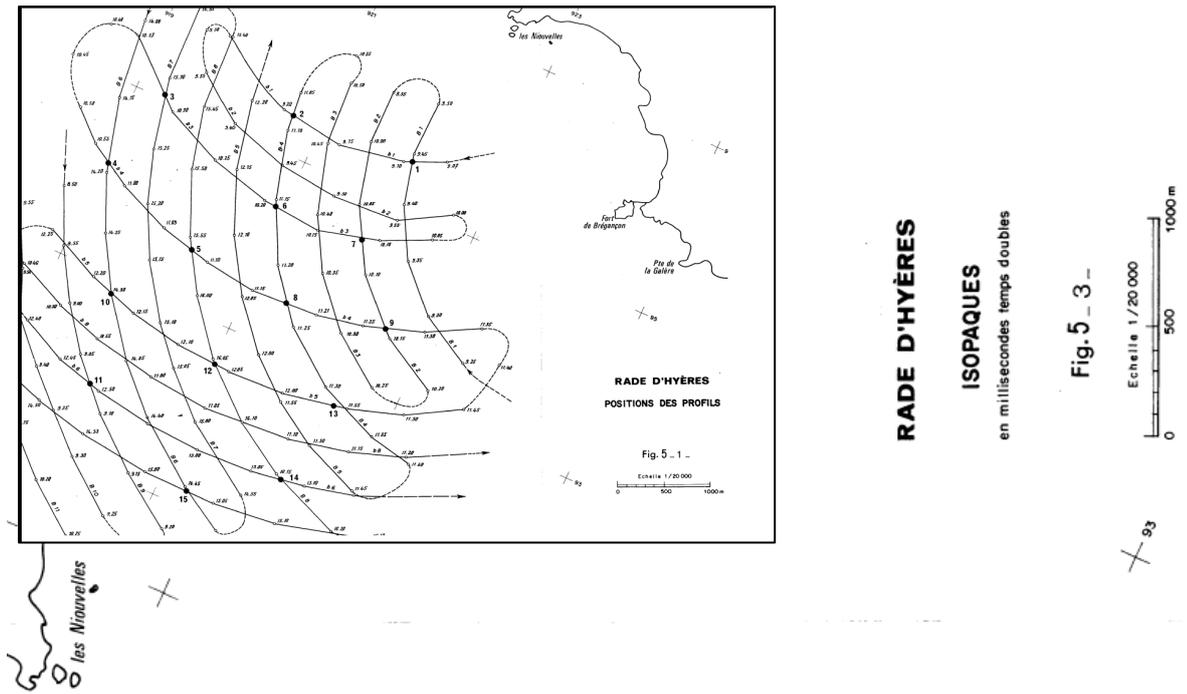


Illustration 29 : Schéma montrant les conditions conditionnant les choix d'une barge (source : beachmed).

Annexe 2- Cartes des épaisseurs sédimentaires sur le plateau continental (CNEXO, Leenhardt, 1972)

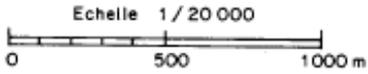




RADE DE BORMES
ISOPAQUES

Fig.6 _3

en millisecondes temps doubles



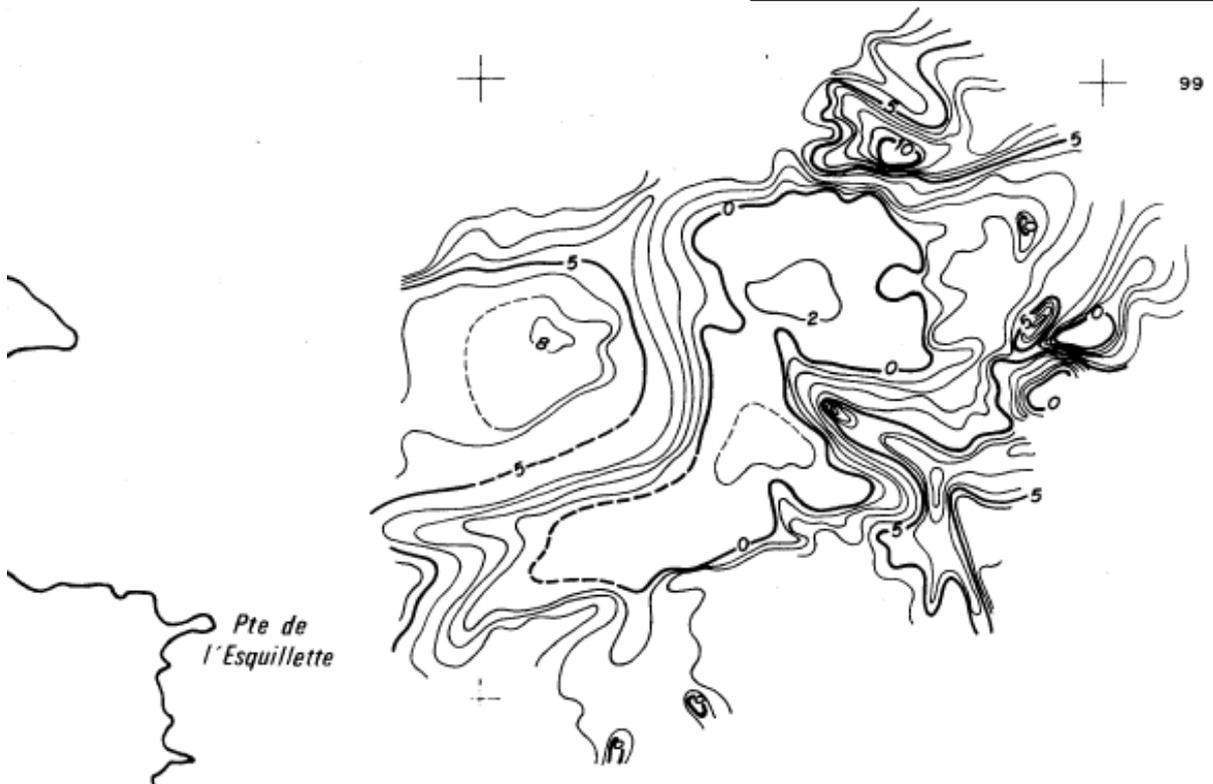
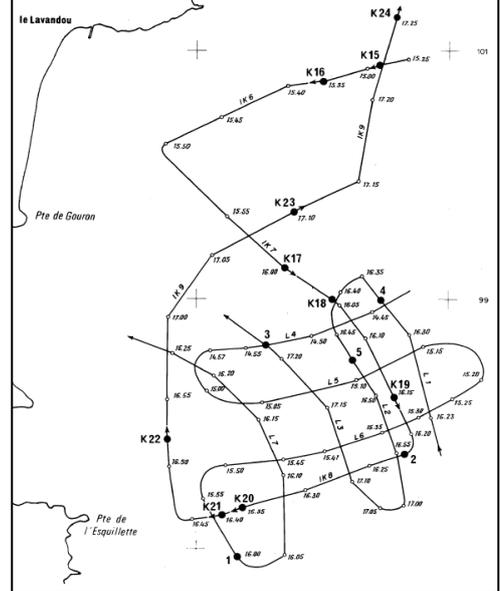
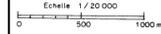
le Lavandou
Pte de Gouron

Pte de la Fossette

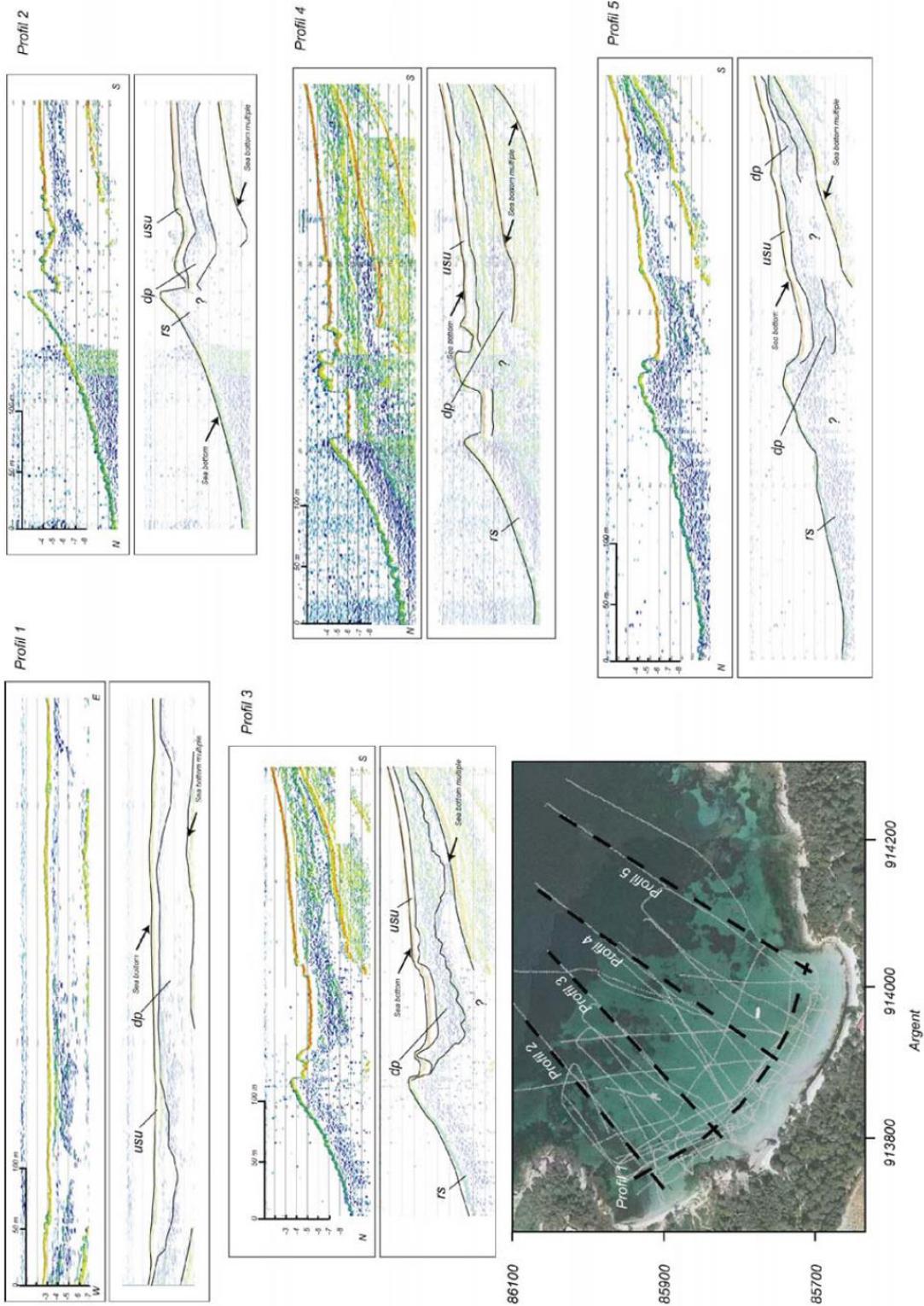
RADE DE BORMES
POSITIONS DES PROFILS

Fig.6 _1

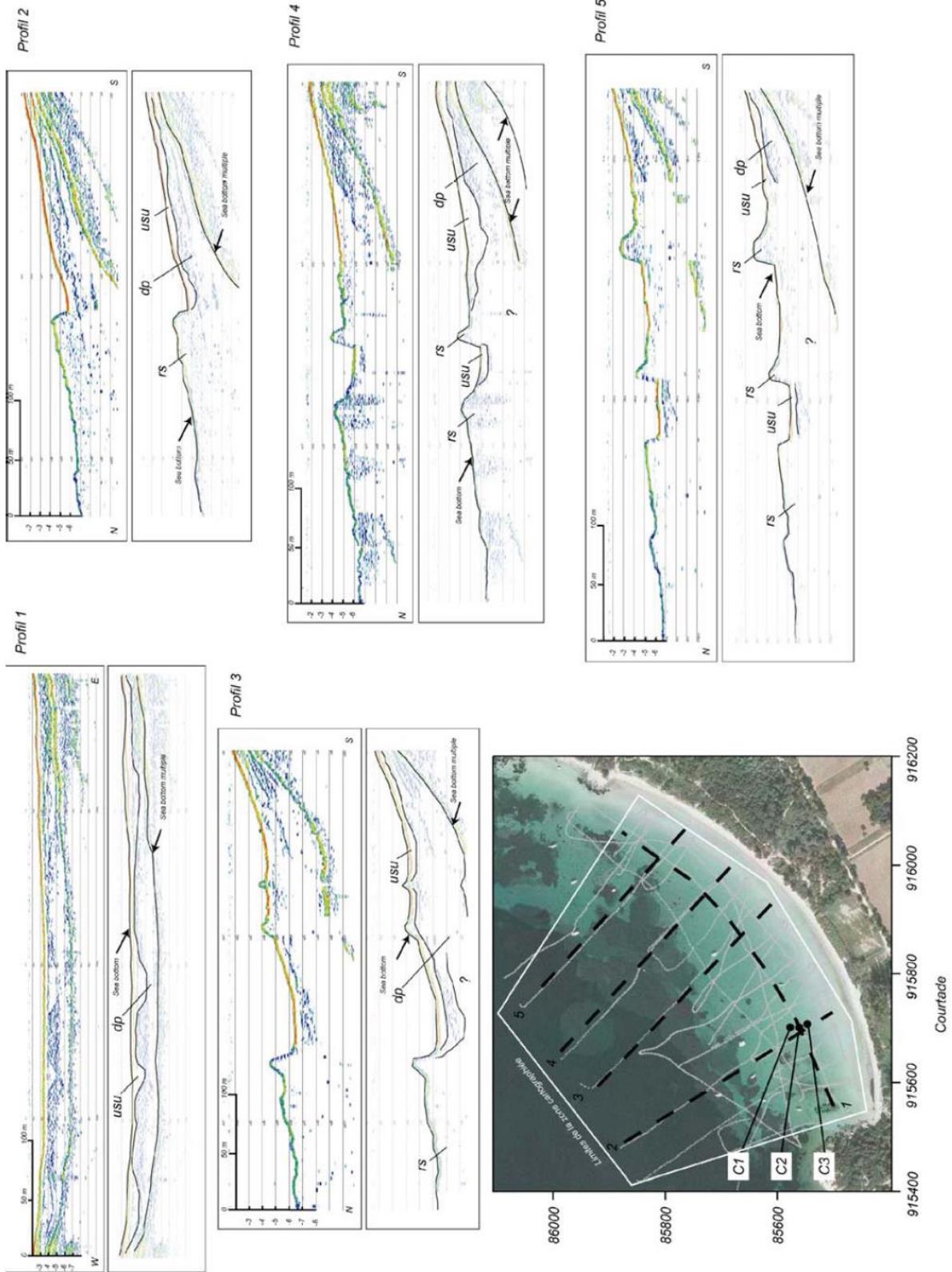
en millisecondes temps doubles



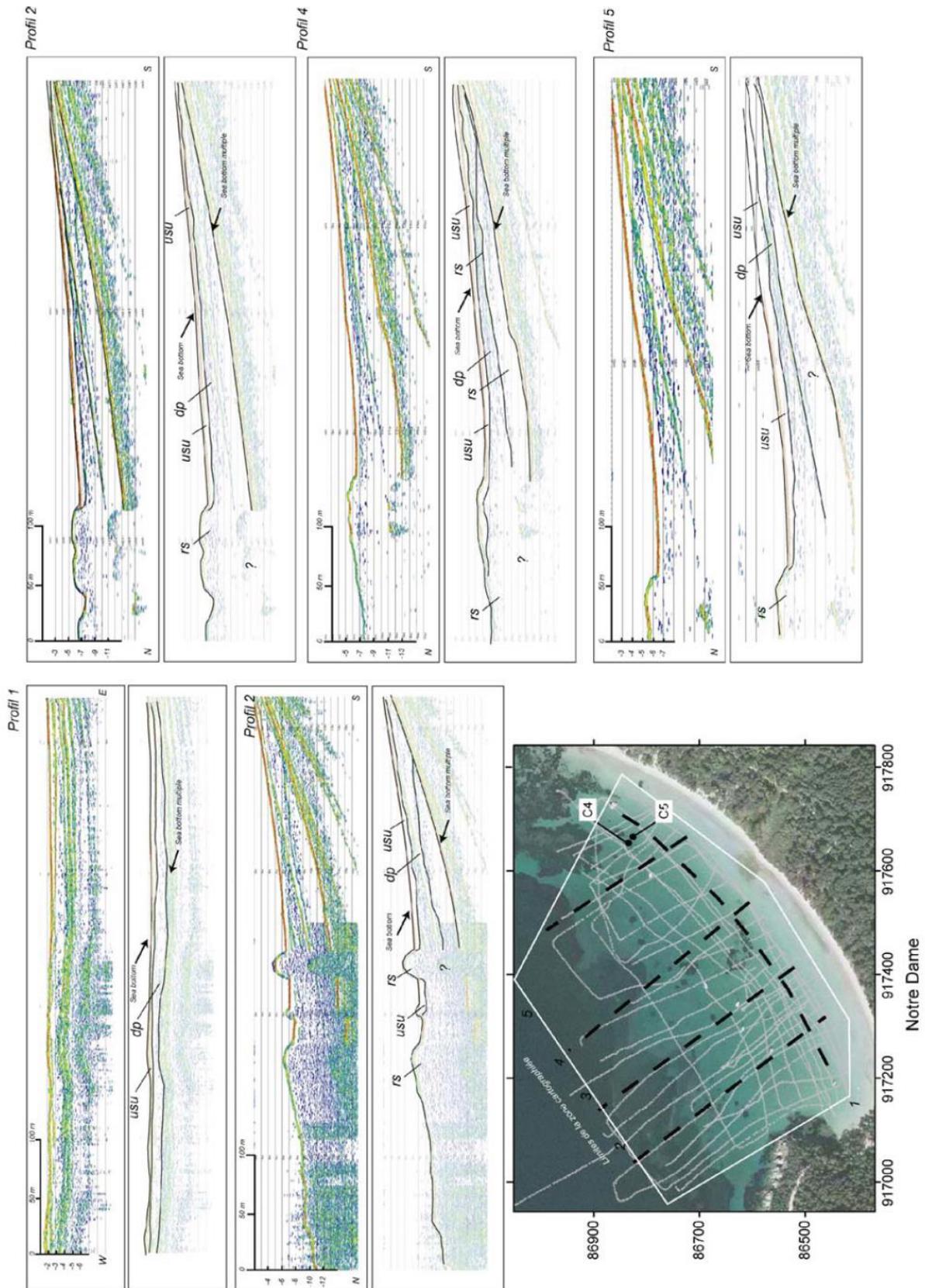
Annexe 3- Profils sismiques sur les plages de Porquerolles (Brunel, 2010)



Profils sismiques sur la plage d'Argent (Porquerolles).
 rs : roches, substrat ; dp: dépôts pléistocènes ; usu : unité sableuse supérieure



Profils sismiques sur la plage de la Courtaude (Porquerolles).
 rs : roches, substrat ; dp : dépôts pléistocènes ; usu : unité sableuse supérieure



Profils sismiques sur la plage Notre-Dame (Porquerolles).
 rs : roches, substrat ; dp: dépôts pléistocènes ; usu : unité sableuse supérieure

Annexe 4 - Banque de données de Géologie Marine du BRGM pour le plateau continental varois au large du SCoT Provence-Méditerranée

N° de Campagne	N°	Engin	Date point	Longitude	Latitude	Sonde	Lithologie d'origine
FI351968006911	0001DRA29	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.974670	43.06667	81	SABLE
FI351968006911	0001DRA29	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.974670	43.06667	81	VASE, SABLEUX
FI351968006911	0001DRA29	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.974670	43.06667	81	SABLE, VASEUX
FI351968006911	0001DRA29	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.974670	43.06667	81	PAS/ GRAVIER/ SABLE, GROSSIER/ SABLE, VASEUX
FI351968006911	0002DRA30	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.985830	43.05667	154	SABLE
FI351968006911	0002DRA30	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.985830	43.05667	154	SABLE, GRANOCLASSE
FI351968006911	0002DRA30	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.985830	43.05667	154	MEL/ VASE, SABLEUX/ ROCHE, ANGULEUX/
FI351968006911	0003DRA31	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.988330	43.05333	330	PAS/ SABLE, GROSSIER/ SABLE, MOYEN/ ROCHE, EN-BLOCEN-
FI351968006911	0004DRA32	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.986670	43.0450	532	VASE
FI351968006911	0004DRA32	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.986670	43.0450	532	PRE/ VASE, SABLEUX/ COQUILLE/
FI351968006911	0004DRA32	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.986670	43.0450	532	PRE/ VASE/ COQUILLE/
FI351968006911	0004DRA32	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.986670	43.0450	532	SABLE
FI351968006911	0004DRA32	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.986670	43.0450	532	VASE
FI351968006911	0006DRA35	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.963330	43.06833	64	PRE/ VASE, SABLEUX/ SABLE/
FI351968006911	0006DRA35	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.963330	43.06833	64	ALT/ DEPOT, A-VEGETAUX FIBREUX/ VASE/ GRAVIER/
FI351968006911	0006DRA35	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.963330	43.06833	64	VASE, MOU
FI351968006911	0006DRA35	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.963330	43.06833	64	VASE, SABLEUX
FI351968006911	0009DRA39	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.986670	42.96667	1450	ALT/ VASE/ SABLE, EN-PASSEE/
FI351968006911	0009DRA39	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.986670	42.96667	1450	ROCHE
FI351968006911	0010DRA40	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.996670	42.98833	1250	ALT/ VASE/ SABLE, EN-PASSEE/
FI351968006911	0010DRA40	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.996670	42.98833	1250	VASE, SILTEUX
FI351968006911	0010DRA40	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.996670	42.98833	1250	SABLE
FI351968006911	0010DRA40	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.996670	42.98833	1250	ROCHE
FI351968006911	0011DRA41	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.993330	43.00667	1020	PRE/ VASE, SABLEUX/ SABLE/
FI351968006911	0011DRA41	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.993330	43.00667	1020	VASE
FI351968006911	0013DRA44	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.97	43.08333	436	ALT/ VASE/ DEPOT, A-VEGETAUX FIBREUX EN-PASSEE/
FI351968006911	0014DRA46	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.003330	43.04833	286	SABLE, GRANOCLASSE
FI351968006911	0014DRA46	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.003330	43.04833	286	DEPOT, A-ORGANISMES
FI351968006911	0014DRA46	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.003330	43.04833	286	MEL/ SABLE/ GRAVIER/
FI351968006911	0014DRA46	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.003330	43.04833	286	MEL/ SABLE/ ROCHE/
FI351968006911	0015DRA47	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.9720	43.03333	688	PRE/ VASE/ COQUILLE/
FI351968006911	0017DRA50	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.958330	43.04167	86	SABLE, GRANOCLASSE
FI351968006911	0017DRA50	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.958330	43.04167	86	DEPOT, A-ORGANISMES
FI351968006911	0018DRA51	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.018330	43.00583	652	ALT/ VASE/ SABLE, EN-PASSEE/ DEPOT, A-VEGETAUX
FI351968006911	0020DRA54	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.021830	42.98667	920	VASE
FI351968006911	0020DRA54	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.021830	42.98667	920	VASE, SABLEUX
FI351968006911	0020DRA54	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.021830	42.98667	920	VASE
FI351968006911	0021DRA55	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.023330	42.95533	482	ALT/ VASE/ SABLE/
FI351968006911	0021DRA55	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.023330	42.95533	482	ALT/ VASE, SABLEUX/ SABLE/

N° de Campagne	N°	Engin	Date point	Longitude	Latitude	Sonde	Lithologie d'origine
FI351968006911	0025DRA59	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.97	43.03817	490	ALT/ VASE/ DEPOT, A-VEGETAUX FIBREUX EN-PASSEE/
FI351968006911	0025DRA59	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.97	43.03817	490	DEPOT, INDURE
FI351968006911	0026DRA60	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.005830	43.0420	108	SABLE
FI351968006911	0026DRA60	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	6.005830	43.0420	108	DEPOT, INDURE
FI351968006911	0029DRA64	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.9885	43.00367	1080	PAS/ VASE, SABLEUX/ SABLE, VASEUX/
FI351968006911	0030DRA67	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.941670	42.96917	362	VASE, SABLEUX
FI351968006911	0030DRA67	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.941670	42.96917	362	SABLE, GRANOCLASSE
FI351968006911	0030DRA67	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.941670	42.96917	362	ALT/ VASE/ SABLE/
FI351968006911	0030DRA67	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.941670	42.96917	362	COQUILLE
FI351968006911	0030DRA67	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/09/1967	5.941670	42.96917	362	ALT/ VASE, SABLEUX/ SABLE/ VASE/
FI351970222222	0001P01	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	2380	PAS/ VASE, JAUNE/ VASE, GRIS COMPACT/
FI351970222222	0002P02	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	2489	PAS/ INCONNU/ SABLE, GRIS MICACE DUR/
FI351970222222	0003P03	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	2500	PAS/ SABLE, GRIS/ VASE, GRIS BLEU COMPACT/
FI351970222222	0004P04	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	2460	PAS/ SABLE, JAUNE A-ORGANISMES/ VASE, GRIS/
FI351970222222	0005P05	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	2504	PAS/ SABLE, VASEUX JAUNE CLAIR/ VASE, GRIS/
FI351970222222	0006P06	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	1250	PAS/ VASE, JAUNE MOU A-ORGANISMES/ VASE, GRIS MOU.
FI351970222222	0007P07	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	550	PAS/ VASE, SABLEUX CREME/ SABLE, VASEUX COQUILLIER/
FI351970222222	0008P08	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	2280	PAS/ VASE, CREME ALTERE/ VASE, GRIS/
FI351970222222	0009P09	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	2350	PAS/ VASE, CREME ALTERE MOU/ SABLE, BLANC COMPACT.
FI351970222222	0010P10	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	1760	VASE, CREME MOU
FI351970222222	0011P11	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	2490	PAS/ VASE, SABLEUX GRIS/ SABLE, VASEUX GRIS FONCE.
FI351970222222	0012P12	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6	43	2410	PAS/ VASE, ALTERE A-ORGANISMES/ VASE, GRIS A-
FI351970222222	0022P22	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6.416670	43	2480	VASE, ALTERE SABLEUX
FI351970222222	0023P23	CAROTTIER (TYPE INCONNU)	01/01/1970	6.416670	43	2450	MEL/ VASE, CREME SABLEUX ALTERE/ GNEISS, VERT EN-
FI351972000211	0002KS01	CAROTTIER A PISTON KULLENBERG	25/03/1972	5.8950	43.02667	125	PRE/ DEPOT, INDURE/
FI351995060070	R192	BENNE VAN VEEN	15/11/1995	6.0145	43.0925	18	Sédiment fin (faisceaux de posidonie).
FI351995060070	R17	BENNE VAN VEEN	15/11/1995	6.008330	43.09167	30	Sédiment détritique, coquillier fin, envasé.
FI351995060070	R16	BENNE VAN VEEN	15/11/1995	6.000330	43.08767	39	Sédiment détritique fin, grossier, coquillier envasé.
FI351995060070	R14	BENNE VAN VEEN	15/11/1995	5.984330	43.09733	55	Sédiment fin, vase et petits cailloux et matte morte.
FI351995060070	R20	BENNE VAN VEEN	15/11/1995	6.078170	43.0550	55	Sable fin légèrement envasé.
FI351995060070	R21	BENNE VAN VEEN	15/11/1995	6.0840	43.07867	34	Sédiment détritique propre et Herbier arraché (matière organique).
FI351995060070	R22	BENNE VAN VEEN	15/11/1995	6.081170	43.08183	32	Sédiment détritique propre Et quelques trace de matte.
FI351995060070	R231	BENNE VAN VEEN	15/11/1995	6.094670	43.06683	29	Sable coquillier propre. Rares traces de matte.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Provence-Alpes-Côte d'Azur
117 avenue de Luminy
BP176
13276 – Marseille Cedex 9 – France
Tél. : 04 91 17 74 77