



# UNIVERSITE DE PERPIGNAN VIA DOMITIA

MASTER 2 « SCIENCES DE LA MER » PARCOURS « GEOSCIENCES MARINES ET ENVIRONNEMENTS AQUATIQUES (GMEA) »

# Intégration des données sédimentologiques et géophysiques pour la cartographie morpho-sédimentaire du Parc naturel marin du golfe du Lion



# Camille Ferrer | 2017-2018 |

Sous la direction de Serge BERNE (*Professeur émérite et chercheur au CEFREM*) et Grégory AGIN (*Chargé de mission « usages industriels et aménagements maritimes au Parc naturel marin du golfe du lion*)





# Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu les deux tuteurs de ce stage, Serge Berne et Grégory Agin. Merci de m'avoir guidée tout au long de ce stage, et d'avoir partagé vos connaissances et anecdotes avec moi. Ce fut un réel plaisir d'apprendre et de travailler avec vous.

Je remercie également Thierry Courp et Bertil Hebert, pour leur aide et pour les données supplémentaires qu'ils m'ont fourni. Merci également à Laure Simplet, qui m'a permis d'accéder aux données de l'IFREMER. Merci aussi au CEFREM, SHOM, BRGM, le lecob, AAMP, PNMGL, Université de Washington, et l'IRSN pour le partage de données.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement, toutes celles et ceux du CEFREM qui ont pu me donner un coup de main lors de ce stage, je pense particulièrement à Marie-Aline Mauffrey, qui s'est toujours rendu disponible pour répondre à mes questions, qui m'a rendu service plus d'une fois et qui m'a aidée dans mes débuts sur Kingdom Suite. Je pense aussi à Julie Billy pour son aide et ses conseils précieux sur Arcgis®. Elle sait à quel point Arcgis® me donné du fil à retordre en cours de SIG. J'ai persévéré avec cet outil et c'est grâce à Julie que je m'en suis très bien sortie.

Merci à Yoann Alonso de m'avoir guidé en début de ce stage, ton aide m'a été cruciale, merci aussi à ma camarde de classe Elise Grenard-Grand pour m'avoir fourni son travail de Master 1. Merci aussi à Florian Meslard pour toute son aide, ses conseils et pour nos pauses cafés et bavardages.

Je tiens aussi vivement à remercier Jean-Benkhelil pour sa formation « spéciale débutante » sur Adobe Illustrator. Merci d'avoir pris le temps de me former à cet outil formidable ! Merci aussi à toi William, pour toutes les astuces que tu connais si bien sur Adobe, j'ai gagné un temps fou sur de nombreuses figures grâce à toi.

Un grand merci à William et Titouan, pour leurs oreilles attentives à tous mes déboires, pour leurs soutiens du début à la fin de ce stage, et pour tous ses pauses déjeuners, cantine et soirées qui m'ont redonnées de l'énergie et qui m'ont redonnées confiance. Merci aussi à Lounès pour ton cadeau souvenir d'Argentine, je suis encore jalouse de la chance que tu as eue, et merci pour toutes ces parties de rigolades.

Merci aux stagiaires de Master 1, avec qui j'ai appréciée de partager la salle sismique au CEFREM pendant 2 mois.

Ce mémoire signe la fin d'un parcourt de 5 ans d'études. J'espère de tout mon cœur enfin pouvoir bientôt me dire « Tu y es enfin arrivé ! Tu as enfin réussi à faire ce dont tu avais envie depuis l'âge de 6 ans « Étudier et protéger la mer (et les dauphins à l'époque !) ». C'est alors tout naturellement que je remercie ma famille, mes parents, mon « petit » frère, mon grandpère, et ma grand-mère, toujours présent pour moi (même de très loin), qui m'ont toujours aidé, toujours soutenu quoi qu'il arrive, et qui ont toujours cru en moi. C'est pour vous et c'est grâce à vous que j'en suis là.

# Table des matières

Table des matières	5
I Introduction	1
I.1 Présentation du Projet	1
I.2 Contexte de l'étude	1
II Origine et utilisation des données	4
II.1 Données bathymétriques	4
II.2 Données granulométriques et prélèvements sédimentaires	5
II.3 Données sismiques	6
II.4 Données d'imageries acoustiques	7
II.5 Autres données	8
III Méthodologie	9
III.1 Granulométrie	9
III.2 Sismique	10
III.3 Acoustique	11
IV Résultats	13
IV.1 Synthèse des données granulométriques	13
IV.2 Intégration des données sismiques à la carte morpho-sédimentaire	. 15
IV.3 Carte morpho-sédimentaire	. 15
IV.1 Litho-faciès	. 17
IV.2 Autres faciès morpho-sédimentaires	. 19
PLANCHE RÉSULTATS	21
V- Discussion	23
5.1- Enregistrement du dernier cycle glacio-eustatique	23
5.2- Evaluation de la qualité des connaissances	26
VI Conclusion	27
Références bibliographiques	28
Liste des figures	30
Glossaire	32
Résumé	33
Mots clefs	33
Abstract	33
Key words	33

# I Introduction

# I.1 Présentation du Projet

L'élaboration d'une carte morpho-sédimentaire consiste à synthétiser diverses données obtenues lors de campagnes océanographiques. Ces données, acquises par différents organismes tel que l'IFREMER, le CEFREM, l'IRSN, le SHOM, le BRGM, le laboratoire océanologique le Lecob, et le Parc naturel marin, peuvent être des données sismiques, acoustiques ou encore sédimentologiques.

L'objectif de ce stage était de réaliser une carte morpho-sédimentaire dans le périmètre du Parc naturel marin du golfe du Lion (PNMGL). Différents jeux de données et connaissances acquises seront confrontées ensemble et feront l'originalité de ce travail. Ce stage est donc une mise à jour des connaissances grâce à l'ajout de nouvelles données, et fait suite à des études plus récentes sur le sujet. Plusieurs auteurs ont auparavant proposé des cartographies sédimentaires, notamment dans le cadre des thèses d'état de Monaco (1971) et Aloisi (1986), et sont actuellement toujours utilisée.

Le stage a été réalisé au CEFREM, organisme de recherche et d'enseignement du milieu marin, en collaboration avec le Parc naturel marin du golfe du Lion. Créé en 2011, celui-ci couvre une surface de 4019 km<sup>2</sup> (Agence des Aires Marines protégées, 2013). Il est situé entre les communes de Leucate et Cerbère, au Sud-Ouest du golfe du Lion.

# I.2 Contexte de l'étude

# I.2.1 Contexte géologique

L'ouverture, à l'Eocène supérieur-Oligocène (-34 Ma), du bloc Corso-Sarde a permis la formation du golfe du Lion. Celui-ci est divisé en 3 domaines physiographiques : le plateau et la pente continentaux, le glacis continental composé de systèmes chenalisés tel que les canyons, et les plaines abyssales (Mauffrey, M.A. (2015). Le plateau continental du golfe du Lion a la caractéristique d'être large et en forme de croissant. Effectivement, au large de Sète, le plateau atteint 70 km. Il mesure environ 200 km de long, et se rétrécit à ses deux extrémités, au niveau de la marge provençale et de la marge pyrénéo-catalane où l'étendue est de seulement 10 km. Lors de ce stage, seul le plateau continental sera étudié car les limites du PNMGL s'arrête aux têtes de canyons.

Le golfe du Lion est une marge passive, majoritairement découpée en blocs basculés. C'est une marge progradante initié au Miocène où une accumulation sédimentaire post-rift a lieu. Elle sera érodée lors de la crise de salinité messinienne (-6.5 à -5.9 Ma). Lors de cette période le niveau de la mer s'est abaissé d'environ 1500 m (Ryan, 1976 in Berné et Satra, 2002), provoquant un taux d'érosion important, permettant alors la formation des profonds canyons aériens (Berné et Satra, 2002 ; Ryan *et al.*, 1970 cité dans Bassetti *et al.*, 2006). Au Pliocène inférieur (-5.3 Ma), l'érosion de la marge se termine avec la mise en place de hauts niveaux marins, l'ennoiement des canyons, une forte sédimentation et une subsidence plus marquée (Guennoc *et al.*, 2000).

Lors du Plio-Quaternaire, l'amplification des cycles glacio-eustatiques a accéléré la reconstruction de la marge. En effet, ces changements climatiques ont provoqué des oscillations du niveau marin entre sa position actuelle et environ 120 m au-dessous du niveau actuel de la mer qui correspond au niveau global de l'océan (Bassetti *et al.*, 2008). Modelant ainsi les sédiments présents sur le plateau.

En période glaciaire, la chute du niveau marin provoque une érosion importante du plateau, une augmentation du flux sédimentaire et un creusement des canyons sous-marins, directement alimentés par les fleuves. Les prismes sableux de bas niveau marin, ainsi que les dépôts fluviatiles et prodeltaïques sont ensuite remaniés et remobilisés pendant la transgression marine (Bassetti *et al.*, 2008) traduisant ainsi leur répartition aujourd'hui sur le plateau. En période interglaciaire, telle qu'actuellement, ces prismes seront enfouis sous le niveau de la mer où ils conserveront leur morphologie. Certains seront alors observés sur la carte morphosédimentaire.

Ces dépôts de prismes de bas niveaux plio-quaternaires forment un prisme de progradation d'une épaisseur cumulée de 2000 m près du rebord de la plateforme (Guennoc *et al.*, 2000). En surface, ils sont constitués par les « sables du large » de la dernière période glaciaire, entre - 80 m et -120 m de profondeur d'eau.

### I.2.2 Apport en sédiments

Les apports sédimentaires proviennent principalement du bassin versant du Rhône (Durrieu de Madron *et al.*, 1990 dans Alonso, Y., 2016) qui alimentent particulièrement le canyon du Cap Creus à 90% et les canyons Lacaze-Duthiers et Bourcart à 10% (Agin, Comm. Pers). En dehors des apports du Rhône, dans le PNMGL, la répartition sédimentaire est principalement issue des crues automnales de la Têt, fleuve des Pyrénées-Orientales et est contrôlée par les courants agissant à des profondeurs variables.

# I.2.3 Contexte hydrodynamique

Les courants près du fond remodèlent l'ensemble des sédiments sur le plateau continental. Globalement, l'énergie sur le plateau est dominée par le vent et la houle (Palanques *et al.*, 2006). Néanmoins, d'autres courants dans le PNMGL comme le courant Liguro-Provençal et courants occasionnels existent (Fig.1). L'ensemble de ces différents courants est présenté ici.

- *La houle* : Générée en particulier par les vents marins de direction Est/Sud-Est, la houle induira alors une dérive littorale sur nos côtes en direction du nord-ouest (Palanques *et al.*, 2006). Celle-ci agis notamment à des profondeurs allant jusqu'à 30 m de profondeurs (Durrieu de Madron *et al.*, 2008) où elle mobilisera les sédiments près des côtes.

- *Le courant Liguro-provençal :* La circulation générale des masses d'eau est principalement anticyclonique et est sous l'influence du courant Liguro-provençal. Celui-ci longe l'extrémité de la pente continentale d'Est en Ouest (Millot, 1990 in Berné et Satra, 2002) et remanie le prisme de haut niveau marin. Il agira donc sur la répartition sédimentaire.

- *Les vents* : La circulation induite par les vents entraîne les eaux de surface vers le large. Les vents continentaux, du nord, en sont responsable. Ce phénomène est alors compensé par le

mécanisme d'upwelling (Ulses, 2005). Des échanges sédimentaires côte/large ont alors lieu grâce à ce phénomène. Les vents continentaux génèrent aussi des tempêtes de sud-est, modifiant temporairement la circulation générale des masses d'eaux et créant des contraintes de fonds jusqu'à 90 m de profondeurs. Ces tempêtes de sud-est sont alors le mécanisme le plus important permettant la remise en suspension de sédiments à de tel profondeurs (Monaco *et al.*, 1990 et Ferré, 2004 in Ulses, 2005). De plus, ces vents continentaux n'induisent pas les courants de fortes houles. En revanche, des structures tourbillonnaires sont occasionnées. Une modélisation a d'ailleurs été effectuée par Estournel (2003) (Annexe 1a)

- *Courants saisonniers* : Le plateau continental est soumis à différents processus saisonniers, qui localement changeront les paramètres hydrodynamiques et transporteront les sédiments par suspension (Bourrin *et al.*, 2008b). Par exemple, les phénomènes de plongée d'eau dense sont des événements liés aux tempêtes hivernales et sont induits par la Tramontane et le Mistral, vents continentaux secs et froids (Durrieu de Madron *et al.*, 2008 ; Bourrin *et al.*, 2008b). Ainsi, ces eaux froides et denses plongeront vers les plaines abyssales en transportant les sédiments par suspension. Inversement, en été les eaux sont plus stratifiées en Méditerranée, le transport sédimentaire est donc au ralentit. L'ensemble de ces courants sont présenté sur la figure 1 cidessous.



*Figure 1* Circulation hydrodynamique et météorologique du PNMGL réalisé par AAMP et le PNMGL, éditée en août 2014.

Ce rapport s'articulera autour d'une présentation des différentes données utilisées dans une première partie, puis la méthodologie sera présentée en deuxième partie. La carte morphobathymétrique viendra illustrée les résultats qui seront ensuite discutés.

# II Origine et utilisation des données

La réalisation de cette carte a nécessité la synthèse de différentes données. Ces données brutes ont auparavant déjà été traitées, exploitées et interprétées pour certaines, aucuns traitements n'ont donc été nécessaire. L'originalité du travail présenté ici réside dans la tentative d'intégrer l'utilisation d'outils géophysiques (sismique, sonar latéral, imagerie des sondeurs multifaisceaux) pour une caractérisation lithologique, en particulier dans les secteurs où peu, voir pas de prélèvements sont disponibles. Ces différents jeux de données seront alors décrits, ainsi que leur source, dans cette partie.

# II.1 Données bathymétriques

Les données bathymétriques situées sur le plateau continental, entre la côte et l'isobathe - 150 m, ont été fournies par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) et on fait l'objet d'une compilation des minutes de sondes au 1/10 000 et au 1/20 000 (Berné et Satra, 2002). Localement, des levés réalisés par le navire océanographique l'Europe, équipé d'un sondeur Simrad EM 950 ont été utilisé (campagnes « Basar » de l'IFREMER).

Au-delà de l'isobathe -150 m, les données ont été acquises par un sondeur multifaisceau SIMRAD EM 12 (Annexe 2, tableau 1) durant la campagne CALMAR de l'Atalante (Berné et Satra, 2002).

![](_page_9_Figure_6.jpeg)

*Figure 2* Carte bathymétrique du golfe du Lion incluant le PNMGL. CH : Canyon de l'Hérault ; CB : Canyon Bourcart, CP : Canyon Pruvot, CLD : Canyon Lacaze-Duthiers.

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) sur le logiciel Arcgis®®, au pas de 100 m, synthétisant l'ensemble de ces données a été réalisé par le SHOM en 2015 (Grenard-Grand, 2017), puis un deuxième MNT, représentant l'ensemble du Golfe du Lion, au pas de 25 m, a été réalisé par l'IFREMER. S'ajoutent à ces données du SHOM et de l'IFREMER, les données bathymétriques de l'Agence des Aires Marines Protégées (AAMP) acquises, au sondeur multifaisceau R2 Sonic 2024 (Annexe 2, tableau 1), lors de la campagne CARTHAM (2010) sur les dunes au nord de Lacaze-Duthiers. Ces données ont alors été intégrées sur le logiciel Arcgis®® sous forme de MNT (Fig.2).

#### II.2 Données granulométriques et prélèvements sédimentaires

Une des premières cartographies des faciès sédimentaires du golfe du Lion a été élaborée par Jean-Claude Aloisi 1984, au cours de sa thèse, et est toujours une référence pour le monde scientifique (Annexe 2a). 2 101 prélèvements ont été recensés jusqu'à aujourd'hui dans l'ensemble du golfe du Lion, dont 498 ayant permis à la conception de la carte d'Aloisi. Néanmoins, lors de ce stage, seulement ceux réalisé au sein du PNMGL ont été conservés et analysés (Fig.3, Annexe 2, tableau 2). Les échantillons proviennent de différents laboratoires utilisant des méthodes d'échantillonnages (bennes, carottages, Kullenberg), d'analyses granulométriques (Malvern, tamis, vitesse de chute) et de classifications différentes (Folk, Flemming, Shepard, Wentorth). Certains échantillons ne pourront donc pas être intégrés à cause de la trop grande différence dans l'acquisition et l'analyse des prélèvements.

![](_page_10_Figure_3.jpeg)

**Figure 3** Emplacement et sources des différents prélèvements qui ont été effectués au sein du PNMGL. En rouge, entre les canyons Lacaze-Duthiers et Bourcart se trouve la zone « No data », où aucuns prélèvements n'ont été effectués.

Aussi, la répartition d'échantillonnage n'est pas homogène sur l'ensemble du PNMGL. En effet, la zone entre les canyons Bourcart et Lacaze-Duthiers n'a bénéficier d'aucuns prélèvements. Aucune donnée granulométrique n'est alors disponible dans cette zone. D'autres zones sont aussi plus ou moins similaires, mais ne sont pas d'une aussi grande superficie.

### II.3 Données sismiques

Les profils sismiques réalisés dans le golfe du Lion au cours des différentes missions ont précédemment été compilés dans un projet sous le logiciel Kingdom Suite®. Ils comprennent des données de différentes fréquences, acquises avec des sources de type sparker, sondeur de sédiments (classique ou de type chirp) et même canon à eau (mini-GI Gun) (Annexe 2, tableau 3). La figure 4 ci-dessous montre l'emplacement de ces différents profils dans le PNMGL sous Arcgis®®. Tous les profils disponibles ont été étudiés et utilisés pour la réalisation de la carte morpho-sédimentaire. L'ensemble des objectifs de mission sismique est présenté en Annexe 2b.

![](_page_11_Figure_3.jpeg)

Figure 4 Ensemble des campagnes, Basar, Calmar, Escomed, Essed, GMO2, Marion et Rhosos, et profils sismiques réalisés dans le PNMGL.

#### II.4 Données d'imageries acoustiques

Les données d'imagerie acoustique proviennent ici de deux sources différentes. La première source d'imagerie est obtenue avec un sonar à balayage latéral, tandis que la deuxième source provient de sondeur multifaisceaux.

### II.4.1 Sonar à balayage

Le sonar à balayage latéral donne la représentation de la morphologie et de la nature des fonds. Les ondes acoustiques sont influencées par la diffusion sur la surface du fond, la rétrodiffusion, le bruit engendré par l'activité biologique et la nature des fonds. Ces images acoustiques permettent alors d'observer des reliefs sous-marin, des affleurements rocheux et leurs limites, des traces de chalutages et des structures sédimentaires de petite taille qui ne seraient pas observable avec les données multifaisceaux (SHOM, s. d.)

# II.4.2 Sondeur multifaisceaux

Les données multifaisceaux utilisées ont été acquises avec les sondeurs EM1000 et EM300 et proviennent de l'IFREMER. Après acquisition, ces données sont traitées et segmentées. Un contourage, permettant l'interprétation de ces données, a ensuite lieu. Ce genre de donnée acoustique donnent des informations sur les différents types de fonds selon le coefficient de rétro-diffusion (backscattering). Les fonds plus réverbérant, plus sombres, sont généralement des faciès sédimentaires plus grossiers (à noter que certains utilisateurs emploient une échelle inversée, avec les niveaux plus réverbérant en clair).

![](_page_12_Figure_6.jpeg)

**Figure 5** Variation de contraste entre deux mosaïques différentes EM1000 et EM300, encadrée en vert. Les traits bleus correspondent aux profils sismiques, les contours -100 m sont visible en gris clair en fond de carte.

La qualité des données est, par contre, différente entre chaque sondeur. Des variations de contrastes entre les deux jeux de données sont alors présentent, et des artefacts de traitements sont visibles. En effet, une discontinuité entre les mosaïques est observée (Fig.5). Ces différences ne correspondent donc pas, dans l'interprétation, à un changement de lithologie entre 2 faciès acoustiques.

Récemment une étude sur les récifs artificiels réalisée par IXblue DIVISION IXSURVEY et l'AAMP en 2016, a permis de mettre en évidence la nature des fonds au sein de concessions de récifs artificiels au large de St-Cyprien, Canet, Le Barcarès, et Leucate. Ces zones ont été étudiées grâce à l'imagerie acoustique acquise au sondeur multifaisceaux R2Sonic 2024 et grâce à des vidéos sous-marines (IXblue DIVISION SURVEY, 2015).

Une synthèse de l'ensemble des métadonnées acquises lors de différentes missions dans le PNMGL est présenté figure 6.

### II.5 Autres données

La carte géologique d'Argelès/mer réalisé par le BRGM, les rapports « Récifs artificiels en Languedoc-Roussillon, étude géotechnique », et « L'étude géologique pour l'implantation de récifs artificiels en Languedoc-Roussillon » réalisé respectivement par Augris *et al.*, 1984 et Augris et Mear, 1985 à l'IFREMER ont été utilisés pour cartographier certains pointements rocheux au large des côtes Argelésiennes, le plateau de Leucate, et des graviers présent le long de la côte.

![](_page_13_Figure_5.jpeg)

**Figure 6** Ensemble des métadonnées utilisées lors de ce stage. On retrouve le tracé des profils sismiques en bleu, les faciès acoustiques, le sonar latéral, la bathymétrie des dunes Lacaze-Duthiers, l'emplacement des prélèvements granulométriques, les concessions de récifs artificiels en vert, l'emplacement des récifs artificiels en violet et les forages sous forme de triangles rouge.

### **III METHODOLOGIE**

Cette partie traitera de l'apport des différents outils utilisés et de la méthodologie employée afin de réaliser une carte morpho-sédimentaire. La granulométrie et la géophysique ont été indispensable pour la représentation et l'identification des litho-faciès et faciès morpho-sédimentaire.

### III.1 Granulométrie

La cartographie de la nature des fonds marins du PNM s'appuiera principalement sur la distribution granulométrique des sédiments. Dans le cadre de ce stage, seulement la couverture sédimentaire de surface, de 0 à 30 cm en moyenne, sera étudiée pour établir cette distribution. C'est pour cette raison que les forages réalisés au sein du PNMGL n'ont pas été utilisés lors de ce stage.

La nature d'un sédiment est caractérisée par la taille de ses grains. Dans la littérature, plusieurs classifications, organisées sous forme de diagramme ternaire, d'auteurs différents, ont été établit pour déterminer une distribution granulométrique. Celle-ci permettra de créer des classes granulométriques. Le diagramme ternaire de Folk (1974) est donc choisi pour déterminer les classes granulométriques de nos sédiments. Plus adapté car plus simplifié que les autres classifications (Fig.7). Les données sont en pourcentages.

![](_page_14_Figure_5.jpeg)

Figure 7 Diagramme ternaire de Folk (1974).

Afin d'être précis, une adaptation spécifique sera faite sur la zone du PNMGL. Un diagramme a été obtenus grâce au logiciel Grapher®, et aux données granulométriques fournis par le PNMGL. Les différentes classes granulométriques établies sont ensuite enregistrées et exportées sur le logiciel Arcgis® afin de créer une nouvelle couche où une couleur différente sera attribuée à chaque catégories. Une interpolation est alors effectuée avec la création de polygones pour représenter les litho-faciès.

Après que la distribution granulométrique des sédiments ai été établit, les caractéristiques granulométriques des prélèvements, lorsque elles étaient disponible, ont été étudiées. Ces caractéristiques correspondent à une information ponctuel précise et sûre, se basant sur des statistiques granulométriques (mode, quartiles et coefficient d'asymétrie). Elles nous ont permis de comparer des prélèvements qui étaient à première vue similaires mais répartis différemment dans le PNMGL.

Le mode est spécifiquement analysé car il définit la classe granulométrique la plus fréquente. Un échantillon de sédiment peut représenter 1 ou 2 modes de distribution selon la courbe des fréquences : Mono ou bimodale (Annexe 3a)

- Monomodale : 1 seul type de dépôt de sédiment (soit 1 seule classe granulométrique)
- Bimodale : 2 types de dépôt de sédiments. Il y a eu le dépôts d'un type de sédiment puis mélange avec un second sédiment (soit 2 type de classe granulométrique).

### III.2 Sismique

Les profils sismiques sont ensuite analysés pour caractériser les fonds marins et en particulier pour cartographier les zones où les prélèvements sont absents. La zone, à l'est du Parc marin, entre les canyons Bourcart et Lacaze-Duthiers a exclusivement été étudiée à l'aide de cette méthode. En effet, pour cartographier cette zone, l'analyse de profils sismiques a permis d'identifier certaines lithologies.

Plusieurs types de données sismiques ont alors été comparés. Les unités sismiques ont été identifiées selon les principes de la stratigraphie sismique, soit selon les configurations de réflexion, et analyses visuelles des géométries. Par exemple, le litho-faciès des sables apparaît, sur la sismique, comme un faciès sourd sur les profils réalisés au sondeur de sédiments (Fig.8a) et sur les profils sparker, par des réflexions internes inclinées appelées clinoformes qui forment des faisceaux sigmoïdes bien visible (Fig. 8b). Ces caractéristiques géométriques traduisent un mouvement progradant des unités.

![](_page_15_Figure_3.jpeg)

**Figure 8** Profils sismique Basar 1017 réalisé au sondeur de sédiment 2.5 kHz (A) et au sparker (B). Sur les données A « sondeur de sédiments » on distingue clairement la différence de pénétration entre la zone sableuse, en jaune (faciès jaune à clinoformes sur B) et les zones à sédiments silto-argileux en vert. Le faciès des sables du large apparaît, sur B, caractérisé par des clinoformes fortement inclinés (4-5°), en rouge.

Sur les zones dépourvues de prélèvements, cette méthode permet donc l'identification des litho-faciès sableux, et, *a contrario*, de faciès silto-argileux. Ces derniers présentent, de

surcroît, sur le sparker comme le sondeur de sédiments, des réflexions internes continues et parallèles (Fig.8).

Les sismo-faciès sableux, ont ensuite été repérés sur tous les profils sismiques disponibles. Ils ont été représenté dans Kingdom Suite sous forme d'un horizon de surface. Une exportation de cet horizon a ensuite été réalisée sur le logiciel Arcgis®® (Annexe 3b). Ce résultat a ensuite été comparé avec les données granulométriques et l'interprétation des faciès acoustiques, là où elles étaient disponibles, montrant la validité de la méthode et d'aboutir à la cartographie des sables envasés du large.

La sismique a aussi permis l'identification de structures sédimentaires. En effet, des sables cimentés (perçus comme de la roche affleurant à la surface des sédiments), des dunes sous-marines et pockmarks (cheminées verticales dans les couches sédimentaires, affleurant en surface, par dépressions circulaires) sont visibles et reconnaissables sur différents profils sismiques. Ils seront présentés ultérieurement.

### III.3 Acoustique

Pour l'interprétation finale, on s'est appuyé sur l'ensemble des données d'imagerie acoustique (sondeurs multi-faisceau et sonars latéraux) et son interprétation en 16 faciès acoustiques différents (Fig.9). Ces faciès acoustiques ont alors été corrélés aux litho-faciès et ont permis d'affiner leurs limites.

![](_page_16_Figure_5.jpeg)

**Figure 9** Représentation des faciès acoustiques interprétés par l'IFREMER. Chaque type de fond est différencié selon la rétro-diffusion.

Afin de corréler les faciès acoustiques et les litho-faciès, une superposition de calques est réalisée. L'interprétation des faciès acoustiques a été superposée à la carte des litho-faciès superposée à la carte bathymétrique contourée (espacement 50 cm). Les points de prélèvements ont ensuite été superposés à l'ensemble.

Lorsque la comparaison des prélèvements et informations morphologiques et sismiques avec les faciès acoustiques de l'IFREMER était satisfaisante (1 faciès acoustique = 1 lithologie) on a utilisé ces derniers pour interpoler la carte sédimentaire. Par exemple, le faciès « 21 » de couleur violette sur la figure 9, est uniquement présent sur le litho-faciès des Silts-sableux. Aussi, un prélèvement granulométrique, à proximité de ce faciès acoustique, atteste qu'il s'agit de silts-sableux. Ce faciès acoustique peut alors être corrélé à des silts-sableux.

Dans de nombreux cas, on est retourné à la donnée de base (image ou mosaïque sonar) pour lever des ambiguïtés. En définitive, cette approche explique que certaines limites de faciès sur la carte finale soient très précises dans certaines zones (où l'on dispose de données acoustiques) alors qu'elles sont très « lissées » lorsqu'elles résultent de l'interpolation de données granulométriques.

L'imagerie acoustique permet l'identification de certains faciès présent dans les fonds marins. Effectivement, l'imagerie au sonar latéral permet d'observer des traces de chaluts, uniquement enregistrées à la surface de sédiment meuble. Ce type d'imagerie favorise donc l'identification de faciès sédimentaire tel que des graviers par exemple. A l'inverse, l'imagerie acoustique multifaisceau ne permet pas ce type d'observations (Fig.10).

![](_page_17_Figure_4.jpeg)

**Figure 10** Substrat grossier, de type gravier, présent au large de St-Marie. Image au sonar latéral issu de la mission Strataform et faciès acoustique EM1000 (Basar 3, Calmar 99). En imagerie sonar on observe des roches dans ces graviers, encadrée en blanc sur la figure.

# **IV Résultats**

La réalisation de ce mémoire a été l'occasion de croiser deux types d'informations qui étaient généralement considérées de manière indépendantes :

- des données sédimentaires discrètes, prélevées selon une maille très hétérogène,

- des données géophysiques acquises de manière continue le long de profil, avec une maille elle aussi très hétérogène.

### IV.1 Synthèse des données granulométriques

La distribution granulométrique des sédiments selon la classification de Folk (1974) adaptée au PNMGL a permis d'établir 7 classes granulométriques : les sables, silts, argiles, sables vaseux, vases sableuses, silts sableux et sables silteux et seront retranscrites sous Arcgis® (Fig.11).

![](_page_18_Figure_6.jpeg)

**Figure 11** Ensemble des prélèvements réalisés dans le PNMGL classés selon 7 catégories attribuées à l'aide du diagramme ternaire présent à droite de la figure. La couleur des points sur la carte et des classes granulométriques (identifié par les chiffres romain) est identique.

Pour ce faire, une sélection selon les attributs a été réalisée sur la couche des points de prélèvements. Les formules suivantes ont été entrées.

Avec SA: % de Sables, S: % de Silts, A: % d'Argiles, et **RSiltArgile** : rapport des Silts sur les Argiles.

"SA" < 50 AND "SA" >= 10 AND "RSiltArgil" >= 4,5 "Silts sableux" "SA" <90 AND "SA" >=50 AND "RSiltArgil" >=1 AND "RSiltArgil" <2.5 "Sables vaseux" "SA"<50AND"SA">=10AND"RSiltArgil"<=4.5 AND "RSiltArgil" >1.8 "Vases sableuses" "SA" <10 AND "RSiltArgil">1.8 AND "RSiltArgil"<4.5 "Limons" "SA" <10 AND "RSiltArgil"<4.5 "Silts"

Les valeurs 2.5, 4.5 et 1.8 correspondent à différents rapports de silt et d'argile sur le diagramme ternaire et sont calculés à l'intersection entre deux classes. Par exemple, à l'intersection entre les argiles (VI) et les silts (VII), le rapport est de 0.9/0.2=4.5

Les sédiments sont ensuite caractérisés selon leur mode de distribution granulométrique. Les prélèvements monomodaux sont composés du même type de substrat, tandis que les prélèvements bimodaux correspondront à un mélange entre deux types de substrat. Ceci nous aide donc dans l'interpolation des litho-faciès (Fig.12).

Sur la figure 12 ci-dessous, les prélèvements sableux sont monomodaux, et sont alors présents dans le litho-faciès des sables fins-moyens. A l'inverse, le prélèvement argileux, est caractérisé comme étant bimodal car ce prélèvement est présent au milieu du litho-faciès des sables silteux.

![](_page_19_Figure_4.jpeg)

**Figure 12** Répartition de certains prélèvements sédimentaires selon leurs modes de distribution granulométrique. Par manque de données, le mode n'a pas pu être établit sur chacun des prélèvements disponibles dans le PNMGL

#### IV.2 Intégration des données sismiques à la carte morpho-sédimentaire

L'horizon des sismo-faciès sableux a été nommé « Sables envasé du large ». L'exportation de cette horizon sous Arcgis® a permis d'obtenir la répartition des sables présent au large (Fig.13).

![](_page_20_Figure_2.jpeg)

**Figure 13** Carte illustrant le tracé des horizons sismiques établit sous Kingdom Suite et transféré sur le logiciel Arcgis. La sismique a permis d'établir le faciès granulométrique des « sables envasés du large » présent en jaune sur cette carte. Le faciès granulométrique correspond à des sédiments beaucoup plus fins tel que des silts et argiles.

### IV.3 Carte morpho-sédimentaire

On a utilisé l'ensemble des données présentées ci-dessus, complétées lorsque c'était possible par l'information issue de l'imagerie acoustique, pour établir une synthèse morphosédimentaire de la zone du Parc Marin (Fig.14). Les différents litho-faciès identifiés, qui illustrent l'interaction de différents processus hydrodynamiques et paléo-environnementaux sont présentés ci-dessous.

![](_page_21_Figure_0.jpeg)

Figure 14 Carte morpho-sédimentaire du Parc naturel marin du golfe du Lion. Cette carte est une synthèse de l'ensemble des données présentées ci-dessus, complétées lorsque c'était possible par l'information issue de l'imagerie acoustique. Les différents litho-faciès identifiés sont : Les sables fins-moyens, graviers, sables silteux, silts sableux, sables envasés du large et les vases. Dans les zones de dunes sous-marines des alternations entre des sables silteux et des vases sont présentes. Les faciès morpho-sédimentaires sont aussi représentés sur cette carte. Le plateau de Leucate et certaines roches cartographiés sont difficilement visibles à cause de leur petite échelle. Aussi, l'astérisque sur le faciès des sables indurés signifie qu'il ne s'agit que d'une hypothèse. CLD : Canyon Lacaze-Duthiers CP : Canyon Pruvot CB : Canyon Bourcart

#### IV.1 Litho-faciès

On a choisi de les présenter selon leur agencement depuis la côte jusqu'au large.

#### IV.1.1 Sables fins-moyens

Situés entre la côte et le faciès des sables silteux, ils correspondent au prisme littoral actuel, mis en place à l'Holocène, depuis environ 7000 ans (Certain, 2002, Aleman, 2013). Ce prisme sableux s'étend jusqu'à 20-25 m de profondeur. Dans ce prisme sableux sont observées des barres sédimentaires d'avant-côtes, reflets de l'état morpho-dynamique du littoral (Certain, 2002, Ferrer, 2011, Aleman 2013) (Fig.14).

La principale source d'alimentation du prisme littoral actuel provient des fleuves. Une avancée de la limite de ces sables est observée au niveau des fleuves, en particulier devant la Têt. L'Agly présente aussi une telle avancée, mais elle est décalée vers le nord par rapport à l'embouchure actuelle. Cette hypothèse est confirmée par la présence d'un réseau de paléovallées dans le même secteur (Tesson *et al.*, 2011) (Fig.14).

Une zone de même lithologie est observée au large, au NE du Parc marin, entre 90 et 100 m de profondeur (Fig.14). Les principales caractéristiques granulométriques du sédiment ne sont pas disponibles sur ces prélèvements, néanmoins ces 3 prélèvements sont groupés et possèdent un pourcentage de sables supérieur à 90 %. C'est pour cela que nous avons tout de même choisit de les représenter sur la carte.

#### IV.1.2 Sables grossiers et graviers

Des sables grossiers et surtout des graviers sont observés entre 20 et 40 m de profondeur, en particulier entre les embouchures actuelles du Tech et de l'Agly (Fig.14). Ils sont interprétés par Augris et Mear (1985) comme d'anciens littoraux, mais leur position suggère qu'ils pourraient correspondre à d'anciennes embouchures des fleuves Têt, Tech et Agly. Quoiqu'il en soit, leur profondeur, entre 20 et 40 m, témoigne d'une origine relativement ancienne, entre – 10 et - 8 ka cal BP, lors de la dernière transgression marine (Augris et Mear, 1985).

#### IV.1.3 Sables silteux

Les sables silteux se répartissent sur deux zones, situées entre 20 et 40 m et 70-85 m de profondeur (Fig.14). Pour la zone située à 20-40 m, ils correspondent au gradient naturel d'affinement vers le large (limite d'action des vagues de tempêtes).

Au large, on les retrouve à l'Ouest des sables envasés du large (Fig.14). En cet endroit seulement, un inversement de gradient est observé. Normalement, la taille des sédiments diminue de la côte vers le large. C'est ici le cas jusqu'à 50 m de profondeur, puis la taille des sédiments augmente légèrement jusqu'à des profondeurs de 90 m. Ce changement lithologique peut être expliqué par la présence d'anciens prismes sableux (voir paragraphe suivant).

Une troisième zone de même lithologie, repérée grâce à un prélèvement granulométrique est observée au large, au NE du Parc marin, à 100 m de profondeur (Fig.14). Les principales

caractéristiques granulométriques du sédiment (mode, asymétrie, et quartiles) sont semblables, suggérant le même type de substrat et des conditions de dépôt similaires. En effet, les prélèvements granulométriques de sables-silteux dans ces 3 zones ont une distribution monomodale et possèdent un coefficient d'asymétrie inférieur à -1.3 ou entre -1.3 et - 0.43. Ce coefficient contribue à la caractérisation du milieu de dépôts, autrement dit de l'énergie du courant responsable du dépôt. Le coefficient est négatif, informant ainsi un enrichissement en particules fines mal triées, caractéristique de courant faible.

#### IV.1.4 Silts sableux

Ce litho-faciès forme une bande parallèle à la côte, entre environ 30 et 40 m de profondeur. Les prélèvements indiquent, vers la latitude de 42°40', la même lithologie entre 55 et 70 m de profondeur (Fig.14). Il correspondrait à la position de paléo-deltas du Dryas récent, équivalents de plus petite taille du système observé au large du Rhône (Berne *et al.*, 2007). Leur formation interviendrait durant la phase de ralentissement, voire d'arrêt, de la remontée du niveau marin, entre 12.7 et 11.5 ka cal BP.

#### IV.1.5 Sables envasés du large

Ce litho-faciès correspond à des sables du large, généralement envasés, au moins pendant les périodes de beau temps. Ce sont des dépôts littoraux de régression forcée formés entre 35 et 22 ka cal BP (Bassetti *et al.*, 2008). Ces sables envasés du large sont localement érodés, des fenêtres d'érosion faisant apparaître des vases à des profondeurs supérieures à 100 m, en particulier dans la zone située entre les canyons Lacaze-Duthiers et Bourcart (Fig.14). Ces sables ont probablement été remaniés par des courants au début de la remontée du niveau marin, sous forme de bancs sableux (voir ci-dessous). Ils passent à des vases prodeltaïques, par l'intermédiaire d'un ressaut physiographique dont l'amplitude peut atteindre 20 m (Berné et Satra, 2002) (Planche résultats, Fig.1).

#### IV.1.6 Vases

Les vases du large correspondent, sous une fine couche de dépôts récents probablement temporaires, à des vases de prodelta, apportées par les panaches turbides des fleuves pendant le dernier maximum glaciaire (Planche résultats, Fig.1).

#### IV.2 Autres faciès morpho-sédimentaires

On regroupe ici sous ce terme générique des structures très variées qui ont pu être cartographiées à partir de nos outils.

#### IV.2.1 Dunes et bancs sableux

Dunes : Deux zones principales de dunes sous-marines sont observées dans le PNMGL, en tête des canyons Lacaze-Duthiers et Bourcart. Réputées fossiles, il s'avère qu'elles seraient au moins épisodiquement actives. Associées à l'effet des tempêtes de SE (polarité vers le Sud), certaines sont symétriques voir orientées vers le Nord (Annexe 4a) en relation avec les courants dans cette direction, eux-mêmes en relation avec de forts coups de vent de NW en période de stratification des masses d'eau (Alonso, 2016).

Les dunes Lacaze-Duthiers (Planche résultats, Fig.3) se sont formées entre -20 000 ans et -7 000 ans (Alonso, 2015). Au cours de cet intervalle, la remontée du niveau marin s'est effectuée de façon discontinue, en plusieurs étapes de stationnements permettant leur formation (Camoin *et al.*, 2004 in Alonso, 2016). Ces dunes marquent le tracé de la remontée des embouchures, au nord des dunes Lacaze-Duthiers visibles jusqu'à environ 90 m de profondeur où se trouve un paléo-delta formant une excroissance vers le large sur les cartes bathymétriques.

Les dunes de la zone Bourcart se seraient formées en remaniant les sédiments sousjacents, lors du dernier maximum glaciaire, en période transgressive (Bassetti *et al.*, 2006). On parle de « cannibalisme » des dépôts prodeltaïques d'anciens rivages (Planche résultats, Fig.4).

Bancs sableux : Ces sables fossilisés sont observés au Nord du canyon Bourcart. Ils sont compris entre 80 et 120 m de profondeur et se sont déposés durant la dernière période glaciaire (Bassetti *et al.*, 2006). Deux unités se superposent dans ces dépôts : l'unité 155 (dépôts transgressifs) et l'unité 150 (dépôts régressifs) (Planche résultats, Figure 1). La limite U155 déterminée par Bassetti *et al.*, 2008 correspond à la limite entre les dépôts sableux régressifs à la base et la surface transgressive sur le topset où de petites dunes sont visibles. Un forage, PRGL2 2.2.2, réalisé par l'IFREMER a permis de déterminer la composition de l'unité 155, composé de faciès sableux (Bassetti *et al.*, 2008) (Annexe 4b).

#### IV.2.2 Sables cimentés

Les sables cimentés se situent à différentes profondeurs et ont souvent été interprétés comme des roches, alors qu'ils résultent de phénomènes récents de cimentation de diagénèse précoce (Jouet *et al.*, 2006). Ils ne sont donc pas à confondre avec des pointements rocheux, ou des sables grossiers, que l'on retrouve près des côtes. Au large, les sables cimentés sont retrouvés dans plusieurs zones, à des profondeurs actuelles de l'ordre de - 90 m. Les plus importants sont les Pierres de Sète (Planche résultats, Fig.2), ce sont des vrais grès de plage, long de 7 km et formés lors de la dernière période de glaciation (Mauffrey *et al.*, 2015). Leur formation est en lien avec le stationnement marin post 19 ka cal BP, des analyses pétrographiques ont été réalisées sur les Pierres de Sète, le ciment composant ces sables a été datés et révèle ainsi l'âge de formation. Aussi, l'analyse pétrographique a permis de mettre en évidence que les sédiments composant les Pierres de Sète seraient caractéristiques de la rivière l'Agly (Mauffrey *et al.*, 2015).

D'autres structures similaires sont présentes sur la côte et aux abords du canyon Lacaze-Duthiers, avec par exemple « la roche de Torreilles », mais seules les analyses pétrographiques permettraient d'identifier ces structures comme des sables cimentés. Certains profils sismiques et vidéo ROV ont été réalisés dans ces zones et pourront nous donner quelques informations structurales. Après observations, la « roche de Torreilles » n'est alors effectivement pas de la roche, en revanche du coralligène est présent et confirme une nature solide du substrat. Du coralligène, composé de *Dendrophylla cornigera* et de gorgones *Eunicella verrucosa* (Berné et Satra, 2002 et Alonso, 2016) (Annexe 4c), recouvre aussi les structures présentes au large de Lacaze-Duthiers. Elles mesureraient 1 à 3 mètres de hauteur (Planche résultats, Fig.7).

#### IV.2.3 Pockmarks

Sur le plateau du PNMGL, les pockmarks, sont seulement présents sur l'interfluve Bourcart- Hérault, à partir de l'isobathe -120 m. Ces pockmarks correspondent probablement à des sorties de fluides d'origine biogénique (dégradation de la matière organique apportée dans les prodeltas du dernier maximum glaciaire et des stades précédents). On ne peut pas exclure une origine plus profonde (thermogénique) (Berné et Satra, 2002 et Riboulot, 2014) (Planche résultats, Fig.5). Différentes tailles de pockmarks sont observées, allant de 10 à 130 m de diamètre en moyenne. Certains sont même alignés (Riboulot, 2014).

### IV.2.4 Structures d'origine inconnue

D'autres structures ont pu être observées, entre -90 et -100 m, au Sud-Ouest du canyon Lacaze-Duthiers, au sud des dunes. Elles ont été repérées par Alonso, 2016. Ces structures seront appelées « protubérances circulaires » au vu de leurs morphologies observées en bathymétrie, sur le MNT « ombrage », provenant de la campagne CARTHAM. Ces protubérances sont hautes de 1 m et mesurent 40 m de diamètre (Alonso, 2015) (Planche résultats, Fig.8). La composition de ces protubérances ne semble pas différer de celle du substrat vaseux où elles sont présentes et l'origine de ces structures n'est pas encore identifiée.

# Planches des résultats

![](_page_26_Figure_1.jpeg)

**Planche 1** Profil sismique interprété 017 réalisé par l'IFREMER lors de la mission Basar 1. Le faciès jaune représente les dépôts sableux appelés « sables envasé du large », le faciès vert représente les vases prodeltaïques. En rouge, figure les clinoformes distingués dans les sables. La limite bleue U155 déterminé par Bassetti et al., 2008 correspond à la limite supérieure du banc sableux, entre les dépôts sableux régressif à la base et la surface transgressive sur le topset où de petites dunes sont visibles. L'emprise de ce profil est visible, en rose, sur la figure 6 ci-dessous.

![](_page_26_Figure_3.jpeg)

**Planche 3** Profil chirp Rhosos 186 des dunes présentes au large du canyon Lacaze-Duthiers. La très faible pénétration dans les sables est clairement visible. L'emprise de ce profil est visible, en violet, sur la figure 6 ci-dessous.

![](_page_26_Figure_5.jpeg)

**Planche 2** Figures illustrant les "Pierres de Sète". Visible à gauche sur les images acoustiques EM1000 et à droite sur le profil sismique Basar 3 043. Ce profil est orienté NO-SE de gauche à droite. Tous deux réalisé par l'IFREMER. Sur la figure de gauche, le contour bleu correspond au contourage des "Pierres de Sète" présentes à -100 m de profondeur. L'emprise des images acoustiques et du profil sismique correspond à l'encadrement rouge, au nord du canyon Bourcart

![](_page_26_Figure_7.jpeg)

**Planche 4** Profil sparker Basar 2-104 où figure les dunes présentes à l'ouest du canyon Bourcart. L'emprise de ce profil est visible, en rouge, sur la figure 6 ci-dessous.

![](_page_27_Figure_0.jpeg)

Planche 5 Profil sismique Stspk 042 où figure dans l'encadrement rouge un pockmarks avec un diamètre de 130 m. Le profil se situe entre les canyons Bourcat et Hérault. L'emprise de ce profil est visible, en vert, sur la figure 6.

Planche 6 Emprise des différents profils sismiques présentés sur la planche des résultats.

Acoustique et bathymétrique

![](_page_27_Figure_4.jpeg)

![](_page_27_Figure_5.jpeg)

3'21'20"E

Planche 7 Sables cimentés observés sur le MNT ombrage sous Arcgis® obtenu au sonar latéral, présent dans les dunes Lacaze-Duthiers sud issu de la campagne CARTHAM.

Planche 8 Protubérances circulaires observées près du canyon Lacaze-Duthiers grâce au MNT bathymétrique "ombrage" issu de la mission CARTHAM.

![](_page_27_Picture_9.jpeg)

# V- Discussion

# 5.1- Enregistrement du dernier cycle glacio-eustatique

La succession des litho-faciès depuis le large vers la côte traduit l'héritage de la dernière remontée glacio-eustatique depuis le dernier maximum glaciaire (22 ka cal BP) et même la dernière phase de chute qui l'a précédé (Fig.15).

![](_page_28_Figure_3.jpeg)

*Figure 15* Courbe du niveau marin global durant les derniers 35.000 ans (*Lambeck et al., 2014*), avec les principales phases de mise en place de certaines unités morpho-sédimentaires.

On peut distinguer depuis le rebord de plate-forme jusqu'à la côte (Fig.15 et 16) :

- Des sables côtiers fins à moyens, des sables silteux et graviers correspondant au prisme sableux actuel (Holocène) côtier.
- Des silts sableux dont une partie correspond au prisme du Dryas récent.
- Des vases, présentes sur deux zones, au large avec les vases du large et sur le rebord du plateau avec les vases prodeltaïques.
- Des sables envasés du large dont la couche supérieure a été remaniée par des dunes sableuses.

Ces différents faciès peuvent être retrouvés sur le profil sismique Marion SPK 056, sur les figures 16 a, b et c ci-dessous, illustrant la succession de ces litho-faciès le long du plateau. Le prisme sableux côtier, les vases holocènes, le prisme du Dryas récent, les vases du large, les

dunes sableuses et les vases prodeltaïques du dernier maximum glaciaire y sont représentés. Le profil brut Marion SPK 056 est présent en Annexe 4d.

Lors des derniers 20 000 ans, la remontée du niveau marin ne s'est pas faite de façon continue. Plusieurs périodes se sont succédées, entraînant des variations eustatiques importantes. C'est différents stades ont permis la formation des différents prismes sableux présents sur le plateau. Un des stationnements, s'étant déroulé lors du Youger Dryas, ou Dryas récent (entre 12.7 et 11.5 ky cal BP), a permis la formation d'un des prismes sableux présent entre -60 et -70 m de profondeur. Bien préservé dans l'ensemble du golfe du Lion, ce prisme est aussi retrouvé devant le Rhône (Berné *et al.*, 2007). Ce stationnement serait très certainement, à l'origine de la formation des dunes (Bassetti *et al.*, 2006). Effectivement, les dunes sous-marines se sont formées lors de la première phase de remontée du niveau marin, soit entre 7 et 20 ka cal BP. Les dunes remanient les sédiments sous-jacents, elles ont donc la même composition que les sédiments sur lequel elles reposent. Les prismes sableux sont alors fortement érodés par ces dernières.

La répartition des litho-faciès ne s'explique pas uniquement par les événements glacioeustatiques passés au cours des derniers 20 000 ans. L'hydrodynamisme en est aussi responsable. En effet la répartition des différents litho-faciès est principalement due à la houle, qui met en suspension les sédiments dans la colonne d'eau et impacte les fonds marins jusqu'à 30 m de profondeur. D'autres évènements extrêmes impactent les sédiments à des profondeurs beaucoup plus importantes. Les grandes crues et les tempêtes de Sud-Est notamment agissent sur le plateau externe en modifiant les courants profonds qui peuvent atteindre des vitesses de l'ordre de 50 cm/s (Ulses, 2006). Les tempêtes provoquent une érosion du plateau interne et externe, la zone des vases circalittorales définit par Monaco et Aloisi, 2001 (Ulses, 2006) correspondant en fait à un domaine d'énergie minimum.

Ces vases situées entre -50 et -70m de profondeurs correspondent aussi aux vases identifiées lors de ce stage. Ces événements ponctuels, ont donc un impact majeur sur le transport particulaire. Ils induisent des modifications importantes sur l'ouest du plateau du golfe du Lion en transférant les particules sédimentaires vers le large

La morphologie du plateau influence aussi les courants marins. Sur la carte morphosédimentaire, il est possible d'observer une réduction de la taille des litho-faciès sableux et silteux au niveau du cap Béar. Les caps sont des barrières physiques aux sédiments, empêchant alors le transit vers le Sud. Ils influencent alors aussi la courantologie, qui s'intensifie lorsque le plateau devient plus étroit, dans le Sud-Ouest du golfe du Lion (Estournel *et al.*, 2003). Des affouillements entre deux caps, notamment le cap Béar et le cap de l'Abeille peuvent être visibles, et révèlent l'exposition des sédiments à l'intensité des différents courants.

Pour ce qui concerne la migration des dunes, les modèles hydrodynamiques (Bassetti *et al.*, 2006) et les mesures in situ (Alonso, 2017) montrent que les courants près du fond permettent un transport sédimentaire qui reste à quantifier. Des cartographies séquentielles et des mesures in situ de longues durées permettraient de suivre l'évolution de ces dunes.

![](_page_30_Figure_0.jpeg)

Figure 16a Profil sismique sparker Marion 056 interprété où l'agencement des différents litho-faciès est visible. Ils sont indiqués à l'aide des numéros 1 à 6 et leur légende est indiqué figure 16b. C'est un profil cross-shore à la côte dont la position apparaît figure 16b. Les traits rouges représentent des surface d'érosions, la plus profonde correspond au MIS 8.0. Le prisme sableux côtier en jaune, à gauche de cette figure est présenté sur le profil Dem'eaux 001 (figure 16c).

![](_page_30_Figure_2.jpeg)

![](_page_30_Figure_4.jpeg)

PAGE | 25

#### 5.2- Evaluation de la qualité des connaissances

Compte tenu de la forte hétérogénéité de l'information, nous avons attribué un classement en reprenant la classification utilisée par le SHOM pour ses cartes « G » (Grenard-Grand, 2017). La meilleure « note » caractérisera des zones où l'on dispose à la fois de données géophysiques (sismique THR, bathymétrie et imagerie multifaisceau, sonar latéral) et de prélèvements, voire d'imagerie optique. Un bon exemple correspond aux zones « CARTHAM » (Figure 17) ou aux zones de concession de récifs artificiels (Figure 17). A l'inverse, la zone du large située entre les canyons de Bourcart, et Lacaze-Duthiers, au centre de la figure 17 n'a fait l'objet d'aucun échantillonnage et dispose seulement de quelques profils sismiques et acoustiques. Dans une moindre mesure, la zone située à l'ouest du canyon de Lacaze-Duthiers présente le même déficit d'information.

![](_page_31_Figure_2.jpeg)

*Figure 17* Carte de la qualité des connaissances, répartis en 5 classes de qualité : Excellente, bonne, moyenne, insuffisante et médiocre. A : zones « CARTHAM », pointillés noirs au centre B : Concession récifs artificiels, pointillés bleu, en haut, à gauche.

Dans la perspective de l'édition d'une carte, on peut recommander de réaliser prioritairement sur ces deux zones :

- Des prélèvements de surface
- Des profils sismiques THR de type « Chirp », et si possible d'imagerie acoustique.

Bien que les deux zones de dunes aient fait l'objet de plus d'investigations, certains aspects restent à ce jour méconnus : On ne dispose que de prélèvements à la benne, qui fournissent

généralement un mélange de sable envasés. Il est probable qu'il s'agit en fait d'un film de vase temporaire recouvrant des sables dunaires (les prélèvements étant effectués en période de beau temps). Des carottes sédimentaires (avec un vibro-carottier) ou au minimum des carottes d'interface sont préconisés.

# **VI** Conclusion

Cette carte morpho-sédimentaire, limitée au plateau continental (isobathe 150m) est une synthèse et interprétation personnelle de l'ensemble de données, granulométriques, géophysiques (sismique THR, bathymétrie et imagerie multifaisceau, sonar latéral) et acoustiques réalisées dans le périmètre du Parc naturel marin du golfe du Lion. Ce travail montre l'apport des données géophysiques à la cartographie sédimentaire, et révèle un certain nombre de phénomènes encore peu explicités : existence d'une dynamique sédimentaire capable de remobiliser épisodiquement les sables du large, suintements de fluides actuels ou récents dans la partie NE du Parc marin, existence de sables grésifiés à différentes profondeurs, fournissant des substrats propices à de nombreuses espèces (et des dangers pour le chalutage). Certaines structures sédimentaires s'avèrent à ce jour inexpliquées.

Ce travail a aussi permis de mettre en lumière le manque de connaissance dans plusieurs secteurs du PNMGL, en particulier au large. L'apport de nouvelles données serait nécessaire en particulier dans 3 zones du plateau continental externe.

La synthèse de différentes données est complexe. Les zones méconnues, où peu de données sont disponibles, sont plus facile à traiter. En revanche, l'interprétation est plus grossière. *A contrario*, les zones très étudiées, fournissent une multitude de jeux de données. L'interprétation de ces données est alors plus difficile et prend beaucoup plus de temps.

Les cartes morpho-sédimentaires constituent, avec l'information bathymétrique, la base des connaissances scientifiques nécessaires pour connaître un milieu. Plus un milieu est connu, mieux celui-ci pourra être géré durablement. Une bonne gestion est alors synonyme de sa protection. C'est la mission principale du Parc naturel marin du golfe du Lion. Dans la création d'une carte telle que celle-ci, il y alors un aspect à la fois environnemental mais aussi un aspect économique présent. En effet, elle constitue à la fois un outil scientifique mais aussi un outil d'aide à la décision pour le PNMGL, qui est un service d'État. En particulier dans le contexte actuel, où les demandes de projets industriels sont de plus en plus nombreuses. Il y a alors un besoin de répondre à la fois aux besoins sociétaux (gestion du littoral dans les stations balnéaires, énergies vertes), mais aussi aux besoins écologiques du milieu marin (gestion et protections des écosystèmes et habitats).

# Références bibliographiques

AAMP. Exploration des canyons de Méditerranée - Ecosystèmes - Connaître - Agence des aires marines protégées. Available at: <u>http://www.aires-marines.fr/Connaitre/Ecosystemes/Exploration-des-canyons-de-Mediterranee.</u> (Accessed: 18th January 2018)

AAMP. Inventaire biologiques et analyse écologique de l'existant Natura 2000 en mer – Lot n°9 Sites DHFF Périmètre du Parc Naturel Marin Golfe du Lion – Rapport CARTHAM. (2013)

AAMP. Traitement des données acquises dans le cadre de la campagne « MEDSEACAN » (Têtes des canyons méditerranéens continentaux) - Phase 2, Boite 1. (Juin 2012)

Aleman, N. Morphodynamisme à l'échelle régionale d'une avant-côte microtidale à barres sédimentaires : le cas du Languedoc-Roussillon à l'aide de la technologie LIDAR. (Université de Perpignan, 2013)

Aloisi, J. Sur un modèle deltaique, contribution à la connaissance des marges passives. (Université de Perpignan, 1986).

Alonso, Y. Caractérisation morpho-structurale d'un champ de dunes sous-marines du golfe du Lion, zone du canyon Lacaze-Duthiers – Rapport de stage Master 2. (2016)

Augris et Mear. Etude géologique pour l'implantation de récifs artificiels en Languedoc-Roussillon – Cartographie des formations superficielles. (1985)

Augris et Mear. Récifs artificiels en Languedoc-Roussillon – Etude géotechnique. (1985)

Bassetti, M. A. *et al.* Sand bodies at the shelf edge in the Gulf of Lions (Western Mediterranean): Deglacial history and modern processes. *Marine Geology* **234**, 93–109 (2006)

Bassetti, M. A. *et al.* The 100-ka and rapid sea level changes recorded by prograding shelf sand bodies in the Gulf of Lions (western Mediterranean Sea): RAPID CYCLICITY IN SHOREFACE DEPOSITS (GULF OF LIONS). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* **9**, n/a-n/a (2008)

Berne, S. et al. Carte morpho-bathymétrique du Golfe du Lion. (2002)

Berne, S. *et al.* Erosional offshore sand ridges and lowstand shorefaces: examples from tide- and wave- dominated environments of France. (1998)

Durrieu de Madron, X. *et al.* Sediment dynamics in Gulf of Lions: The impact of extreme events - Intro CSR. (2008)

Estournel, C. Observation and modeling of the winter coastal oceanic circulation in the Gulf of Lion under wind conditions influenced by the continental orography (FETCH experiment). *Journal of Geophysical Research* **108**, (2003)

Ferrer, P. Morphodynamique à multi-échelles du trait de côte (prisme sableux) du golfe du Lion depuis le dernier optimum climatique. (Université de Perpignan, 2010)

GRENARD-GRAND, E. Cartographie sédimentaire du golfe du Lion : du Cap Creus au Barcarès – Rapport de stage Master 1. (2017)

GUENNOC, P. *et al.* Histoire géologique du golfe du Lion et cartographie du rift oligo-aquitanien et de la surface messinienne. (2000)

Lambeck, K. *et al.* Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **111**, 15296–15303 (2014)

Larousse, É. Larousse.fr: encyclopédie et dictionnaires gratuits en ligne. Available at: <u>http://www.larousse.fr/.</u> (Accessed: 22nd May 2018)

Les outils d'acquisitions : Sonar latéral, sondeur multifaisceaux, sismique et géoacoustique. Available at: <u>http://www.shom.fr/les-activites/activites-scientifiques/sedimentologie/imagerie-acoustique/</u>. (Accessed: 18th May 2018)

MarLIN - The Marine Life Information Network - Sediment types. Available at: <u>http://www.marlin.ac.uk/glossary/sediment-types.</u> (Accessed: 9th February 2018)

Mauffrey, M.-A. Impact des variations du climat et du niveau marin sur les canyons sous-marins du Golfe du Lion (France) et de la marge de l'Ebre (Catalogne) au cours du Plio-Quaternaire. (Université de Perpignan, 2015)

Monaco, A. Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du plateau continental du Roussillon (Golfe du Lion). (Université de Perpignan, 1971)

Palanques, A. *et al.* Suspended sediment fluxes and transport processes in the Gulf of Lions submarine canyons. The role of storms and dense water cascading. *Marine Geology* **234**, 43–61 (2006)

Parc naturel marin du golfe du Lion - Parcs naturels marins - Organisation - L'Agence - Agence des aires marines protégées. Available at: <u>http://www.aires-marines.fr/L-Agence/Organisation/Parcs-naturels-marins/Parc-naturel-marin-du-golfe-du-Lion.</u> (Accessed: 23rd March 2018)

Petrology of sedimentary rocks Robert L. Folk, 1974. *Scribd* Available at: <u>https://www.scribd.com/doc/114841708/Petrology-of-sedimentary-rocks-Robert-L-Folk-1974.</u> (Accessed: 12th June 2018)

Sterckeman, A. *et al.* Caractérisation sédimentaire des fonds marins par segmentation d'images acoustiques à l'aide du logiciel SonarScope - Cas du plateau continental aquitain. (2006)

Tesson, M. et al. Quaternary 'Compound' Incised Valley In A Microtidal Environment, Roussillon Continental Shelf, Western Gulf of Lions, France. *Journal of Sedimentary Research* **81**, 708–729 (2011)

Ulses, C. Dynamique océanique et transport de la matière particulaire dans le Golfe du Lion : Crue, tempête et période hivernale. (Université Paul Sabatier, Toulouse III, 2005)

Universalis, E. Encyclopédie Universalis. *Encyclopædia Universalis* Available at: <u>https://www.universalis.fr/.</u> (Accessed: 22nd May 2018)

# Liste des figures

Figure 1 Circulation hydrodynamique et météorologique du PNMGL réalisé par AAMP et le PNMGL, éditée en août 2014
<b>Figure 2</b> Carte bathymétrique du golfe du Lion incluant le PNMGL. CH : Canyon de l'Hérault ; CB : Canyon Bourcart, CP : Canyon Pruvot, CLD : Canyon Lacaze-Duthiers
Figure 3 Emplacement et sources des différents prélèvements qui ont été effectués au sein du PNMGL. En rouge, entre les canyons Lacaze-Duthiers et Bourcart se trouve la zone « No data », où aucuns prélèvements n'ont été effectués
<b>Figure 4</b> Ensemble des campagnes, Basar, Calmar, Escomed, Essed, GMO2, Marion et Rhosos, et profils sismiques réalisés dans le PNMGL
Figure 5 Variation de contraste entre deux mosaïques différentes EM1000 et EM300, encadrée en vert. Les traits bleus correspondent aux profils sismiques, les contours -100 m sont visible en gris clair en fond de carte
<b>Figure 6</b> Ensemble des métadonnées utilisées lors de ce stage. On retrouve le tracé des profils sismiques en bleu, les faciès acoustiques, le sonar latéral, la bathymétrie des dunes Lacaze-Duthiers, l'emplacement des prélèvements granulométriques, les concessions de récifs artificiels en vert, l'emplacement des récifs artificiels en violet et les forages sous forme de triangles rouge
Figure 7 Diagramme ternaire de Folk (1974)
<b>Figure 8</b> Profils sismique Basar 1017 réalisé au sondeur de sédiment 2.5 kHz (A) et au sparker (B). Sur les données A « sondeur de sédiments » on distingue clairement la différence de pénétration entre la zone sableuse, en jaune (faciès jaune à clinoformes sur B) et les zones à sédiments silto-argileux en vert. Le faciès des sables du large apparaît, sur B, caractérisé par des clinoformes fortement inclinés (4-5°), en rouge
<b>Figure 9</b> Représentation des faciès acoustiques interprétés par l'IFREMER. Chaque type de fond est différencié selon la rétro-diffusion. 11
<b>Figure 10</b> Substrat grossier, de type gravier, présent au large de St-Marie. Image au sonar latéral issu de la mission Strataform et faciès acoustique EM1000 (Basar 3, Calmar 99). En imagerie sonar on observe des roches dans ces graviers, encadrée en blanc sur la figure12
<b>Figure 11</b> Ensemble des prélèvements réalisés dans le PNMGL classés selon 7 catégories attribuées à l'aide du diagramme ternaire présent à droite de la figure. La couleur des points sur la carte et des classes granulométriques (identifié par les chiffres romain) est identique 13
<b>Figure 12</b> Répartition de certains prélèvements sédimentaires selon leurs modes de distribution granulométrique. Par manque de données, le mode n'a pas pu être établit sur chacun des prélèvements disponibles dans le PNMCI

**Figure 13** Carte illustrant le tracé des horizons sismiques établit sous Kingdom Suite et transféré sur le logiciel Arcgis. La sismique a permis d'établir le faciès granulométrique des « sables envasés du large » présent en jaune sur cette carte. Le faciès granulométrique correspond à des sédiments beaucoup plus fins tel que des silts et argiles. . 15

**Figure 15** Courbe du niveau marin global durant les derniers 35.000 ans (Lambeck et al., 2014), avec les principales phases de mise en place de certaines unités morpho-sédimentaires......22

**Figure 17** Carte de la qualité des connaissances, répartis en 5 classes de qualité : Excellente, bonne, moyenne, insuffisante et médiocre. A : zones « CARTHAM », pointillés noirs au centre B : Concession récifs artificiels, pointillés bleu, en haut, à gauche......25

# Glossaire

Backscattering : Coefficient de rétro-diffusion

Clinoformes : Surfaces de dépôts inclinées par rapports à l'orientation générale des strates. Traduit un phénomène de déplacement (progradation). Objets qui peut être de différente tailles : échelle d'une surface dunaire qui migre (migration dune) ou surface d'une marge qui prograde. Ennoiement, ennoyage : Terme en géologie qui signifie une lente disparition, ou un enfouissement de reliefs, de couches sédimentaires, ou encore de structures inclinées sous des séries plus récentes. L'ennoiement peut aussi correspondre à la submersion d'une zone côtière par la mer, suite à la remontée du niveau marin (Dictionnaire Larousse, 2017).

Faciès sismique : Un faciès sismique est une notion géologique permettant la description de propriétés visible tel que l'aspect et de la composition d'une roche au sein d'un profil sismique. Il est caractérisé par des données lithologiques par exemple. Ce terme est particulièrement utilisé en stratigraphie et en sismique pour l'interprétation de profils. (Universalis, 2018)

Faciès acoustique : Les faciès acoustiques représentent les propagations d'ondes P au sein d'un milieu notamment marin sur des profils sismiques (Universalis, 2018).

Faciès sédimentaire : L'aspect et la composition d'une roche constituent un faciès. Ceci permet de classer et reconnaitre les roches sédimentaires (Universalis, 2018).

Granulométrie : Etude de la taille, forme et répartition de grains sédimentaires.

Isopaques : Les isopaques correspondent à une ligne stratigraphique où tous les points d'épaisseur sont égaux (Universalis, 2018).

Krigeage : Correspond à un outil, sur le logiciel Arcgis®®, d'interpolation de données numériques sous forme de Raster. Il est basé sur des techniques géostatiques basé sur des valeurs relevées avoisinantes ou des statistiques tel que l'autocorrélation qui permettent la détermination du lissage de la surface qui en résulte (Arcgis®, 2018)

# Intégration des données sédimentologiques et géophysiques pour la cartographie morpho-sédimentaire du Parc naturel marin du golfe du Lion

# Résumé

La réalisation de cartes sédimentaires constitue, avec l'information bathymétrique, la base des connaissances scientifiques nécessaires pour connaître et gérer le milieu marin. L'intégration de données sédimentologiques, géophysiques (sismique THR, bathymétrie, imagerie multifaisceau, et sonar latéral) et acoustiques a permis l'élaboration d'une carte morpho-sédimentaire dans le périmètre du Parc naturel marin du golfe du Lion et fait suite à de nombreux travaux scientifiques réalisés par différents organismes.

Cette carte est une synthèse et interprétation personnelle montrant l'apport des données géophysiques à la cartographie sédimentaire. Elle a permis de révéler de nombreux secteurs sous-marins encore peu explorés comme dans la zone du large, à l'interfluve entre les canyons Bourcart et Lacaze-Duthiers. L'utilisation de nombreux profils sismiques, traités sur Kingdom Suite a alors permis de cartographier la nature des fonds dans ce secteur et a pu pallier partiellement au manque de prélèvements. C'est ce qui a fait l'originalité de ce travail.

Sur la base des données granulométriques (XX échantillons), on a identifié 7 litho-faciès distincts dont le contourage a été interpolé grâce aux données géophysiques. Ce travail a permis de mettre en évidence également des dépôts et des figures sédimentaires peu ou pas connus.

Ce travail démontre l'interaction des processus hérités (changements du niveau marin) et actuels ou très récents (hydrodynamique) dans l'agencement des faciès sédimentaires

### Mots clefs

Cartographie, sédimentologie, géophysique, litho-faciès, Parc naturel marin, golfe du Lion.

# Abstract

Sedimentary maps constitute, together with bathymetric data, the basic scientific knowledge for further scientific exploration and management of the marine domain. Sedimentological sampling, together with geophysical (THR seismics, bathymetric and acoustic imaging) data allowed to produce a morpho-sedimentary map of the Gulf of Lions Marine Protected Area.

This map includes the compilation and synthesis of numerous data collected during the last 50 years. It is also an attempt to include, through a personal interpretation, the information from the huge geophysical data set, especially for areas where little or no sediment samples are available such as the interfluve of the Bourcart and Lacaze-Duthiers canyons. In detail, the seismic information was loaded on a Kingdom Suite workstation, in order to map seismic facies interpreted as sand versus mud, whereas acoustic images and mosaics were loaded, visualized and interpreted using Arcgis®.

The resulting map illustrates the complex interplay between sea-level changes during the last 35 kyr and recent/modern hydrodynamic processes.

#### Key words

Sea-floor mapping, sedimentology, geophysics, litho-facies, Marine Protected Area, Gulf of Lions