

CARAC

TÉRIS

TIQUES ET

MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

ÉTAT

ÉCOLO

GIQUE

CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE

MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

JUIN 2012

ÉTAT BIOLOGIQUE

Caractéristiques biologiques - biocénoses

Biocénoses des fonds meubles du bathyal et de l'abyssal

Marie-Claire Fabri,
Laura Pedel
(Ifremer, La Seyne sur Mer).
Avec la participation de
Christophe Fontanier
(Université d'Angers),
Laurence Guidi-Guilvard
(LOV).



En bordure du plateau continental, sur la pente et le glacis, des sédiments grossiers terrigènes sont transportés par les courants de turbidité et les avalanches sous-marines. Plus on s'éloigne de la marge continentale, plus le sédiment est constitué d'accumulation de squelettes d'organismes planctoniques qui recouvrent le fond de la plaine abyssale [1].

D'une manière générale, la quantité de matière organique alimentant les profondeurs sous-marines est faible. Ce phénomène est d'autant plus marqué en Méditerranée, mer oligotrophe et chaude, où presque toute la matière organique serait consommée avant même d'atteindre le fond. Il est ainsi possible qu'en Méditerranée la répartition des organismes ne soit pas influencée par la profondeur mais par la distance à la côte. Le long des pentes, la biomasse en poids sec des organismes benthiques oscille entre 10 et 20 g·m⁻², alors que sur la plaine abyssale elle avoisine les 2 g·m⁻² [1] [2].

Cependant, bien que les communautés animales du domaine profond aient une faible biomasse, elles sont très diversifiées. L'une des plus grandes études menées sur les

pententes continentales tendrait à suggérer que la plus grande biodiversité marine réside dans les sédiments des grands fonds [3]. Ainsi, la biodiversité benthique profonde ne serait pas inférieure à celle des zones côtières, mais nécessiterait plus d'investigation [4].

Sur et dans ces vases vivent différentes catégories de faune que l'on classe par taille. Plus les organismes sont petits, plus ils sont nombreux pour une même surface et plus la diversité est importante.

Dans cette contribution, les termes communautés et biocénoses sont considérés comme des synonymes, tels que définis par Dauvin [5] et le terme « faciès » fait référence à l'aspect d'une population qui domine à un endroit précis sous l'action de conditions abiotiques particulières.

Mégafaune : La mégafaune est la faune visible sur vidéos. Elle est répartie de façon éparse sur les fonds meubles, la densité est de quelques dizaines à quelques milliers d'individus par hectare.

À la surface du sédiment, la faune est principalement (60 à 80%) constituée de dépositores tels que les échinodermes : holothuries, échinides, astérides. À proximité de la pente continentale, là où la profondeur est plus faible et l'hydrodynamisme plus important, les particules alimentaires sont remises en suspension par les courants. Les suspensivores qui s'en nourrissent peuvent devenir dominants, accompagnés par des carnivores passifs : éponges, cnidaires. Les fonds habités sont sujets à une forte bioturbation et couverts de traces laissées par le déplacement ou l'empreinte d'animaux à l'arrêt, mais aussi de terriers et tumulus.

Macrofaune : la macrofaune a une taille comprise entre 2 mm et 500 à 250 μm , et une densité de quelques dizaines à quelques milliers d'individus par m^2 . Elle est dominée par les annélides polychètes, qui constituent 50 à 75 % de l'effectif total. Le reste de la macrofaune est constitué de crustacés pérencarides (amphipodes, isopodes, cumacés, tanaidacés), de mollusques (gastéropodes, bivalves et scaphopodes) et d'un assortiment d'organismes vermiformes, comme les némerthes, les priapulien, les siponcles ou les échiuriens.

Ces dernières années, l'intérêt pour l'utilisation d'indicateurs benthiques pour évaluer l'état de l'environnement marin a fortement augmenté et la macrofaune benthique a fait l'objet d'une grande attention dans le domaine côtier. Le compartiment « macrofaune benthique » présente plusieurs avantages, notamment celui d'être relativement peu, voire non mobile et donc utile dans l'évaluation des perturbations physiques ou chimiques. La macrofaune peut ainsi être classée en différents groupes d'espèces selon leur sensibilité à l'enrichissement en matière organique, leur groupe trophique ou encore leurs traits biologiques, ce qui permet de prendre en compte la diversité fonctionnelle et les relations entre les assemblages faunistiques [6]. Différents indicateurs existent, chacun avec ses spécificités pour répondre à des questions précises [7] [8] [9].

Méiofaune : la méiofaune, comprise entre 1 mm et 40 μm , a une densité de 3 à 100 ind. $\cdot\text{cm}^{-2}$. Elle est principalement constituée de nématodes, de petits crustacés (copépodes harpacticoïdes et ostracodes) et de protistes comme les foraminifères.

Les petits métazoaires benthiques peuplent les premiers centimètres du sédiment. Ils jouent un rôle capital au sein des réseaux trophiques benthiques, en participant d'une part au recyclage de matière organique particulaire, d'autre part à la nutrition de la macrofaune et des stades juvéniles de nombreux poissons. La méiofaune est ubiquiste, abondante et se caractérise par une extraordinaire diversité spécifique, particulièrement en milieu profond. Du fait de sa petite taille, de son métabolisme élevé et de cycles de reproductions courts, elle répond très rapidement aux variations de l'environnement [10] et se prête de ce fait particulièrement bien aux études d'impacts.

Les foraminifères benthiques (protistes) constituent quant à eux un groupe de bio-indicateurs marins exceptionnels [11]. Dans les environnements marins profonds actuels, leur dynamique spatio-temporelle est tributaire de nombreux paramètres, tels que l'oxygénation, les apports de carbone organique, les conditions d'oxydo-réduction du sédiment, l'hydrodynamisme des eaux de fond, les apports sédimentaires et la nature du substrat [12]. Aussi les foraminifères contribuent-ils pour une part importante à la minéralisation du carbone organique détritique. Ils peuvent être, dans certains environnements, les principaux acteurs du recyclage du carbone sédimentaire. Ils sont aussi capables de fixer une très grande partie du carbone organique exporté dans les sédiments sous forme de tests calcaires.

1. DONNÉES EXISTANTES

Les données décrites dans cette contribution ont trois origines : des prélèvements dont les identifications sont archivées dans la base de données Biocean [13], des données issues de la bibliographie et des observations extraites de vidéos réalisées par submersible (figure 1).

L'étude de la macrofaune du domaine profond nécessite des prélèvements. On retrouve dans la bibliographie la description des espèces prélevées par dragages au large de Saint-Raphaël et de Saint-Tropez dans les années 1960 [14] [15]. Dans les années 1970, le canyon de Lacaze-Duthiers a fait l'objet d'une étude approfondie [16]. Dans les années 1980, la plaine abyssale a été étudiée au cours de la campagne Biomède [17] qui a donné lieu à des listes d'espèces qui sont dans la base Biocean. Une approche quantitative a été réalisée par Stora dans le canyon de Toulon [18]. Le canyon du Var a été étudié dans le cadre du programme européen HERMES au cours d'une série de campagnes ENVAR en 2005-2007 puis MEDECO1 en 2007, conduites par l'Ifremer. Mis à part ces études réalisées dans l'étage bathyal, la macrofaune benthique profonde de substrat meuble dans le bassin occidental de la Méditerranée a été très peu étudiée [19].

La méiofaune a fait l'objet d'études ponctuelles dans les canyons du golfe du Lion [20] et dans le canyon de Calvi en mer Ligure [21]. Plus récemment, elle a été intensément échantillonnée dans le canyon du Var, à la fois dans sa partie distale par 2 347 m de fond à la station DYFAMED-BENTHOS, au cours d'un suivi temporel conduit pendant 10 années consécutives [22] [10] et en 3 points situés plus en amont entre 1 700 et 2 200 m de profondeur, lors des campagnes ENVAR.

Les foraminifères ont été pris en compte dans les études sur le canyon de Lacaze-Duthiers [23], sur la pente entre les canyons de Grand Rhône et Petit Rhône [12], dans le canyon de la Cassidaigne où sont déversées des « boues rouges » [24], dans le canyon de Saint-Tropez [25] et dans le golfe d'Ajaccio [26]. L'impact sur le milieu marin des « boues rouges », rejets de l'usine Rio Tinto depuis 1967, a fait l'objet d'un suivi régulier sur l'ensemble des compartiments faunistiques, mené par le conseil scientifique de l'usine [27] [28].

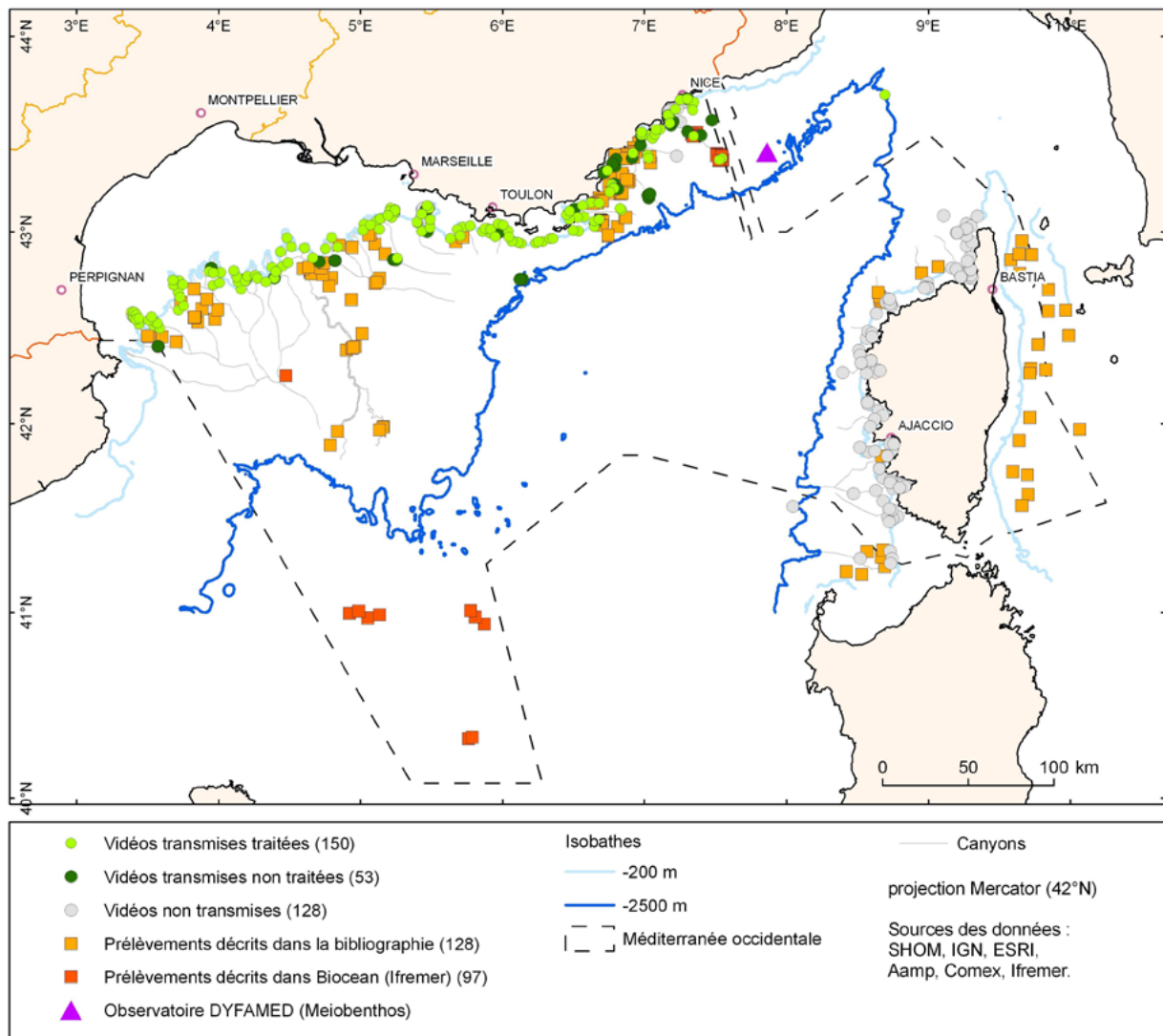


Figure 1 : Localisation géographique des données existantes sur substrat meuble en Méditerranée occidentale (golfe du Lion, mer Ligure) dans les zones bathyales et abyssales (Sources : SHOM, IGN, ESRI, AAMP, Comex, Ifremer, 2012).

Dans les grands fonds, la mégafaune a historiquement été étudiée par chalutage [29], puis par caméra tractée Troïka [30] et enfin par submersible dans les années 1950-1960 avec les soucoupes plongeantes Cousteau [31]. Ces expéditions ont contribué à la description faunistique de certaines espèces de mégafaune avec les moyens de prélèvements de l'époque et la faible qualité des images. Par la suite, plusieurs campagnes mises en œuvre avec les moyens sous-marins de l'Ifremer ont été réalisées. Il s'agit de plongées scientifiques dont l'objectif n'était pas l'exploration faunistique, ou de plongées d'essai dont seulement quelques enregistrements apportent de l'information. Récemment, deux campagnes initiées par l'Aamp et mises en œuvre par la Comex ont permis l'exploration du haut de l'étage bathyal – 200 à 800 m –, dans les canyons continentaux (MEDSEACAN 2009) et corses (CORSEACAN 2010). Ces données vidéo constituent une source d'information unique dans la sous-région marine sur la mégafaune des têtes de canyons.

Il n'a pas été possible de traiter l'ensemble des données vidéo existantes dans le cadre de l'étude sur la distribution de la mégafaune pour trois raisons : i) par manque de temps, d'où un choix sur la pertinence des vidéos à exploiter, ii) pour cause d'ancienneté des données – certaines vidéos des campagnes CYLICE et CYATOX n'ont pas été retrouvées ou sont de mauvaise qualité – ou iii) parce que les vidéos n'ont pas pu être visionnées dans le cadre de l'évaluation initiale DCSMM, notamment CORSEACAN 2010. Ainsi, les données récentes sur les écosystèmes marins profonds de Corse ne sont pas traitées dans cette fiche.

La répartition de certaines communautés de mégafaune benthique a pu être décrite dans le cadre de l'état initial, cependant la qualité des vidéos a fortement influencé la qualité de la reconnaissance faunistique.

2. ZONE BATHYALE

L'étage bathyal s'étend du rebord du plateau continental – 200 m de profondeur – et s'enfonce le long de la pente continentale jusqu'à la portion des fonds à pente adoucie qui se trouve immédiatement au pied de ce talus – 2 500 m de profondeur sur les cartes de cette contribution. Cet étage est caractérisé par l'absence de lumière et une forte homothermie de 300 m jusqu'au fond où la température avoisine les 13 °C.

2.1. FONDS DÉTRITIQUES BATHYAUX : LES COMMUNAUTÉS OU BIOCÉNOSES À *GRYPHUS VITREUS*

Les communautés à *Gryphus vitreus* (brachiopodes) sont très diversifiées, elles hébergent jusqu'à 200 espèces, notamment sur le banc du Magaud où la densité des individus augmente avec le courant, passant de 5 à 600 ind. \cdot m⁻² [32] [33].

Les communautés à *Gryphus vitreus* s'établissent sur un sédiment qui contient de petits morceaux de substrats durs – cailloux, débris coquillers, etc. – à la limite des étages circalittoral et bathyal. Dans ces zones, le fort courant induit un taux de sédimentation faible mais un apport en nutriments conséquent, conditions indispensables à l'installation des suspensivores épibiontes. Les communautés à *Gryphus vitreus* s'étalent sous forme de ceinture sur les promontoires délimités par les échancrures des canyons ou au pied des bancs rocheux du plateau continental. Les *Gryphus vitreus* sont aussi présents au-delà du rebord du plateau sur les fonds rocheux entre 400 et 700 m.

En 1980, les communautés à *Gryphus vitreus* étaient décrites comme largement réparties dans toute la Méditerranée, tandis qu'en 1985, elles auraient fortement régressées suite à un envasement rapide et récent, comme par exemple au large de Marseille [32] [33]. Aucune étude récente n'a été réalisée.

2.2. FONDS DE VASES BATHYALES

Les pentes continentales, souvent entaillées par les canyons sous-marins, ne sont pas faciles d'accès et leur biodiversité est longtemps restée cachée jusqu'à ce que les moyens technologiques permettent l'accès à cette portion du domaine océanique. La vase des pentes continentales pourraient ainsi abriter l'un des écosystèmes les plus diversifiés de la planète, aussi diversifié que le sont les forêts tropicales ou les récifs coralliens [2] [3].

Les vases bathyales, ou vases profondes, sont de vastes étendues de vase argileuse, en général compacte, jaunâtre ou gris bleutée, relativement consistante. La granulométrie et la consistance du sédiment n'est pas homogène. Les flancs des canyons sont tapissés d'une vase fluide, réduite parfois à une simple pellicule. Des vases sableuses sont assez fréquentes dans l'horizon supérieur, plus exceptionnellement en dessous. Les modifications de granulométrie et de consistance des vases ainsi que l'apport de matière organique exogène provoquent l'apparition de faciès particuliers [34] [35].

Les vases bathyales ont été observées par submersible lors de la majorité des plongées des différentes campagnes dans la zone bathyale, sauf sur les pentes les plus fortes de certains canyons où le substrat rocheux domine (voir la contribution thématique dédié aux biocénoses de substrats durs).

2.2.1. Faciès de la vase compacte à *Isidella elongata*

Les étendues de gorgones *Isidella elongata* constituent un faciès caractéristique de Méditerranée profonde qui abrite d'importantes espèces commerciales : les grandes crevettes rouges *Aristeus antennatus* et *Aristaeomorpha foliacea* ce qui en fait la cible de pêcheries de plus en plus profondes.



© OCEANA / Carlos Minguell

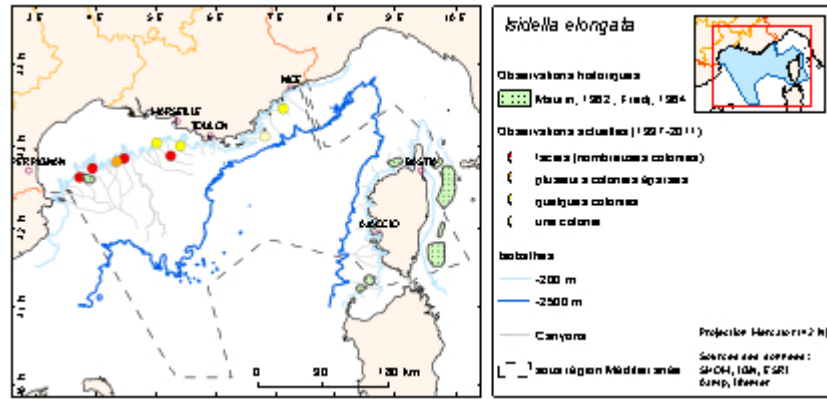


Figure 2 : Carte de localisation des *Isidella elongata* observées pendant les campagnes MEDSEACAN 2009, Cylice 1997, ESSNAUT2008, ESSROV2010, 2011 et dans les données historiques en Méditerranée occidentale. Elles ont probablement été observées pendant la campagne CORSEACAN 2010, mais les vidéos n'ont pas pu être visionnées dans le cadre de l'état initial de la DCSMM (Sources : SHOM, IGN, ESRI, AAMP, Ifremer, 2012).

Ce faciès s'est raréfié dans les 30 dernières années au point que ces « habitats » profonds sont considérés comme « sensibles » par la Commission générale des pêches pour la Méditerranée [36].

Les gorgones sont espacées de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, et sont présentes entre 400 et 2 000 m de profondeur voire plus [37]. Les *Isidella elongata* de l'étage bathyal ont été majoritairement observées dans les canyons du golfe du Lion (Bourcart, Marti, Petit Rhône, Planier), où la pente du talus est douce et propice à l'installation de ces gorgones (figure 2) [38].

2.2.2. Autres faciès

Le faciès comportant les pennatulaires *Funiculina quadrangularis* est essentiellement localisé sur le haut de la pente continentale. Il constitue un habitat essentiel pour certaines espèces de crustacés commerciaux, en particulier la grande crevette rose profonde *Parapenaeus longirostris* et la langoustine *Nephrops norvegicus* ainsi que pour des céphalopodes (poules, seiches) [38].



© AAMP

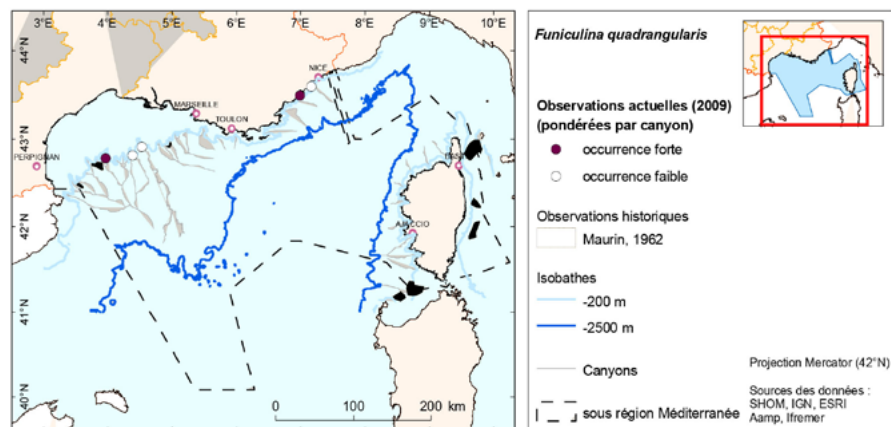


Figure 3 : Carte de localisation des vases molles à *Funiculina quadrangularis* observées pendant la campagne MEDSEACAN 2009 et dans les données historiques en Méditerranée occidentale. Elles ont probablement été observées pendant la campagne CORSEACAN 2010, mais les vidéos n'ont pas pu être visionnées dans le cadre de l'état initial de la DCSMM (Sources : SHOM, IGN, ESRI, AAMP, Ifremer, 2012).

Ces pennatulaires ont été observés plus fréquemment dans le canyon de Marti dans le Golfe du Lion (figure 3), mais aussi dans le canyon de Cannes. Quelques spécimens ont été observés dans les canyons de Montpellier, Petit Rhône et du Var.

La Commission générale des pêches pour la Méditerranée considère ces champs de pennatulaires comme un Habitat Marin Essentiel (EMH) ayant un rôle dans la productivité des pêches [36].

D'autres faciès ont été décrits depuis les années 1970 mais leur rôle écologique n'a pas encore été étudié [39] [35]. Les vases sableuses situées dans la partie supérieure de l'étage bathyal (250 à 300 m) sont parfois peuplées par un spongiaire accompagné ou non d'épibiontes zoanthaires, comme dans le faciès des vases sableuses à *Thenaea muricata*. Les vases molles situées dans la partie intermédiaire de l'étage bathyal (350 m) peuvent être peuplées par le gastéropode *Aporrhais serresianus* (faciès des vases molles à *Aporrhais serresianus*). Ces gastéropodes partagent aussi le faciès des vases molles à *Funiculina quadrangularis*.

3. ZONE ABYSSALE

Dans les plaines les plus profondes, au-delà de 2 500 m, les communautés des vases bathyales sont enrichies par des espèces d'affinités abyssales. Toutefois, celles-ci ne semblent pas former une biocénose des vases abyssales bien caractérisée, malgré la présence de nombreuses espèces endémiques. Très peu d'études ont été réalisées dans ce domaine profond de la Méditerranée, beaucoup de questions scientifiques restent posées [4] [40].

Au cours de la campagne d'essai ESSROV 2011, une plongée réalisée au large de Hyères par 2 500 m de fond nous a permis d'observer une concentration importante d'holothuries de 2 à 3 cm de long. La mégafaune classique des plaines abyssales – l'astéride *Hymenodiscus coronata* et le poisson *Bathypterois sp.* – y a été aussi observée.

4. TENDANCES

La plus grande menace actuelle sur les substrats meubles de l'étage bathyal est le chalutage intensif pour la pêche des grandes crevettes et des poissons profonds, qui, au-delà de la surpêche, provoque la destruction des faciès d'épifaune. Les ressources profondes sont de plus en plus ciblées : les pêcheurs de crevettes rouges sont ainsi capables d'atteindre les zones de 900 m de fond. L'utilisation d'engins de pêche moins destructeurs, ainsi que la mise en place de zones de pêches règlementées, pourrait permettre une protection des faciès à *Isidella elongata* et des faciès à *Funiculina quadrangularis* afin de préserver la ressource.

Les niveaux supérieurs de l'étage bathyal peuvent aussi être affectés par les apports terrigènes ayant des conséquences sur la répartition spatiale de certaines communautés (ex : *Gryphus vitreus*). Il a été aussi souligné d'importants transferts en profondeur de produits potentiellement polluants, en particulier de phosphates et de matière organique, l'ensemble étant suspecté de réduire le taux d'oxygène dissous des eaux profondes, ce qui serait catastrophique pour le benthos dans son ensemble. Les contaminants chimiques tels que les polluants organiques, les métaux toxiques, les composés radioactifs, les pesticides, les herbicides et les produits pharmaceutiques s'accumulent dans les sédiments du domaine océanique profond [40]. Ainsi des niveaux significatifs de dioxine ont été détectés dans les grandes crevettes rouges commerciales *Aristeus antennatus* associées au faciès à *Isidella elongata*.

D'autres menaces non négligeables sont les déchets, dont les macrodéchets (essentiellement fragments de peinture et plastiques) qui interfèrent avec la vie sur le fond et empêchent les échanges gazeux.

5. BESOIN D'ACQUISITION DE CONNAISSANCES

La particularité de la DCSMM est de s'intéresser à la biodiversité du domaine profond, ce qui n'était pas le cas des directives précédentes.

Le développement d'indicateurs biologiques ou écologiques pour évaluer l'état des écosystèmes marins est basé sur la diversité spécifique des communautés. L'identification des espèces présentes dans les échantillons de macrofaune ou de méiofaune fait appel à des spécialistes (taxinomistes) car ces communautés sont de petites tailles et comprennent de nombreux groupes zoologiques. Or dans le domaine profond, les espèces sont souvent inconnues. À l'heure actuelle, les espèces nouvelles sont prélevées à un rythme beaucoup plus rapide que la capacité des scientifiques à les décrire et les nommer. Les nouvelles technologies telles que la génétique moléculaire pourraient apporter une solution à la caractérisation de la biodiversité. Ainsi le « *barcoding* » ou code barre ADN permet l'identification des espèces par la lecture de séquences ADN propres à chaque espèce [41].

Une banque de données de séquences ADN est dédiée aux espèces marines¹.

Pour ce qui concerne la mégafaune, il y a un besoin notable d'étude des faciès ciblés par la pêche à la crevette profonde afin d'en définir la répartition spatiale et les caractéristiques. Ainsi l'utilisation de techniques acoustiques (sondeur de sédiments) pourrait permettre de cartographier la répartition des faciès décrits ci-dessus et de suivre leur évolution. Des études écosystémiques permettraient d'appréhender la diversité fonctionnelle des communautés dans ces faciès.

Les priorités futures de recherches dans le domaine profond en Méditerranée incluent les questions suivantes : est-ce que les composants de la biodiversité contribuent tous de la même façon au fonctionnement des écosystèmes profonds ? Quel est le rôle écologique des ressources exploitées ? Est-ce que la perte de composants benthiques spécifiques a un impact négatif sur la biodiversité des autres composants benthiques ? [40] Comment définir des indicateurs biologiques ou biogéochimiques – *i.e.* des bio-indicateurs et proxies biogéochimiques associés – fiables pour décrire l'état écologique des environnements marins impactés par l'activité anthropique ? Dans le domaine côtier au sens de la DCE, l'indice AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) est utilisé pour évaluer la qualité écologique de la macrofaune (de taille > 1 mm) de substrat meuble [42] [43], mais celui-ci n'a jamais été utilisé dans le domaine profond.

¹ <http://www.marinebarcoding.org/>

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Desbruyères D., 2010. Les trésors des abysses. p.183. QUAE, Versailles.
- [2] Baker M., Ebbe B., Hoyer J., Menot L., Narayanaswaswamy B., Ramirez-Llodra E., Steffensen M., 2008. Lumière sur les fonds obscurs. p.85. DESEO, Bergen.
- [3] Bouchet P., 2006. The magnitude of marine biodiversity. p.32-64. In: *The Exploration of Marine Biodiversity*.
- [4] Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Kaschner K., Ben Rais Lasram F., Aguzzi J., Ballesteros E., Bianchi C.N., Corbera J., Dailianis T. *et al.*, 2010. The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *Plos One* 5(8):e11842.
- [5] Dauvin J.C., Bellan G., Bellan-Santini D., 2008. The need for clear and comparable terminology in benthic ecology. Part I. Ecological concepts. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* 18(4):432-445.
- [6] Bremner J., Rogers S.I., Frid C.L.J., 2003. Assessing functional diversity in marine benthic ecosystems: a comparison of approaches. *Marine Ecology-Progress Series* 254:11-25.
- [7] Dauvin J.C., Bellan G., Bellan-Santini D., 2010. Benthic indicators: From subjectivity to objectivity - Where is the line? *Marine Pollution Bulletin* 60(7):947-953.
- [8] Heink U., Kowarik I., 2010. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators* 10(3):584-593.
- [9] Heink U., Kowarik I., 2010. What criteria should be used to select biodiversity indicators? *Biodiversity and Conservation* 19(13):3769-3797.
- [10] Guidi-Guilvard L.D., Thistle D., Khripounoff A., Gasparini S., 2009. Dynamics of benthic copepods and other meiofauna in the benthic boundary layer of the deep NW Mediterranean Sea. *Marine Ecology-Progress Series* 396:181-195.
- [11] Jorissen F.J., Fontanier C., Thomas E., 2007. Paleoceanographical proxies based on deep-sea benthic foraminiferal assemblage characteristics. p.263-325. In: *Developments in Marine Geology*.
- [12] Fontanier C., Jorissen F.J., Lansard B., Mouret A., Buscail R., Schmidt S., Kerherve P., Buron F., Zaragosi S., Hunault G. *et al.*, 2008. Live foraminifera from the open slope between Grand Rhone and Petit Rhone Canyons (Gulf of Lions, NW Mediterranean). *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 55(11):1532-1553.
- [13] Fabri M.C., Galeron J., Larour M., Maudire G., 2006. Combining the Biocean database for deep-sea benthic data and online Ocean Biogeographic Information System. *Mar Ecol Prog Ser* 316:215-224.
- [14] Carpine C., 1964. La côte de l'Esterel, de la pointe des Lions à la pointe de l'Aiguille (Région A2) - Fascicule 3. *Bull Inst océanogr Monaco* 63(1312A):1-52.
- [15] Fredj G., 1964. La région de Saint-Tropez : du cap Taillat au cap de Saint-Tropez (Région A1) - Fascicule 2. *Bull Inst océanogr Monaco* 63(1311A):1-55.
- [16] Reyss D., 1970. Bionomie benthique de deux canyons sous-marins de la mer Catalane : le Rech du Cap et le Rech Lacaze-Duthiers. Université de Paris VI.
- [17] Chardy P., Laubier L., Reyss D., Sibuet M., 1973. Données préliminaires sur les résultats biologiques de la campagne Polymède I. Dragages profonds. p.621-625. Ifremer.

- [18] Stora G., Bourcier M., Arnoux A., Gerino M., Le Campion J., Gilbert F., Durbec J.P., 1999. The deep-sea macrobenthos on the continental slope of the northwestern Mediterranean Sea: a quantitative approach. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 46(8):1339-1368.
- [19] Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Kaschner K., 2010. The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and Threats. *Plos One* 5(8):1-36.
- [20] De Bovee F., Guidi L., Soyer J., 1990. Quantitative distribution of deep-sea meiobenthos on the northwestern Mediterranean (Gulf of Lions). *Continental Shelf Research* 10(9-11):1123-1145.
- [21] Soetaert K., Heip C., Vincx M., 1991. Diversity of nematode assemblages along a mediterranean deep-sea transect. *Marine Ecology-Progress Series* 75(2-3):275-282.
- [22] Guidi-Guilvard L.D., 2002. DYFAMED-BENTHOS, a long time-series benthic survey at 2347-m depth in the northwestern Mediterranean: general introduction. *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 49(11):2183-2193.
- [23] Schmiedl G., de Bovee F., Buscail R., Charriere B., Hemleben C., Medernach L., Picon P., 2000. Trophic control of benthic foraminiferal abundance and microhabitat in the bathyal Gulf of Lions, western Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology* 40(3):167-188.
- [24] Vivier M.H., 1978. Influence d'un déversement industriel profond sur la nématofaune (Canyon de la Cassidaigne, Méditerranée). *Thetys* 8:307-321.
- [25] Fontanier C., Jorissen F., Geslin E., Zaragosi S., Duchemin G., Laversin M., Gaultier M., 2008. Live and dead foraminiferal faunas from Saint-Tropez Canyon (Bay of Frejus): Observations based on in situ and incubated cores. *Journal of Foraminiferal Research* 38(2):137-156.
- [26] Bizon J.J., Burollet P.F., 1984. *Écologie des microorganismes en Méditerranée Occidentale ECOMED*. p.197. In: *Étude morphologique, hydrologique, sédimentologique, géochimique et écologique du bassin et de ses marges entre Languedoc et Corse*. Association française des Techniciens du Pétrole.
- [27] Bourcier M., Zibrowius H., 1973. Les «boues rouges» déversées dans le canyon de la Cassidaigne : Observations en soucoupe plongeante SP350 (Juin 1971) et résultats de dragages. *Thehys* 4(4):811-842.
- [28] Dauvin J.C., 2010. Towards an impact assessment of bauxite red mud waste on the knowledge of the structure and functions of bathyal ecosystems: The example of the Cassidaigne canyon (north-western Mediterranean Sea). *Marine Pollution Bulletin* 60(2):197-206.
- [29] Maurin C., 1962. *Étude des fonds chalutables de la Méditerranée occidentale (Écologie et Pêche)*. *Rev Trav Inst Pêche Rarit* 26:163-220.
- [30] Vaissière R., Fredj G., 1964. *Étude photographique préliminaire de l'étage bathyal dans la région de Saint-Tropez - Fascicule 5*. *Bull Inst océanogr Monaco* 64(1323):1-70.
- [31] Vaissière R., Carpine C., 1964. *Compte-rendu de plongées en soucoupe plongeante SP 300 (Région A1: Cap Camarat-St Tropez) - Fascicule 4*. *Bull Inst océanogr Monaco* 63(1314):1-32.
- [32] Falconetti C., 1980. *Bionomie benthique des fonds situés à la limite du plateau continental du banc du Magaud (îles d'Hyères) et de la région de Calvi (Corse)*. Docteur es Science, Nice.
- [33] Emig C.C., 1987. Offshore brachiopods investigated by submersible. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 108(3):261-273.
- [34] Peres J.M., Picard J., 1964. *Nouveau Manuel de Bionomie benthique de la mer Méditerranée*. Recueil des travaux de la Station Marine d'Endoume 31 (47):1-137.
- [35] Bellan-Santini D., Bellan G., Bittar G., Harmelin J.G., Pergent G., 2002. Handbook for interpreting types of marine habitat for the selection of sites to be included in the national inventories of natural sites of conservation interest. p.217.
- [36] GFCM SAC, 2009. Criteria for the identification of sensitive habitats of relevance for the management of priority species (General Fisheries Commission for the Mediterranean). p.3.
- [37] Laubier L., Emig C.C., 1993. The mediterranean deep-sea benthic fauna. p.397-424.
- [38] Sarda F., Calafat A., Flexas M.M., Tselepides A., Canals M., Espino M., Tursi A., 2004. An introduction to Mediterranean deep-sea biology. *Scientia Marina* 68:7-38.
- [39] Carpine C., 1970. *Écologie de l'étage bathyal dans la Méditerranée occidentale*. *Mémoires de l'Institut Océanographique de Monaco* 2:1-146.
- [40] Danovaro R., Company J.B., Corinaldesi C., D'Onghia G., Galil B.S., Gambi C., Gooday A., Lampadariou N., Luna G.M., Morigi C. *et al.*, 2010. Deep-sea Biodiversity in the Mediterranean Sea: The known, the Unknown, and the knowable. *Plos One* 5(8):1-25.
- [41] Hebert P.D.N., Cywinska A., Ball S.L., DeWaard J.R., 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 270(1512):313-321.
- [42] Borja A., Franco J., Perez V., 2000. A marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin* 40(12):1100-1114.
- [43] Borja A., Muxika I., Franco J., 2003. The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. *Marine Pollution Bulletin* 46(7):835-845.