

LES GRANDS FONDS MARINS

Quels choix stratégiques
pour l'avenir de l'humanité ?

Contribution menée avec le soutien de

Advention
— BUSINESS PARTNERS —

ÉTUDE MENÉE
SOUS LA DIRECTION DE :

Sabine **Roux de Bézieux** - Vincent **Bouvier** - Pascal **Ausseur**

FONDATION
DE LA MER



SYNTHÈSE

Le sujet des grands fonds marins est devenu d'actualité et suscite un intérêt croissant. Dans le cadre du plan France 2030, un budget de trois cent millions d'euros est ainsi réservé à l'exploration de cette zone largement méconnue, avec quatre missions spécifiques lancées par le Comité interministériel de la mer (CIMer) de mars 2022. En septembre 2021, lors du congrès mondial de la nature à Marseille, plus de 60% des États et agences étatiques avaient voté un moratoire sur l'exploitation minière des fonds marins. La France s'était abstenue. Les points de vue s'exacerbent.

Mais sur le plan géographique, de quoi parle-t-on ? Que recouvre précisément la notion de « grands fonds marins » ? La plupart des scientifiques conviennent que cette zone commence à partir de mille mètres de profondeur, seuil en-deçà duquel l'environnement change de façon significative. En outre, dans une planète dont la surface est recouverte par les océans à hauteur de 71%, les grands fonds représentent 88% du plancher océanique, soit une surface totale estimée à trois cent vingt millions de km².

Sur le plan juridique, à qui appartiennent-ils ? Dans leurs Zones économiques exclusives (ZEE) respectives, les États sont libres d'organiser leur exploration ou leur exploitation. En revanche, dans la haute mer, dite la Zone, c'est à l'Autorité Interna-

tionale des fonds marins qu'il revient d'instruire et d'accorder les autorisations nécessaires.

Trop longtemps les potentiels des grands fonds marins ont été présentés sous le seul angle économique, en référence aux possibilités qu'ils pourraient offrir en matière de **ressources minérales** : amas sulfurés, nodules polymétalliques ou encroûtements cobaltifères. Certes, les impératifs de la transition numérique et écologique, la compétition qu'elle entraîne pour la maîtrise de la ressource en terres et métaux rares, donnent une nouvelle actualité à cette perspective. Mais on sait maintenant que les grands fonds peuvent aussi être source d'avancées significatives dans bien d'autres domaines, qu'il s'agisse des **ressources biologiques, de la santé ou de la recherche pharmaceutique**.

Le plus souvent ces potentialités sont encore mal connues. Le développement de l'exploration s'impose comme la première priorité, le premier impératif. Pour mieux connaître bien sûr, mais aussi pour protéger le milieu sous-marin, pour éviter des exploitations ou des aventures industrielles négligentes des impacts sur les écosystèmes. Nul ne peut dire aujourd'hui avec précision ce que serait l'incidence sur la biodiversité profonde d'une exploitation des terres et métaux rares. En définitive, deux défis successifs doivent être relevés. L'exploration elle-même doit être la moins intrusive pos-

sible. Les techniques doivent évoluer et s'adapter afin de préserver l'environnement marin que l'on veut mieux connaître. Ensuite, si exploitation il y a, c'est la connaissance acquise par l'exploration qui permettra de garantir la protection indispensable et de définir des plans de préservation précis.

La gestion des grands fonds marins fait aujourd'hui l'objet d'une rude compétition internationale, entre des États dont les priorités peuvent diverger, les plus actifs d'entre eux demeurant largement orientés vers des perspectives d'exploitation. Dans ce contexte, **quelles peuvent être la place et la stratégie de la France ?**

La France a des atouts incontestables. Si la surface de sa ZEE occupe la deuxième place mondiale derrière les États-Unis, les travaux menés par le cabinet Advention pour la Fondation de la Mer montrent qu'en matière de surface de grands fonds marins, elle occupe la première place avec 9,5 millions de km², soit 93% de sa ZEE situés sous mille mètres de profondeur. L'expertise et les moyens de ses organismes de recherche en matière d'exploration profonde sont reconnus. Par exemple, la France est le seul pays européen à disposer d'un sous-marin habité pouvant descendre jusqu'à six mille mètres.

À ce jour, la stratégie française, définie dans le cadre de France 2030, est clairement de privilégier la connaissance. Lors du CIMer de mars 2022, il a été rappelé que l'exploitation n'était pas exclue à terme, mais que la connaissance scientifique de ce milieu était encore trop parcellaire pour définir les conditions d'une exploitation responsable et respectueuse de la biodiversité. Il a par ailleurs été décidé de lancer quatre missions d'exploration. À cela vient s'ajouter la stratégie de « maîtrise des fonds marins » publiée par la Marine nationale en février 2022, dans le but de développer une base industrielle française capable d'agir dans ce champ, de développer la connaissance de ce milieu, mais aussi de surveiller et de protéger les infrastructures, notamment les câbles sous-marins, et de prévenir d'éventuelles exploitations illégales.

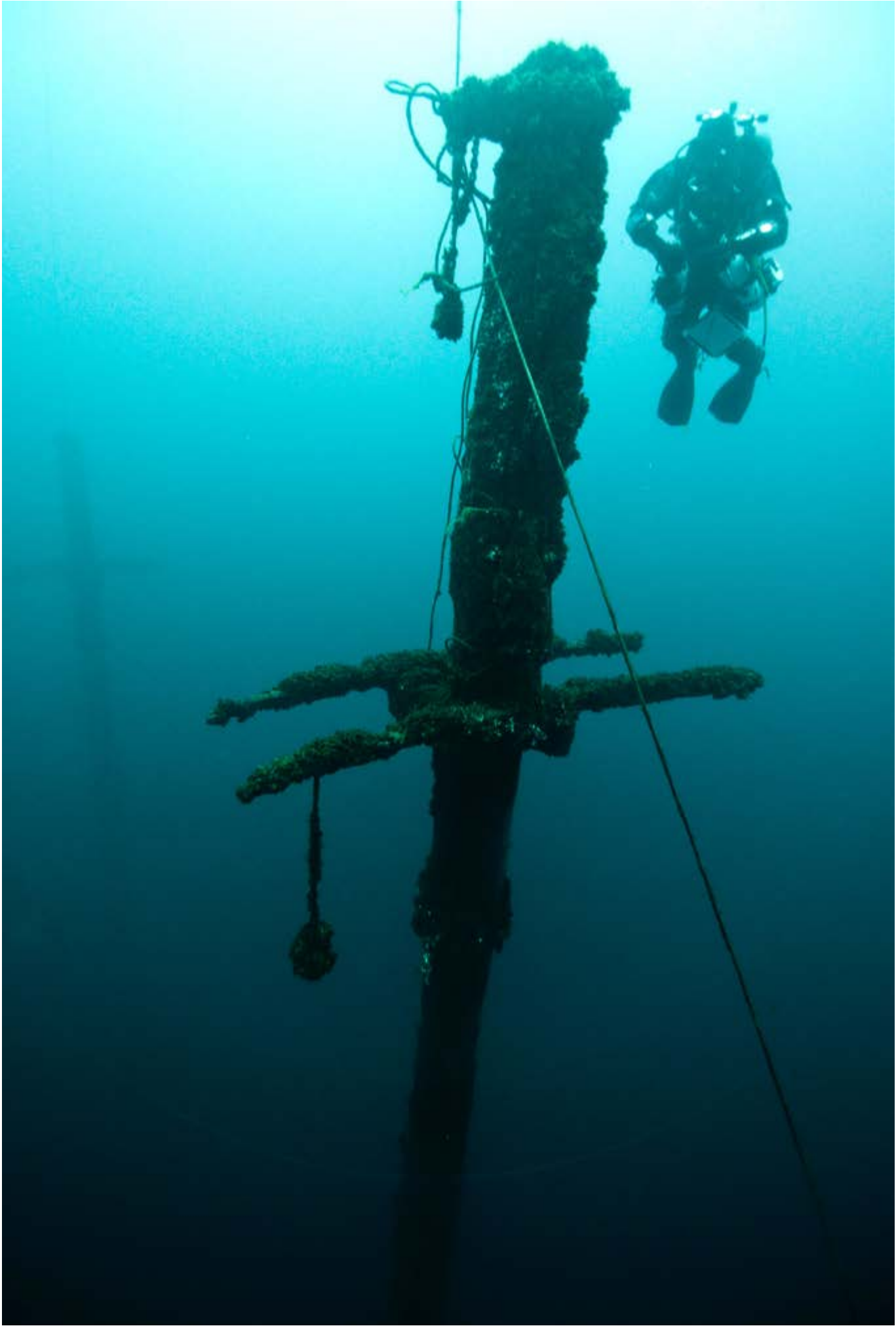
La Fondation de la Mer adhère à cette position équilibrée, s'attachant dans un premier temps au développement de la connaissance mais veillant également à garantir le contrôle et la maîtrise des grands fonds marins compris dans sa ZEE. Elle rappelle en ce sens la nécessité de mener une politique de préservation et de surveillance des espaces stratégiques sous juridiction française. Elle formule en outre six recommandations :

1. Compléter la stratégie de France 2030, notamment en précisant et garantissant le financement des projets de recherche annoncés lors du CIMer ;
2. Prioriser les domaines d'investissement, en suggérant trois orientations principales (connaître et surveiller, améliorer la dualité des projets civil et militaire ainsi que les coopérations européennes et internationales) ;
3. Devenir leader dans les technologies de récupération et du recyclage des métaux rares ;
4. Développer des outils de financement innovants (sociétés à capital mixte, collaborations internationales, appel au public, etc.) ;
5. Associer, suffisamment en amont, la société civile à la définition des grands choix stratégiques.
6. Définir des « sanctuaires des profondeurs », zones totalement protégées reliées entre elles par des corridors biologiques sous-marins.

La stratégie française doit également s'insérer dans un cadre européen et au-delà, dans un cadre international.

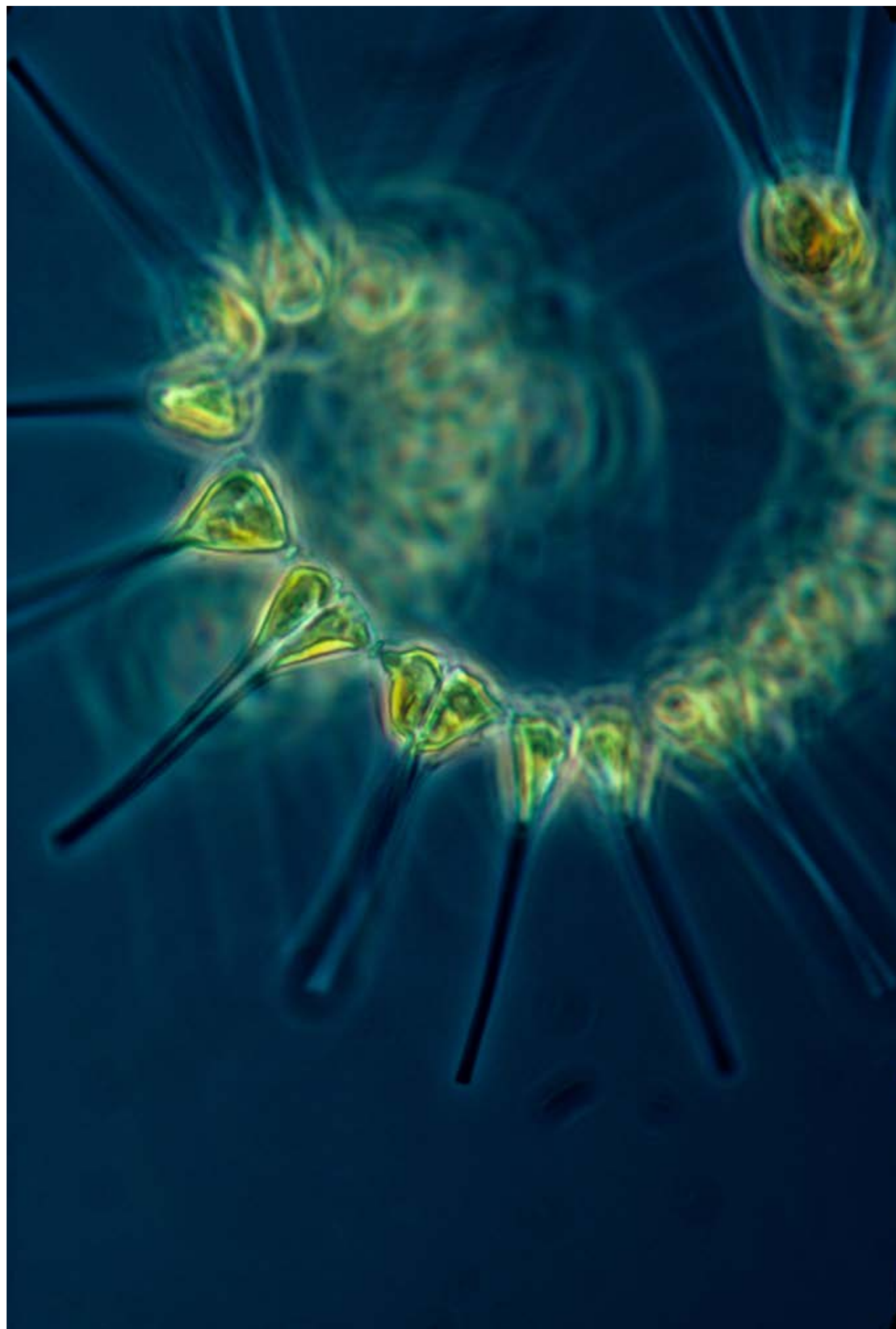
Aujourd'hui, les documents de référence de l'Union européenne, qu'il s'agisse de la nouvelle stratégie européenne pour une économie bleue durable ou du programme Horizon 2030 mentionnent peu les fonds marins. Par ailleurs, les États membres ont des positions divergentes sur les calendriers et les conditions de l'exploitation. Face à l'enjeu que constitue pour l'avenir la gestion des grands fonds marins, la question devrait devenir **une composante majeure de la politique maritime portée par l'Union européenne**. La France pourrait encourager cette évolution.

Enfin, sur le plan international, la Fondation recommande que la France s'associe aux initiatives qui peuvent être prises, notamment au projet *Seabed 2030* de la Nippon Foundation. **Elle souhaite également que soient adaptés les moyens et les règles de gouvernance de l'Autorité Internationale des Fonds Marins**, créée initialement dans un but d'organisation et de contrôle des activités relatives aux ressources minérales : revoir le mode de financement prévu pour l'avenir, assis sur les contrats d'exploitation accordés ; assurer l'information la plus large possible sur les projets et les contrats ; doter l'Autorité de moyens de sanction plus importants.



SOMMAIRE

09	INTRODUCTION	
11	1. DE QUOI PARLE-T-ON ? DÉFINITION ET CARACTÉRISTIQUES DES GRANDS FONDS MARINS	
11	1.1 LES GRANDS FONDS MARINS : QUELLE SURFACE ? A QUI APPARTIENNENT-ILS ?	
11	1.1.1 Parmi les cinq zones de profondeur de l'Océan, trois font partie des grands fonds marins	
13	1.1.2 Les grands fonds, patrimoine commun de l'humanité : quel contexte juridique ?	
13	1.1.3 Les grands fonds, 62% de la surface de la planète : une représentation de l'Océan en 3D, dans laquelle la France occupe la première place	
16	1.2 320 MILLIONS DE KM2 ET UN MILLIARD DE KM3 D'EAU À EXPLORER AU SERVICE DE LA SCIENCE ET DE L'ÉCONOMIE	
16	1.2.1 Les grands fonds : des caractéristiques physico-chimiques et biologiques particulières	
16	1.2.2 Des écosystèmes des fonds marins à découvrir	
20	1.2.3 Une présence humaine directe et indirecte dans les fonds marins	
23	2. EXPLORER OU EXPLOITER ? ENJEUX ET STRATÉGIES	
23	2.1 - LES ENJEUX SCIENTIFIQUES, ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX	
23	2.1.1 Un impératif scientifique : connaître et comprendre	
24	2.1.2 Un potentiel inconnu dans les grands fonds : comment les molécules marines peuvent-elles apporter des solutions pour la santé, l'industrie, la vie quotidienne ?	
25	2.1.3 L'eldorado attendu des terres et des métaux rares	
26	2.1.4 Un impératif environnemental : éviter l'irréversibilité des incidences de l'exploitation	
29	2.2 LES APPROCHES DES DIFFÉRENTS PAYS DANS LE MONDE	
29	2.2.1 La France : des atouts, et une stratégie qui s'élabore	
32	2.2.2 L'Union européenne : un sujet qui reste encore dans les abysses	
34	2.2.3 Les grands fonds : un nouvel espace international de rivalités à maîtriser	
39	3. RECOMMANDATIONS	
39	3.1 LA FRANCE : UNE STRATÉGIE D'ÉQUILIBRE ENTRE LA MAÎTRISE DE SES FONDS MARINS ET LEUR PROTECTION	
42	3.2 EUROPE / INTERNATIONAL	
45	4. ANNEXES	
45	Annexe 1- Méthodologie de mesure des fonds marins	
50	Annexe 2- Liste des entretiens	



INTRODUCTION

Trois considérations principales ont été à l'origine de ce rapport de la Fondation de la Mer consacré aux grands fonds marins. La première tient à l'importance des enjeux liés à la question de leur exploration et de leur exploitation éventuelle, face à la variété et la diversité des ressources qu'ils peuvent offrir. La deuxième, plus immédiate, tient à l'actualité de ce sujet, longtemps réservé à un cercle d'initiés ou de spécialistes, parfois insuffisamment pris en compte par les pouvoirs publics, mais s'inscrivant progressivement aujourd'hui dans les stratégies étatiques et ce dans un contexte de forte compétition internationale. La troisième considération est comme une conséquence de ces enjeux et de ce contexte : sur des choix qui engagent l'avenir, sur des sujets qui peuvent être d'une grande complexité et d'une grande technicité, l'information et la pédagogie à l'égard de la société civile et des opinions publiques, qui devront nécessairement être associées aux orientations prises, s'imposent particulièrement.

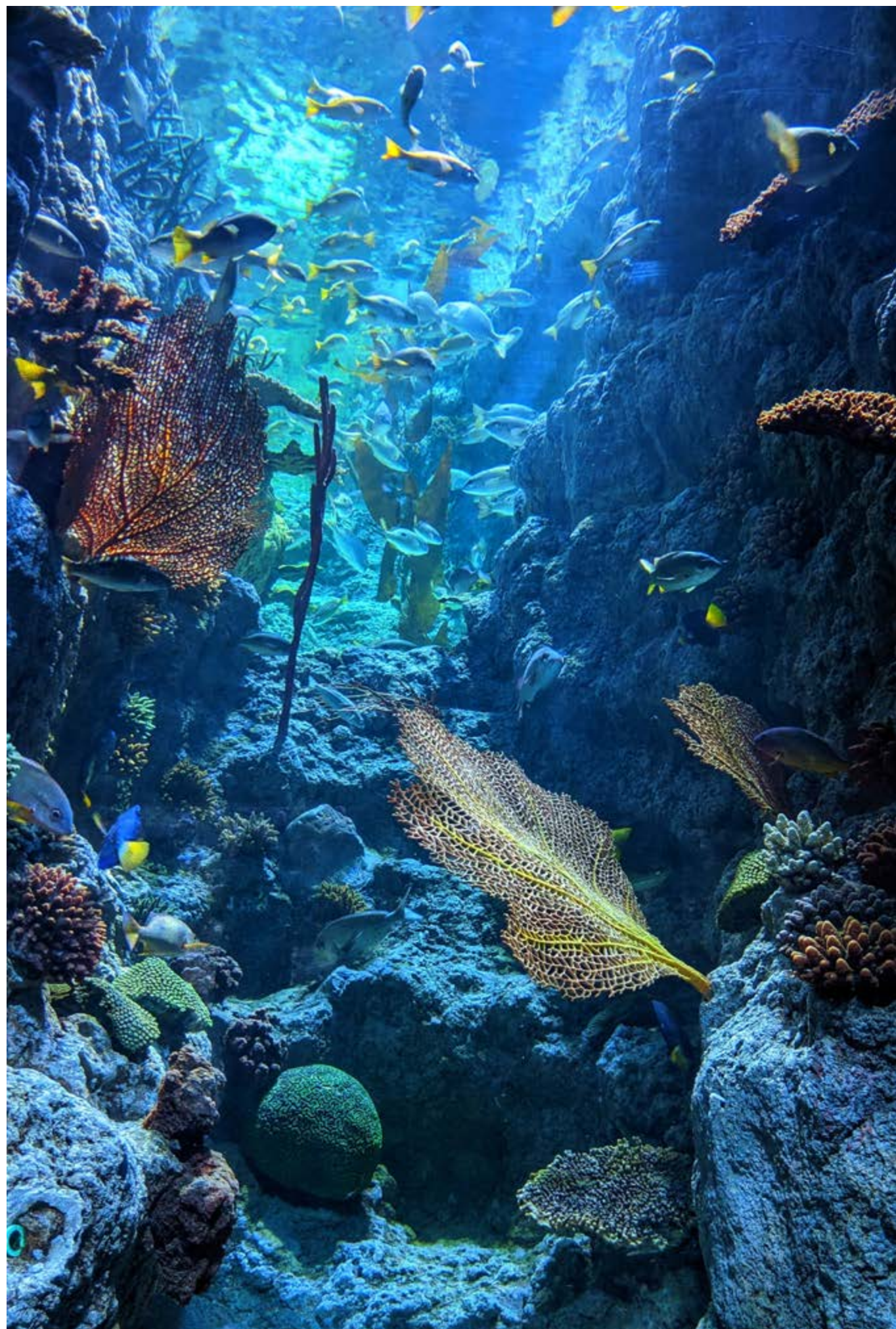
Ces trois considérations ont été au point de départ du travail de la Fondation de la Mer. Elles l'ont également conduite à faire un certain nombre de propositions et de recommandations.

La première partie vise à apporter le cadrage nécessaire (I). C'est d'abord le rappel du contexte juridique, et la définition de la surface géographique couverte par les grands fonds marins. Sur ce dernier point le cabinet Adventon, au terme d'une analyse rigoureuse et innovante, apporte des indications précieuses sur la surface globale, mais aussi sur la place privilégiée qu'occupe la France dans cet ensemble. C'est ensuite la présentation des caractéristiques spécifiques des grands fonds sur les plans physico-chimiques et biologiques, ainsi que de leurs écosystèmes.

Explorer ou exploiter, la nécessité d'éclairer les termes de ce choix stratégique, d'en préciser les conséquences, oriente les développements de la deuxième partie (II). Les enjeux scientifiques, économiques et environnementaux, sont précisés :

l'impératif scientifique de la connaissance ; les ressources pour l'avenir, qui ne se limitent pas aux ressources minérales, aux terres et métaux rares, mais peuvent également être source d'avancées décisives en matière de santé ou d'amélioration de notre vie quotidienne ; l'impératif de protection de l'environnement marin, prévenant ainsi les dommages irréversibles que pourrait entraîner une exploitation non contrôlée. Les politiques et les stratégies sont ensuite présentées et commentées : celles de la France, en rappelant notamment les atouts dont elle dispose ; mais aussi celles de l'Union européenne et au-delà des autres États dans le contexte international, car la France doit nécessairement s'inscrire dans cette perspective plus large.

À l'issue de ces développements la Fondation souhaite faire un certain nombre de recommandations (III). De façon générale, elle prend acte de la stratégie équilibrée de la France, privilégiant dans un premier la connaissance et l'exploration, tout en développant des actions de surveillance et de protection, s'appuyant notamment sur les moyens de la Marine nationale. Mais elle met cependant l'accent sur un certain nombre de points, qui concernent les moyens financiers mis au service de cette stratégie, le choix nécessaire de secteurs d'investissement prioritaires, ou encore l'association de la société civile. Elle insiste également sur la nécessité de promouvoir une position harmonisée de l'Union européenne, ou encore d'adapter les moyens et la gouvernance de l'Autorité Internationale des Fonds Marins.

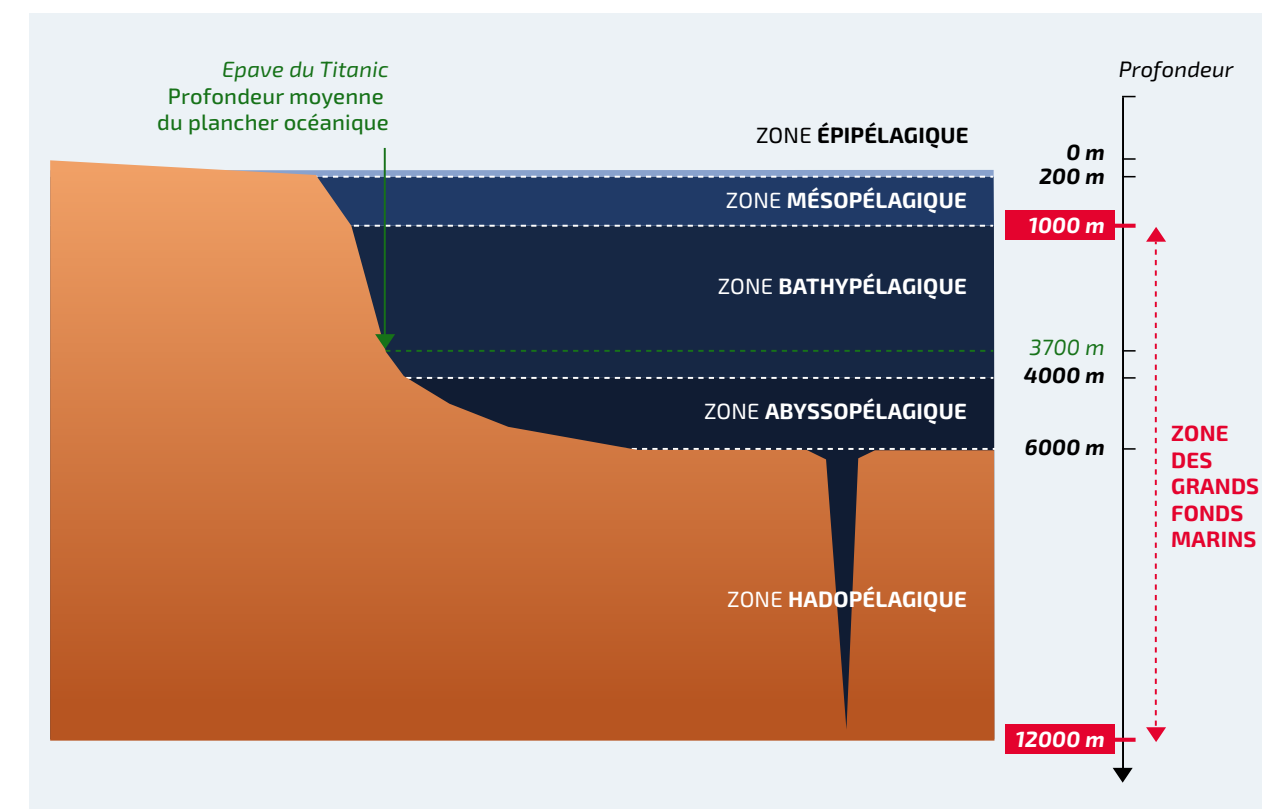


1. DE QUOI PARLE-T-ON ? DÉFINITION ET CARACTÉRISTIQUES DES GRANDS FONDS MARINS

1.1 LES GRANDS FONDS MARINS : QUELLE SURFACE ? À QUI APPARTIENNENT-ILS ?

Plus de 70% de la surface de la planète est recouverte par l'Océan, soit 361 millions de kilomètres carrés pour un volume de 1,37 milliard de kilomètres cubes. Sa profondeur moyenne est de trois mille neuf cents mètres.

1.1.1 Parmi les cinq zones de profondeur de l'Océan, trois font partie des grands fonds marins



Au moins cinq zones sous-marines distinctes sont définies par leur profondeur et par les caractéristiques de l'environnement qu'elles abritent.

1. ZONE ÉPIPÉLAGIQUE : de 0 à 200 mètres de profondeur

La zone épipélagique (ou euphotique) repose sur le plateau continental ; elle est suffisamment exposée à la lumière du Soleil pour que la photosynthèse par des plantes aquatiques et des phytoplanctons soit possible, convertissant cette lumière en éner-

gie utilisable. Ces plantes et ces organismes jouent ainsi le rôle de brique élémentaire de la chaîne alimentaire soutenant le cycle de vie des nombreuses espèces d'animaux aquatiques : poissons récifaux, méduses, mammifères marins, requins, etc.

La plupart des ressources alimentaires des zones plus profondes proviennent de la zone euphotique

sous la forme d'une « pluie » de restes organiques amorphes et agglomérés, qui tombent depuis la surface jusqu'au fond de l'océan et qu'on appelle « neige marine ».

L'intensité lumineuse baisse progressivement à mesure que la profondeur augmente jusqu'à atteindre seulement 1% de celle en surface à deux cents mètres.

**2. ZONE MÉSOPÉLAGIQUE :
de 200 à 1000 mètres de profondeur**

La lumière du Soleil a presque été totalement filtrée avant d'atteindre la zone mésopélagique, et pourtant de nombreuses espèces évoluent dans ces profondeurs. Il est estimé que la zone mésopélagique abrite plus d'un million d'espèces marines encore non décrites à ce jour et qu'on peut y trouver 90% de la biomasse des poissons (ce qui représenterait 1,3 tonne de poissons par être humain).

Plus de 70% des espèces endémiques de ces profondeurs utilisent la bioluminescence pour divers usages tels que le camouflage, la défense contre les prédateurs, la chasse et l'attraction de proies, la communication avec d'autres individus de son espèce, etc.

C'est également dans cette zone qu'ont été effectués les records du monde de plongée autonome en combinaison avec bouteilles (à 332 mètres) et de plongée en saturation (à 416 mètres).

**3. ZONE BATHYPÉLAGIQUE :
de 1000 à 4000 mètres de profondeur**

Aucun rayon du Soleil ne parvient à dépasser mille mètres de profondeur, l'environnement est plongé dans le noir total : on parle alors de zone aphotique. La température y est d'environ 4°C, la pression est plus de cent fois plus élevée qu'à la surface et la nourriture y est très rare.

Les animaux vivant dans cet environnement y sont adaptés : ils possèdent des métabolismes très lents permettant l'économie d'énergie et leurs corps majoritairement composés de tissus liquides et gélatineux sont adaptés à la pression écrasante.

C'est dans cette zone que repose le *Titanic*, à une profondeur d'environ trois mille sept cents mètres.

**4. ZONE ABYSSOPÉLAGIQUE :
de 4000 à 6000 mètres de profondeur**

Les caractéristiques de la zone abyssopélagique sont les mêmes que celles de la zone bathypélagique. La seule différence marquante est que le fond des océans se trouve majoritairement dans la zone abyssopélagique, la plaine abyssale étant généralement située entre trois et six mille mètres de profondeur.

Cette zone se situe également plus bas que la profondeur moyenne des océans qui est d'un peu moins de quatre mille mètres.

**5. ZONE HADOPÉLAGIQUE :
au-delà de 6000 mètres de profondeur**

La zone hadopélagique est la continuité de la zone abyssopélagique. Elle regroupe les fosses qui apparaissent au niveau du plancher océanique dans les zones de subduction d'une plaque tectonique sous une autre. La fosse la plus profonde connue est la fosse des Mariannes ayant son point de plus bas à environ onze mille mètres de profondeur.

Des sacs plastiques ont été retrouvés au fond de la fosse des Mariannes lors de son exploration, indiquant que les conséquences des activités humaines ont déjà atteint cet environnement particulièrement difficile d'accès et renforçant l'importance de la compréhension et de la protection des océans.

**DÉFINITION PROPOSÉE
POUR LES GRANDS FONDS MARINS :
toute zone pour laquelle
le plancher océanique se situe
au-delà de mille mètres
de profondeur**

La plupart des scientifiques considèrent en réalité les trois zones les plus profondes (bathypélagique, abyssopélagique, hadopélagique) comme étant une seule et même zone, car leurs caractéristiques physiques et biologiques sont relativement similaires et stables (température entre 1 et 4°C, pression extrêmement importante entre cent et mille fois la pression subie au niveau de la surface, obscurité totale, absence presque totale de ressources, etc.).

La limite de la zone mésopélagique, à mille mètres de profondeur, marque un seuil clé, en deçà duquel l'environnement change de manière significative.

C'est ce seuil que nous avons retenu dans cette étude pour définir la limite des « Grands Fonds Marins » : l'ensemble des zones de plancher océanique situé à une profondeur supérieure à mille mètres.

1.1.2 - Les grands fonds, patrimoine commun de l'humanité : quel contexte juridique ?

Deux régimes juridiques caractérisent les grands fonds marins.

- **Dans les eaux territoriales et la zone économique exclusive (ZEE) des États** (jusqu'à deux cents milles marins) : les États y contrôlent les activités; l'exploitation des ressources profondes nécessite leur autorisation.

Cette compétence réservée aux États peut s'étendre, au-delà de la ZEE, au plateau continental. En France, ce programme d'extension, dit EX-TRAPLAC, négocié au niveau international, est piloté par le Secrétariat général de la mer¹. Ainsi, pour définir le domaine maritime français, au-delà de la ZEE proprement dite, il convient d'ajouter 579 000 km² acquis grâce à ce programme d'extension. Si l'ensemble des demandes présentées devaient aboutir favorablement, le plateau continental s'agrandirait d'environ 500 000 km² supplémentaires, ce qui positionnerait **la France comme 1^{ère} ZEE au monde**.

- **Dans les profondeurs des eaux internationales dites la « Zone »** : les fonds marins appartiennent au **patrimoine commun de l'humanité**. Les activités relatives aux grands fonds sont contrôlées par l'Autorité Internationale des Fonds Marins (AIFM), créée en 1994 (soit près de trente ans après le traité de l'espace sur l'exploration et l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique ...). L'Autorité délivre des contrats d'exploration (trente et un aujourd'hui). Elle a également vocation à délivrer ultérieurement des contrats d'exploitation, au-

cun contrat de cette nature n'ayant encore été accordé. Dans cette perspective, l'AIFM s'emploie depuis plusieurs années à la rédaction d'un code minier d'exploitation, qui précisera notamment les normes environnementales à respecter.

1.1.3 - Les grands fonds, 62% de la surface de la planète : une représentation de l'Océan en 3D, dans laquelle la France occupe la première place

Les océans sont majoritairement inexplorés et les données géographiques sont souvent insuffisantes, voire inexistantes. Au mieux sait-on qu'ils couvrent plus de 70% de la surface de la planète. Il n'existe aucune mesure précise et agrégée au niveau mondial de la part des océans dont le fond se situe au-delà de mille mètres.

Le cabinet de conseil en stratégie Adventon Business Partners (« Adventon »), à la demande de la Fondation de la Mer, a donc entrepris de quantifier plus précisément la surface des grands fonds marins. Le travail s'est déroulé en trois étapes : il s'est d'abord appuyé sur les bases des données existantes au niveau mondial ; ces données ont ensuite été rapportées à la surface globale de la planète et des océans ; enfin, dans une troisième étape, la méthodologie a permis de calculer la part des grands fonds marins dans les Zones Économiques Exclusives (ZEE) des pays aux ZEE les plus importantes (France, États-Unis, Australie, Chine, etc.)².

Deux catégories de sources ont été utilisées :

- **le projet « Seabed 2030 »**, fruit de la collaboration entre *Gebco* et la *Nippon Foundation*, qui s'est donné pour objectif de cartographier l'ensemble des fonds marins d'ici à 2030 en utilisant diverses sources fiables et vérifiées. Les données récoltées sont disponibles sur une plateforme publique de téléchargement.
- **les bases de données « VLIZ Maritime Boundaries Geodatabase » et « VLIMAR Gazetteer »**, maintenues à jour par le prestigieux Flanders Marine Institute et œuvrant pour la recherche scientifique maritime. Elles réunissent notamment de nombreuses informations sur les zones et la répartition des souverainetés nationales.

¹ « Stratégie ministérielle de maîtrise des fonds marins » (2022), Dossier de presse du Ministère des Armées. Disponible sur : https://www.defense.gouv.fr/sites/default/files/ministere-armees/20220211_GT%20MAITRISE%20FONDS%20MARINS_dossier%20de%20presse.pdf

² Annexe 1 : Méthodologie d'extraction, de préparation et de traitement des données.

Les données du service hydrographique et océanographique de la Marine (Shom), par l'intermédiaire de sa base *data.shom.fr*, ont également été intégrées dans les bases de données utilisées pour les calculs.

Les jeux de données, provenant de ces sources, ont été traités et ajustés pour prendre en compte la forme sphérique de la Terre, qui diffère de la projection de Mercator dans laquelle les données sont stockées. Un programme, utilisant la plateforme de programmation en Pascal, **Lazarus**, a été conçu pour balayer les données organisées en «triplets» [*type de terrain x altitude x ZEE*] et déterminer les surfaces et les volumes pertinents pour l'étude : terres, océans, grands fonds marins, ZEE française, grands fonds marins en ZEE française, etc.

Le programme créé par Advention pour la Fondation de la Mer a ainsi permis de traiter huit fichiers, chacun d'entre eux couvrant 1/8^{ème} de la surface de la planète, et contenant 466 millions de triplets de données.

DES CHIFFRES CALCULÉS POUR LA PREMIÈRE FOIS

Une confirmation : la Terre est recouverte par les océans, qui représentent environ 71% de sa superficie soit 362 millions de kilomètres carrés.

Des données inédites

88.1%
DU PLANCHER OCÉANIQUE
APPARTIENT À LA ZONE DES
GRANDS FONDS MARINS
À UNE PROFONDEUR
DE 1000 MÈTRES
OU PLUS, REPRÉSENTANT
UN TOTAL DE
320
MILLIONS
DE KILOMÈTRES CARRÉS.

- Le volume total d'eau située dans la zone des grands fonds marins atteint **un milliard de kilomètres cubes, ce qui équivaut à 75% du volume des océans.**

La base de données constituée permet de procéder à des mesures à des échelles plus réduites. À titre illustratif :

- La mer Méditerranée comporte près de 60% de grands fonds marins soit 1,5 million de kilomètres carrés pour une surface totale de 2,5 millions de kilomètres carrés.
- Si la France dispose de la deuxième plus vaste ZEE derrière les États-Unis (respectivement 10,2 et 12,1 millions de kilomètres carrés, hors extensions du plateau continental), la majeure partie de la ZEE française (environ 97%) est située autour des territoires d'Outre-Mer, dans des zones de profondeur élevée.

AINSI,
LA FRANCE
POSSÈDE LA PLUS VASTE ZONE
ÉCONOMIQUE EXCLUSIVE
DE GRANDS FONDS MARINS
DANS LE MONDE AVEC
9,5 MILLIONS DE KM²
DE ZEE SITUÉS SOUS MILLE
MÈTRES DE PROFONDEUR,
SOIT
93%
DE SA SUPERFICIE TOTALE

- Au sein de ce classement, la **ZEE des États-Unis est en deuxième place** derrière la France : 9,4 millions de kilomètres carrés en raison d'une part importante de sa ZEE située autour de l'Alaska ainsi que sur ses côtes dans des zones de profondeur faible, soit 78% de sa superficie totale.

Monde	Surface (km²)	% de S tot	% de S océan	Volume (km3)	% de V océan
Surface totale	510,065,876	100.0 %			
Surface terre	147,244,627	28.9 %			
SURFACE OCÉAN	362,821,249	71.1 %	100.0 %		
Surface < 1000m	319,801,842	62.7 %	88.1 %		
Surface < 1500m	312,477,014	61.1 %	86.1 %		
Volume océan				1,337,487,440	100.0 %
Volume < 1000m				1,007,340,541	75.3 %
Volume < 1500m				849,209,201	63.5 %

Principales mesures de surface et de volumes
des grands fonds marins à l'échelle du globe synthétisées

©Fondation de la Mer - Advention

Monde	Surface totale	510,065,876	Nouvelle-Zélande	Surface océan	6,695,437
	Surface terre	147,244,627		Surface terre	8,773
	Surface océan	362,821,249		Surface ZEE < 1000m	5,641,428
	Surface < 1000m	319,801,842			
États-Unis	Surface ZEE océan	12,119,032	Chili	Surface océan	3,576,568
	Surface ZEE terre	51,014		Surface terre	36,319
	Surface ZEE < 1000m	9,389,275		Surface ZEE < 1000m	3,287,209
France	Surface ZEE océan	10,165,417	Indonésie	Surface océan	5,887,642
	Surface ZEE terre	18,161		Surface terre	62,666
	Surface ZEE < 1000m	9,506,657		Surface ZEE < 1000m	3,396,890
Australie	Surface ZEE océan	9,046,595	Canada	Surface océan	5,591,255
	Surface ZEE terre	18,199		Surface terre	125,813
	Surface ZEE < 1000m	6,262,682		Surface ZEE < 1000m	1,582,771
Russie	Surface ZEE océan	7,564,801	Japon	Surface océan	4,022,262
	Surface ZEE terre	80,087		Surface terre	11,491
	Surface ZEE < 1000m	2,157,888		Surface ZEE < 1000m	3,384,051
Royaume-Uni	Surface ZEE océan	6,771,951	Brésil	Surface océan	3,649,733
	Surface ZEE terre	14,127		Surface terre	18,329
	Surface ZEE < 1000m	5,681,934		Surface ZEE < 1000m	2,792,284

Les estimations faites sur les ZEE dans principaux pays

©Fondation de la Mer - Advention

1.2 320 MILLIONS DE KM² ET UN MILLIARD DE KM³ D'EAU À EXPLORER AU SERVICE DE LA SCIENCE ET DE L'ÉCONOMIE

1.2.1 - Les grands fonds : des caractéristiques physico-chimiques et biologiques particulières

L'océan profond n'est pas un grand espace vide et dépourvu de biodiversité comme il fut représenté pendant longtemps. Les grands fonds marins disposent de nombreuses caractéristiques, dont certaines n'existent que dans ces environnements à l'échelle de la Terre.

TEMPÉRATURE FROIDE ET STABLE : en absence de lumière, sans interaction avec l'atmosphère et loin de l'influence de la surface, la température des grands fonds varie entre 0,5°C et 4°C dépendant de la profondeur et de la composition de l'eau. L'eau des grands fonds marins est considérée comme isotherme, étant le milieu proposant la température la plus constante sur Terre : stable sur de très longues périodes, sans variations saisonnières ni changement annuel.

PRESSIION EXTRÊME : la pression augmente linéairement avec la profondeur, variant entre cent fois et six cents fois la pression à la surface entre mille mètres et six mille mètres de profondeur. La pression au Challenger Deep, point le plus profond connu actuellement situé dans la fosse des Mariannes à environ onze mille mètres de profondeur, atteint mille-cent fois la pression à la surface (soit plus d'une tonne par cm² ou l'équivalent du poids de mille huit cents éléphants par m²). Les animaux évoluant dans les grands fonds marins sont adaptés à ces grandes pressions : absence de vessie natatoire remplie de gaz contrairement aux poissons de surfaces, tissus essentiellement liquides ou gélatineux, équilibrage de la pression par les liquides internes de l'organisme, etc.

OBSCURITÉ TOTALE : les rayons du Soleil ne pénètrent pas l'eau suffisamment pour éclairer les grands fonds marins. On considère que plus de 99,9% de la lumière solaire a été absorbée avant d'atteindre mille mètres de profondeur résultant en une immense étendue d'eau totalement noire, qu'on appelle zone aphotoïque.

BIOLUMINESCENCE : dans les océans, un nombre important d'espèces animales produit de la lumière, c'est le cas de 75% à 80% d'entre elles et c'est d'autant plus important et nécessaire pour survivre dans les grands fonds marins. Cette lumière est produite par diverses réactions chimiques et composés bioluminescents à des fins de communication avec ses partenaires, mais aussi de camouflage, de chasse de proies et de défense contre ses prédateurs. La production de lumière par bioluminescence est apparue au moins vingt-sept fois de manière indépendante au cours de l'évolution des espèces marines, révélant ainsi que ce mécanisme est particulièrement utile à la survie de l'espèce dans ces eaux de grande profondeur.

VASTES ÉTENDUES DE FONDS PLATS : la plaine abyssale, une vaste étendue plane et majoritairement dépourvue d'obstacles, représente la majeure partie des grands fonds marins. Elle a l'aspect d'un désert subaquatique.

TAUX D'OXYGÈNE DISSOUS FAIBLE : sans atteindre les niveaux très bas de la zone mésopélagique induits par sa forte concentration d'espèces aquatiques consommant l'oxygène de l'eau, le taux d'oxygène dissous reste relativement faible dans les grandes profondeurs, en l'absence d'activité photosynthétique.

1.2.2 - Des écosystèmes des fonds marins à découvrir

On trouve dans les grands fonds marins des environnements et des écosystèmes très spécifiques, encore largement méconnus.

CHEMINÉES HYDROTHERMALES : les cheminées hydrothermales se forment au-dessus des chambres magmatiques dans les zones tectoniques actives, à proximité des dorsales océaniques et des zones de subduction et volcans sous-marins en résultant, entre mille et cinq mille mètres de profondeur. Les dorsales océaniques représentent une chaîne de montagnes sous-marines située au milieu des océans, d'une longueur cumulée de plus de soixante mille kilomètres, auxquels s'ajoutent plusieurs dizaines de milliers de kilomètres de zones de subduction d'une plaque tectonique sous une autre.

L'eau de mer s'infiltre le long de fissures dans ces zones ; elle est chauffée jusqu'à plusieurs centaines de degrés à mesure qu'elle s'approche de la chambre magmatique, ce qui réduit sa densité et la contraint à remonter. Lors de son ascension ce fluide hydrothermal réagit notamment avec les roches traversées et se charge en métaux lourds (Pb, Cd, Hg, Zn, etc.), s'acidifie (pH inférieur à 3) en absorbant du sulfure d'hydrogène, avant d'être éjecté au fond de l'océan à plusieurs centaines des degrés (320°C à 500°C).

Cette eau chaude reste sous forme liquide grâce à la pression colossale du fond des océans.

Ce fluide hydrothermal réagit enfin avec l'eau de mer stable et froide provoquant la précipitation d'une partie des minéraux, d'où leur surnom de « fumeurs noirs », et contribuant à la formation des sulfures polymétalliques qui composent ces cheminées. Ces sulfures hydrothermaux représentent une des minéralisations les plus prometteuses du milieu marin par leur richesse en métaux de base (cuivre, zinc, plomb), en métaux précieux (argent et or), et parfois en éléments rares (indium, sélénium, germanium, etc.), ainsi que par le nombre important de cheminées inactives effondrées qui tapissent le fond des océans. Les amas sulfurés couvrent des surfaces allant jusqu'à plusieurs milliers de mètres carrés et leur épaisseur peut atteindre une centaine de mètres.

Il existe également des « fumeurs blancs » dont l'eau plus froide (environ 250°C) et basique (pH supérieur à 9) n'a pas traversé le même type de roches et n'est donc pas chargée de métaux lourds, mais de minéraux riches en Calcium, ce qui leur donne cette couleur blanche caractéristique.



Les cheminées hydrothermales représentent de véritables oasis de vie au fond des océans ; des écosystèmes complexes et adaptés à cet environnement particulier s'y sont développés. Des micro-organismes extrémophiles se développent dans les fluides hydrothermaux chauds et chargés de matériaux hostiles à la plupart des organismes. Ils oxydent le sulfure d'hydrogène et utilisent l'énergie ainsi libérée pour fixer du dioxyde de carbone (CO₂), à l'image d'une plante en surface. La photosynthèse est remplacée par la chimiosynthèse, l'énergie provenant de réactions chimiques et non de la lumière absente à ces profondeurs. Ces bactéries forment ainsi de la matière organique utilisable par les autres organismes qui se développent autour des cheminées hydrothermales : vers, bivalves, crabes, etc.

Il est parfois considéré que l'origine de la vie sur Terre pourrait provenir de ces écosystèmes particuliers. Ils restent pour l'instant majoritairement inconnus et mal compris. La poursuite des études et des explorations s'impose donc.

CHAMPS DE NODULES POLYMÉTALLIQUES : les nodules polymétalliques sont a priori formés par divers processus tels que la précipitation des métaux dissous dans l'eau de mer, la décomposition des débris et des métaux issus des sources hydrothermales, la précipitation d'hydroxydes métalliques issus de l'activité de micro-organismes ou la transformation lente des sédiments de la plaine abyssale.

Ce sont de petits nodules de cinq à dix centimètres en moyenne, constitués de manganèse, de fer et d'autres métaux valorisables tels que le nickel, le cuivre, le cobalt ou encore le titane, tapissant le fond des océans sous la forme de champs qu'on retrouve à une profondeur comprise entre quatre et six mille mètres.

Ces champs peuvent atteindre de grandes surfaces et sont probablement particulièrement communs au fond des océans. À titre d'exemple, la zone Clarion-Clipperton située dans le nord-est du Pacifique, entre l'archipel d'Hawaï et la côte ouest du Mexique, représente une surface de neuf millions de km² pour laquelle le poids des nodules exploitables atteindrait trente-quatre milliards de tonnes, et qui contiendrait six mille fois plus de thallium, trois fois plus de cobalt, et plus de manganèse et de nickel, que la totalité des ressources avérées hors des océans.

ENCROÛTEMENTS COBALTIÈRES : les encroûtements cobaltifères sont formés par la précipitation lente (quelques millimètres par million d'années) des métaux présents dans l'eau de mer à la surface des monts sous-marins, volcans et autres élévations sous-marines.

Ces encroûtements peuvent atteindre vingt-cinq centimètres d'épaisseur mais leur moyenne se situe autour de dix centimètres. Une estimation relativement datée de leur couverture du fond des océans la portait à 6,35 millions de kilomètres carrés, soit 2% de la surface totale des grands fonds marins.

La précipitation extrêmement lente des composés à la base de la formation des encroûtements cobaltifères laisse le temps à certains métaux, notamment le cobalt et le platine, de s'y concentrer fortement.

Ils sont essentiellement composés de fer et de manganèse, mais le cobalt constitue tout de même la substance principalement intéressante de ces minéralisations. Il atteint par exemple une teneur de près de 2% dans les encroûtements de la Polynésie française. Les encroûtements présentent également des teneurs significatives en métaux précieux (comme le platine) et en métaux rares (terres rares, titane, cérium, nickel, thallium, tellure, zirconium, tungstène, bismuth, molybdène, etc.).

CADAVRES DE GRANDS ANIMAUX MARINS : les cadavres des grands animaux marins tels que les requins, certains grands poissons ou encore les baleines peuvent chuter au fond des océans tout en restant relativement intacts. On estime qu'un cadavre de grand animal marin repose sur la plaine abyssale tous les dix kilomètres en moyenne.

Ces approvisionnements soudains en matière organique soutiennent la prolifération rapide d'écosystèmes spécifiques sur et autour des cadavres dont la chair attire les charognards des grands fonds (requins de grande profondeur, crabes abyssaux, ophiures, vers, etc.) capables d'en consommer cinquante kilos par jour pendant plusieurs mois. Ceux-ci laissent ensuite la place aux organismes adaptés à la consommation des os, majoritairement des vers spécialisés, parfois en relation symbiotique avec des bactéries chimiosynthétiques.

Les écosystèmes se formant autour des cadavres de grands animaux marins sont extrêmement divers et variés selon l'animal décédé, sa taille, la profondeur à laquelle repose la carcasse... On a retrouvé près de deux cents espèces de bactéries sur une seule carcasse. Des dizaines de vers consommateurs d'os ont été découverts en 2002. De nombreuses autres espèces d'animaux particuliers restent très certainement à découvrir et à étudier dans ces oasis de vie présentant la densité d'animaux la plus importante des océans (jusqu'à 45000 vers par m²).

LES LACS SOUS-MARINS OU BASSINS DE SAUMURE : le fond des océans possède ses propres lacs. Ceux-ci sont composés d'eau quatre fois plus salée que l'eau de mer environnante, ne se mélangeant donc pas au reste de l'océan du fait de sa densité plus importante. Ces lacs sous-marins de toutes tailles, dont certains s'étendent sur plusieurs kilomètres, ont notamment été découverts dans le golfe du Mexique, la Mer Rouge et près de l'Antarctique.

Ces lacs sous-marins sont mortels pour la plupart des organismes qui y pénètrent et seules quelques bactéries chimiosynthétiques y évoluent en utilisant le méthane (CH₄) et le sulfure d'hydrogène (H₂S) s'y trouvant en forte concentration. Des écosystèmes particuliers dits «extrémophiles», formés de crabes, de vers et de moules se sont développés autour de ces lacs de saumure et des bactéries qui s'y développent, formant parfois des relations symbiotiques avec ces dernières.

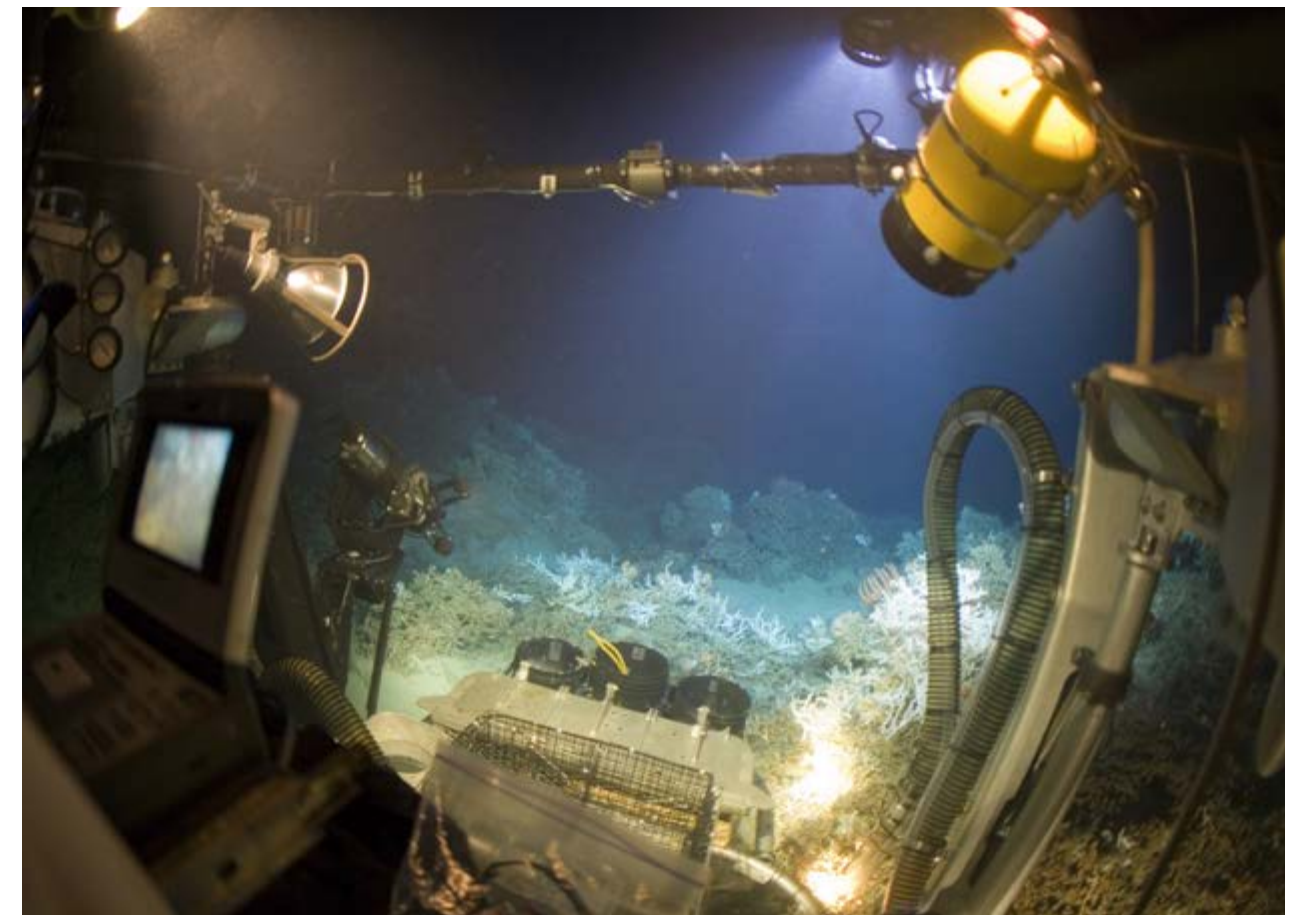
SUINTEMENTS FROIDS : les fissures dans la croûte océanique peuvent provoquer l'apparition de suintements froids au-dessus des zones d'accumulation de sédiments riches en matière organique. Les suintements froids abritent des écosystèmes adaptés à ce milieu extrême (bactéries, vers tubicoles, bivalves) qui subsistent en consommant les hydrocarbures contenus dans le fluide libéré dans ces zones, ou en étant en relation symbiotique

avec les bactéries qui en sont capables, ces micro-organismes attirant à leur tour de plus grands prédateurs comme les crabes et les poulpes.

L'étude de ces organismes mal compris, peu documentée jusqu'ici, présente un intérêt certain pour la recherche scientifique. Par exemple, c'est dans les zones de suintements froids que l'on retrouve des bactéries capables de dégrader le méthane (CH₄), fort gaz à effet de serre dont le cycle dans l'environnement est encore méconnu. C'est également dans ces zones que l'on peut retrouver des organismes capables de résister, au moins en partie, à la toxicité extrême du pétrole.

RELIEFS SOUS-MARINS : tout comme la surface, le fond des océans présente de nombreux reliefs variés : volcans, monts, fosses, canyons, etc. Ceux-ci sont formés par des processus divers :

- **volcans sous-marins** : plus de deux tiers de l'activité volcanique sur Terre est en réalité liée aux volcans sous-marins dont le nombre dépasserait 1,5 million. Au sein de cet ensemble, environ mille volcans seraient actifs. Les volcans sous-marins se forment au-dessus de chambres magmatiques formées au niveau des dorsales océaniques, dans les zones de subduction d'une plaque tectonique sous une autre ou via un point chaud comme celui qui a abouti à la formation de la chaîne d'îles volcaniques d'Hawaï ;





L'inaccessibilité importante des volcans sous-marins explique le peu de données récoltées à ce jour par les scientifiques qui étudient ce volcanisme. Le projet Grands fonds marins de la France prévoit ainsi d'étudier celui de Mayotte, découvert en 2019.

- **monts sous-marins** : les monts sous-marins résultent la plupart du temps du volcanisme et des effets de la tectonique des plaques, étant pour une partie d'entre eux d'anciens volcans. Les monts sous-marins s'étendent pour la plupart entre quatre mille et mille mètres de profondeur et présentent des parois abruptes ;

Ils sont de véritable oasis de vie et présentent une biodiversité très importante par rapport aux pleines eaux environnantes. En effet, ils offrent aux espèces sous-marines un substrat plus solide et moins profond qui correspond bien aux habitats que celles-ci recherchent et ne trouvent pas nécessairement ailleurs, tout en permettant l'accumulation de plancton à leur sommet par la remontée de nutriments des eaux profondes grâce aux courants qui se créent à leur proximité ;

Les monts sous-marins sont nombreux ; ceux qui

sont connus représentent une surface équivalente à celle de l'Europe, ils ont pourtant été peu explorés et étudiés jusqu'à maintenant ; la biodiversité qu'offrent ces environnements reste donc mal comprise ;

- **fosses océaniques** : les fosses océaniques sont les reliefs les plus profonds de l'océan et atteignent la zone hadopélagique (profondeur supérieure à six mille mètres). Elles sont formées par la subduction d'une plaque tectonique sous une autre et par la dépression du relief qui en découle. Les fosses océaniques représenteraient moins de 1% de la surface du plancher océanique ;

Leur représentante la plus connue est la fosse des Mariannes d'une longueur de deux mille cinq cent cinquante kilomètres pour une largeur moyenne de soixante-neuf kilomètres et une profondeur maximale de près de onze mille mètres ;

Les fosses océaniques sont majoritairement dénuées de vie sans en être exemptées : des organismes spécialisés adaptés à cet environnement extrême s'y développent tout de même ;

- **canyons sous-marins** : les canyons sont *a priori* formés par de forts courants de turbidité le long des pentes sous-marines menant *in fine* à la plaine abyssale, charriant de nombreux sédiments arrachés au passage au glacis continental à une vitesse pouvant atteindre 70 km/h. De nombreux canyons dépassent deux mille mètres de profondeur et certains peuvent atteindre cinq mille mètres comme le Grand Canyon des Bahamas.

1.2.3 - Une présence humaine directe et indirecte dans les fonds marins

Enfin, les grands fonds marins contiennent de plus en plus de traces directes et indirectes de l'activité humaine. On trouve ainsi :

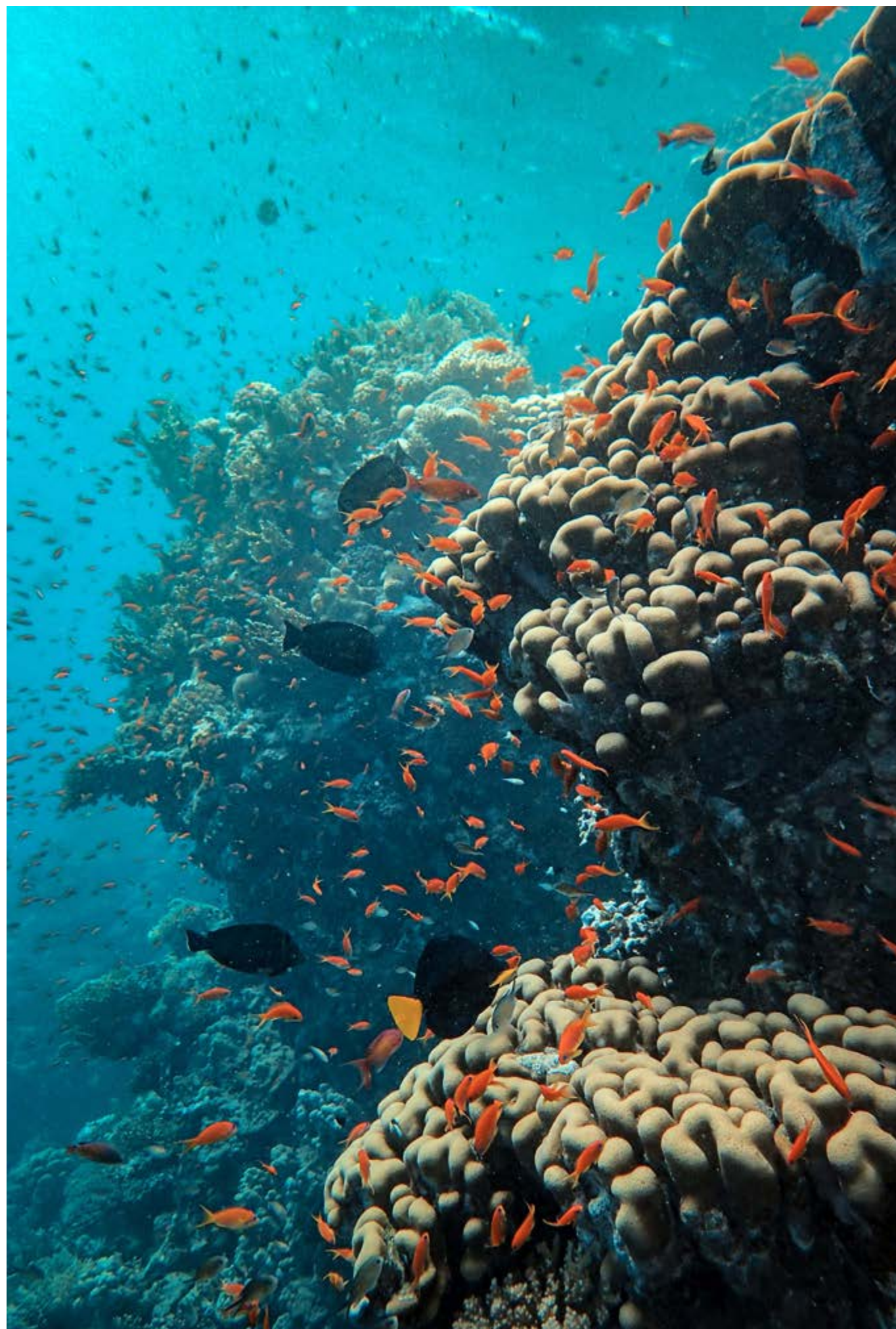
- des câbles sous-marins : actifs stratégiques clés dans les réseaux de communication mondiaux, qu'il est de plus en plus important de protéger ;
- des drones / UAV / ROV et autres sous-marins de grande profondeur, menant des missions civiles ou militaires variées ;
- des épaves de toutes les époques, certaines recelant des cargaisons de très grande valeur ;

- des traces de pollution (plastiques ou autre) : une étude parue en 2017 dans la revue Nature a montré que des polluants comme les PCB (polychlorobiphényles) utilisés dans l'électronique jusqu'aux années 1970 ont contaminé les organismes les plus profonds de l'étage hadal des océans. Même dans les profondeurs extrêmes de la fosse des Mariannes un emballage plastique a pu d'ores et déjà être repéré.

**UN MILLARD
DE KILOMÈTRES CUBE D'EAU**
SITUÉ DANS LES GRANDS
FONDS MARINS
ET LES

**320
MILLIONS**
DE KILOMÈTRES CARRÉS
PLANCHER OCÉANIQUES
SITUÉS À PLUS DE
1000 MÈTRES DE PROFONDEUR
SONT TRÈS PEU EXPLORÉS,
TRÈS PEU CONNUS.

Le développement de la connaissance de ces grands fonds est une priorité. Elle s'impose d'autant plus que l'exploration de nouveaux milieux, de nouveaux écosystèmes, a régulièrement conduit à réaliser d'importantes découvertes, permettant le développement d'applications variées et parfois très éloignées de la recherche initiale.



2. EXPLORER OU EXPLOITER ? ENJEUX ET STRATÉGIES

2.1 - LES ENJEUX SCIENTIFIQUES, ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

2.1.1 - Un impératif scientifique : connaître et comprendre

L'océan profond : un espace loin d'être vide et dépourvu de vie

En 1977, la découverte de la chimiosynthèse comme alternative à la photosynthèse a révolutionné la pensée sur le fonctionnement de l'Océan profond. Les espèces se développent grâce à l'énergie chimique qui remplace l'énergie solaire. Une richesse inattendue se trouve dans les fonds. Ces découvertes remettent en cause la représentation des abysses héritée de la théorie azoïque de Forbes datant du XIX^e siècle, qui révélait que plus l'on descendait profond, moins il y avait de vie³. On découvre notamment une vie exubérante autour des cheminées hydrothermales⁴.

Le deuxième rapport de l'ONU *World Ocean Assessment* qui rassemble plus de 300 experts dans le monde confirme le manque majeur de connaissance dans les grands fonds marins : la biodiversité qui y vit, les interactions au sein de ces écosystèmes, et avec leur environnement. La connaissance de ces écosystèmes est primordiale, elle doit aussi évaluer les conséquences de toute exploitation avant de s'y engager.

L'urgence est réelle : le 18 juillet 2019, l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) a ajouté à sa liste rouge des espèces en danger le gastéropode écailleux (*Crysomallon squamiferum*), qui vit dans les profondeurs des océans près des cheminées hydrothermales. Il est devenu la première espèce menacée par le forage et l'extraction en eaux profondes (*deep sea mining*).

Pour Françoise Gaill, biologiste spécialiste des écosystèmes profonds, conseillère scientifique océan

à la Direction du CNRS (INEE), l'exploration est capitale, pas seulement pour décrire mais aussi pour comprendre le fonctionnement et l'interaction entre les espèces. Elle ajoute même : « *en tant que scientifique, je pense que le fond de l'Océan est le cœur de la machine climatique* ». Les grands fonds marins seraient-ils le pivot central de la régulation climatique de la Terre ?

90%
DE L'EXCÈS
DE CHALEUR PRODUIT
PAR L'EFFET DE SERRE
EST ABSORBÉ PAR
L'OCÉAN ET
43%
PAR LES GRANDS
FONDS MARINS
(AU-DELÀ DE 700 MÈTRES).

³ La découverte de la vie dans les grandes profondeurs" (2018), Ifremer. Disponible sur : https://www.ifremer.fr/grands_fonds/Les-enjeux/Les-decouvertes/Vie-au-fond/Historique

⁴ « Les impacts environnementaux de l'exploitation minière des fonds marins : un état des lieux des connaissances. » Pierre-Marie Sarra-din, Jozée Sarrazin, François H. Lallier. Dans *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 2017/1 (N° 85), pages 30 -34.

2.1.2 - Un potentiel inconnu dans les grands fonds : comment les molécules marines peuvent-elles apporter des solutions pour la santé, l'industrie, la vie quotidienne ?

Environ 90% de la vie sous-marine reste encore à découvrir. Les exemples qui suivent ouvrent des pistes à l'imagination, et appellent à la vigilance face à cette nouvelle frontière de la recherche.

Les médicaments de demain ?

LES SOURCES HYDROTHERMALES : 90% des brevets déposés aujourd'hui sur les ressources génétiques marines sont issus des sources hydrothermales⁵, et 52% sont détenus par l'allemand BASF.

Anticancéreux, antidouleurs, antibiotiques, antioxydants, etc.⁶ Les gènes des organismes extrêmophiles des sources hydrothermales résistent à des températures de 2 à 400 degrés et s'adaptent à des rejets de méthane et d'hydrogène.

LES CREVETTES AVEUGLES ont été découvertes en 1986 le long des cheminées hydrothermales. Dans leurs larges têtes se cachent des bactéries qui se nourrissent de l'énergie chimique pour faire de la chimiosynthèse et fabriquent des sucres, du gras, des protéines pour la crevette qui, en échange, leur fournit un habitat.

UNE NOUVELLE CLASSE D'ANTIBIOTIQUES VITALE ? Le scientifique Kerry Howell de l'université de Plymouth suggère que les grands fonds détiennent la clé pour succéder aux antibiotiques actuels. La dernière classe d'antibiotiques introduite sur le marché date d'il y a trente ans, mais les bactéries évoluent. Sans nouveaux antibiotiques, le nombre de décès par résistance aux médicaments pourrait atteindre dix millions de personnes par an en 2050. Or trois quarts des éponges et des coraux des abysses contiennent potentiellement des composés utiles à leur fabrication.

VIRUS : tous les écosystèmes sont peuplés d'une multitude de micro-organismes. Ceux-ci ont pour la plupart des fonctions écosystémiques importantes et participent au maintien de l'équilibre de chaque

écosystème. Parmi eux, on trouve les virus, dont les fonctions sont encore mal comprises, notamment dans les océans.

Si les connaissances globales des virus à ADN sont importantes et les études nombreuses, ce n'est pas le cas des virus à ARN qui sont relativement peu étudiés en dehors du domaine de la santé. Or près de cinq mille cinq cents nouvelles espèces de virus ont été découvertes dans les océans en 2022, doublant le nombre d'embranchements utilisés dans la classification des virus.

Au-delà d'une meilleure compréhension des équilibres des écosystèmes marins par l'étude de ces nouvelles espèces, les scientifiques pensent avoir découvert un chaînon manquant de l'histoire évolutive des virus à ARN avec la mise en évidence de virus peuplant les océans qui possèdent une enzyme « ancienne » : l'ARN réplicase. Cette enzyme permet de combler des vides dans la chronologie de l'évolution des virus à ARN.

Les applications industrielles de demain ?

HALOMONAS TITANICAE : en 2010, la bactérie halophile (i.e. qui se développe dans des environnements riches en sel) *halomonas titanicae* a été découverte sur un échantillon de concrétion de rouille prélevé sur l'épave du Titanic en 1991, à trois mille deux cents mètres de profondeur. Celle-ci a la capacité de métaboliser le fer, menant ainsi à la dégradation rapide de l'épave.

Si cette bactérie s'avère être une menace pour les projets humains réalisés dans l'océan, pourrait-elle trouver une utilité dans des processus de bioremédiation en accélérant notamment la dégradation des épaves tapissant le fond de l'Océan ?

POISSONS ULTRA-NOIRS : seize espèces de poissons dits « ultra-noirs » dont *idiacanthus antrostomus* (aussi connu sous le nom de Pacific Blackdragon) ont été découverts ces dernières années. Ceux-ci réémettent moins de 0,5% de la lumière qu'ils reçoivent et absorbent le reste, ce qui leur donne un aspect noir profond et sans détails.

En imitant la forme, la structure et la répartition des mélanosomes, un pigment ultra-noir artificiel pourrait-il être développé ? Ce pigment pourrait-il re-



couvrir l'intérieur des télescopes afin d'obtenir une image plus nette et précise du ciel ou améliorer l'absorption de la lumière par les panneaux solaires ?

BIOLUMINESCENCE : les chétopodes sont des vers tubes particuliers dont le corps est fortement bioluminescent sans que la fonction exacte de cette bioluminescence soit encore bien connue. Cet organisme produit une sorte de gel bleu dont la bioluminescence peut durer plusieurs jours après avoir quitté le corps du ver.

Si l'on développe les capacités pour reproduire cette forme particulière de la ferritine ou une protéine semblable en laboratoire, pourrait-on l'utiliser pour illuminer les cellules cancéreuses lors d'une chirurgie ou concevoir une lampe biologique synthétique qui ne nécessite pas la lumière du soleil, mais bien du fer pour se recharger (pour illuminer un héliport ou une piste d'avion en cas de panne de courant par exemple) ?

Une exploitation biologique non destructrice

La valorisation des ressources vivantes de l'Océan, n'entraîne pas d'exploitation directe dans la mer, et donc pas de dégradation. Comme l'explique Pierre-Marie Sarradin : « Des micro-organismes qui y sont prélevés peuvent ensuite être reproduits en grande quantité en laboratoire, afin d'en exploiter certaines molécules. »⁷

2.1.3 L'eldorado attendu des terres et métaux rares

Les terres et les métaux rares, au cœur de la transition numérique et écologique

Les grands fonds marins concentrent des minerais en grande quantité, et en particulier des terres et métaux rares. Ces métaux dits stratégiques, sont indispensables à la transition écologique et numérique dans laquelle la planète s'est engagée. Ils entrent notamment dans la fabrication des batteries pour les voitures électriques, des éoliennes, des drones, ou bien des panneaux solaires.

Quelques chiffres :

- une batterie de voiture électrique nécessite d'extraire plus de vingt tonnes de roche, dont seront tirés ensuite les minerais indispensables (lithium, cobalt et nickel sur son électrode positive, et graphite sur son électrode négative) ;
- dix-sept kilos de terres rares sont nécessaires pour une éolienne et cinq à dix grammes de cobalt pour un smartphone⁸.
- la demande mondiale en terres rares devrait croître de **6% par an, et être multipliée par 20 à 40 d'ici 2050 pour certaines terres rares** alors que les stocks à terre diminuent ;
- la Chine fournit aujourd'hui **98%** des terres rares utilisées par l'Union européenne, qui se trouve ainsi dans une situation de dépendance majeure.⁹
- le **cobalt** est un métal que l'on trouve principalement en République démocratique du Congo, qui possède 50% des ressources mondiales, et une grande majorité des mines, dans lesquelles le travail des enfants n'est pas encore interdit.
- Alors que les prix de ces terres et métaux rares s'envolent (un kilogramme de gallium est environ quatre mille fois plus cher qu'un kilogramme de fer¹⁰), la disponibilité de ces ressources dans les grands fonds marins suscite de fortes ambitions et une forte compétition entre les États

⁵ "L'irrésistible attrait des fonds marins" (2021), Le Monde. Disponible sur : https://www.lemonde.fr/planete/article/2021/10/21/l-irresistible-attraite-des-fonds-marins_6099299_3244.html

⁶ « La haute mer : un vide juridique aux énormes enjeux environnementaux » (2019), France Culture.

⁷ "Fonds marins français: les ressources biologiques, un espoir pour demain"(2021), Le Figaro, 22 octobre.

⁸ « Les métaux : des ressources qui pourraient manquer » (2020), infographie de l'ADEME et AFD.

⁹ ibid

¹⁰ Cours de mai 2022 : 500 euros le kilo de gallium, et 14 cents pour le fer

LE COBALT : UNE MATIÈRE PREMIÈRE DÉFINIE COMME **CRITIQUE** PAR L'UE, DONT REGORGENT LES GRANDS FONDS

34
MILLIARDS
DE TONNES DE NODULES
SE TROUVERAIENT
DANS LA ZONE DE
CLARION-CLIPPERTON,
SOIT UN NODULE TOUS
LES 20 CENTIMÈTRES

...Mais des facteurs qui restent à évaluer :

Les fonds marins français semblent contenir des quantités importantes de terres et de métaux rares, mais leur concentration réelle en ressources minérales reste à évaluer, de même que la rentabilité d'une éventuelle exploitation minière. La question est toutefois avant tout éthique : comment protéger ce patrimoine pour les générations futures, tout en faisant face aux besoins des générations actuelles ?

« L'enjeu le plus important à prendre en compte nous semble être l'enjeu éthique ... Fournir aux habitants de notre planète ... la beauté et le bien-être, habité de la conscience vive que les générations futures devront pouvoir en profiter et en jouir eux aussi ». Jean-Louis Levet, mission Grands Fonds Marins 2020

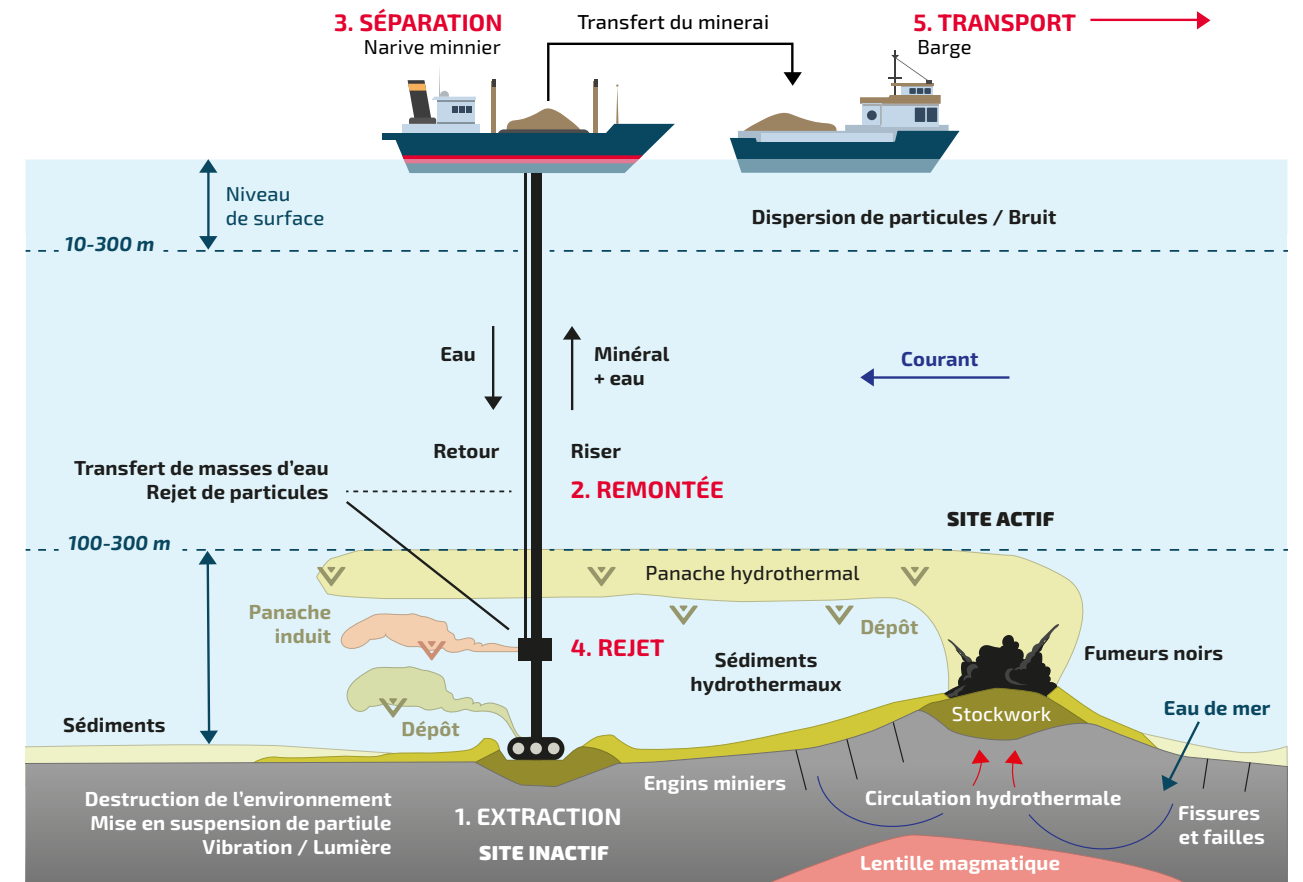
Comme le souligne Pierre-Marie Sarra-
din, chercheur à l'Ifremer et responsable
de l'unité « Étude des écosystèmes pro-
fonds » : « Il s'agit d'un **marché très
incertain** ; nous ne disposons pas en-
core d'informations suffisamment pré-
cises sur la réalité de ces ressources ni
sur les impacts et les développements
technologiques qui sont en cours : d'où
la difficulté d'évaluer **le coût véritable
de l'exploitation**. Il faut également
prendre en compte le coût du monito-
ring environnemental qui serait mis en
place ».

2.1.4 - Un impératif environnemental : éviter l'irréversibilité des incidences de l'exploita- tion

Que sait-on des incidences environnementales de l'exploitation ?

Les études sur les incidences potentielles de l'ex-
ploitation sur la biodiversité profonde se multi-
plient.

Une étude, publiée dans les *Annales des Mines* en
2017, prévoyait déjà « la destruction durable de
l'habitat et de la faune associée durant la phase de
collecte du minerai. Cette phase s'accompagnera
de la formation d'un nuage de particules fines pou-
vant modifier la turbidité et la composition physi-
co-chimique de la colonne d'eau ». L'extraction per-
turberait à la fois les espèces du fond par un risque
d'ensevelissement et l'alimentation des espèces
suspensivores¹¹.



Les incidences sont donc multiformes et font l'objet
d'études spécifiques

**1. Incidences des panaches d'extraction dans les
grands fonds :** l'équipe AMEX (Adaptations aux
milieux profonds) du laboratoire BOREA a mené
une expérience sur des crevettes des sources
hydrothermales pour simuler les effets de l'ex-
ploitation en injectant des concentrations de
métaux dans l'aquarium, qui se sont avérées
mortelles. En effet, en creusant pour ramasser
les métaux, l'engin déplacerait des particules et
créerait des panaches d'extraction. Les sources
hydrothermales représentent un environne-
ment très toxique, mais les animaux y vivant ont
la faculté d'évoluer en sécurité par rapport à la
cheminée hydrothermale, ce que l'exploitation
viendrait perturber. L'extraction pourrait créer
de faux panaches, provoquant un effet de leurre
pour les organismes profonds. En mai 2021, lors
des essais de la compagnie belge GSR dans le
Pacifique pour la collecte des nodules polymé-
talliques, l'ONG Greenpeace a dénoncé la forma-
tion de panaches de sédiments à la surface de
l'eau, marqueurs de perturbations importantes.

Enfin, les panaches pourraient remonter dans la
colonne d'eau perturbant la chaîne alimentaire
de la vie marine, mais aussi la pêche pour l'ali-
mentation humaine.

2. Incidences sur les mammifères marins : Les
scientifiques alertent notamment sur l'effet des
canons acoustiques, dont les sons à très basse
fréquence interfèrent avec ceux des mammifères
marins. Enfin, la hausse du trafic maritime aug-
menterait le bruit ambiant dans des espaces
vierges d'activité humaine, ainsi que le risque de
collisions avec ces animaux marins.

**3. Incidences sur les espèces des grandes pro-
fondeurs :** ces espèces ont une durée de vie
beaucoup plus longue et une maturité sexuelle
très tardive. Leur renouvellement est donc plus
lent dans l'environnement profond. Pour Fran-
çois Sarano, océanographe, « il est évident que
les espèces ne pourraient pas supporter le
rythme de l'exploitation parce qu'elles n'auraient
pas le temps d'arriver à maturité sexuelle ». Il
existe donc une forte probabilité de destruction,
voire d'extinction de certaines espèces.

¹¹ Schéma : Représentation schématisée des impacts environnementaux de l'exploitation des nodules polymétalliques, sulfures polymé-
talliques et encroûtements cobaltifères (in « Les impacts environnementaux de l'exploitation minière des fonds marins : un état des lieux
des connaissances. » Pierre-Marie Sarra-
din, Jozée Sarrazin, François H. Lallier. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, N° 85,
pages 30 -34).

4. Incidences sur la séquestration de carbone : l'Océan absorbe 30% du CO₂ émis dans l'atmosphère qui est ensuite stocké dans les fonds marins. Deux phénomènes, l'un physique et l'autre biologique, font des grands fonds un puits de carbone essentiel. La pompe « physique » fonctionne grâce à la dissolution naturelle du CO₂ atmosphérique dans l'Océan, particulièrement dans les eaux froides. En effet, l'eau froide plus dense descend, avec le CO₂ dissous, dans les fonds. La pompe « biologique » fonctionne grâce aux phytoplanctons qui transfèrent le carbone de la surface vers les fonds quand ils meurent¹². L'exploitation pourrait perturber ces processus et libérer le carbone stocké à long terme dans les profondeurs.

Comme il a été rappelé plus haut, c'est bien l'exploration qui permettra de connaître les écosystèmes, leur fonctionnement, leur caractère unique, ou non, leur interaction avec la surface. Elle permettra ainsi de définir de manière plus précise l'existant et les risques.



¹² L'Océan, puits de carbone à l'avenir incertain" (2021), CNRS. Disponible sur : <https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/locean-puits-de-carbone-lavenir-incertain>

2.2 LES APPROCHES DES DIFFÉRENTS PAYS DANS LE MONDE

2.2.1 - La France : des atouts, et une stratégie qui s'élabore

La France est le premier pays au monde par sa superficie de grands fonds marins, au-delà de 1000 mètres de profondeur, avec plus de dix millions de km². **Cette situation lui donne l'immense responsabilité, à l'égard des générations futures, de connaître, surveiller, protéger et valoriser ce patrimoine unique.** Les moyens de la France sont toutefois limités, et une stratégie nationale ne peut se concevoir sans inclure une réflexion sur les priorités pour notre pays, et sur les liens entre les approches civiles et militaires dans une logique de complémentarité et de synergies. Cette stratégie devra également se concevoir dans un cadre européen, et au-delà s'intégrer dans une collaboration organisée à l'échelle internationale.

Après une mission d'étude menée en 2020/2021, la France s'est dotée de deux stratégies nationales : la stratégie "grands fonds marins" de France 2030 et une stratégie de la Marine nationale.

Une mission sur les fonds marins, le rapport Levet en 2020

À la demande du Secrétariat général de la Mer en novembre 2019, et pour mettre à jour la stratégie 2015, la Mission « Stratégie nationale d'exploration et d'exploitation des ressources minérales dans les grands fonds marins » a été confiée à Jean-Louis Levet.

Le rapport de fin de mission, publié en juillet 2020, définit les quatre priorités suivantes :

1. mettre en place une action continue d'exploration et d'acquisition des connaissances ;
2. dynamiser la recherche sur les incidences environnementales de l'exploration et de l'exploitation minière ;
3. définir les enjeux de l'exploitation dans une approche globale ;

4. sensibiliser les populations et les décideurs sur la question des grands fonds marins.

La stratégie nationale avec France 2030 : connaître, avec un pilotage sous l'égide du Premier ministre et une mise en œuvre technique par le secrétariat général de la mer.

En octobre 2021, le président Emmanuel Macron a présenté le plan d'investissement France 2030. L'objectif numéro 10 de ce plan d'investissement « investir dans le champ des fonds marins » bénéficiera de 300 millions d'euros « pour une meilleure compréhension du vivant ». Lors du dernier Comité interministériel de la mer (CIMer) en mars 2022, le lancement de quatre missions d'exploration a été approuvé en accord avec France 2030, incluant la cartographie précise des zones de contrat AIFM, l'étude du volcan sous-marin de Mayotte, des missions de drones sous-marins et de robots des profondeurs à 6000 mètres dans des zones identifiées en fonction de leur intérêt scientifique.¹³

À ce stade, c'est bien l'exploration qui est privilégiée. L'exploitation n'est pas prévue dans le cadre de France 2030. Pour reprendre les termes du dossier de presse du CIMER, « elle n'est pas exclue *a priori* à terme. Mais la connaissance scientifique de ce milieu est encore trop parcellaire pour définir les conditions d'une exploitation responsable et respectueuse de la biodiversité ».

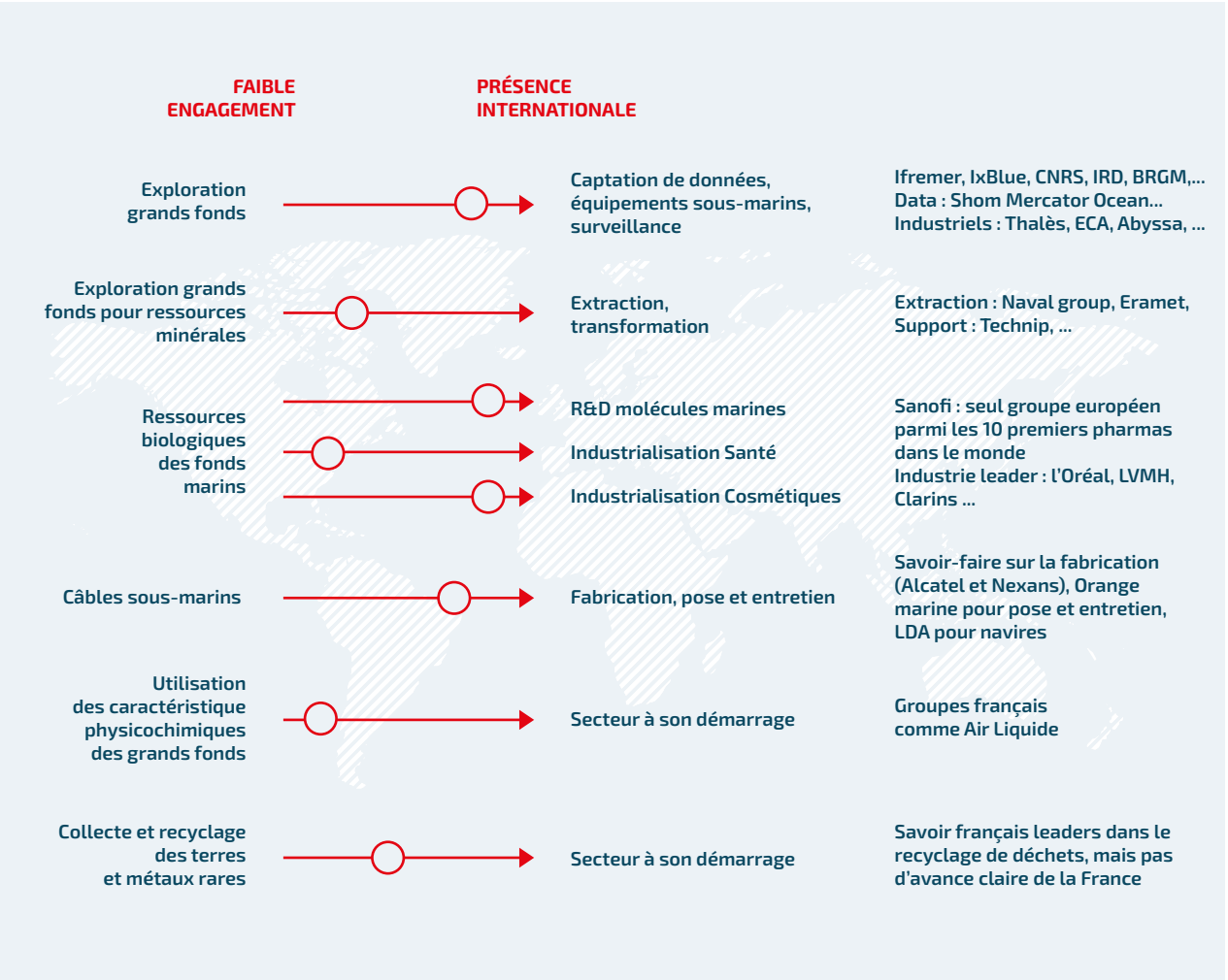
Stratégie de la Marine nationale : surveiller

La stratégie de "maîtrise des fonds marins" publiée en février 2022 consiste à « faire émerger ou consolider une base industrielle française capable d'agir dans ce champ » et « permettre d'acquérir une masse importante de connaissances pour comprendre ce milieu très largement méconnu ». La stratégie de défense vise à être capable d'intervenir dans les grands fonds marins, nouveau lieu de compétition stratégique et de rivalités entre les États. Protéger les infrastructures sous-marines est essentiel, notamment les câbles sous-marins dans le contexte de l'émergence du concept de

¹³ Dossier de presse « Construire ensemble l'avenir maritime de la France », Comité interministériel de la mer, mars 2022.

guerre des fonds marins (*seabed warfare*). Face aux pays qui développent leurs capacités d'exploitation minière, il est également important de pouvoir protéger les ressources biologiques et minières de toute exploitation illicite, à l'image de la lutte contre la pêche illégale. Cette stratégie s'articule autour de la doctrine «connaître, surveiller et agir» en investissant notamment dans des « couples » de robots-drones.¹⁴

La France s'enorgueillit d'être présente sur tous les aspects de l'exploration des grands fonds marins, comme de leur valorisation économique. Si cette affirmation est globalement exacte, son engagement actuel diffère significativement d'un secteur à l'autre, comme le montre ce graphe élaboré par la Fondation de la Mer. Il ne préjuge pas de ce que feront les entreprises si les conditions évoluent, notamment en cas de stratégie nationale ambitieuse.



Degré d'engagement de l'économie française dans les fonds sous-marins
©Fondation de la Mer

Une compétence française reconnue sur l'exploration profonde ...

Elle s'appuie notamment sur la flotte océanographique française, avec le sous-marin habité Nautilus, les robots Victor et Ulyx, ou encore les AUV (*autonomous underwater vehicles*) développés par

la société ECA, les capacités de sonar de Thales ou l'intelligence artificielle embarquée de la société Abyssa, qui propose un service d'inventaire du patrimoine sous-marin pour des États ou des industriels. La France est ainsi le seul pays européen à disposer d'un sous-marin habité allant jusqu'à six mille mètres. Le tissu français dans la recherche

publique est aussi performant, plusieurs instituts ont des unités spécialisées dans les grands fonds : l'Ifremer, le CNRS, la Sorbonne, le Muséum national d'histoire naturelle, le BRGM, le Shom, etc.

... qui recèle pourtant des lacunes : alors que chaque plongée permet de nouvelles découvertes, les chercheurs français ne peuvent les analyser, étant en nombre insuffisant. Rajeunir, élargir la communauté de scientifiques et la mettre davantage en réseau avec les chercheurs européens est essentiel. Par ailleurs, à l'exception des robots de la flotte océanographique française Victor et Ulyx, les véhicules autonomes conçus par des entreprises françaises ne vont pas au-delà de trois mille mètres de profondeur. Pour les explorations profondes, la France fait appel à des fournisseurs étrangers. La Marine nationale a procédé ainsi pour retrouver la *Minerve*, un sous-marin disparu en 1968 au large de Toulon. Des choix stratégiques s'avèrent indispensables pour la France si elle souhaite faire partie des nations sous-marines de demain.

UNE EXIGENCE
POUR LA PREMIÈRE
SUPERFICIE DE GRANDS
FONDS MARINS AU MONDE :
SURVEILLER
LES INFRASTRUCTURES
CRITIQUES ET
PROTÉGER
LES RESSOURCES
VIVANTES

L'action de l'État en mer recouvre la sécurité et la sûreté maritime, la lutte contre les pollutions et les activités illégales, et la gestion des limites territoriales maritime de la France. Ses missions ne couvrent pas de façon explicite les fonds marins, alors que les enjeux de surveillance et d'intervention en profondeur dans l'espace maritime français

deviennent croissants, par exemple dans certaines zones stratégiques comme celles où reposent les câbles sous-marins.

La Marine nationale jouant un rôle déterminant à l'intérieur comme à l'extérieur de la ZEE, ses moyens capacitaires devront progressivement s'adapter à ces nouveaux enjeux.

Une stratégie à définir pour les terres et métaux rares

La transition écologique, et notamment le besoin massif de batteries, nécessite des besoins en minerais et en métaux que l'Agence internationale de l'énergie tout comme l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) estiment en moyenne entre quatre et six fois la consommation actuelle, avec des multiples bien plus importants sur certains minerais rares comme le cobalt ou le nickel (jusqu'à vingt fois plus), le lithium (quarante fois plus). Olivier Vidal du CNRS explique que la génération actuelle va consommer l'équivalent des deux mille cinq cents générations précédentes, en terres et métaux rares.

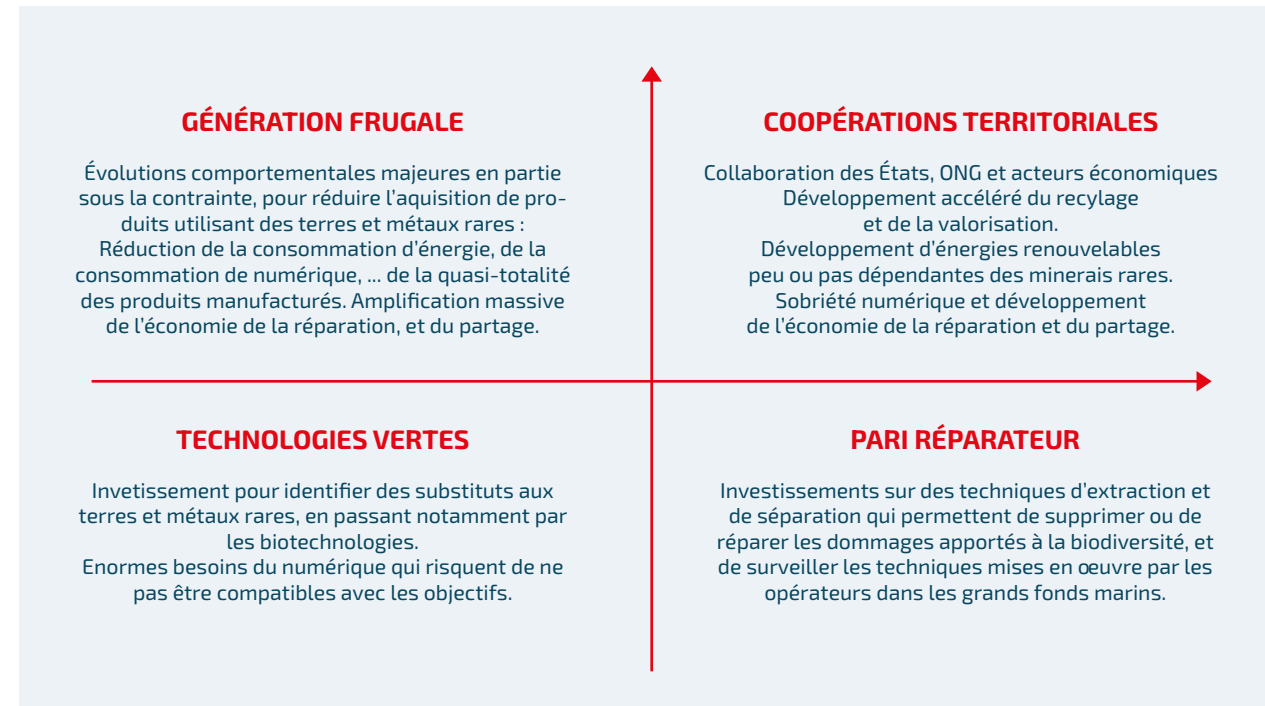
Par ailleurs, la France est à plus de 90% dépendante de la Chine pour l'approvisionnement dans une grande partie de ces minerais stratégiques. Le rapport Varin de 2022 et le milliard d'euros de la stratégie France 2030 pour la sécurisation de l'approvisionnement de la France en matières minérales donnent la mesure de l'enjeu.

Les fonds marins de la ZEE française recèlent des terres et des métaux rares dont le volume ou la teneur ne sont pas évalués. Au-delà, dans la haute mer pour laquelle les autorisations dépendent de l'AIFM, la France a obtenu deux permis d'exploration, dans la perspective d'une exploitation future. Le premier se situe dans la dorsale médio-Atlantique (dont les fonds contiennent des sulfures), le second dans la zone de Clarion-Clipperton (nodules polymétalliques). **La France est donc théoriquement capable de prélever ces ressources précieuses. Toutefois, non seulement les conditions pour une exploitation ne sont pas remplies aujourd'hui, mais le modèle économique de long terme qui nécessite une telle exploitation massive doit être repensé à l'aune des limites de la planète et des attentes légitimes des jeunes générations.**

¹⁴ https://www.defense.gouv.fr/sites/default/files/ministere-armees/20220211_GT%20MAITRISE%20FONDS%20MARINS_dossier%20de%20presse.pdf

Sur la base des scénarios de l'ADEME pour la transition écologique, la Fondation de la Mer présente quatre scénarios pour la France : de la sobriété contrainte, à une collaboration fructueuse et encouragée en passant par les paris technologiques, la France devra faire des choix. D'autant plus que

certaines hypothèses des scénarios pourraient voir le jour au-delà de 2030 : substitution des terres et métaux rares, technologies d'énergies renouvelables peu dépendantes des minerais rares, modifications significatives des comportements.



Scénarios pour les terres et métaux rares

©Fondation de la Mer - 2022 / modèle ADEME 2021

Pour la Fondation de la Mer, la France, avec la plus vaste superficie au monde de grands fonds marins, doit s'engager vers leur connaissance, leur protection et leur valorisation. Elle doit faire des choix stratégiques pour l'allocation de ses ressources financières, en intégrant les attentes de la société civile.

Au-delà de son propre espace maritime, la stratégie de la France doit également s'insérer dans un cadre européen et international.

2.2.2 L'Union européenne : un sujet qui reste encore dans les abysses

Les textes européens ne mentionnent guère les fonds marins.

La nouvelle stratégie pour une économie bleue durable dans l'Union européenne, intitulée « Trans-

former l'économie bleue de l'Union européenne pour assurer un avenir durable », a été publiée par la Commission européenne en mai 2021. Les fonds marins ne sont pas mentionnés parmi les cinq priorités. Ils sont très peu abordés dans le document final, et principalement sur des sujets qui ne sont pas spécifiques aux grands fonds :

- pour étendre aux fonds marins la démarche de lutte contre la pollution plastique, dans le cadre de la directive sur les plastiques à usage unique ;
- pour encourager la restauration des habitats importants des fonds marins (récifs coralliens, forêts de macro algues) ;
- pour mettre en place des mesures contre les techniques de pêche dommageables pour les fonds marins, notamment les chaluts qui raclent ces fonds.

La Commission européenne formule néanmoins une proposition pour les États membres dans le cadre de leurs négociations internationales, sans la développer, ni l'argumenter : il s'agit de s'assurer que les effets de l'exploitation minière soient évalués, et leurs incidences minimisées.

Le programme Horizon 2030 doté de quatre-vingt-quinze milliards d'euros pour la période 2021-2027 comprend cinq missions dont l'une est intitulée « régénérer notre Océan et nos eaux ». Chaque mission vise à générer des solutions et initiatives ; elle est articulée autour d'appels à projets. Les fonds marins ne sont pas mentionnés parmi les priorités de la mission Océan, ni dans les fiches détaillées. Les appels à projet lancés en avril 2022 ne comportent pas un seul sujet spécifiquement consacré aux grands fonds marins.

UNE COMMISSION EUROPÉENNE DONT LA DOCTRINE A SIGNIFICATIVEMENT ÉVOLUÉ EN DIX ANS

Au cours des dix dernières années, la Commission européenne a fait évoluer sa position sur l'exploitation des fonds marins. En 2012, elle prédisait qu'en 2020, 5% de la quantité mondiale de minéraux, y compris le cobalt, le cuivre et le zinc, proviendrait des fonds marins. L'enjeu de la Commission euro-



péenne était de « déterminer comment l'industrie européenne pourrait devenir compétitive dans l'extraction des minéraux des fonds marins ». Elle ajoutait toutefois qu'il convenait de « garantir au mieux que cette activité ne prive pas les générations futures des bénéfices d'écosystèmes jusqu'à présent intacts ».

En 2021, la Commission formule une proposition sensiblement différente.

« Lorsqu'elle participe à des négociations internationales, il convient que l'Union défende la position selon laquelle les ressources minérales situées dans la zone internationale des fonds marins ne peuvent pas être exploitées avant que les effets de l'exploitation minière en eaux profondes sur le milieu marin, la biodiversité et les activités humaines n'aient fait l'objet de recherches suffisantes, que les risques n'aient été correctement évalués et qu'il ne soit établi que les technologies et les pratiques opérationnelles envisagées ne portent pas gravement atteinte à l'environnement. »

La pression des organisations non gouvernementales et des opinions publiques a contribué à ces évolutions.

Des divergences entre les pays européens qui rendent une politique commune difficile

Les divergences entre les pays européens ne facilitent pas une position commune de l'Europe dans les négociations internationales.

Les pays européens les plus avancés dans le domaine sont l'Allemagne, la Belgique et la Norvège.

- **Allemagne** : le pays a déjà expérimenté un ramassage de nodules en 2021 sur la base d'une échelle ¼ (sans le système de remontée) dans la zone où elle possède un contrat AIFM avec le collecteur Patania II, utilisé aussi par la Belgique. L'accent est toutefois mis sur l'aspect environnemental de la potentielle exploitation minière avec des projets de financement d'exploration pour accroître la connaissance.
- **Belgique** : la Belgique a réalisé des tests de ramassage de nodules dans sa zone de contrat AIFM détenu par l'entreprise GSR sur la base d'une échelle ¼. En 2024, le système à l'échelle 1 sera expérimenté pour une production à partir de 2028-2029.

• **Norvège** : La Norvège, forte de son expertise en forage et en extraction d'hydrocarbures, a officiellement ouvert sa zone économique exclusive aux activités de prospection. L'analyse des incidences est en cours. Une partie du plateau continental norvégien sera ouverte aux activités minières sous-marines (processus engagé par le gouvernement en mai 2020). Les premières licences d'exploration devraient être délivrées à partir du 2^e trimestre 2024.

Face à cette diversité de positions et de stratégies, à l'absence d'accord entre les États membres, l'Union européenne n'est pas en mesure de construire et de faire respecter une position commune. Elle n'a d'ailleurs pas de siège en son nom propre au sein de l'AIFM. Les États européens, faute d'un consensus interne à l'Union, pèsent peu individuellement.

2.2.3 Les grands fonds : un nouvel espace international de rivalités à maîtriser

Au-delà des ZEE, dans la haute-mer, dite « la Zone », les grands fonds sont des espaces sans frontières, propices aux rivalités interétatiques.

Une compétition entre grandes puissances, et entre les pays disposant de vastes ZEE.

La vive compétition entre les États pour accéder à des ressources limitées se déploie autour de licences d'exploration et de tests de collecteurs de nodules, avec une montée des oppositions issues de la société civile.

L'étude des permis d'exploration accordés par l'AIFM illustre cette compétition. Sur un total de 30 permis, la Chine, particulièrement active, se situe en tête avec cinq permis accordés. La France, on l'a vu dispose de deux permis.

Chine : en 2021, la Chine a testé son collecteur de nodules (avec son système de broyage et de remontée) Pioneer 1 dans l'une de ses zones AIFM, mais à profondeur limitée (mille trois cents mètres). Elle continue à mener des explorations à un rythme soutenu.

Nauru : dans le cadre de son contrat d'exploration pour les nodules polymétalliques, Nauru Ocean Resources Inc. (NORI) a mené plusieurs campagnes environnementales dans la zone Clarion-Clipperton avec DeepGreen/TMC et son partenaire stratégique Maersk Supply Service. NORI a soumis à l'AIFM en juillet 2021 une étude d'incidence environnementale en amont du futur test pilote du collecteur de nodules développé avec Allseas, dont l'essai *in situ* est prévu à l'été 2022. NORI prévoit de demander un contrat d'exploitation à l'AIFM fin 2023.

Japon : le Japon a réalisé un test pilote d'extraction de sulfures hydrothermaux en 2017 et prévoit d'être en mesure d'entrer en phase d'exploitation par le biais d'industriels à l'horizon 2026-2028. Il a réalisé en 2021 une campagne de test de résistance à la pression d'un collecteur de nodules.

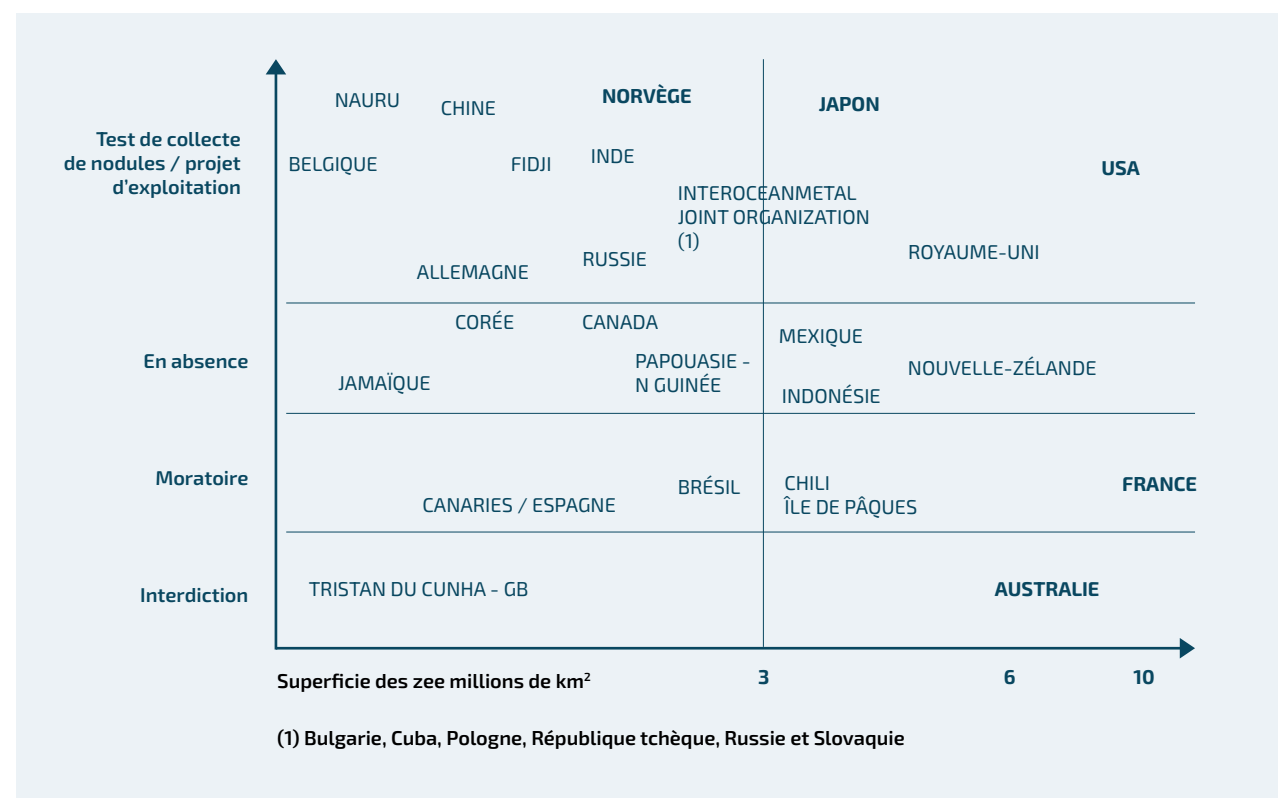
États-Unis : n'ayant pas signé la convention de Montego Bay, ils ne sont pas membres de l'AIFM, et ne peuvent donc pas prétendre à un contrat AIFM. Toutefois, ils ont délivré à leurs entreprises (Lockheed Martin) des licences d'exploration. Le Département de la Défense préconise de soutenir l'extraction de nickel et cobalt du recyclage et de sources non conventionnelles (comme peuvent l'être les nodules polymétalliques).

Australie : à la suite du rapport de l'Autorité de Protection Environnementale (EPA) du Territoire du Nord (Northern Territory, NT) sur les incidences environnementales et la gestion des exploitations minières marines côtières (i.e. non profondes), le ministère de l'Environnement a officialisé le 4 août 2021 l'interdiction des activités minières marines sur le territoire.¹⁵

LA GOUVERNANCE
ET LE FINANCEMENT
DE L'AIFM ONT
ÉTÉ PENSÉS
DANS LES ANNÉES 1990
DANS UNE LOGIQUE
D'EXPLOITATION
DES
RESSOURCES
MINÉRALES
QUI EST AUJOURD'HUI
DISCUTÉE

L'Autorité Internationale des Fonds Marins (AIFM) a été mise en place pour « organiser et contrôler toutes les activités relatives aux ressources minérales des fonds marins, et activités connexes (exploration, transport) dans la zone internationale des fonds marins hors des limites de la juridiction nationale ». À l'époque où l'AIFM a été créée, la recherche scientifique sur les grands fonds marins était balbutiante. La question de la protection a été ajoutée plus tardivement, à travers notamment de l'Objectif de Développement Durable n°14. Si l'Autorité intègre désormais les questions d'incidence environnementale dans ses publications, elle n'a toutefois modifié ni sa gouvernance, ni ses modalités de financement.

Depuis sa création et jusqu'à ce jour, l'AIFM, s'inspirant du modèle onusien, a été principalement financée par les contributions des États membres. Cependant, à terme, il est prévu que son financement soit assuré par les revenus qui seront tirés de l'exploitation des fonds marins, ainsi que son



¹⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621040543?via%3Dihub>

secrétariat général l'a réaffirmé au cours de sa 26^e session de juillet 2021. « *Progressivement, l'Autorité sera financée au moyen des recettes générées par les activités menées dans la Zone et non plus par les États membres ... À terme, son budget sera entièrement financé par le produit de l'exploitation minière des grands fonds marins.* »

Aujourd'hui l'Agence n'a délivré que des permis d'exploration, aucun permis d'exploitation. Elle travaille à l'élaboration d'une réglementation minière, prévoyant des normes environnementales dont le respect conditionnera les futures autorisations d'exploitation. Par ailleurs, La 27^e session qui s'est clôturée fin mars 2022 évoque la création d'un fonds de compensation environnemental, financé par une taxe sur l'exploitation. Il semble ainsi que la logique qui combine exploitation et réparation de ses dégâts prime toujours, alors qu'un grand nombre de ces dégâts seront irréversibles. En dépit de sa mission de gérer et de protéger les ressources sous-marines dans les eaux internationales, l'AIFM semble par ailleurs n'avoir jamais refusé une demande de licence, même dans des zones écologiquement méconnues comme les monts sous-marins ou les cheminées hydrothermales.

**« LES RÉSULTATS
DES ÉTUDES TENDRAIENT
À DÉMONTRER QUE ...
DES
PERTURBATIONS
MAJEURES
POURRAIENT ENTRAÎNER
DES DESTRUCTIONS
IRRÉVERSIBLES
(DE LA BIODIVERSITÉ)
MÊME APRÈS PLUSIEURS
DÉCENNIES »**

RAPPORT JL LEVET AU SG MER, 2021

À l'issue de ces développements, un impératif se confirme : celui d'explorer et de protéger

Explorer est impératif pour découvrir un espace qui semble extrêmement riche, bien au-delà du potentiel minier, pour comprendre un espace au cœur de la régulation climatique et en percevoir les dégradations éventuelles. Dans cette perspective, des moyens nécessaires au grand chantier qu'est l'exploration doivent être engagés pour pallier le risque de l'ignorance, ou celui d'aventures industrielles minimisant les impacts durables qu'elles engendrent. L'État doit jouer son rôle : rôle de garant de l'intérêt général afin de sécuriser et protéger l'espace maritime français, rôle de stratège de long terme pour assurer l'autonomie stratégique de notre pays pour les générations futures.

Il y a sur ce point deux défis successifs à relever. L'exploration elle-même doit être la moins intrusive possible. Les techniques doivent évoluer et s'adapter afin de préserver au mieux l'environnement marin que l'on veut mieux connaître. Ensuite, si exploitation il y a, c'est la connaissance acquise par l'exploration qui permettra de garantir la protection indispensable et de définir des plans de préservation précis¹⁶.

L'analyse de l'ADN environnemental de l'eau ou des sédiments profonds peuvent offrir des perspectives prometteuses pour comprendre l'écosystème profond. Ces nouvelles techniques offrent aux biologistes des outils précieux pour caractériser les espèces connues et inconnues. Les outils informatiques associés à ces protocoles permettent désormais de générer des milliards de séquences sur des échantillons collectés.

Plutôt qu'un principe de précaution qui s'opposerait à toute exploration et à tout développement de la connaissance, la science doit guider la décision. L'exploration doit être menée et se concilier avec la protection des écosystèmes marins, mais elle est elle-même protectrice, en permettant de mieux identifier les menaces et la façon de les prévenir.

Certaines zones - définies par les scientifiques - devront faire l'objet d'une protection intégrale, c'est-à-dire de non intervention humaine. L'identification en amont des zones sanctuarisées est donc une priorité. Dans le cadre de la Décennie des sciences océaniques, L'Unesco a annoncé il y a peu la cartographie prochaine de 80% des fonds marins d'ici 2030. Ces données permettront d'y voir plus clair sur les potentielles aires marines profondes à protéger. Ces sanctuaires océaniques profonds viendront compléter le réseau des Aires Marines Protégées déjà en place.

¹⁶ « Les ressources minérales marines profondes, Étude prospective à l'horizon 2030 », Yves Fouquet et Denis Lacroix (2012).



3. RECOMMANDATIONS

3.1 LA FRANCE : UNE STRATÉGIE D'ÉQUILIBRE ENTRE LA MAÎTRISE DE SES FONDS MARINS ET LEUR PROTECTION

La Fondation de la Mer demande une position d'équilibre à la France :

- une priorité absolue à la recherche pour la connaissance dans une logique pluridisciplinaire de « en même temps » (géochimistes, biochimistes et physiciens) ; en mobilisant notamment les jeunes chercheurs sur les aspects les plus méconnus, les plus innovants ;

- une clarification des priorités d'investissement de la France, pour développer des méthodes et des outils d'exploration, de surveillance et de valorisation des grands fonds marins, qui permettent de garder la France dans le peloton de tête des nations ;

- une politique de préservation et de surveillance des espaces stratégiques sous juridiction française, qui garantisse dans la durée, au plan technique, l'autonomie de la France pour l'exploration des fonds marins, et au plan politique, l'intégrité territoriale de ce patrimoine précieux pour les générations futures ;

- la mise en place d'une stratégie ambitieuse de récupération et de recyclage des terres et des métaux rares, afin que « pas un seul gramme ne soit perdu à horizon 2030 » et que la France occupe une position de premier plan sur ce marché ;

- une gouvernance qui associe la société civile à des décisions qui engagent son avenir ;

- une gouvernance internationale renforcée, pour surveiller et préserver la « Zone ».

Nous partageons ainsi globalement l'avis du comité interministériel de la mer : « La connaissance scientifique de ce milieu très particulier est encore trop parcellaire pour pouvoir définir les conditions d'une exploitation responsable et respectueuse de la biodiversité ». Toutefois, dans un contexte international complexe, la France ne doit pas rester à l'écart de l'aventure des grands fonds marins, et faire évoluer les modes de financement et de gouvernance de sa stratégie « Grands fonds marins ».

La Fondation de la Mer formule les recommandations suivantes :

1. Affirmer l'enjeu stratégique des fonds marins pour la France en les ancrant dans les structures administratives et politiques, et en renforçant la partie relative aux fonds marins de France 2030.

La gouvernance de la stratégie « grands fonds marins » doit être maintenue au niveau du Premier ministre. Les fonds marins doivent être explicitement inscrits dans la mission de l'action de l'État en mer, ainsi que dans la feuille de route de la Secrétaire d'État chargée de la mer, et des ministères concernés.

Le programme ambitieux de France 2030 consacre 1% de son budget total de trente milliards d'euros aux fonds marins, et comprend des zones d'ombre :

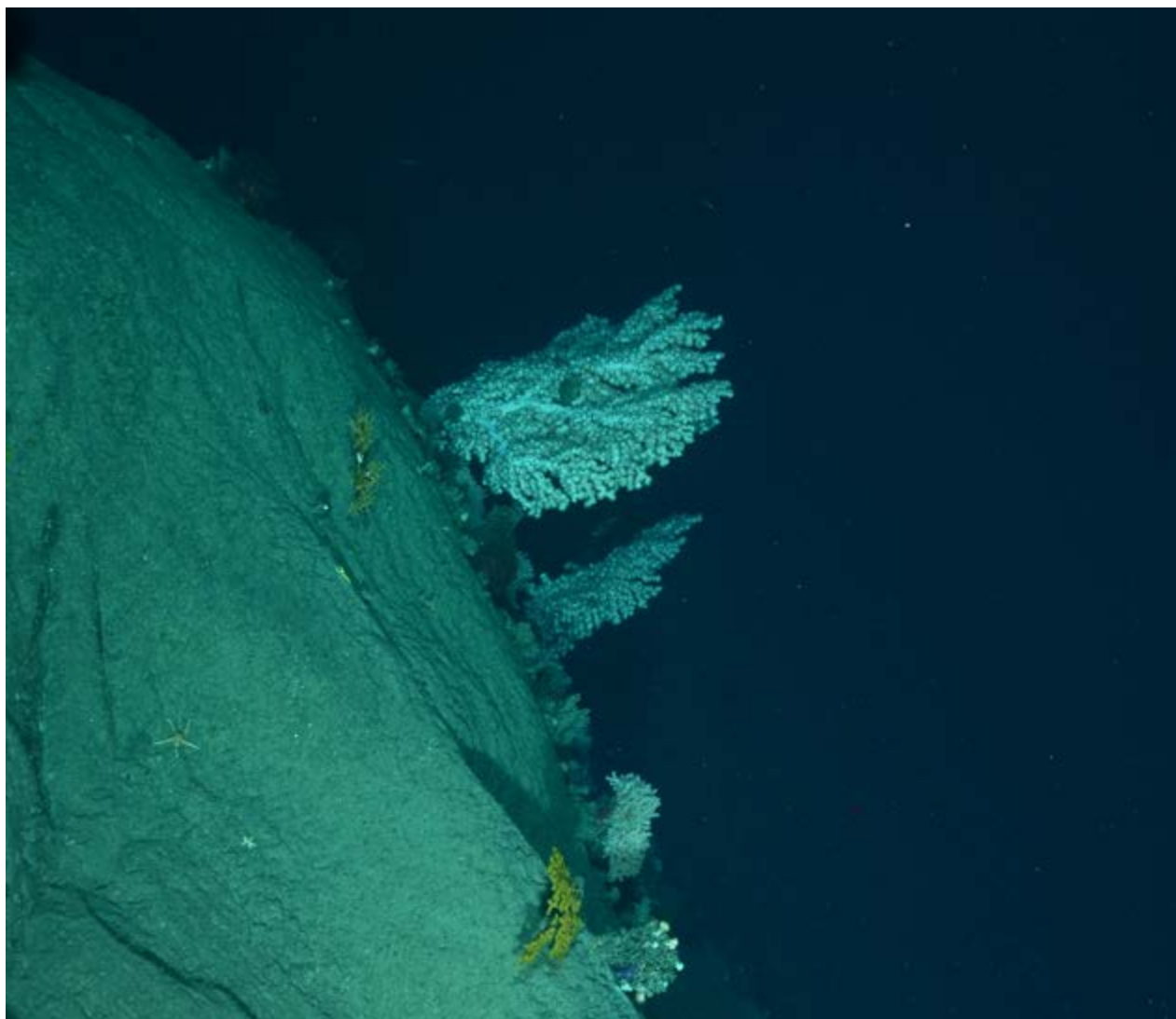
a. Quel est le plan d'ensemble d'allocations de ce budget, alors que le CIMER a annoncé quatre projets de recherche sans préciser l'enveloppe budgétaire qui leur sera allouée ?

b. Comment organiser la pluridisciplinarité et une approche globale des opportunités liées aux fonds marins ?

c. Quelle part sera accordée à la mise en place d'une véritable économie circulaire ? Les dix projets prioritaires de France 2030 ne concernent pas spécifiquement ce sujet.

2. Prioriser les domaines d'investissement pour la France

Sur la base de l'analyse des avantages compétitifs de la France, la Fondation de la Mer recommande une approche stratégique des investissements, fondée sur le degré d'engagement de l'économie française dans les fonds marins.



En matière d'investissement, la Fondation de la Mer recommande les trois orientations prioritaires suivantes :

- **Connaître et surveiller** : la connaissance des fonds marins, et leur surveillance sont deux domaines dans lesquels la France doit maintenir une forme d'autonomie, alors que les technologies évoluent vite. La France doit soutenir la recherche, les jeunes pousses (*start-ups*), l'innovation afin de connaître nos fonds marins, identifier ce qui s'y passe et y intervenir, efficacement et durablement. Il s'agit par exemple d'éviter en mer, sur nos fonds marins, le phénomène de l'orpillage qui sévit en Guyane.
- **Amplifier la dualité des projets (civile et militaire) et les coopérations européennes et internationales** : exploration et surveillance sont deux domaines qui permettent une coopération entre le civil et le militaire. Les premières missions de France 2030 intègrent déjà cette approche, en élaborant des briques technologiques

duales, dans un souci d'efficacité de la dépense publique et d'accélération des développements.

Une collaboration plus étroite avec les pays européens ayant une forte composante maritime (Portugal, Espagne, Italie par exemple) permettrait d'augmenter les ambitions de chacun, tout en sollicitant des fonds européens.

- **Choisir de devenir un leader mondial dans la récupération et le recyclage de terres et métaux rares** : L'ONU indique que seul 1% des terres et des métaux rares sont aujourd'hui recyclés sur la planète alors que plus de la moitié des métaux le sont. L'Europe estime que trois cent cinquante mille emplois pourraient être créés si une politique d'économie circulaire des matières premières sensibles était mise en place. D'ores et déjà, 40% du zinc ou de l'aluminium et plus de 50% du cuivre européens sont issus du recyclage, alors que le lithium et le cobalt ne sont quasiment pas recyclés.

Les scénarios élaborés par la Fondation de la Mer, à partir de la matrice de l'ADEME, conduisent à orienter la politique française comme suit :

- Accélération des exigences légales en matière de durabilité, réparabilité, réutilisation ;
- Mise en place d'une filière conduisant à « pas un seul gramme de terre ou métal rare perdu en 2030 » ;
- Sensibilisation du grand public sur la nécessité d'une évolution des comportements vers une plus grande sobriété, une économie du partage, de la réutilisation, de la réparation.

En complément, la France pourrait porter au niveau européen un projet d'incitation à la baisse de l'intensité en terres et en métaux rares des produits manufacturés : la part d'agent et de silicone des panneaux solaires a ainsi baissé de 40 à 50% en dix ans, un effort identique doit être mené sur les terres et métaux rares.

3. Développer des outils de financement innovants

France 2030 ne comporte pas de réflexions sur les modalités de financement. Or, l'aventure des grands fonds marins est extrêmement coûteuse, et les collaborations public-privé indispensables pour mobiliser les compétences nécessaires. Des modes de financement innovants sont indispensables pour encourager les acteurs à s'engager : sociétés à capital mixte, mécanismes de garanties sur des prêts bancaires, avances remboursables, appel au public, collaborations internationales, etc.

4. Intégrer la société civile organisée en amont

La mission d'intérêt général menée en 2020-2021 comportait une trentaine de personnalités dans le groupe de travail, mais pas une seule organisation de la société civile. Seulement trois associations ou fondations ont fait partie de la liste des cinquante entretiens conduits par la mission.

Les fonds marins font partie du patrimoine commun des Français, et de l'humanité. Une démocratie comme la France ne peut se contenter d'informer les citoyens sur des décisions qui engagent leur avenir et celui des générations futures. La société civile est une partie prenante

fondamentale, elle doit participer au débat, et contribuer à la juste information de l'opinion publique. Les difficultés d'acceptabilité sociale qui se font jour sur d'autres sujets comme les gaz de schiste ou les éoliennes en mer viennent du fait que les citoyens ont l'impression d'être instrumentalisés, consultés une fois la décision prise, voire déjà lancée.

5. Définir des « sanctuaires des profondeurs », des zones totalement protégées, reliées entre elles par des corridors biologiques sous-marins.

L'identification de potentiels grands sanctuaires sous-marins profonds, dotés de « passerelles » les reliant les uns avec les autres est une priorité. Dans l'Océan moins profond, la haute protection des « points chauds » de biodiversité marine est essentielle pour l'équilibre de l'Océan dans son ensemble. Leur capacité à régénérer, « ré-ensemencer » l'Océan bien au-delà de ces zones sanctuaires délimitées est un atout de la nature sur lequel nous devons nous appuyer. Partons du principe qu'il en est de même pour les espèces qui vivent dans les grands fonds. Le réseau des Aires Marines de Protection forte serait alors complété par certaines zones de très grandes profondeurs.

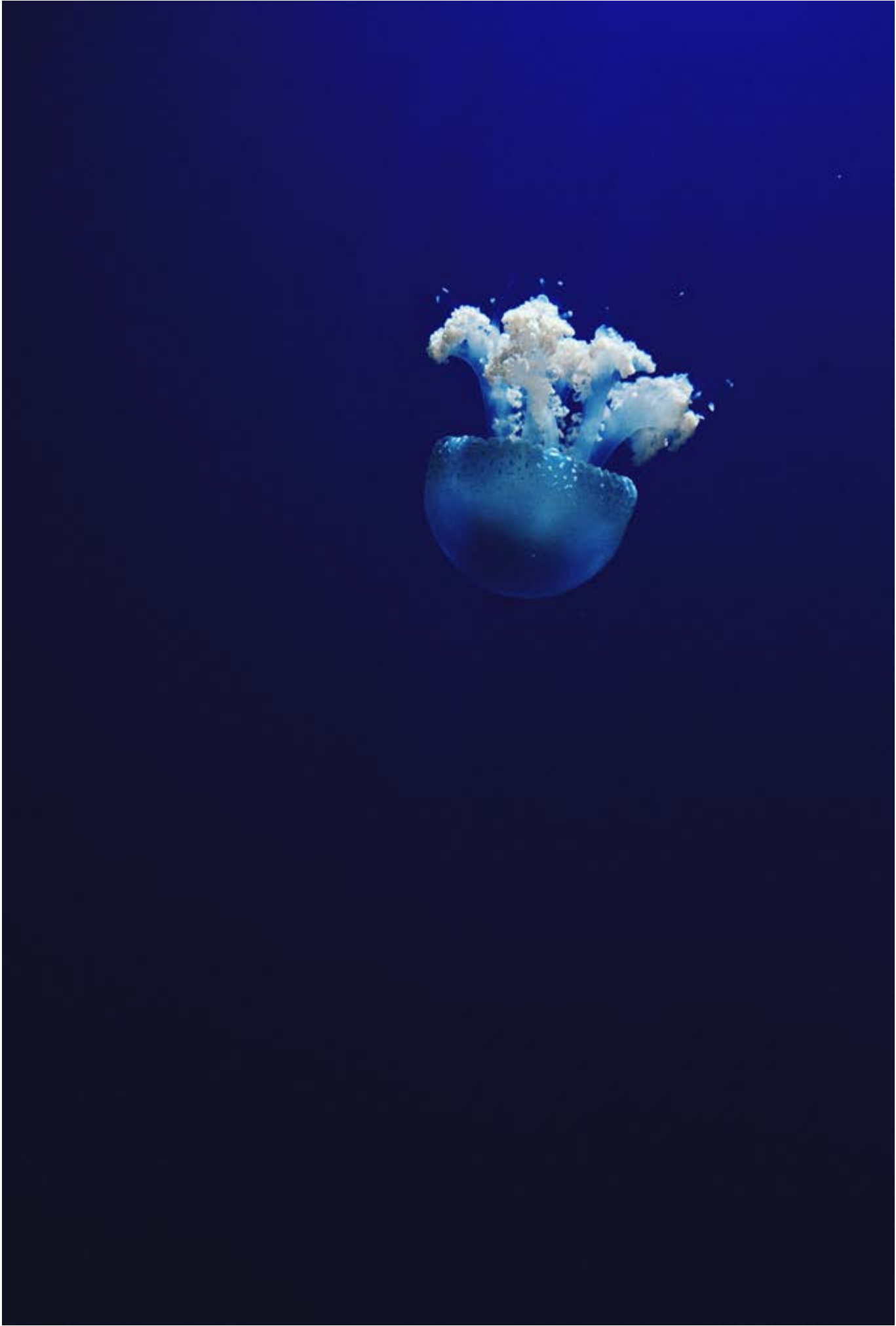
La France possède une responsabilité particulière vis-à-vis de la préservation de la biodiversité marine, il nous semble essentiel qu'elle montre la voie en créant ces premiers « sanctuaires des grandes profondeurs ».



1. **Contribuer à fixer la norme** : la Chine a signé quatre-vingt-cinq accords de coopération en matière de normalisation pour contrer les normes occidentales qu'elle considère trop coûteuses (rapport IFRI Chine et normes). Il est plus que temps d'agir. La France, à travers l'expertise internationalement reconnue de l'IFREMER, peut contribuer à l'élaboration des normes du futur code minier, et exiger la prise en compte de la notion d'irréversibilité des incidences.
2. **Rejoindre l'initiative Seabed 2030**, la Fondation avait appelé la France à rejoindre le « *high level panel for a sustainable ocean economy* », au moment de son lancement. Quatre ans après, lors du *One Ocean Summit*, le Président de la République a annoncé son soutien. Aujourd'hui la Fondation de la Mer invite la France à s'associer au projet *Seabed 2030* de la Nippon Foundation et Gebco. Sans attendre quatre ans.

1. **Comme membre de l'AIFM contribuer à l'évolution de sa gouvernance.** L'AIFM a été créée en 1994 dans l'objectif d'exploiter les fonds marins, et si la dimension environnementale est dorénavant prise en compte, les textes fondateurs de l'Autorité n'ont pas été modifiés. La Fondation de la Mer demande donc à la France de défendre les modifications suivantes :
 1. Revoir le mode de financement prévu pour l'AIFM (taxe perçue sur l'exploitation) qui mettrait l'Autorité en situation de conflit d'intérêt interne, puisqu'elle serait intéressée directement aux revenus issus de l'exploitation des ressources minières et minérales des fonds marins. Il s'agit de sortir de la logique de maximisation des volumes extraits et d'introduire des critères qualitatifs et des quotas maximaux par zone et type de fonds marins
 2. Assurer la publication des contrats d'exploration accordés aux pays par l'AIFM, afin que chaque pays/consortium soit responsable devant les nations et l'humanité de ses engagements
 3. Élaborer un système de compte-rendu des projets d'exploration, et d'exploitation, qui intègre des données d'incidences sociales, culturelles et environnementales, et s'assurer de l'accessibilité au public de ces comptes-rendus.
 4. Doter l'AIFM de moyens juridiques et financiers qui lui permettent de sanctionner un pays/consortiums qui ferait défaut sur ses obligations de protection de la biodiversité, des peuples indigènes ou d'autres éléments du contrat d'exploration. Prévoir un dépôt de garantie préalable de ces pays/consortium afin de financer une intervention éventuelle.
 5. Considérer que les enjeux relatifs aux grands fonds marins, du fait qu'ils relèvent du patrimoine commun de l'humanité, doivent être partagés avec le plus grand nombre, développer des outils d'éducation et d'information de l'opinion publique mondiale. Organiser le débat afin que les décisions prises intègrent les attentes et les intérêts des jeunes.

**TRAVAILLER
AVEC LES PAYS EUROPÉENS
POUR MODIFIER LES RÈGLES DE
L'AUTORITÉ INTERNATIONALE
DES FONDS MARINS,
DONT LE RÔLE EST
FONDAMENTAL POUR
L'AVENIR DE
L'OCÉAN**



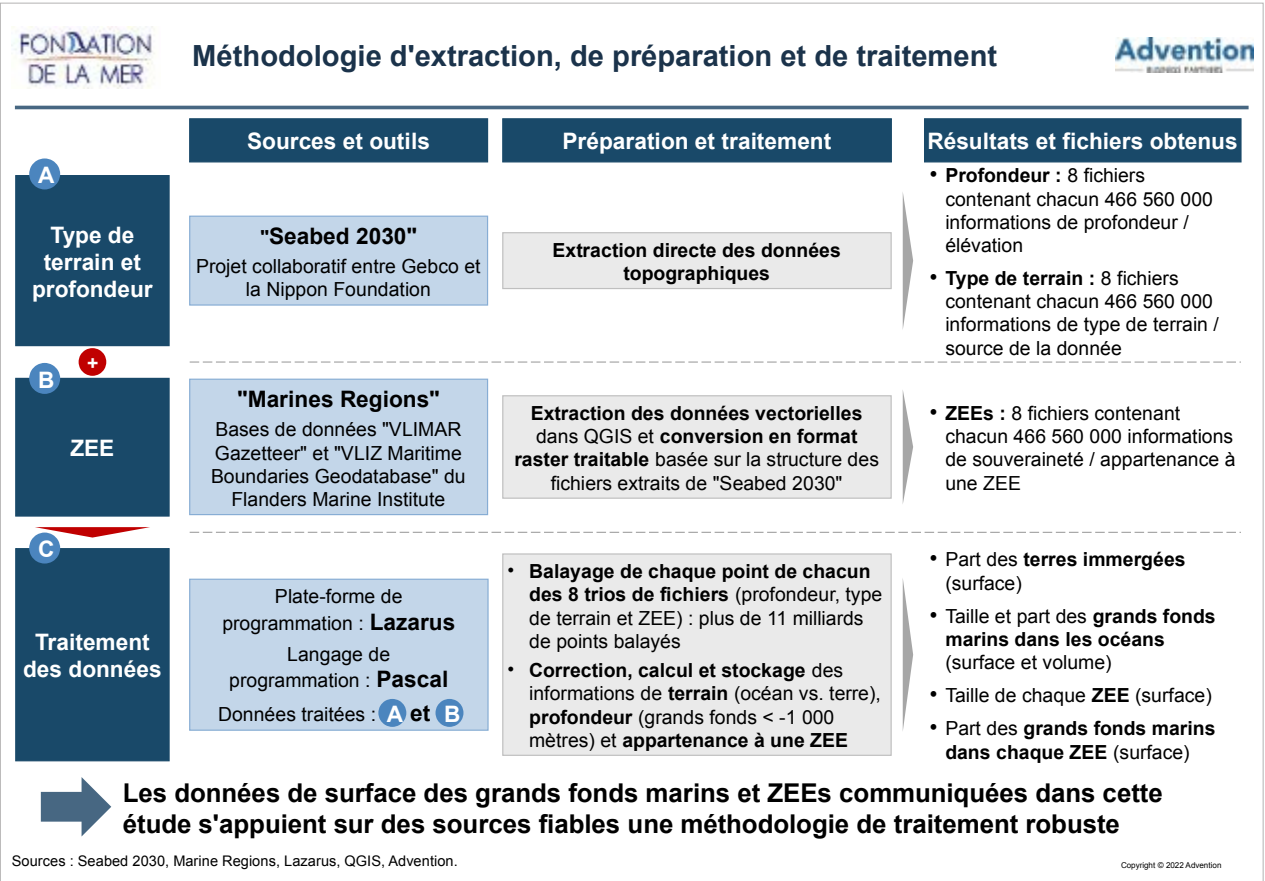
4. ANNEXES

ANNEXE 1 : MÉTHODOLOGIE DE MESURE DES FONDS MARINS DANS LE MONDE, ÉLABORÉE PAR ADVENTION

MÉTHODOLOGIE

Trois jeux de données, provenant de deux sources, ont été utilisés dans le cadre de cette quantification. Ils prennent tous la forme de huit fichiers distincts, couvrant chacun 1/8^{ème} de la surface de la planète (90° de latitude et 90° de longitude). Chaque fichier contient une information locale de profondeur, type de terrain ou appartenance à une ZEE toutes les 15 secondes d'arc, 1 seconde d'arc étant équivalent 1/60^{ème} de minute d'arc, 1 minute d'arc étant équivalent à 1/60ème de degré de latitude ou de longitude ici, cela aboutit à 21 600 (latitude) x 21 600 (longitude) = 466 560 000 informations distinctes par fichier.

Ils ont été traités et ajustés pour prendre en compte la forme sphérique de la Terre, qui diffère de la projection de Mercator dans laquelle les données sont stockées. Un programme a été conçu pour balayer chaque triplet [type de terrain x altitude x ZEE] et déterminer les surfaces et volumes intéressants pour l'étude : terres, océans, grands fonds marins, ZEE française, grands fonds marins en ZEE française, etc.



Méthodologie d'extraction, de préparation et de traitement

Sources : Seabed 2030, Marine Régions, Lazarus us, QGIS, Advention

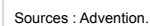
Celles-ci viennent de mesures directes, indirectes ou d'extrapolation sur la base des autres données disponibles.

Sources : Seabed 2030, Advention

QGIS permet également la conversion des données ainsi générées du format vectoriel, inutilisable tel quel par le programme créé pour l'occasion, vers le format ASCII. QGIS génère ainsi huit fichiers sur la base de la structure des deux jeux de données « terrain » et « altitude » afin que les trois jeux de données soient superposables.

Sources : Marine Région, QGIS, Adventon

dant de sa position angulaire sur le globe terrestre pour permettre une prise en compte à l'échelle de chaque donnée. En effet, la « longueur » (L sur le schéma ci-après) de la « tuile » représentée par chaque point de données est constante et vaut un $\frac{86\,400}{2\pi}$ du périmètre de la Terre, soit environ 465 mètres, et la « largeur » (l sur le schéma ci-après) nécessite de prendre en compte sa position angulaire sur le globe terrestre comme détaillé ci-après :



Fondation de la Mer - Les grands fonds marins | 2022 49

ANNEXE 2 :
LISTE DES ENTRETIENS EFFECTUÉS

ENTRETIENS INITIAUX

- **Françoise Gaill** : biologiste spécialiste des écosystèmes profonds, conseillère scientifique océan à la direction du CNRS (INEE), membre du Conseil scientifique de la Fondation de la Mer
- **Elie Jarmache** : membre de la Commission juridique et technique de l'Autorité Internationale des Fonds Marins (AIFM), ancien chargé de mission au Secrétariat général de la mer
- **Jean-Louis Levet** : conseiller spécial pour la Stratégie nationale des grands fonds marins au secrétariat général de la mer
- **Élodie Martinie-Cousty** : vice-présidente du Conseil économique, social et environnemental (CESE) et pilote du réseau Océan Mer et Littoral de France Nature Environnement (FNE)
- **François Houllier** et **Jean-Marc Daniel** : respectivement président de l'Ifremer et Directeur du département Ressources physiques et Écosystèmes de fond de Mer, Ifremer
- **Sarah Samadi** : professeure au Muséum national d'Histoire naturelle spécialisée dans l'exploration de la biodiversité des milieux benthiques
- **Pierre-Marie Sarradin** : chercheur à l'Ifremer, responsable d'une unité mixte avec l'Ifremer, le CNRS et l'UBO qui travaille sur la biologie et l'écologie des écosystèmes marins profonds
- **François Sarano** : océanographe, fondateur de l'association Longitude 181
- **Bruce Shillito** : biologiste au laboratoire BOREA au sein de l'équipe AMEX (Adaptations aux milieux extrêmes) spécialisée dans les organismes hydrothermaux profonds
- **Jean-Marc Sornin** : président de la société d'exploration Abyssa

ENTRETIENS COMPLÉMENTAIRES

- **Denis Robin** et **Xavier Grison**, Secrétariat général de la mer
- **Francis Vallat**, Cluster Maritime Français
- **Amiral Jean-Marc Durandau**



REMERCIEMENTS À L'ÉQUIPE
D'ADVENTION BUSINESS PARTNERS

Alban Neveux et Eric Lesavre -
Emmanuel Froim - Tristan Barraud

REMERCIEMENTS AU BUREAU DU CONSEIL
SCIENTIFIQUE DE LA FONDATION DE LA MER

Françoise Gaill - Pascale Joannot - Hervé Moulinier -
Philippe Vallette - Pascal-Raphaël Ambrogi

REMERCIEMENTS AUX ÉQUIPES
DE LA FONDATION DE LA MER

Alexandre Iaschine - Muriel Barron - Joséphine Corre



FONDATION
DE LA MER