



RAPPORT DES ATELIERS



Prix
Médiation

LES GRANDS FONDS MARINS, ENTRE EXPLOITATION ET CONSERVATION

PROMOTION ROSALIND FRANKLIN

LES ATELIERS DU CYCLE NATIONAL

Les ateliers sont des travaux conduits dans le cadre du cycle national sur une durée de cinq journées officielles, avec des temps de travail des auditeurs entre les séances. Ils ont pour vocation de conforter les dynamiques de travail collaboratif, de mobiliser l'intelligence collective entre les auditeurs, de permettre une analyse des dynamiques d'acteurs à l'œuvre dans les rapports science-société, d'apprendre à gérer des controverses et chercher des consensus entre acteurs aux intérêts très divergents. Cela nécessite un travail d'investigation mené avec l'aide d'un animateur et la rencontre d'un certain nombre de personnes invitées à la demande des auditeurs, en concertation avec l'animateur afin d'entraîner les auditeurs à effectuer des préconisations pour éclairer la prise de décision.

Les auditeurs ne sont pas spécialistes du sujet. Ils doivent, à l'issue de leurs travaux d'investigation, en effectuer une synthèse, sans prétendre ni à l'exhaustivité, ni à l'expertise. La synthèse doit en revanche dégager les principales problématiques, en choisir quelques-unes à traiter, et proposer des lignes d'actions ou des pistes de solutions possibles, propres à éclairer les décideurs. Le jour de la clôture du cycle, les auditeurs présentent leurs travaux devant un jury, rassemblé par l'IHEST. Une note de cadrage présentant le sujet de l'atelier est remise aux auditeurs au démarrage de travaux (voir Annexes).

Le jury de l'IHEST a attribué à ce travail des auditeurs et auditrices de la promotion Rosalind Franklin, 2021- 2022, le prix "Médiation".



Ce rapport a été présenté devant les membres du Conseil économique, social et environnemental le 16 juin 2022.

AUDITRICES ET AUDITEURS DE L'ATELIER

Monica BRANCO FORTE, directrice de la comptabilité et des affaires financières, Cirad

Pauline CAPUS, déléguée générale, Association Française des Pôles de Compétitivité

Haichau COURNEDE TRAN, marketing manager, marketing et développement, Air Liquide

Clément DELVIGNE, consultant-psychologue, Human(s) matter

Thomas ERNST, directeur scientifique du Leti, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

Patricia FERNANDES, chef d'établissement Collèges REP+, Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports

Frédéric FORAIN, chef de la Division Criminalistique Ingénierie et Numérique, Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale, Gendarmerie nationale

Sophie HUET, responsable d'Investissement, Banque des territoires Caisse des dépôts et consignations

Frédéric HUYNH, directeur de l'IR Data Terra, Institut de recherche pour le développement

Laurent MICOUIN, directeur Laboratoire de Chimie et Biochimie pharmacologiques et toxicologiques (UMR 8601), Centre national de la recherche scientifique

Frédéric RESTAGNO, directeur de recherche CNRS, « Soft interfaces group » Laboratoire de physique des solides

ANIMATION DE L'ATELIER

Laurent TESTOT, journaliste scientifique, conférencier et essayiste

PERSONNALITÉS RENCONTRÉES

Patrice CHRISTMANN, consultant indépendant en ressources minières

Cyrille P. COUTANSAIS, directeur de recherches au CESM, rédacteur en chef de la revue Études Marines

Jean-Marc DANIEL, Directeur du département Ressources physiques et écosystèmes de fond de mer, Ifremer

Matthew GIANNI, Co-fondateur et conseiller politique ONG Deepsea coalition

François HOULLIER, PDG Ifremer et ancien auditeur IHEST

Denis LACROIX, prospectiviste Ifremer

Jean-Louis LEVET, ex-conseiller spécial pour la Stratégie nationale des grands fonds marins

Judith PIGNEUR, ingénieure géologue, militante écologiste, Les Amis de la Terre

Walter R. ROEST, Ifremer, Aléas marins

Jozée SARRAZIN, chercheure en écologie benthique, Ifremer (à distance)

Nicolas TCHERNIGUIN, Technip, Head of Offshore Technologies

LES GRANDS FONDS MARINS, ENTRE EXPLOITATION ET CONSERVATION

RÉSUMÉ

Cent cinquante ans après *Vingt mille lieues sous les mers*, l'humain connaît mieux la surface de la Lune que celle des grands fonds marins. Immergés sous l'océan profond allant de 200 jusqu'à 11 000 mètres de profondeur, les grands fonds marins constituent un vaste territoire peu connu. Seulement 20 % de leurs surfaces sont cartographiées et moins de 5 % sont explorés à ce jour.

Depuis une quinzaine d'années, les grands fonds marins connaissent un regain d'intérêt de nombreux pays dans le cadre de leurs politiques industrielles. Ce nouvel espace est convoité pour son potentiel en ressources minérales (cobalt, platine, cuivre, titane, terres rares...) utilisées dans le développement des technologies de pointe et des technologies « vertes » nécessaires à la transition énergétique. La découverte des écosystèmes benthiques ouvre une voie prometteuse de recherche pour la conservation et la valorisation de ce patrimoine biologique et biogénétique. La compréhension des mécanismes d'adaptation de la faune à des environnements extrêmes, la maîtrise des processus de chimiosynthèse microbienne permettant des sources d'énergie alternatives ainsi que la connaissance du rôle des grands fonds marins dans les grands cycles biogéochimiques des océans et la régulation du climat constituent également des ressources indispensables pour la transition écologique à envisager.

Si un consensus semble se dessiner sur la nécessité d'explorer les grands fonds marins pour mieux les connaître, le débat entre exploitation et conservation reste d'actualité. Quand ? Comment ? Dans quelles conditions ? Pourquoi ? Pour qui ? Les impacts potentiels d'une exploitation minière à l'échelle industrielle sur les grands fonds marins sont peu connus et encore moins quantifiés. La faisabilité technique et la viabilité économique restent à prouver. La nécessité même du recours à ces ressources minérales est discutée. Le cadre juridique et la gouvernance des grands fonds marins restent à renforcer. Les enjeux géostratégiques de câbles sous-marins, de souveraineté technologique et énergétique, de sécurité et de défense s'ajoutent à la complexité du débat.

Quelle est la position de la France dans ce paysage complexe et évolutif ? Si l'État affirme sa volonté d'investir dans les grands fonds marins à travers le plan *France 2030*, la cohésion de l'ensemble des parties prenantes, y compris la société civile, autour d'une vision stratégique de gestion responsable et soutenable des ressources naturelles des grands fonds marins, reste à construire. Cette cohésion, nécessaire à la réussite du plan stratégique, devrait se baser sur des valeurs éthiques et s'appuyer sur une démarche de dialogue scientifique en évitant les dérives dogmatiques. Sans cette vision partagée à long terme, un plan se réduit à une collection des projets opportunistes, conduisant au mieux à un *statu quo*, sinon à une évolution subie et hors de contrôle.

ABRÉVIATIONS

Abréviation	Définition
3R	Réduire - Réutiliser - Recycler
AIFM	Autorité internationale des fonds marins
ISA	International Seabed Authority
AMP	Aire marine protégée
APEI	Area of particular environmental interest
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières
CESM	Centre d'études stratégiques de la Marine
CLPC	Commission des limites du plateau continental
CMF	Cluster maritime français
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CNUDM	Convention des Nations unies sur le droit de la mer
EU	European Union
EXTRAPLAC	Programme français d'extension du plateau continental
GICAN	Groupement des industries de construction & activités navales en France
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IEA	International Energy Agency
Ifremer	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
IPGP	Institut de physique du globe de Paris
IRD	Institut de recherche pour le développement
ODD	Objectifs de développement durable définis par l'Organisation des Nations unies (ONU)

ONG	Organisation non gouvernementale
OTAN	Organisation du traité de l'Atlantique Nord
PEID	Petit État insulaire en développement
SGMer	Secrétaire général de la mer
SHOM	Service hydrographique et océanographique de la marine
SSW	Subsea and Seabed Warfare, programme de développement de la marine américaine
ZEE	Zone économique exclusive
Zone	La zone internationale des fonds marins

LES GRANDS FONDS MARINS, ENTRE EXPLOITATION ET CONSERVATION

SOMMAIRE

INTRODUCTION	9
LES GRANDS FONDS MARINS - UN NOUVEAU TERRITOIRE POUR LA CONQUÊTE HUMAINE	11
Les grands fonds marins : de quoi s'agit-il ?	11
Les ressources minières	11
Les ressources biologiques et écosystémiques	12
CONNAÎTRE POUR PROTÉGER ET VALORISER	14
Les enjeux technico-économiques	15
Les enjeux écologiques	16
Les enjeux juridiques	17
Les enjeux géostratégiques	19
Les enjeux éthiques	21
QUELLES STRATÉGIES D'EXPLORATION POUR QUELS FUTURS DES GRANDS FONDS ?	22
CONCLUSIONS - RECOMMANDATIONS	25
RÉFÉRENCES	29
ANNEXES	31
Glossaire	31
Illustration des 4 scénarios	32
Scénario « Business as Usual »	34
Scénario « One Ocean - One Health »	35
Scénario « Out of Control »	37
Scénario « Out of the Box »	38
Localisation des principales zones à ressources minérales des grands fonds marins	40
L'importance des métaux pour la transition énergétique	41
Comparaison en intensité métallique des technologies « bas - carbone »	42

Croissance des besoins en métaux dans la trajectoire 1,5 °C	43
Temps nécessaire pour les différentes phases d'un projet d'exploitation minière des grands fonds marins	43
Exemple des APEI associés aux zones d'exploitation minière potentielle de CCZ	44
Note de cadrage de l'atelier	45

INTRODUCTION

Cent cinquante ans après *Vingt mille lieues sous les mers* de Jules Verne, quatre personnes seulement ont plongé jusqu'au point le plus profond des océans, quand douze astronautes ont posé le pied sur la Lune. Ce milieu peu accessible évoque, dans l'imaginaire collectif, un environnement hostile et mystérieux. Il est aux yeux des scientifiques une *terra incognita*.

Néanmoins, depuis une quinzaine d'années, ce vaste territoire a connu un regain d'intérêt dans les politiques industrielles de beaucoup de pays en quête d'une transition énergétique, tout en essayant de limiter leur dépendance aux importations des minéraux métalliques et de métaux dits de haute technologie tels que le cobalt, le platine, le titane et les terres rares (Ifremer, 2011).

Cette motivation suscite l'intérêt de la recherche et des entreprises privées spécialisées dans l'exploration et l'exploitation minière. Elle soulève dans le même temps les inquiétudes des ONG et associations militantes sur les impacts inconnus et potentiellement non maîtrisables des activités d'exploitation dans un futur proche. Ces dernières prônent une conservation des milieux marins profonds sous le statut d'un patrimoine commun de l'humanité.

Exploiter ou conserver ? Une réponse non dogmatique devrait se fonder sur des connaissances scientifiques des ressources existantes, leur accessibilité, leurs rôles et interactions dans l'écosystème marin, les impacts des activités anthropiques dans l'équilibre établi, etc. afin d'évaluer l'intérêt potentiel et les risques associés d'une quelconque activité d'exploitation ou de conservation.

Au fond, entre ces deux choix se dresse un grand défi d'exploration des grands fonds marins.

C'est dans ce contexte que l'Organisation des Nations unies a décrété en 2021 la « Décennie des sciences de l'océan pour le développement durable ». Quant à la France, l'exploration des grands fonds marins fait partie des dix priorités de son plan d'investissement France 2030. Elle y est considérée comme « un levier extraordinaire de compréhension du vivant, d'accès à certains métaux rares, de compréhension du fonctionnement de nouveaux écosystèmes d'innovation » (Emmanuel Macron, discours sur les objectifs du Plan d'investissement France Relance 2030, Paris, 12 octobre 2021).

Que connaissons-nous aujourd'hui des grands fonds marins ? En quoi constituent-ils une ressource pour les transitions à venir ? Quelles sont les controverses autour de leur exploitation potentielle ?

Quels sont les véritables enjeux des explorations ? Que pourrait devenir ce nouveau territoire à l'horizon 2050 et au-delà ? Quelles perspectives pour la France dans ce terrain nouveau avec des jeux d'acteur complexes ?

Ce rapport est le résultat d'une réflexion collective sur ces questionnements. Il n'est pas un rapport d'expertise, mais cherche à mettre en avant nos sensibilités citoyennes sur un sujet qui engage la France dans les décennies à venir.

LES GRANDS FONDS MARINS - UN NOUVEAU TERRITOIRE POUR LA CONQUÊTE HUMAINE

Les grands fonds marins : de quoi s'agit-il ?

Les grands fonds marins occupent un espace gigantesque, allant de 200 mètres de profondeur jusqu'à 11 000 mètres dans la fosse des Mariannes, le point le plus profond de la planète. Couvrant 66 % de la surface terrestre, ces espaces restent très largement méconnus puisque moins de 20 % sont cartographiés et moins de 5 % explorés (*The Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030 Project*, 2022). L'essentiel des données scientifiques disponibles concerne les zones marines ne dépassant pas 50 mètres de profondeur.

Les ressources minières

Les ressources minérales ont été le premier potentiel des grands fonds marins à être identifié et évalué pour leurs intérêts économiques et géostratégiques.

Réparties dans tous les océans, d'importantes réserves de métaux de base à forte valeur économique (cobalt, nickel, cuivre, manganèse, baryum, or, argent etc.) et des **métaux critiques à potentiel technologique élevé et risques d'approvisionnement majeurs** (indium, germanium, cadmium, antimoine, sélénium, molybdène, bismuth, terres rares...) sont présents à diverses profondeurs dans trois environnements : nodules polymétalliques, encroûtements cobaltifères et sulfures hydrothermaux (Figure 1).

Aux côtés des métaux à forte valeur économique et stratégique, il faut noter les **platines et platinoïdes** dont les moyens d'approvisionnement actuels semblent assurer encore deux cents ans de consommation et dont l'usage pourrait être substituable. D'autres ressources énergétiques originales comme de **l'hydrogène naturel et des hydrates de méthane** ont été également identifiées dans les sites hydrothermaux.

Trois grands types de ressources minières

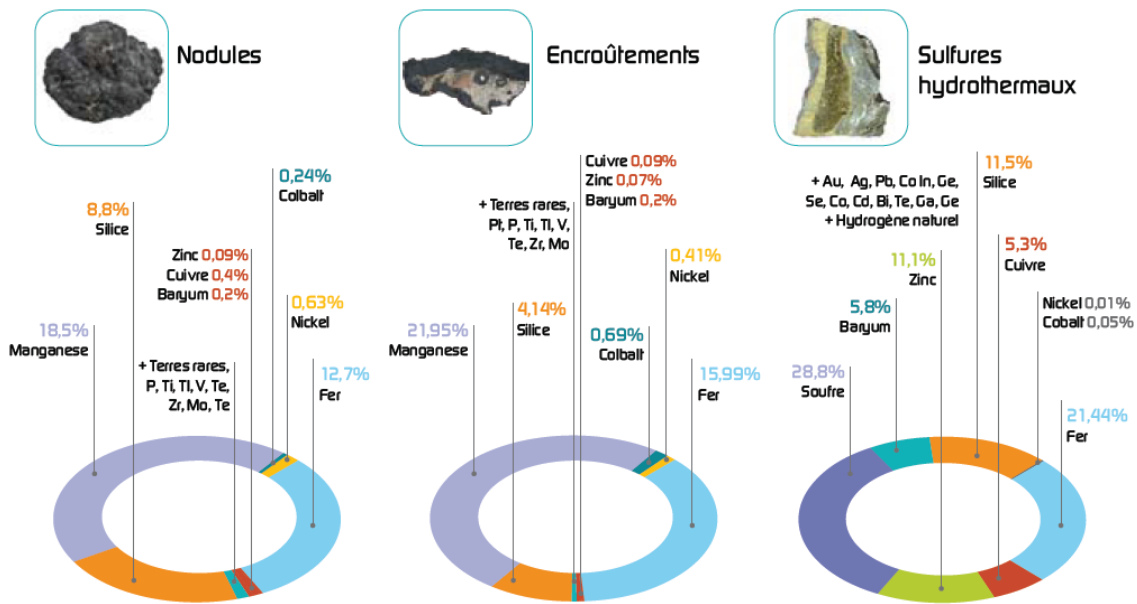


Figure 1: Concentration (% en poids) en éléments majeurs dans les minéralisations des grands fonds marins (source Ifremer).

Comparés aux mines terrestres, les gisements sous-marins connus présentent des teneurs métalliques au moins équivalentes et souvent supérieures, notamment dans les sources de sulfures hydrothermaux. L'exemple du projet Solwara (Papouasie Nouvelle-Guinée) a mis en évidence des teneurs en cuivre 2 à 3 fois supérieures à celles présentes dans des gisements terrestres (Ifremer, 2011).

Les ressources biologiques et écosystémiques

Au-delà de ces ressources minérales, les grands fonds marins abritent une grande diversité d'écosystèmes, une mosaïque d'habitats où les organismes vivent en symbiose avec les substrats et les sources d'énergie présents. Considéré comme azoïque jusqu'au milieu du XIX^e siècle, l'océan profond apparaît maintenant comme un élément essentiel de la biosphère de la planète, dont la majeure partie de la surface (80 %) reste à décrire et cartographier (Danovaro *et al.*, 2020).

Voici la vie récemment observée dans quelques écosystèmes :

- les **plaines abyssales**, surtout sédimentaires, abritent beaucoup d'espèces différentes, mais très petites et en petit nombre (faible biomasse) ;
- les **coraux profonds**, situés dans des zones à forts courants qui apportent des débris nutritifs ;
- les **sources hydrothermales** favorisent une forte présence de bactéries, un faible nombre d'espèces avec une biomasse importante (moules, poulpes géants) ;

- les **sources de fluides froids**, écosystème qui bénéficie d'une source d'énergie réduite et qui se caractérise par une faible diversité et de fortes biomasses ;
- les **carcasses de baleines** qui hébergent des organismes très variés pendant plusieurs décennies.

L'humain n'est qu'au début de la découverte de ce gigantesque patrimoine biologique. Ainsi, l'Ifremer estime qu'environ 250 000 espèces sont connues et entre 1 et 10 millions d'espèces marines sont à découvrir.

Ces espèces se caractérisent par leur capacité d'adaptation à des environnements extrêmes et variables. Les conditions extrêmes (obscurité, très forte pression, chaîne alimentaire réduite) ont fait émerger des formes de vie uniques capables d'utiliser des sources d'énergie alternative (chimiosynthèse) et de transformer la matière par des voies originales (Liu *et al.*, 2019), souvent de façon symbiotique avec leur environnement minéral. La grande diversité des bactériophages présents dans les grands fonds marins suscite un intérêt croissant par leur capacité à intégrer et modifier des génomes bactériens.

Un certain nombre de médicaments issus de la recherche sur des produits naturels marins sont déjà sur le marché, notamment dans le domaine de l'oncologie (Ghareeb *et al.*, 2020 ; Pereira, 2019). On peut anticiper qu'une exploration plus intensive des grands fonds marins pourrait conduire à des découvertes majeures en santé humaine, biotechnologies, énergies, matériaux et architecture (biomimétisme).

Aujourd'hui, les connaissances en biologie se concentrent autour des cheminées hydrothermales actives, mais peu sur les zones inactives où la biodiversité aurait été préservée depuis plus longtemps et qui pourraient apporter un éclairage inédit sur l'origine de la vie (Le Bris et Arnaud-Haond, 2011).

Dans le même temps, les fonds marins ne sont pas des écosystèmes isolés, mais bien interconnectés aux compartiments du système Terre, en particulier au travers du cycle du carbone et des courants océaniques. Les services écosystémiques associés aux zones océaniques profondes commencent à être appréhendés (Figure 2).

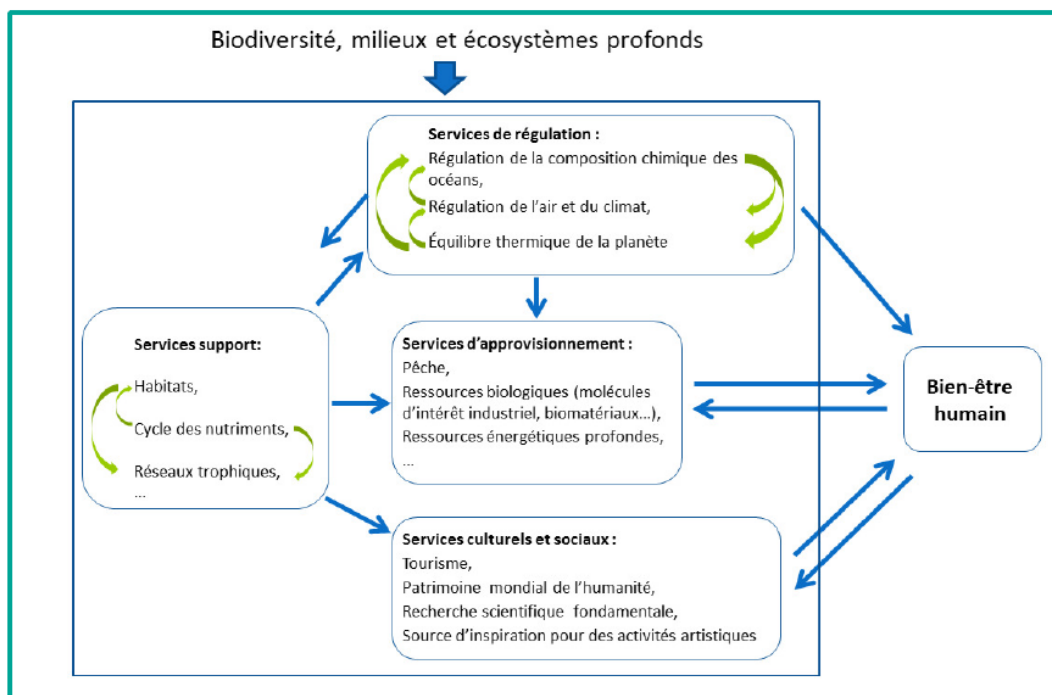


Figure 2: Services écosystémiques des grands fonds marins (Ifremer, 2014)

Les connaissances scientifiques ne permettent pas à ce stade d'évaluer la valeur de ces services ni d'anticiper de façon précise les impacts d'une exploitation minière dans le futur (Ifremer, 2014).

En conclusion, 3 points saillants ressortent de notre analyse :

1. des connaissances fragmentaires sur les ressources en quantité, type et localisation, notamment pour les bioressources ;
2. un milieu fragile avec un risque important qu'une exploitation non maîtrisée impacte négativement et de façon irrémédiable les écosystèmes établis depuis des milliers voire des millions d'années. Ce milieu possède une faune et une flore endémiques et comporte des fonctions régulatrices pour la planète ;
3. un lien étroit avec les autres activités en eaux moins profondes des océans dans un schéma des services écosystémiques qui reste à appréhender et évaluer.

Cependant, les enjeux potentiels identifiés à ce stade sont suffisamment importants pour continuer à engager des efforts de recherche et d'exploration. Dans les chapitres suivants, nous allons passer en revue ces principaux enjeux.

CONNAÎTRE POUR PROTÉGER ET VALORISER

Les enjeux technico-économiques

La mise en œuvre des transitions énergétiques nécessaires face aux enjeux du réchauffement climatique se traduit par une utilisation accrue de ressources minérales, devenues indispensables pour la production, le stockage, le transport et l'utilisation d'énergie non fossile (Lepesant, 2018).

Dans une étude parue en 2018, la Banque mondiale a retenu 17 éléments essentiels à cette transition (Hund et al., 2020). Quels que soient les scénarios envisagés, la demande dans la plupart de ces ressources va augmenter avec, par exemple, des besoins en lithium, cobalt et graphite multipliés par 5 dans un scénario de développement technologique nécessaire pour limiter le réchauffement à 2 °C vers 2050. Une étude analogue, portant sur différents scénarios d'évolution du mix énergétique français, conduit à des conclusions similaires (de Marsily & Tardieu, 2018).

Face à cette demande croissante d'une part et aux risques d'approvisionnement accrus liés à la déplétion des ressources minières terrestres et aux instabilités géopolitiques d'autre part, les États cherchent à sécuriser l'accès aux métaux considérés comme critiques (*Actualisation de la liste des substances critiques pour l'UE | MineralInfo, 2022*).

En France, plusieurs programmes de recherche et d'exploration réunissant des acteurs publics comme Ifremer, IRD, BRGM, et des acteurs privés comme Eramet et Technip ont été lancés entre 2005 et 2017 avec des moyens et technologies provenant du domaine pétrolier. Des pilotes ont été menés en 2017 par la Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC) et par Nautilus Minerals Inc. dans le cadre du projet Solewara (Cuyvers *et al.*, 2018).

Ces projets et bien d'autres n'ont pas abouti à une démonstration probante de faisabilité technique et de rentabilité économique.

Sur le plan technique, les solutions de ramassage sur une très grande surface (pour les nodules), grattage ou excavation (pour les encroûtements ou les sulfures) restent à l'état de prototypes. Les technologies de remontée à la surface, maîtrisées dans le cadre de l'exploitation des gaz et pétroles, ne sont pas adaptées au type de matériaux extraits. La question du transport du minerai ainsi que celle de son traitement métallurgique offshore à grande échelle et bien d'autres questions essentielles en termes d'impacts (que faire des déchets ?) restent ouvertes (Dyment *et al.*, 2014).

Sur le plan économique, la volatilité du cours des métaux ne permet pas une visibilité du retour sur investissement pour les acteurs économiques.

Les coûts d'exploitation varient fortement en fonction du type de gisement (*An Assessment of the Costs and Benefits of Mining Deepsea Minerals in the Pacific Island Region Deep-sea Mining Cost-Benefit Analysis, 2016*). Les coûts des externalités peuvent conduire à une absence totale de profit pour l'exploitant si celui-ci doit les prendre en charge. Les retombées économiques locales

semblent faibles, les analyses coûts/bénéfices et les études d'acceptabilité sociale par les territoires concernés insuffisantes.

Les enjeux écologiques

Au-delà des aspects économiques qui font des océans, une réserve minière et une réserve de pêche, l'océan joue un rôle vital dans l'équilibre écologique depuis l'origine de la vie. Il constitue par son volume un réservoir extrêmement stable, essentiel aux équilibres climatiques, gazeux et à la biodiversité.

La biomasse de l'océan capte par photosynthèse le CO₂ et contribue de façon fondamentale aux équilibres climatiques, notamment en fixant une partie du carbone excédentaire généré par l'activité humaine. Cette biomasse est encore en cours d'évaluation et pourrait être deux fois plus grande que celle estimée par le Giec (Bar-On & Milo, 2019).

La faune et la flore des grands fonds marins sont endémiques, mais fortement liées et dépendantes de la surface (notamment en apport de nutriments). La capacité de l'eau à dissoudre les gaz et les solides expose ce milieu aux rejets toxiques liés à l'activité humaine. La plupart des pollutions de l'océan se retrouvent ainsi dans la chaîne alimentaire aquatique puis terrestre. L'absence de lumière et la faible température des fonds des océans en font un milieu très lent à se régénérer.

La communauté scientifique estime que l'exploitation minière aura très probablement de nombreux impacts directs et indirects sur les espèces marines (Chin & Hari, 2020) (Figure 3).

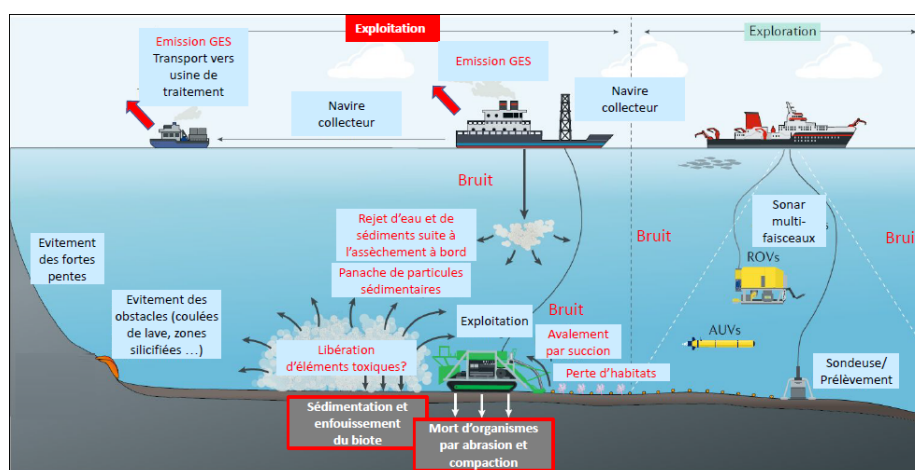


Figure 3 : Impacts potentiels des activités d'exploration et d'exploitation minière sur l'écosystème marin (Hein & al. 2020, adapté par Christmann, 2021)

On sait que les activités d'exploitation génèreraient des nuages de sédiments, formant des particules en suspension qui pourraient être déplacées, potentiellement sur des milliers de kilomètres. De tels nuages peuvent éventuellement remonter dans les colonnes d'eau en fonction des courants marins. La dépose de sédiments pourrait affecter fortement les micro-organismes des fonds marins. Le

phytoplancton pourrait être touché par la présence de certains métaux, réduisant ainsi la nourriture pour de nombreuses espèces marines (Ahnert & Borowski, 2000).

Le prétraitement local sur le bateau d'une partie des nodules va produire des déchets qui seront sûrement déversés dans l'océan, avec une certaine toxicité liée aux métaux artificiellement relargués.

Il n'existe actuellement aucune étude d'impact sur une exploitation à grande échelle. L'impact sur la biomasse et le rôle de stockage de carbone des océans, et donc indirectement sur le climat, est également peu connu. Cet impact dépendra des procédés d'exploitation, de la composition et de la toxicité éventuelle de ces nuages.

Les enjeux juridiques

L'océan a longtemps été soumis à la doctrine de la liberté de la mer, énoncée au XVII^e siècle avec le célèbre texte *Mare Liberum* publié en 1609. La mer y est considérée comme une chose commune, c'est-à-dire qui appartient à tous, voire une chose publique (Grotius & de Grandpont, 1845).

En 1945, le président des États-Unis, Harry S. Truman, étend unilatéralement la juridiction des États-Unis sur toutes les ressources naturelles du plateau continental américain (pétrole, gaz, minéraux...) remettant en question pour la première fois la doctrine de la liberté des mers.

Il s'ensuit un long processus juridique pour définir les règles communes d'usage de la mer. Il aboutit à la Convention des Nations unies sur le droit de la mer (CNUDM), signée le 10 décembre 1982 à Montego Bay. Elle est entrée en vigueur le 16 novembre 1994. La France a ratifié la convention en 1996.

La convention de Montego Bay détaille dans son article 87 les libertés de la haute mer et notamment la liberté de navigation, de survol, de pêche, de recherche scientifique, de pose de câbles.

Cette convention est considérée comme l'un des instruments juridiques les plus importants du XX^e siècle :

- elle a introduit le concept de zone économique exclusive (ZEE) ;
- elle a reconnu le droit des États à étendre leur plateau continental bien au-delà de cette limite ;
- elle a créé l'Autorité Internationale des Fonds Marins (AIFM) pour gérer les ressources dans la zone internationale (la Zone), la Commission des Limites du plateau continental (CLPC) et le Tribunal international du droit de la mer.

Depuis ces dates, nous assistons à une fragmentation juridique et une territorialisation progressive de l'océan avec la prééminence des intérêts individuels des États.

Force est de constater qu'aujourd'hui au moins 40 % de la surface de l'océan est sous la souveraineté des États. Ce mouvement résulte de la volonté des États d'étendre leur emprise sur les ressources, marquant une volonté d'extension de leur souveraineté sur des espaces et des ressources de plus en plus éloignés. On assiste à une compétition pour le contrôle des espaces maritimes. Cette compétition répond à des besoins stratégiques : la maîtrise des ressources présentes ou potentielles et des flux maritimes.

Des régimes juridiques différents régissent la mer territoriale et les zones économiques exclusives (ZEE). Un État exerce sa pleine souveraineté sur sa mer territoriale. Sa ZEE est soumise à un régime juridique spécifique. La navigation est libre et l'État n'exerce pas sa souveraineté. L'État dispose en revanche de droits aux fins d'exploration et d'exploitation des ressources. Il est donc compétent pour l'exploitation des richesses s'y trouvant.

Compte tenu des droits d'exploitation exclusifs des ressources qu'elle contient, la ZEE est un enjeu géopolitique majeur pour de nombreux pays et une source de conflits pour son contrôle. On peut citer l'exemple du Brésil qui cherche à agrandir ce qu'il surnomme l'Amazonie bleue, ou encore celui des tensions pour le contrôle de la mer de Chine du Sud.

Une accélération des demandes d'exploration de la Zone

Les contrats d'exploration sont accordés par l'AIFM pour une période de quinze ans. Les activités d'exploration consistent principalement en études de l'environnement, échantillonnages, études géologiques et évaluation des ressources minérales, et ont un impact environnemental.

En juin 2020, trente contrats d'exploration de la Zone étaient en vigueur, impliquant vingt-deux États, dont douze États en développement, et cinq petits États insulaires en développement (PEID) (les Îles Cook, Kiribati, Nauru, Singapour et les Tonga).

Des mers sans gouvernail

La territorialisation des océans en cours ne se traduit pas par une amélioration de leur gouvernance. Ils sont sous l'emprise des États, mais restent sans gouvernail.

L'Autorité se consacre actuellement à la mise en place d'un code de réglementation de l'exploitation de ces ressources. Cela comprend la prise en compte des questions technologiques, financières et environnementales.

Comment le droit international de la mer doit-il évoluer pour être plus adapté aux réalités écologiques ? Comment le droit international de la mer peut-il permettre un système de gouvernance mondiale protégeant efficacement les fonctions écologiques essentielles de l'océan et contribuant à l'ODD 14 - « Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable » ?

Les enjeux géostratégiques

Lors d'une visite du port militaire de Toulon, le Premier ministre Édouard Philippe a introduit clairement le problème géostratégique « Ce qui n'est pas surveillé est visité, ce qui est visité est pillé et ce qui est pillé finit toujours par être contesté » (Édouard Philippe, 2017).

Les grands fonds marins : un nouveau terrain de rapports de forces ?

À l'instar de l'espace et du domaine cyber, les grands fonds marins sont de plus en plus considérés comme un espace possible de conflictualité (Ministère des Armées, 2021). Le terme de « guerre des grands fonds marins » (*Seabed Warfare*) apparaît désormais clairement dans les discours stratégiques, et ce, même si la notion n'est pas récente.

La première action de guerre ciblant des câbles sous-marins date ainsi de la fin du XIX^e siècle durant le conflit hispano-américain où les États-Unis, souhaitant perturber les communications de leur adversaire, coupèrent plusieurs câbles reliant l'Espagne à ses colonies transatlantiques (Morel, 2015). Vingt-cinq ans plus tard, dès le début de la Première Guerre mondiale, les câbles allemands passant sous la Manche sont coupés par les Britanniques et les Russes qui emploient la même tactique lors de l'annexion de la Crimée en 2014. Dans le cadre du conflit actuel en Ukraine, l'atteinte à ces infrastructures reste un risque majeur redouté par les parties.

Si la mer a toujours été l'objet de logiques d'appropriation et de volontés de souveraineté, comme l'illustre la politique maritime chinoise depuis plusieurs années (Trung Dung & Agence de presse, 2018), le plancher océanique n'échappe donc pas aux mêmes ambitions qui ont évolué en même temps que la criticité des infrastructures qu'on y trouve et des développements technologiques permettant d'y accéder.

Ainsi, les câbles sous-marins ont vu à la fois leur nombre et leurs capacités devenir gigantesques (Figure 4).

Formant un réseau de près de 400 tronçons pour près de 1,2 million de kilomètres, ils voient transiter 97 % du trafic numérique mondial (communications, flux financiers...) (Soubrier, 2021) dans un contexte où 92 % des données numériques intéressant l'Europe sont stockées aux États-Unis (Amiot *et al.*, 2020)).

À cela, on peut rajouter des gazoducs, des oléoducs, des réseaux de transport d'électricité et d'autres infrastructures vitales ou à haute sensibilité... Dans ce contexte, les objectifs réels du navire « océanographique » russe Yantar, observé naviguant le long des zones où se trouvent des câbles sous-marins sensibles *via* lesquels circulent notamment des informations liées à l'Otan restent une incertitude préoccupante.

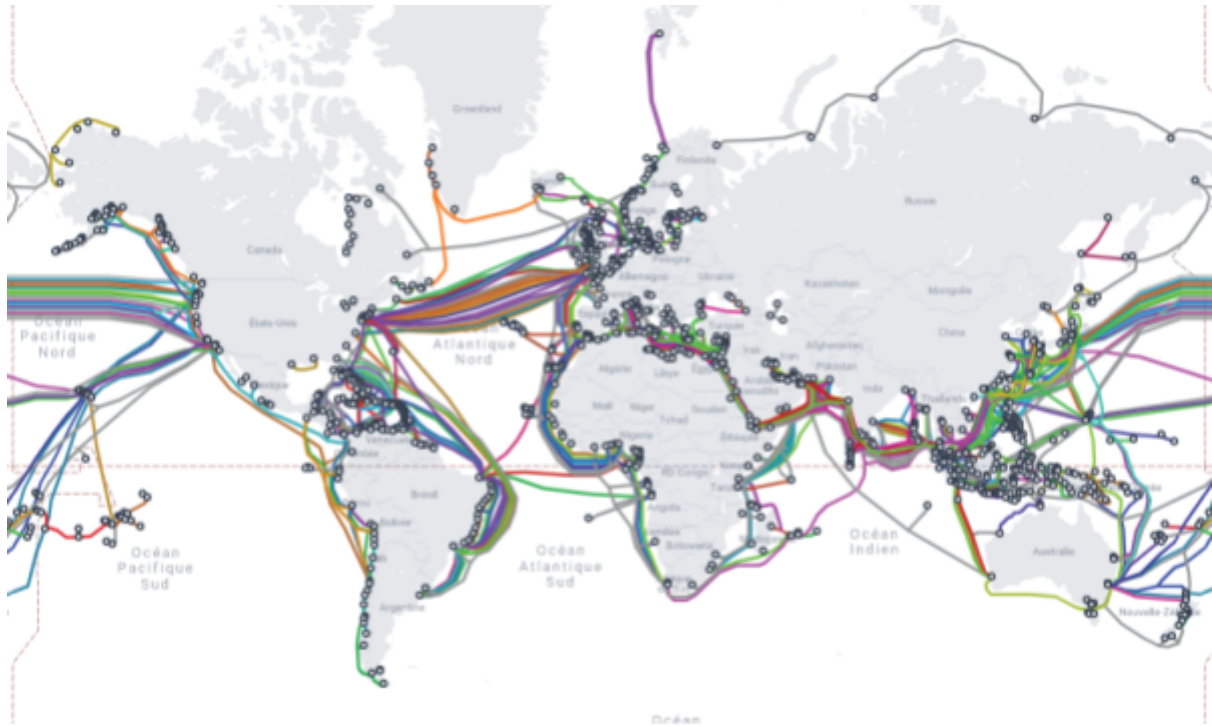


Figure 4 :Cartographie des cables sous-marins (2021, source : <https://www.submarinecablemap.com>)

Une priorité pour les États : développer des capacités d'exploration et d'action

Une des caractéristiques des grands fonds marins est leur opacité. Elle rend complexes à la fois l'identification d'un agresseur éventuel et la possible dissimulation des activités d'un État « adverse ».

Cette ambivalence est d'autant plus fondamentale que la maîtrise des espaces maritimes et aéromaritimes dépend de celle du plancher océanique sur lequel peuvent être disposés des moyens de détection et d'action.

Avec la remilitarisation croissante observée, le développement de vecteurs adaptés (drone, capteurs, sonars, sous-marins, mines... que l'on retrouve au sein de la composante « Subsea and Seabed Warfare (SSW) » de la marine américaine ou dans le projet « Grande Muraille » chinois) ou de moyens d'écoute (comme les programmes SOSUS pour les États-Unis ou Harmonie pour la Russie) (Barotte, 2021), la connaissance de ce qui se passe (ou qui est susceptible de se passer au niveau des grands fonds) apparaît donc comme prioritaire, car elle s'impose comme un prérequis pour la protection des flottes, des installations et des activités.

Trois enjeux majeurs se dessinent ainsi dans l'approche stratégique des grands fonds et dans la capacité de pouvoir y agir ;

- la défense des infrastructures critiques qui s'y trouvent ;

- le déploiement de moyens de détection ;
- la capacité d'intervention et d'action (en particulier pour la récupération d'objets abîmés...).

Connaître, comprendre, détecter, agir... Dans le domaine géostratégique, il apparaît prioritaire de garantir, par une maîtrise du milieu, la liberté d'action des forces au niveau des grands fonds marins, de protéger les intérêts nationaux qui y reposent et de défendre la souveraineté nationale en y associant une réaffirmation du droit international.

Les enjeux éthiques

Nous parlerons ici d'éthique en tant que questionnement guidé en direction d'un bien-agir pour l'espèce humaine, mais aussi envers toutes les autres espèces du vivant au sens large puisque la science a désormais démontré que les destins du vivant sont intimement liés comme le développe le concept de « One Health ». La survie de l'humanité dépend donc tout autant de sa capacité à adapter l'habitabilité de sa planète aux nouvelles conditions écologiques créées (adaptation) qu'à sa capacité à faire en sorte que son environnement change le moins possible (atténuation). Or, le rapport du Giec du 28 février 2022 est à nouveau formel quant à ce point : au-delà de 1,5°C de réchauffement par rapport à l'ère préindustrielle, les sécheresses, inondations, tempêtes et autres aléas climatiques mettront à mal notre résilience. La question du bien-agir se pose ainsi en termes quasi instinctif puisqu'il en va de la survie de notre espèce. La vie humaine se veut biologique, socio-psychologique, existentielle et matérielle. En ce début de XXI^e siècle, il ne fait plus de doute que la survie de l'humain dépend de l'équilibre qu'il instaure entre ses modes de vie et les écosystèmes naturels.

Si les océans sont le lieu d'une chaîne alimentaire allant du micro-organisme à l'humain, devons-nous prendre le risque de la perturber directement ? Nous savons notamment que pour extraire une faible quantité de minerais nous devons reverser une grande quantité de déchets dans l'eau, dont des polluants ; nous savons également que les courants marins rendront les impacts de l'extraction peu maîtrisables et diffus.

Si « un quart du gaz carbonique issu de la combustion des énergies fossiles est absorbé par les eaux marines de surface puis réparti dans toute la colonne d'eau » (Ifremer.fr, « *Absorption de CO₂ : comment l'océan régule le climat ?* »), alors bien agir demande de préserver ce système qui ralentit le réchauffement climatique. Nous savons que les grands fonds marins sont interconnectés aux autres sphères de la planète et participent à l'équilibre gazeux en créant 50 % de l'oxygène : devons-nous prendre le risque de détériorer davantage ce fonctionnement en intervenant directement sur l'exploitation de l'environnement où il prend forme ?

Si le froid et l'obscurité font des grands fonds marins un milieu lent à se régénérer, devons-nous prendre le risque de le détériorer de manière durable alors qu'il nous est précieux pour répondre aux besoins primaires de l'humanité, boire, manger, respirer ?

Au-delà des aspects de survie, la justice sociale comme économique est un vecteur de paix et la paix une condition de notre survie. En conséquence, nous devons penser les richesses des océans, et donc des grands fonds marins, comme un patrimoine universel et mesurer les impacts d'une éventuelle exploitation sur l'activité économique des populations locales.

Aujourd'hui les grands fonds marins sont le parent pauvre de l'écologie: la méconnaissance de leur rôle dans l'équilibre naturel général, l'impensé éthique, la multiplicité des sujets et des crises à traiter pour les gouvernements (pauvreté, géopolitique, pandémies ...) dans un contexte où nos modes de vie restent très prédateurs en ressources amènent chaque pays à faire des choix plus ou moins éclairés, voulus ou subis dont les conséquences, elles bien réelles, tracent l'avenir des grands fonds marins selon différents scénarios.

QUELLES STRATÉGIES D'EXPLORATION POUR QUELS FUTURS DES GRANDS FONDS ?

À l'issue de la revue de littérature et de l'audition des spécialistes dans le cadre de l'atelier IHEST et des conférences publiques, nos réflexions sur les forces qui structurent les activités menées dans les grands fonds marins se cristallisent autour de six pôles.

Nous les concevons comme des forces d'attraction, ou *attracteurs* au sens du philosophe Bruno Latour (Latour, 2017), qui nous permettent de mieux situer les intérêts et motivations des acteurs, les orientations prises dans leurs différents plans - programmes - projets, ainsi que les controverses suscitées. Cette structuration nous permet également de mettre en perspective les principales variables dans une construction collective de notre vision du futur.

Une projection à l'horizon 2050 inscrit nos réflexions dans une démarche pédagogique en nous appuyant sur les scénarios du Giec, de l'IEA et de l'Ifremer sur les mêmes horizons afin d'entrevoir les perspectives d'évolution et les leviers d'action pour la France dans les grands fonds.

1. **Marché** : forces agissant sur l'offre et la demande

- La pression sur l'offre due aux besoins en métaux liés à la croissance économique, démographique, l'urbanisation, les transitions énergétiques et des problèmes de sécurité d'approvisionnement des métaux critiques.
- Cette pression peut être atténuée par un développement des solutions alternatives d'Éco-conception - Réutilisation - Recyclage et une politique d'approvisionnement durable.

2. **Écologie** : état de nos connaissances scientifiques

- La compréhension de l'écosystème océanique et des interactions Terre-Mer-Atmosphère permet une meilleure quantification des services écosystémiques et une meilleure maîtrise des impacts des activités anthropiques au fond de l'océan.

- La prise en compte des métaux comme ressources non renouvelables dans l'analyse de cycle de vie des projets, des technologies.

3. Technologie : développements technologiques tirés par les programmes «polyvalents» public-privé

- Exploration, observation et analyse *in situ*.
- Surveillance-préservation des environnements.
- Expérimentation - exploitation industrielle.

4. Géostratégique : volonté et capacité de contrôle des États sur les accès aux ressources minérales

- La tendance de territorialisation de l'océan et la volonté de captation des ressources renforce les activités étatiques dans la Zone : surveillance et protection des infrastructures, câbles, transports, pêches...
- Investissement dans les moyens d'intervention (maintenance, sauvetage, défense).

5. Juridique : capacités d'influence au sein des instances nationales et supranationales

- La consistance du concept de Patrimoine commun (CNUDM) appliquée aux grands fonds marins reste à renforcer avec notamment la notion des Aires Marines Protégées (AMP) par les États sur leurs propres ZEE, et celle des Aires à Intérêt Environnemental Particulier (APEI) associées aux zones d'exploitation minière potentielles (Gianni, 2022).
- La gouvernance de l'AIFM, ses capacités à élaborer et à faire respecter un Code minier marin, ainsi que le «vide juridique» sur les ressources génétiques appellent à évoluer.
- La cohérence d'une juridiction nationale dans le domaine minier, écoconception et recyclage afin d'assurer la souveraineté dans les transitions à mener.
- La montée en puissance des droits de l'environnement (exemple : droit à la biodiversité) à l'échelle territoriale avec une portée internationale donnant lieu au recours de la société civile contre les projets d'exploitation étatiques (Rochfeld, 2019).

6. Éthique : valeurs et principes déterminant l'orientation d'un bien-agir d'un acteur-décideur


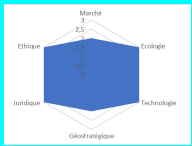
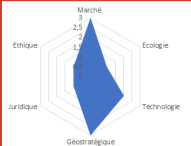

- Une conscience écologique grandissante des populations qui s'informent sur les consensus scientifiques et exigent plus de transparence de la part des acteurs économiques
- Une mise en garde contre le « greenwashing »
- Un dynamisme des ONG, associations, conventions citoyennes pour influencer et peser sur les

décisions

- Éthique et morale comme leviers de transition (sobriété, conception et consommation responsable, santé globale - *One Health*)

La combinaison de ces perspectives d'évolution des forces agissantes (dont certaines sont antagonistes) nous conduit à 4 scénarios contrastés du futur des grands fonds marins.

Les principales caractéristiques de ces scénarios sont résumées dans le tableau suivant. Une description détaillée de chaque scénario se trouve en annexes.

Scénario	Business as Usual	One Ocean One Health	Out of Control	Out of the Box
Intensité relative des forces				
Marché : forces agissant sur l'offre et la demande	Croissance exponentielle des besoins pour le développement économique et sa posture « décarbonées » ; rentabilité économique incertaine;	Besoin stable et maîtrisé grâce à la sobriété, éco-conception, recyclage, bioressources renouvelables , circuits courts comme norme de commerce ; fiscalité écologique	Croissance exponentielle des besoins ; déplétion des mines terrestres ; prix volatils des métaux et spéculation ; exploitation opportuniste impactant d'autres activités économiques: la pêche, le tourisme ...	Besoin maîtrisé combinant une exploitation raisonnée des mines terrestres, gestion de déplétion; exploration et valorisation raisonnées des ressources des grands fonds marins , émergence de nouveaux acteurs économiques, consortiums public-privé européens
Écologie : état de nos connaissances scientifiques	Les impacts négatifs mis en évidence alourdissent les coûts	Exploration frugale des grands fonds marins pour connaître et maintenir la biodiversité	Impacts forts sur biodiversité et climat ; accidents industriels ; catastrophes	Articulation dynamique entre recherche - innovation - préservation
Technologie : développements technologiques tirés par les programmes 'polyvalents' public-privé	Optimisation technologique venant du monde pétrolier, minier et métallurgique ; position attentiste des industriels	Généralisation de l'éco-conception et du recyclage des métaux ; innovations frugales dans les industries et les institutions ; innovations en bioressources	Investissements opportunistes dans la R&D et exploitation, sans prendre en compte des problèmes de déchets	Généralisation de l'éco-conception et du recyclage; investissements publics en R&D minière responsable sur des critères précis de préservation ; innovations radicales en bio-ressources renouvelables
Géostratégique : volonté et capacité de contrôle des États sur les accès aux ressources minérales	Volonté des États de contrôler leurs ressources ; territorialisation des grands fonds marins ; tensions et conflits locaux ponctuels	Les États économisent leurs moyens d'intervention; gouvernance mondiale et inclusive ; police des grands fonds marins avec surveillance et sanctions	Tensions et conflits réguliers ; investissement massif dans la défense et la surveillance ; polarisation et conflit global ; alliances opportunistes et compétition à l'échelle européenne et internationale	Alliance entre les États ayant les mêmes valeurs ; partage des moyens de surveillance et d'intervention ; stratégie de souveraineté pour l'UE

Juridique : capacités d'influence au sein des instances nationales et supranationales	Code minier adopté; 1er permis d'exploitation en 2023 pour Nauru, suivi d'autres projets	Moratoire sur l'exploitation des grands fonds marins ; refonte du droit de la mer	Accroissement des procès et recours juridiques pour l'usage des taxes de l'AIFM	Normes élaborées sur les démonstrations scientifiques ; contrôle d'accès au marché des métaux renforcé ; « bilan minéral » ; normes d'exploitation de l'AIFM protectrices pour l'environnement
Éthique : valeurs et principes déterminant l'orientation d'un bien agir d'un acteur-décideur	Les populations peu informées et mobilisées ; certains débats locaux sur les projets concrets d'exploitation	Les populations fortement mobilisées pour la sobriété, transparence et traçabilité exigées ; débats et processus participatifs	Tensions sociales ; conflits entre sociétés civiles, politiques, industriels	Les populations informées et mobilisées ; partage équitable des retombées économiques ; sobriété généralisée

CONCLUSIONS - RECOMMANDATIONS

Vingt ans après le premier permis d'exploration des nodules dans la zone Clarion-Clipperton (Pacifique Nord équatorial), trente autres permis ont été délivrés par l'AIFM dont neuf en 2020. À l'issue d'un délai de quinze ans, il y a trois choix possibles : prolonger l'exploration pour cinq ans maximum, procéder à l'exploitation ou rendre la Zone à l'AIFM pour la céder à un éventuel repreneur. La toute prochaine échéance sera en juin 2023 quand l'AIFM devra prononcer son Go/NoGo au projet d'exploitation NORI porté par le gouvernement de Nauru¹ et la société minière canadienne Deep Green².

Un **moratoire** a été déposé par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) pour suspendre toute exploitation des grands fonds sans évaluation indépendante préalable des impacts environnementaux.

Le gouvernement français n'a pas signé ce moratoire parce qu'il estime que ce dernier n'a pas défini de façon précise les conditions requises pour une exploitation (Velo, 2021), ce qui équivaldrait donc à une interdiction.

Dans le même temps, la France se lance dans une **nouvelle stratégie nationale d'exploration et d'exploitation des ressources minérales dans les grands fonds marins**. Ce plan national est aujourd'hui intégré dans le Programme prioritaire de recherche (PPR océan et Climat) impliquant 8 ministères, l'ANR, le CNRS, l'Ifremer, renforcé par le plan France 2030 et confirmé par un décret d'application le 17 mars 2022. Un groupe de travail est mis en place pour veiller à sa bonne exécution.

¹ https://www.francetvinfo.fr/monde/asie/lile-de-nauru-du-reve-au-cauchemar_3068375.html

² <https://metals.co/company/>

La France a des atouts indéniables pour réussir ces projets et consolider sa position dans les grands fonds marins :

- expertise scientifique, technologies d'exploration, expérience dans la coordination des projets de recherche internationaux ;
- engagement dans la diplomatie internationale et la coopération Nord-Sud ;
- présence active auprès de l'AIFM ; compétence en droits ;
- réseaux d'acteurs coordonnés : Ifremer, CNRS, IRD, BRGM, IPGP, 1 Cluster maritime et 2 pôles de compétitivités épaulés par le SHOM, Groupement des industries navales (GICAN) ;
- capacités civiles et militaires de surveillance et d'intervention aéro-maritime .

Cependant, sans vision stratégique à long terme, un programme se réduirait à une collection de projets opportunistes (Lévet, 2022). Cette vision est d'autant plus importante pour mobiliser un grand nombre d'acteurs et atteindre une masse critique afin de pouvoir opérer et peser dans un domaine aussi vaste que les grands fonds marins.

Quelle est cette vision que peut incarner la France ? Est-elle suffisamment **claire** pour guider la position à prendre au sein de l'AIFM, que ce soit sur le projet NORI ou sur la suite de ses deux permis d'exploration en cours ? Est-elle suffisamment **fédératrice** pour convaincre les partenaires européens et des alliés potentiels dans la mutualisation des moyens et le partage des résultats ? Est-elle suffisamment **solide** pour engager les acteurs industriels dans la construction d'une filière économiquement viable au-delà des premières vitrines financées par les commandes publiques ? Est-elle suffisamment **ciblée dans son action** pour assurer l'efficacité de l'exécution et l'optimisation des ressources publiques ? Est-elle suffisamment **cohésive** pour répondre aux appels parfois divergents de la société civile pour la préservation de la biodiversité, la justice climatique et les transitions énergétiques, en sortant d'un scénario « Business as Usual » ? Enfin, est-elle suffisamment **résiliente** pour assurer la sécurité de la population en cas de crise ou de conflit dans un scénario « Out of Control » ?

Autant de questions ouvertes qui sont autant de défis à relever.

La construction des scénarios, notamment celui « Out of the Box », nous a permis d'entrevoir certains leviers permettant de sortir des tendances « Business as Usual », de se prémunir contre les risques d'une situation « Out of Control » et d'avancer vers la perspective « One Ocean - One Health ».

Ce sont des pistes de réflexion que nous proposons aux acteurs français opérant dans les grands fonds marins.

1. Une vision stratégique à long terme de la France dans ce nouvel espace marin (elle est clairement nécessaire) devrait être construite avec les acteurs de la société civile qui constituent des forces

actives à la fois dans les domaines **écologique**, **éthique** et **juridique** et qui peuvent peser sur le **marché** par le biais de choix de consommation. Il ne suffit plus de les informer, ils sont des parties prenantes de cette vision commune.

2. La stratégie française dans les grands fonds marins ne peut plus être focalisée sur une perspective d'exploitation des ressources minérales à court et moyen termes. Le SGMer Denis Robin a reconnu cette « *erreur tactique* » lors du colloque organisé par le CESM sur les Grands Fonds le 22 mars 2022. France 2030 centre l'objectif sur les missions scientifiques de **cartographie des ressources, diagnostic des pollutions existantes, mesure des risques et quantification des impacts potentiels d'une exploitation**. Cette réorientation montre un effort d'écoute des pouvoirs publics d'une sensibilité environnementale croissante des acteurs. Pour continuer dans cette dynamique, il est souhaitable de mettre en place un dispositif de dialogue continu avec les parties prenantes (pas juste la diffusion d'informations) afin de partager les avancées, de valoriser rapidement des résultats de recherche et des découvertes, et également de prendre en compte de nouvelles préoccupations ou propositions de la société civile menant à ajuster le programme.
3. La compréhension des **écosystèmes** et l'exploration des ressources biogénétiques marines nécessitent plus de ressources et de temps. Une mutualisation des moyens techniques et des expertises avec d'autres communautés scientifiques (exemple du Giec) et d'autres régions afin de constituer un « GIE Maritime » serait bénéfique. Les pouvoirs publics doivent veiller aux conditions nécessaires à l'émergence d'un **consensus scientifique** sur les limites acceptables et non négociables d'une exploitation des ressources non renouvelables des grands fonds marins. Le soutien à un **moratoire conditionnel** de l'exploitation à court terme prend tout son sens.
4. Une perspective de gestion responsable et exemplaire des ressources des grands fonds marins à long terme dans les ZEE et d'une coopération internationale dans la Zone devait s'inscrire dans un plan plus global d'une politique nationale de gestion des ressources et usages du sous-sol, articulant une stratégie d'approvisionnement responsable et résiliente, une politique forte favorisant l'**approche 3R** (réduction-réutilisation-recyclage) et l'**éco-conception**. La mobilisation de la **société civile** y est également indispensable, sous forme de conventions citoyennes sur la gestion de ressources naturelles contribuant à l'élaboration des orientations politiques à débattre et à voter à l'Assemblée nationale.
5. Vis-à-vis des acteurs industriels, l'investissement dans le développement des technologies nécessaires à l'exploration et à l'éventuelle exploitation dépend de la perspective d'une filière rentable et compétitive. Les commandes publiques peuvent amorcer une filière, mais des modèles économiques soutenables restent à inventer pour assurer la suite. Le concept de **technologies polyvalentes** utilisables dans plusieurs domaines parallèles (espace, défense, énergie, civil, etc.) est prometteur. Dans l'immédiat, il permet de mutualiser les développements technologiques pour

l'observation, la surveillance et la protection opérables à 6 000 m de profondeur. Des missions hybrides d'exploration conjointe d'un entretien des câbles sous-marins sont à favoriser. Un projet pilote de recherche et d'expérimentations des conditions d'exploration-exploitation-conservation serait propice au développement scientifique et technologique faisant progresser nos connaissances des écosystèmes marins (Levet, 2021).

6. Enfin, le **vide juridique dans la gestion des ressources biogénétiques marines** justifie un investissement particulier des acteurs français (scientifiques, juristes, économistes, diplomates...), notamment au sein de l'AIFM et d'autres instances nationales et supranationales, au vu des enjeux potentiellement très importants dans ce domaine.

L'exploration des abysses par l'humain est une histoire récente. Aux côtés des ressources minérales et biologiques dont il convient de faire bon usage, cette exploration nous promet des découvertes majeures sur le climat, sur la biosphère profonde, sur son rôle dans les processus terrestres, et peut-être un jour, dévoilera-t-elle le mystère de l'apparition de la vie sur Terre.

Voilà une aventure qui concerne tous les habitants de notre planète (Laverne, 2020).

RÉFÉRENCES

- Actualisation de la liste des substances critiques pour l'UE | MineralInfo. (2022). <https://www.mineralinfo.fr/fr/actualite/actualite/actualisation-de-liste-des-substances-critiques-pour-lue>
- Ahnert, A., & Borowski, C. (2000). Environmental risk assessment of anthropogenic activity in the deep-sea. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 7(4), 299-315. <https://doi.org/10.1023/A:1009963912171>
- Amiot, E., Palencua, I., Baena, A., & de Pommerol, C. (2020). *European digital sovereignty*. Oliver Wyman ideas APP. <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2020/sep/european-digital-sovereignty.html>
- An Assessment of the Costs and Benefits of Mining Deepsea Minerals in the Pacific Island Region Deep-sea Mining Cost-Benefit Analysis*. (2016). Secretariat of the Pacific Community. <https://apo.org.au/node/261276>
- Bar-On, Y. M., & Milo, R. (2019). The Biomass Composition of the Oceans : A Blueprint of Our Blue Planet. *Cell*, 179(7), 1451-1454. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.11.018>
- Barotte, N. (2021). MER: Les fonds marins, nouveaux théâtres de guerre. *Le Figaro*. <https://www.asafrance.fr/item/mer-les-fonds-marins-nouveaux-theatres-de-guerre.html>
- Chin, A., & Hari, K. (2020). *Predicting the impacts of mining of deep sea polymetallic nodules in the Pacific Ocean : A review of Scientific literature*. Deep Sea Mining Campaign and MiningWatch Canada.
- Cuyvers, L., Berry, W., Kristina, G., Torsten, T., & Caroline, W. (2018). *Deep seabed mining : A rising environmental challenge* (1^{re} éd.). IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.16.en>
- de Marsily, G., & Tardieu, B. (2018). *Stratégie d'utilisation des ressources du sous-sol pour la transition énergétique française*. Académie des Sciences. <https://www.academie-sciences.fr/fr/Rapports-ouvrages-avis-et-recommandations-de-l-Academie/utilisation-des-ressources-du-sous-sol-pour-la-transition-energetique.html>
- Dymont, J., Lallier, F., Lamare, S., Bris, N. L., Rouxel, O., Coumert, C., Morineaux, M., & Tourolle, J. (2014). *Impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes - Expertise scientifique collective* (p. 939).
- Gianni, M. (2022, mars 17). [Interview IHEST - Atelier grands fonds marins].
- Grotius, H., & de Grandpont, A. G. (1845). *Dissertation de Grotius sur La liberté des mers*. Imprimerie royale. <https://books.google.fr/books?id=gyKhAAAAMAAJ>
- Hund, K., Porta, D. L., Fabregas, T. P., Laing, T., & Drexhage, J. (2020). *The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition* (p. 112). Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank.
- Ifremer. (2011). *Les ressources minérales marines profondes*. <https://www.ifremer.fr/Expertise/Matieres-premieres-et-ressources-minerales/Exemples-d-etudes-menees-sur-les-ressources-minerales-marines-profondes>
- Latour, B. (2017). *Où atterrir ? : Comment s'orienter en politique*. La Découverte.
- Laverne, C. (2020). *Reliefs Abysses* (Reliefs).
- Lepesant, G. (2018). La transition énergétique face au défi des métaux critiques. *Études de l'Ifri*. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02385966>
- Levet, J.-L. (2021). *Stratégie nationale d'exploration et d'exploitation des ressources minérales dans les grands fonds marins*. Secrétariat général de la mer.
- Levet, J.-L. (2022, avril 4). *Colloque Grands fonds marins* [Présentation orale]. Ministère des Armées. (2021). Actualisation stratégique. DiCoD.

- <https://www.defense.gouv.fr/sites/default/files/dgris/REVUE%20STRAT%202021%2004%2002%202021%20FR.pdf>
- Morel, C. (2015). Stratégie maritime – Le réseau mondial de câbles sous-marins : Une toile dans la Toile: *Revue Défense Nationale*, N° 784(9), 117-120. <https://doi.org/10.3917/rdna.784.0117>
- Philippe, É. (2017). *Discours du Premier ministre lors de sa visite du Charles-de-Gaulle et du Mistral à Toulon*. <https://www.gouvernement.fr/partage/9555-discours-a-toulon>
- Rochfeld, J. (2019). *Justice pour le climat ! Les nouvelles formes de mobilisation citoyenne*. Odile Jacob.
- Soubrier, J.-B. (2021). Les fonds océaniques, un espace stratégique pour les armées françaises: *Revue Défense Nationale*, N° Hors-série(HS4), 125-138. <https://doi.org/10.3917/rdna.hs06.0125>
- The Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030 Project*. (2022). The Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030 Project. <https://seabed2030.org/>
- Trung Dung, V., & Agence de presse. (2018). *La Chine militarise la Mer de Chine méridionale comme jamais*. APN News. <https://asiepacifique.fr/chine-militarisation-mer-de-chine-meridionale-asiepacifiquenews/>
- Velo, M. (2021, octobre 21). La France veut explorer les océans, mais convoite aussi ses ressources. *Le Monde.fr*. https://www.lemonde.fr/planete/article/2021/10/21/l-irresistible-attraire-des-fonds-marins_6099299_3244.html

ANNEXES

1. Glossaire

Nodules polymétalliques : boules d'une dizaine de centimètres de diamètre. On les retrouve généralement dans les plaines océaniques abyssales entre 3 000 et 5 500 mètres de profondeur, par exemple dans la zone Clarion-Clipperton.

Encroûtements cobaltifères : dépôts qui ont jusqu'à 25 centimètres d'épaisseur et couvrent des surfaces de plusieurs km², sur les reliefs sous-marins et près des volcans immergés, à des profondeurs variant de 400 à 4 000 mètres. Certains experts estiment que la surface totale des encroûtements s'élève à 6,35 millions de km², soit 1,7 % de la surface des océans. Les dépôts présentant le plus fort potentiel économique se situent dans le Pacifique, notamment en Polynésie.

Sulfures hydrothermales : minéralisations découvertes plus récemment, mais constituent les minéralisations les plus prometteuses en milieu marin. Les gisements hydrothermaux sous-marins se retrouvent le long des 60 000 kilomètres de dorsales océaniques.

Mer territoriale : Bande limitée par la ligne des 12 milles marins à partir de la limite de base. La largeur de la mer territoriale a été étendue à deux reprises, et à chaque fois du double. Elle est ainsi passée de 3 (correspondant à la portée des canons) à 6 milles marins à l'occasion de l'adoption de la convention de Genève sur la mer territoriale en 1958 puis de 6 à 12 milles marins en 1982 avec la convention de Montego Bay.

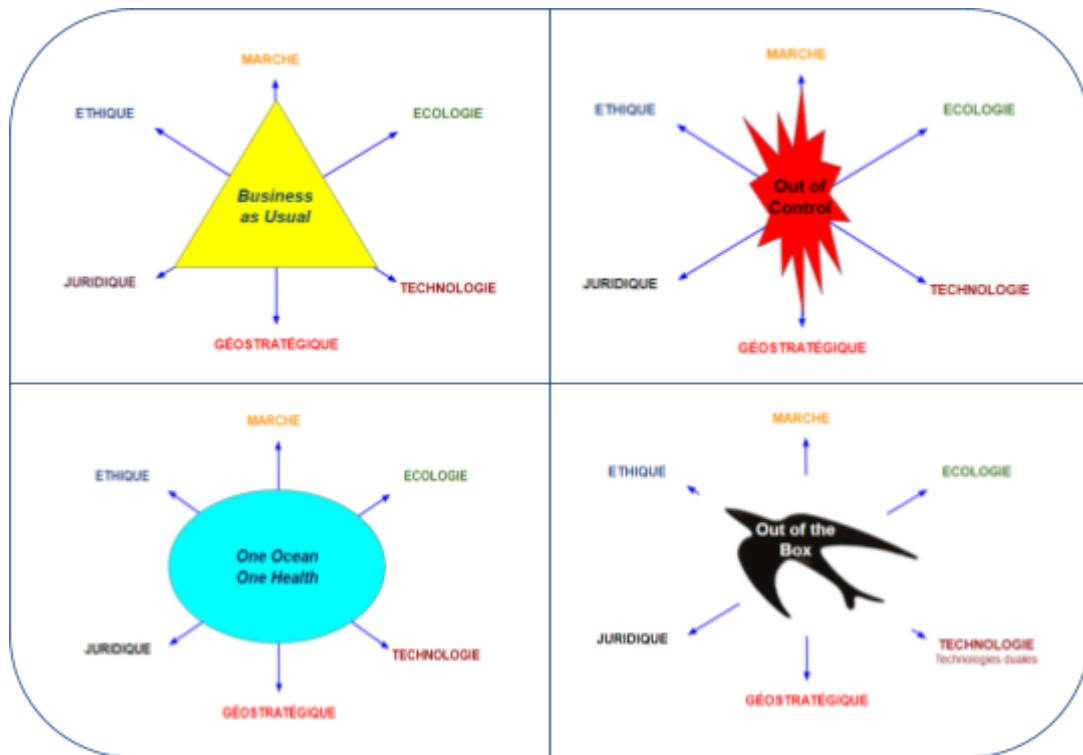
Plateau continental : un replat marin à pente faible, compris entre le littoral et le talus continental. Sa largeur peut varier de quelques kilomètres à plus de 1 000 km.

Zone économique exclusive (ZEE) : Bande limitée par la ligne des 200 milles marins à partir de la ligne de base d'un État, en absence d'autre rivage. En application de l'article 76 de la Convention des Nations unies sur le Droit de la mer de 1982, un État côtier peut prolonger le plateau continental sous sa juridiction au-delà des limites de 200 milles marins.

La Zone : eaux internationales dont l'exploration/exploitation des ressources minérales sont gérées par l'autorité internationale des fonds marins (AIFM). Les zones explorées se trouvent dans la zone de Clarion-Clipperton, l'océan Indien, la dorsale médio-atlantique, l'océan Atlantique Sud et l'océan Pacifique Occidental.

2. Illustration des 4 scénarios

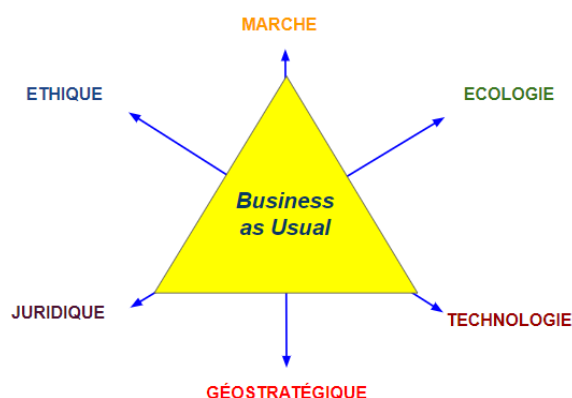
- **Business as Usual** : Ce scénario se caractérise par un dynamisme dominant des forces technico-économiques et juridiques. Les connaissances scientifiques en écologie accumulent des retards et les consciences éthiques restent marginales pour peser dans les décisions. Les facteurs géostratégiques interfèrent de façon épisodique dans les conflits locaux. Ce scénario est symbolisé par un **triangle d'or** dans la matrice des forces structurantes.
- **One Ocean - One Health** : Ce scénario se caractérise par une harmonie des forces autour des grands fonds marins comme Patrimoine commun de l'humanité. Il est symbolisé par un **océan bleu**.
- **Out of Control** : Ce scénario se caractérise par un dynamisme non maîtrisé des forces économiques d'un côté et des conflits géostratégiques de l'autre côté. Il est symbolisé par une **explosion**.
- **Out of the Box** : Dans ce scénario un dynamisme est régi par les consciences éthiques, en s'appuyant sur les connaissances écologiques d'une part et des alliances stratégiques d'autre part. Les technologies duales, polyvalentes et écologiques permettent une surveillance efficace des ressources et des interventions effectives dans le respect des principes de droit et de liberté d'échange. Il nous paraît comme une métamorphose possible et souhaitable pour sortir du *statu quo* (Business as Usual), en évitant les conflits (Out of Control) dans une transition vers l'harmonie (One Ocean - One Health). Ce scénario est symbolisé par une **hirondelle**.



4 scénarios contrastés du futur des grands fonds marins

3. Scénario « Business as Usual »

Malgré une prise de conscience des enjeux climatiques, la société est toujours plus consommatrice de biens matériels et d'énergie. La croissance économique, démographique et l'urbanisation entraînent des besoins exponentiels en métaux critiques malgré la posture « décarbonée » des décideurs derrière les politiques de transition énergétique.



Le marché des métaux subit des pressions fortes de la demande et des ruptures d'approvisionnement dues à des crises sanitaires et à des conflits, rendant les prix volatils. Certains projets miniers des fonds marins reviennent dans l'agenda de R&D et des industriels des secteurs minier, pétrolier et métallurgique. La rentabilité économique de ces projets reste cependant incertaine sans compter les risques écologiques non maîtrisés. Dans l'incertitude, les industriels conservent une position attentiste et attendent une impulsion de l'État pour se positionner.

Les chercheurs progressent dans la connaissance et l'évaluation du potentiel des grands fonds marins (ressources minérales, biogénétiques et services écosystémiques), ils alertent également sur les impacts écologiques négatifs sans pour autant les quantifier de façon précise pour peser sur les stratégies de l'État et des acteurs privés.

Depuis 2023, les premiers permis d'exploitation ont été délivrés par l'AIFM, les différents États ont commencé l'exploitation et sont très attentifs au contrôle de leurs ressources. Cependant, les données sensibles sur ces projets sont tenues secrètes, ne permettant pas un véritable retour d'expérience sur l'exploitation. La tendance de l'exploitation des grands fonds marins s'accroît. Cette volonté de contrôle des États provoque localement des tensions et des conflits.

La population reste peu concernée et peu informée par la problématique des grands fonds marins et les enjeux. La mobilisation sur ce sujet reste limitée à des débats locaux peu médiatisés.

Perspective pour la France

Dans ce contexte la France a plutôt une position de force grâce à :

- Sa ZEE importante qui lui laisse espérer un potentiel important de ses ressources des grands fonds marins.
- Sa recherche, bien positionnée avec l'Ifremer pour améliorer la connaissance liée aux grands fonds marins.

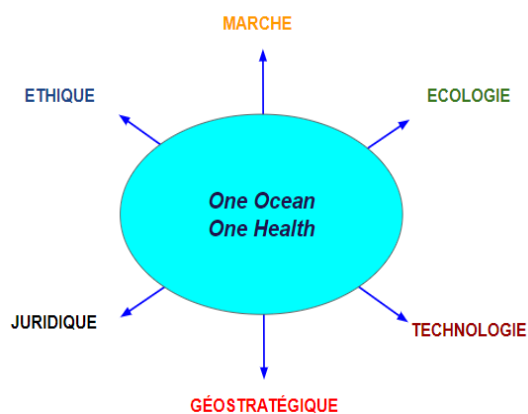
- Ses industriels du secteur des mines, de la métallurgie et du pétrole qui disposent des compétences et savoir-faire nécessaires à l'exploitation et à son exportation.

La société est partagée entre deux courants antagonistes : une importance croissante de la souveraineté qui pousse vers une sécurisation des ressources et d'autre part le souci de l'environnement et de la préservation de la planète qui plaide pour une connaissance mieux maîtrisée pour exploiter raisonnablement.

Les orientations prises sont :

- Un investissement important dans la connaissance de la ZEE française et une bonne évaluation de son potentiel financement de la recherche.
- Un soutien fort des industriels du domaine pour développer leur savoir-faire.
- Un effort de rapprochement avec les pays partageant les mêmes valeurs afin de mutualiser les efforts et sécuriser les approvisionnements.

4. Scénario « One Ocean - One Health »



Le scénario « One Ocean - One Health » part du principe d'une humanité consciente et responsable fondée sur les valeurs d'un bien être partagé par les humains, êtres vivants et écosystèmes et engagée dans une gouvernance forte entre États pour gérer les grands fonds marins comme un Bien Public Mondial (BPM).

Les populations et les sociétés seraient-elles aussi fortement mobilisées dans la protection des éco-socio-systèmes ? Elles valoriseraient la transparence, la connaissance scientifique, les débats et les processus de sciences participatifs. Elles s'investiraient dans des efforts d'éducation et seraient à même de contribuer à prendre part dans la gestion des BPMs à leur échelle locale.

Ce scénario est celui d'une économie économe et frugale en ressources qui aurait conçu une transition démographique et énergétique en prenant en compte les besoins en ressources et la dimension écologique.

Du point de vue de la demande, les sociétés auraient généralisé la sobriété, l'économie de fonctionnalité, la mutualisation et auraient optimisé les usages et réduit leurs besoins. Du point de vue de l'offre, les économies de marché auraient systématisé l'éco-design, le recyclage de tous les objets, les circuits courts, l'innovation dans des bioressources de substitution et la fiscalité écologique. Dans

ce scénario, les besoins en ressources minérales seraient donc stabilisés pour limiter la nécessité de mobiliser des ressources minérales marines.

La priorité serait donnée à l'exploration pour connaître les écosystèmes, les ressources et leurs interactions ainsi que les impacts écologiques et sociétaux pour une exploitation durable et responsable. Un investissement massif et mondial permettant une cartographie fine et multidimensionnelle des grands fonds marins de la planète serait lancé ainsi qu'un inventaire géologique et de la connaissance des espèces, des habitats et comportements, du vivant et de la biodiversité, courants marins, cycles biogéochimiques

Dans le scénario « One Ocean - One Health », la gouvernance mondiale des grands fonds marins serait structurée de manière innovante et juste. Les États voteraient tout d'abord pour un moratoire sur l'exploitation des grands fonds marins. Puis, ils établiraient une nouvelle gouvernance des grands fonds marins comme un véritable BPM de manière à :

- prendre en compte les critères physiques propres aux milieux océaniques, ce qui implique en premier de refonder l'ensemble du droit de la mer, les grands fonds marins étant un élément de l'écosystème marin interconnecté aux autres compartiments du système Terre,
- protéger les fonctions écosystémiques de l'océan et les territoires,
- créer une gouvernance inclusive qui permettent de partager les charges et les bénéfices,
- partager l'accès à la connaissance et sa valorisation dans le développement d'innovations (accès ouvert aux données et connaissances, mutualisation des moyens, transparence et approche holistique),
- développer la recherche sur le long terme, investir dans des infrastructures internationales partagées (ISS des grands fonds marins),
- créer une police des grands fonds marins avec mandat de surveillance mondiale, avec rattachement supranational (ONU ?) et pouvoir de sanction, d'installer une gouvernance de type « démocratie mondiale » multi-pays, multi-secteurs, intergénérationnel y compris avec les générations futures.

Perspective pour la France : La France, avec 11 691 000 km², possède la plus grande ZEE du monde, devant les États-Unis (11 351 000 km²) et l'Australie (8 148 250 km²). La surface de cette zone pourrait encore être appelée à croître au regard des revendications françaises en cours.

À ce titre et compte tenu des enjeux de souveraineté, de responsabilités environnementales et sociétales, mais aussi de valorisation du potentiel de ces territoires marins, la France se doit d'être exemplaire en termes de politique de développement durable. Cela passe par des investissements significatifs à long terme pour connaître, inventorier, comprendre et analyser les impacts, valoriser et

potentiellement exploiter les ressources (biodiversité, minérales, marines, énergétiques...) de manière éthique et responsable, respectueuse des écosystèmes, des cultures régionales et des spécificités territoriales sur l'ensemble des continents de la zone intertropicale en particulier.

L'implication des sociétés, territoires des Suds et de partenaires régionaux (Pacifique Sud pour la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie, La Guyane en Amazonie, les Antilles dans les Caraïbes, la Réunion dans l'océan Indien) et internationaux sont des conditions essentielles, associées à des engagements diplomatiques y compris scientifiques, pour mettre en œuvre des stratégies de développement (et accompagner les transitions qui en résultent) cohérentes et partagées entre les dimensions locales, régionales et internationales.

5. Scénario « Out of Control »

Trajectoire accentuée par une augmentation du niveau de vie d'un certain nombre de pays en développement. La société devient de plus en plus consommatrice de biens et d'énergie.

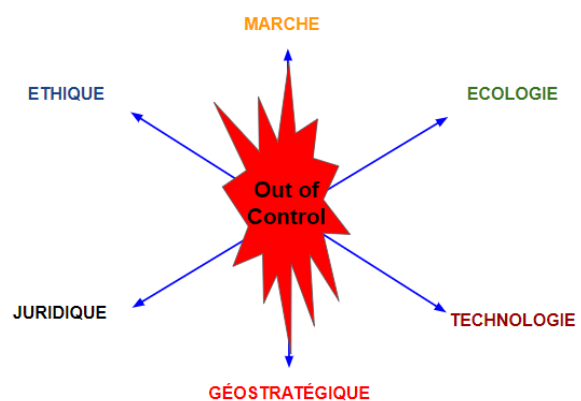
Cette croissance incontrôlée entraîne un besoin exponentiel en plusieurs matières premières alors même qu'on observe une déplétion progressive des exploitations terrestres et que les instabilités géopolitiques rendent les approvisionnements aléatoires. Le risque perçu de pénurie conduit l'ensemble des pays à ressentir une urgence qui rapidement devient une véritable fuite en avant visant à s'approprier les ressources où qu'elles se trouvent, y compris dans les grands fonds marins.

Cette frénésie est telle que toute notion de consensus disparaît. Toute idée de contrôle, de coordination internationale ou de gouvernance devient illusoire et chaque État ne cherche qu'à assouvir ses propres intérêts avec un seul mot d'ordre : « Premier arrivé, premier servi ».

Pressés par cette urgence, les grands fonds marins perdent le statut de bien commun souhaité par l'AIFM et soutenu par la CNUDM (qui devient elle-même une coquille vide sans prérogatives, puisque non suivie, non écoutée, non respectée) pour devenir l'objet de toutes les convoitises. Toute interrogation sur de potentiels impacts au niveau écologique ou sociétal devient une préoccupation mineure devant les risques de pénuries. L'absence de programmation efficace de la transition énergétique a conduit à une ultradépendance aux ressources minières dans tous les domaines vitaux : transports, agriculture, biens de première nécessité.

Dès lors, on observe l'enchaînement de différents événements :

- Chaque pays se lance dans une stratégie d'investissements débridés pour développer des



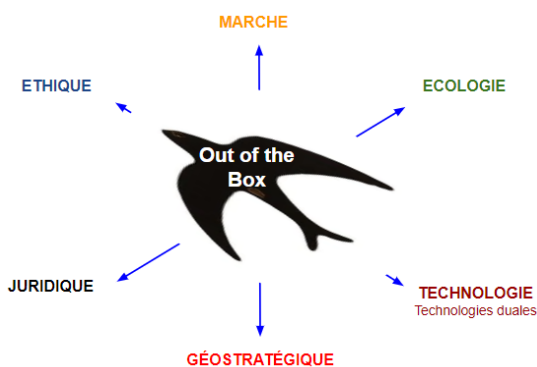
moyens d'exploitation et d'action pour dominer ces nouveaux milieux.

- Ceux qui en disposent verrouillent leur ZEE dans une volonté de souveraineté exacerbée et de préservation de leurs ressources propres (pour des besoins ultérieurs ou à des fins de spéculation). Dans ce cadre, on observe là encore des investissements massifs dans le domaine de la défense et de la surveillance.
- L'ensemble des puissances en présence cherchent à s'approprier dans le chaos la Zone qui devient une source de compétition voire de conflit, notamment pour les pays ne disposant pas de leur propre ZEE et donc d'alternatives...
- L'exploitation prioritaire de la Zone fait de cette dernière un nouveau Far West, cristallisant à un niveau critique les tensions au point de vue international.

Perspective pour la France : Dans ce scénario, la France est en compétition avec ses partenaires européens et internationaux. Elle cherche à développer une filière technologique de pointe en créant des alliances opportunistes avec les États et industries qui lui paraissent les plus à même de l'aider à parvenir à ses fins. Elle concentre sa recherche académique sur des appels à projets finalisés tendant à développer le secteur industriel des mines, de la métallurgie et des hydrocarbures. Elle investit massivement dans des dépenses liées à la défense, les conflits de haute intensité pour l'accès aux ressources devenant de plus en plus probables.

Elle doit gérer des tensions de plus en plus nombreuses avec les territoires ultramarins proches des zones d'exploitation. Elle doit penser la réorientation économique de certains territoires d'une économie du tourisme à une économie de l'industrie minière. Les ressources obtenues dans le cadre de ces explorations minières lui redonnent de la souveraineté économique et politique en lui permettant de s'affranchir de la dépendance vis-à-vis de certains métaux critiques.

6. Scénario « Out of the Box »



La nécessité de limiter l'utilisation de ressources fossiles (pétrole, gaz), à la fois pour des raisons climatiques, mais aussi de souveraineté, conduit l'Europe à développer fortement des technologies consommatrices en métaux rares (énergies alternatives, réseaux, transports). Deux grandes approches sont développées pour faire face à cette demande :

- la filière du recyclage a été considérablement développée avec des mesures réglementaires, économiques, et technologiques favorisant la réutilisation de minéraux transformés. Cette filière est

en forte croissance et devrait à terme devenir la source principale de métaux transformés une fois la transition énergétique achevée.

- la généralisation de l'écoconception de l'ensemble des biens et des infrastructures reposant sur une consommation d'énergie et de matériaux significativement maîtrisée tant à la fabrication qu'à l'usage.

Ces contraintes favorisent l'émergence de nouveaux acteurs économiques provenant du rapprochement du secteur minier avec d'autres secteurs industriels comme celui du recyclage ou de la fabrication de produits de consommation.

Dans les deux cas, une forte mobilisation de la recherche académique et industrielle a permis d'améliorer les technologies, les rendant plus écologiques. La notion de bilan « minéral » a été introduite pour tout nouvel investissement dans le domaine de l'énergie, des transports et des services. L'exploitation minière continue à produire les ressources supplémentaires nécessaires à la transition, avec une prise en compte de l'ensemble des externalités qui ont renchéri le coût des objets manufacturés à partir de minéraux non issus de filières de recyclage. Cette exploitation terrestre rencontre de plus en plus d'opposition de la part de la population.

La possibilité d'exploiter les fonds marins a conduit l'Europe à financer l'exploration de ces espaces dans les années 2025-2035. Plusieurs pays, dont la France, ont proposé des sites dans leur ZEE à la fois pour mener de vastes campagnes de cartographie des milieux et aussi pour la construction de démonstrateurs. Des consortiums public-privé européens ont mis au point les technologies nécessaires à l'exploitation de certains sites en tentant de développer des solutions rentables, mais sans rejets toxiques pour la faune et la flore marine. Cette impulsion européenne a permis à certains acteurs du secteur pétrolier et gazier de réorienter leur activité off-shore vers ce secteur. Les études d'impact ont cependant démontré des risques écologiques résiduels importants. Ces études ont été rendues publiques, conduisant à sensibiliser la société civile à l'existence de ces espaces inexplorés.

La maîtrise de ces technologies et les connaissances acquises sur les impacts ont permis à l'Europe de peser dans la mise en place par l'AIFM de normes d'exploitation particulièrement protectrices pour l'environnement. Celles-ci ont conduit la plupart des pays à renoncer à exploiter les gisements sous-marins face à l'hostilité des populations. Quelques pays non-signataires des accords ont choisi d'exploiter des sites de leur ZEE sans respect des normes, mais rencontrent des difficultés pour vendre leur matière première dans les pays ayant mis en place le bilan « minéral » des objets.

A l'instar de l'exploration spatiale, les travaux d'exploration des grands fonds marins ont eu des retombées indirectes dans les domaines du recyclage, de la dépollution, de l'énergie et des télécommunications.

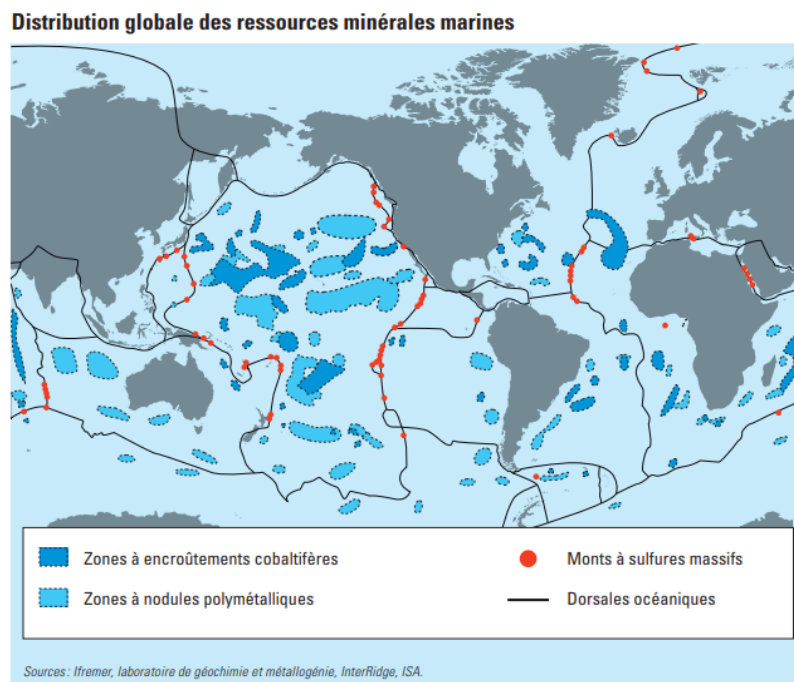
Perspective pour la France : Dans ce scénario, la France, en s'associant à des partenaires européens, a pu développer une filière technologique de pointe en s'appuyant à la fois sur sa

recherche académique, des industriels du secteur des mines, de la métallurgie et des hydrocarbures et de ses technologies militaires.

Elle a une meilleure connaissance de ses ressources et est en mesure de proposer une assistance technologique pour l'exploitation de ressources minérales profondes dans un cadre écologique contrôlé. Les technologies marines, comme les centrales ETM, bénéficient aux populations des territoires ultramarins.

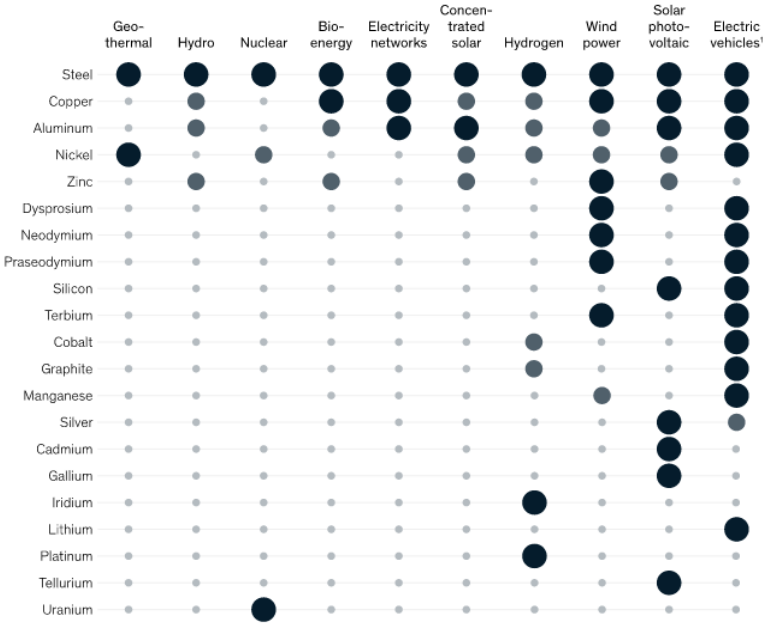
Les biotechnologies marines lui permettent de relocaliser des procédés industriels avec un impact environnemental réduit. Les technologies d'observation sous-marines renforcent sa souveraineté tout en proposant des solutions pour des développements liés à l'économie de la mer

7. Localisation des principales zones à ressources minérales des grands fonds marins



Crédits : Abysses, Études marines, Centre d'étude stratégique de la Marine. 2015.

8. L'importance des métaux pour la transition énergétique



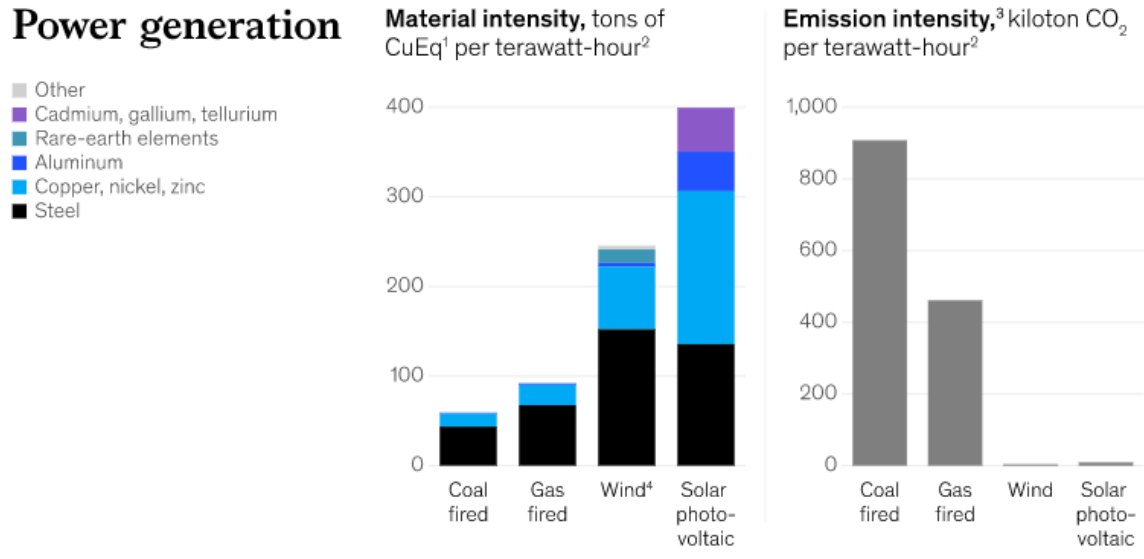
¹Includes energy storage.
 Source: Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU, A foresight study, European Commission, Mar 9, 2020; The role of critical minerals in clean energy transitions, IEA, May 2021; McKinsey analysis

Crédits : Mc Kinsey Company. The raw-materials challenge: How the metals and mining sector will be at the core of enabling the energy transition. 2022.

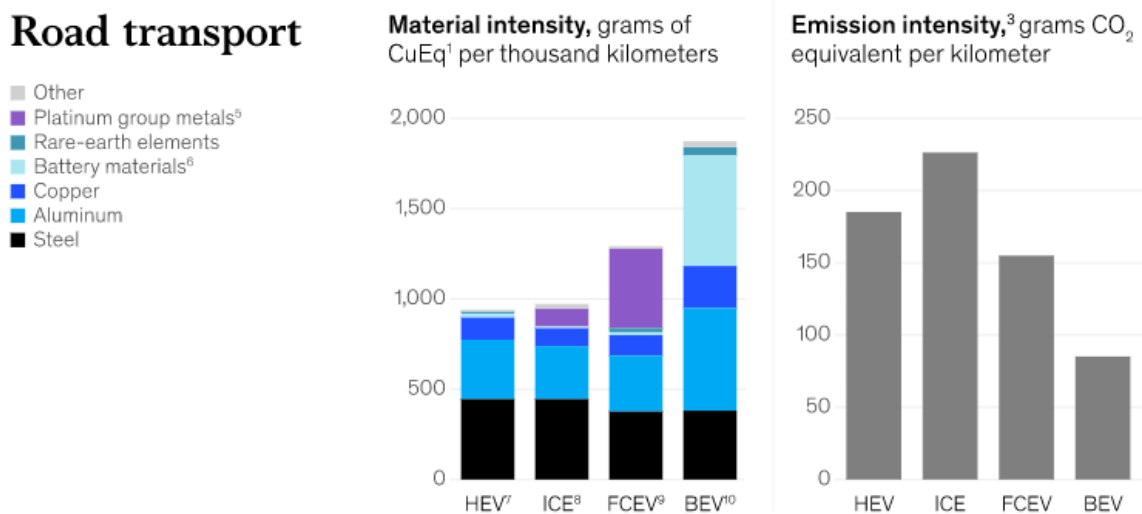
9. Comparaison en intensité métallique des technologies « bas - carbone »

To drastically reduce emission intensity, low-carbon technologies will require higher material intensity.

Power generation



Road transport

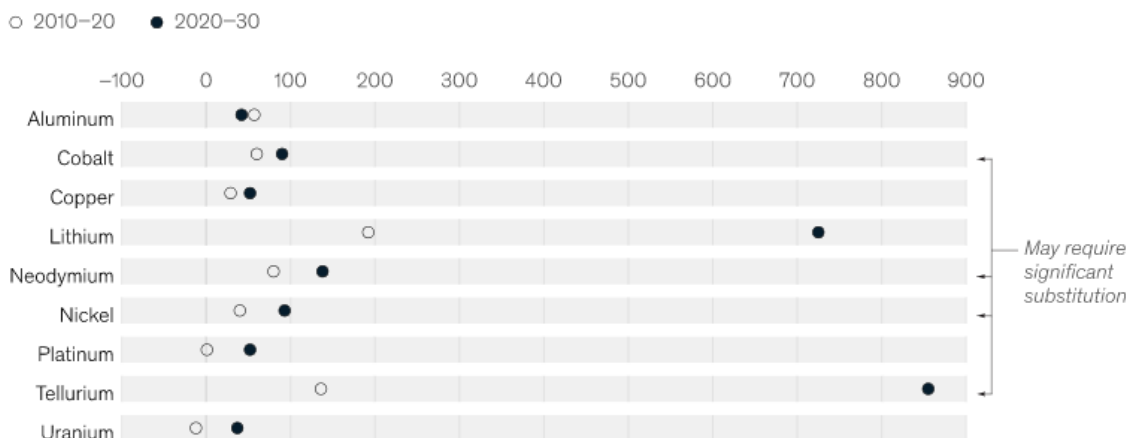


¹Copper equivalent. CuEq conversion used 2015–21 average prices for each metal. The conversion is used to emphasize the need for smaller-volume metals, such as palladium, which otherwise appear irrelevant when compared with steel, for example. ²This comparison is made on a per TWh basis and not on a per GW capacity basis, since the different technologies will have different utilization factors and lifetimes, and therefore, the amount of electricity generated from one GW capacity would not be the same when comparing technologies. Equally, for vehicles it is done on a per-km basis and not on a per-vehicle basis. Emission-intensity factors can vary greatly depending on location, choice of materials. ³Estimated total life cycle emission intensity, including both raw materials, production, and operation throughout life cycle. Estimates can vary significantly based on a number of drivers. ⁴Estimated average across different technologies, for onshore and offshore. Material intensity can vary greatly across technologies (eg, permanent-magnet-based technologies require significantly larger amount of rare-earth elements). ⁵Ruthenium, rhodium, palladium, osmium, iridium, and platinum. ⁶Includes nickel in stainless steel. ⁷Hybrid-electric vehicle. ⁸Internal combustion engine. ⁹Fuel-cell electric vehicle. ¹⁰Battery-electric vehicle.
Source: Georg Bieker, *A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars*, ICCT, July 7, 2020; Elsa Dominish, et al, *Total material requirement for the global energy transition to 2050: A focus on transport and electricity*, Resources, *Conservation and Recycling*, Volume 148, Sept 2019; Samuel Carrara, et al, *Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system*, European Commission, 2020; *Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU*, A foresight study, European Commission, Mar 9, 2020; McKinsey analysis

Crédits : Mc Kinsey Company. *The raw-materials challenge: How the metals and mining sector will be at the core of enabling the energy transition. 2022.*

10. Croissance des besoins en métaux dans la trajectoire 1,5 °C

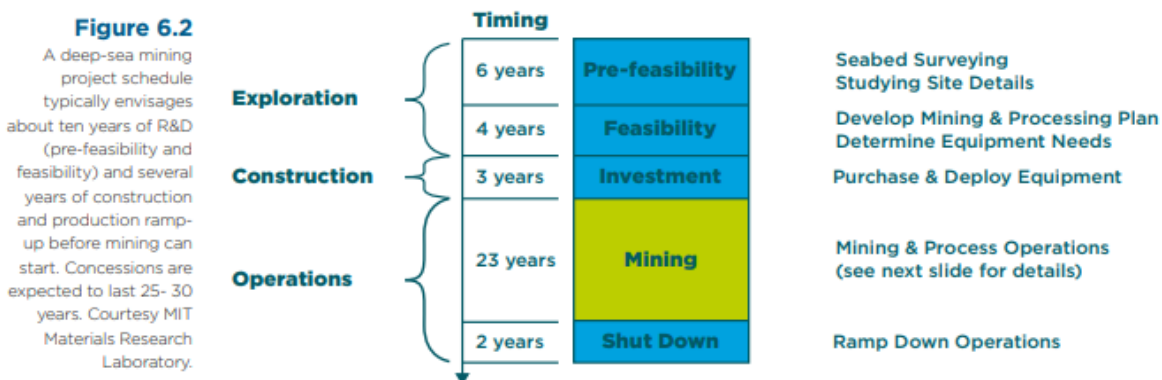
Supply change, 2010–20 vs required growth in 2020–30 in a 1.5°C degree pathway,¹%



¹One of the many possible scenarios used to illustrate the impact on raw-materials demand. Demand also includes other applications for each material. Source: *Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU*, A foresight study, European Commission, Mar 9, 2020; US Geological Survey; World Nuclear Association; MineSpans by McKinsey; McKinsey analysis

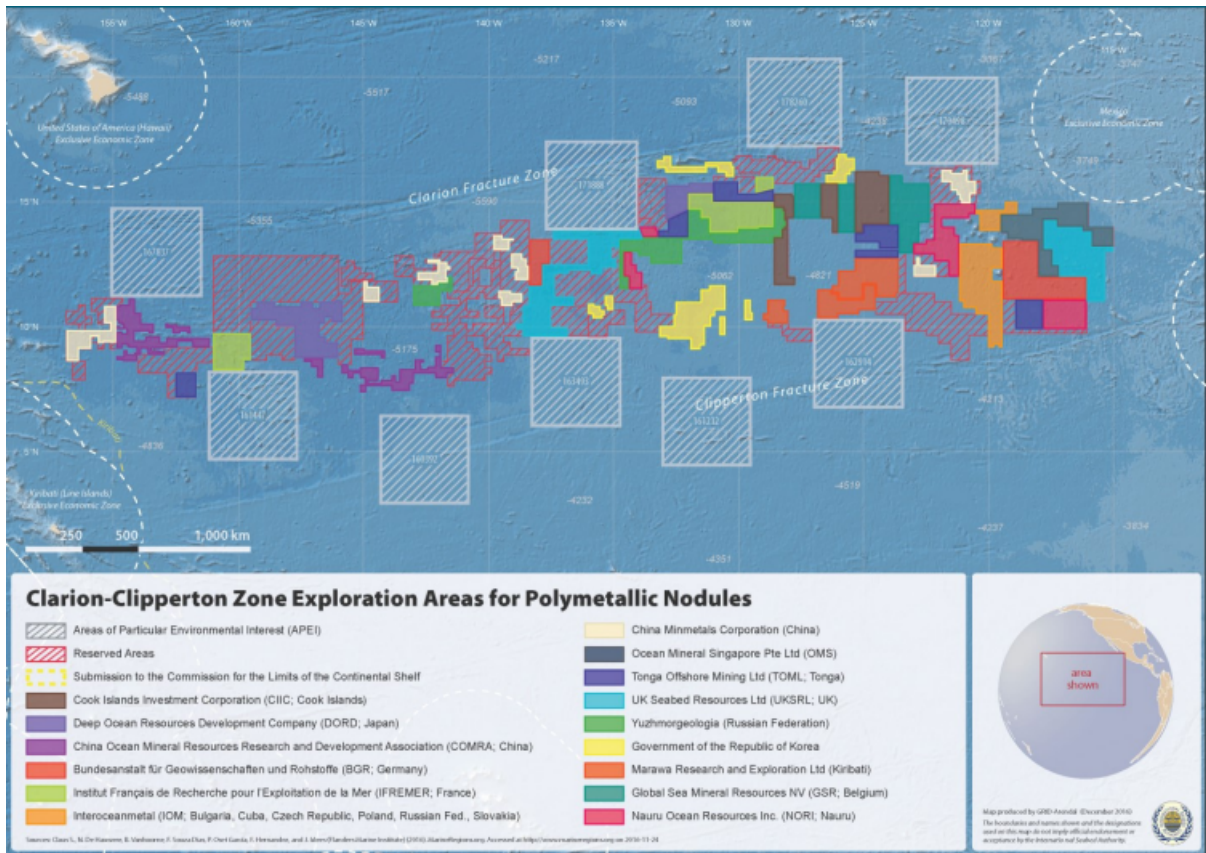
Crédits : Mc Kinsey Company. *The raw-materials challenge: How the metals and mining sector will be at the core of enabling the energy transition. 2022.*

11. Temps nécessaire pour les différentes phases d'un projet d'exploitation minière des grands fonds marins



Crédits : Cuyvers, L., Berry, W., Gjerde, K., Thiele, T. and Wilhem, C. (2018). *Deep seabed mining: a rising environmental challenge*. Gland, Switzerland: IUCN and Gallifrey Foundation. x + 74pp
<https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.16.e>

12. Exemple des APEI associés aux zones d'exploitation minière potentielle de CCZ



Crédits : International Seabed Authority. <https://www.isa.org/jm/map/clarion-clipperton-fracture-zone>

13. Note de cadrage de l'atelier

Les grands fonds marins, situés à une profondeur de plusieurs centaines de mètres, couvrent les deux tiers de la planète. Ce sont les *Terra nullius* du XXI^e siècle : des espaces dont on ne connaît précisément ni les ressources minérales, ni les richesses écosystémiques. Le 12 octobre 2021, lors de la présentation du plan « France 2030 », le président Emmanuel Macron a annoncé que l'exploration de ces grands fonds marins était « une priorité nationale », à laquelle seraient consacrés 2 milliards d'euros dans les cinq années à venir. « C'est un levier extraordinaire de compréhension du vivant, d'accès à certains métaux rares, de compréhension du fonctionnement de nouveaux écosystèmes d'innovation », a déclaré le chef de l'État en rappelant que la France possède le deuxième espace maritime au monde après les États-Unis (BFM, 16/10/2021).

L'annonce précipite un conflit latent depuis plusieurs années, entre deux grandes familles d'intérêts : d'un côté les entreprises, les États, les armées, etc., qui anticipent des besoins croissants en terres rares (famille de 17 métaux indispensables aux technologies de pointe), en ressources énergétiques et en minerais divers – autant d'éléments *a priori* disponibles en quantités importantes sur ces fonds ; de l'autre côté les écologues et les ONG, qui s'inquiètent des conséquences de toute exploitation de ces milieux sans prise en compte préalable de leurs vulnérabilités. Alors que des scientifiques s'alarment des dommages que pourrait causer l'exploitation des gisements océaniques sur cet environnement fragile et très mal connu, l'industrie minière prospecte et envisage d'exploiter rapidement des gisements de minéraux rares, de nodules polymétalliques riches en cobalt, manganèse et nickel, voire de clathrates de méthane ou de sulfure d'hydrogène.

Le 24 juillet 2019, dans un éditorial inédit, « Write rules for deep-sea mining before it's too late », la revue *Nature* a « enjoint l'Autorité internationale des fonds marins à établir des règles pour que l'exploration et l'exploitation des gisements de terres rares sous le plancher océanique ne se fassent pas au détriment des écosystèmes sous-marins. Simultanément, l'entreprise canadienne Nautilus Minerals initiait l'extraction minière des fonds océaniques avec un projet controversé d'exploitation d'un gisement sous-marin de sulfures en Papouasie–Nouvelle-Guinée. Ces sulfures, riches en minéraux précieux, se sont formés autour des cheminées hydrothermales où vivent de rares créatures marines comme le gastéropode écailleux (*Chrysomallon squamiferum*), un escargot marin muni d'une carapace de fer que l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a classé, il y a peu de temps, comme étant la première espèce menacée par la prospection minière sous-marine (*La Presse*, Canada, 3 août 2019).

Au programme de cet atelier, rien de moins que l'exploration d'une planète inconnue. Il faudra essayer de remplir les blancs de la carte : de quoi est-il question quand on parle de grands fonds et de leurs ressources ? Quels sont ces minéraux exploitables, ces terres rares, ces sources potentielles d'énergies ? Seront-ils indispensables à une transition énergétique ? Que connaissent les biologistes

et écologues de ces grands fonds marins ? Peut-on anticiper les effets d'une exploitation des ressources sous-marines sur les biotopes ? Et que penser de ces géopoliticiens qui estiment que les fonds océaniques seront, au même titre que l'espace ou le cyber, un des champs de bataille du futur ?

Une thématique d'atelier d'investigation proposée par Laurent Testot pour le cycle national de l'IHEST 2021-2022

Pour en savoir plus
www.ihest.fr

Institut des hautes études pour la science et la technologie
Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
1 rue Descartes, 75231 Paris cedex 05, France

L'IHES est un établissement public à caractère administratif, sous la tutelle des ministères en charge de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche, prestataire de formation enregistré sous le n° 11 75 42988 75. cet enregistrement ne vaut pas agrément de l'État. Ses formations sont référencées dans **Datadock**.