

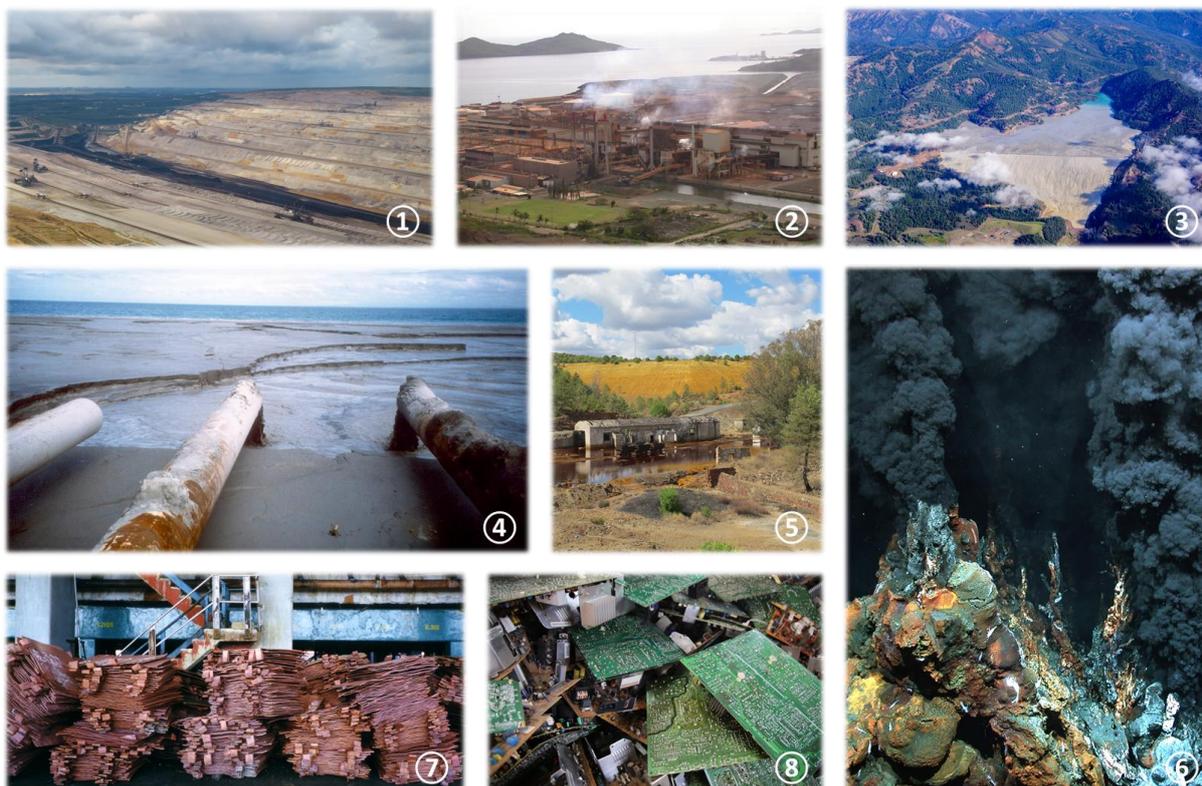
## RAPPORT D'ÉTUDE

### Controverses minières

## Pour en finir avec certaines contrevérités sur la mine et les filières minérales

### VOLET 2

#### Tome 1 · Exploration et exploitation minières en eaux profondes



Novembre 2022

### ► L'association SystExt

SystExt pour « Systèmes extractifs et Environnements » est une association de solidarité internationale, née en 2009 au sein de la fédération Ingénieurs sans frontières (ISF) France. L'association se donne pour objectif d'obtenir la transparence et la démocratisation des enjeux associés aux filières minérales. Elle se concentre sur l'industrie minière et ses impacts humains, sanitaires, sociaux et environnementaux. La spécificité de SystExt réside dans le fait que ses membres soient des professionnels du secteur, ou confrontés à ce secteur dans l'exercice de leur métier. Ses missions s'organisent autour de quatre champs d'action : veille citoyenne, accompagnement de la société civile, sensibilisation, formation et expertise.

### ► Illustrations page de couverture

- ① Mine de charbon de Hambach, Allemagne | Clemens Vasters · 2019 · cc by 2.0
- ② Usine de traitement de nickel de Doniambo, Nouvelle-Calédonie | Tim Waters · 2003 · cc by-nc-nd 2.0
- ③ Digue de résidus miniers, mine de molybdène de Thompson Creek, Idaho, États-Unis | © Ecoflight
- ④ Déversement de résidus miniers dans la baie de Calancan, mine d'or de Marcopper, Philippines | © Catherine Coumans, MiningWatch Canada
- ⑤ Ancienne mine de cuivre-or de Rio Tinto, Espagne | SystExt · 2012 · cc by-sa-nc 3.0
- ⑥ Fumeur noir à 3 000 m de profondeur au niveau de la dorsale médio-atlantique | MARUM - Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen · 2015 · cc by 4.0
- ⑦ Cathodes de cuivre en Zambie | Merlin · 1999 · cc by-nc 2.0
- ⑧ Déchets électroniques dans une installation de traitement à Kigali, Rwanda | Rwanda Green Fund · 2017 · cc by-nd 2.0

### ► Crédits des contenus de ce rapport (sauf si précisé)



SystExt, Novembre 2022, CC BY-NC-SA 3.0 FR

*Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 3.0 France*

## SYNTHÈSE

L'activité minière en eaux profondes fait référence à l'exploration et l'exploitation de gisements de minerais métalliques situés en eaux marines profondes (à partir de 200 mètres de profondeur). Bien que découverts dès les années 1970, ces derniers ont connu un regain d'intérêt à partir des années 2000, intérêt qui n'a cessé de croître depuis. Dans cette étude, SystExt a identifié les faits et les démonstrations qui font consensus parmi les auteurs académiques, institutionnels et de la société civile, afin de caractériser les principaux enjeux techniques, sociétaux, environnementaux et réglementaires associés à cette industrie.

### **Les viabilités technique et économique de l'exploitation des fonds marins restent controversées**

Trois principaux types de gisements se trouvent dans les eaux marines profondes : les sulfures hydrothermaux, les nodules et les encroûtements. S'ils se distinguent par certains critères, tels que les environnements de mise en place, les mécanismes de formation ou les métaux contenus, ces trois types de gisements présentent des similitudes : (1) ils se situent dans tous les océans ; (2) **ils se mettent en place à des profondeurs très élevées** ; (3) **leur formation est extrêmement lente, de l'ordre de la dizaine de milliers voire du million d'années** ; (4) **les principaux métaux d'intérêt sont des substances « communes », très majoritairement des métaux ferreux et non ferreux**. Ainsi, les minerais des nodules et des encroûtements ont pour principaux métaux d'intérêt : le manganèse (Mn), le cuivre (Cu), le nickel (Ni) et le cobalt (Co).

Pour ces trois types de gisements, et **pour la plupart des métaux d'intérêt ou d'intérêt potentiel, les teneurs moyennes dans les gisements en eaux profondes sont le plus souvent soit inférieures à la borne basse de la gamme, soit dans la gamme de celles des gisements terrestres**. De plus, l'évaluation des tonnages (quantité totale de minerai) est basée sur des hypothèses controversées. Il s'agit au mieux de ressources présumées (c'est-à-dire de l'estimation la plus incertaine des ressources minières) au pire d'un potentiel entaché d'incertitudes majeures. L'utilisation de ces valeurs de tonnages s'avère donc particulièrement discutable. Selon SystExt, **il ne suffit pas d'annoncer des quantités gigantesques de métaux théoriquement présents, mais bien de les mettre en parallèle des superficies à exploiter pour les récupérer** (par exemple, les presque 4 millions de km<sup>2</sup> pour les 21 milliards de tonnes de nodules estimés dans la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ)).

Quel que soit le type de gisements, les techniques d'exploitation sont similaires. Elles comprennent : (1) des systèmes d'exploitation et de collecte du minerai (principalement avec des véhicules sous-marins télécommandés) ; (2) des systèmes de levage du minerai à travers la colonne d'eau ; (3) des navires nécessaires à la manutention, au pré-traitement (voire au traitement) et au transport du minerai. **L'énergie nécessaire au fonctionnement de tous ces dispositifs est considérable et repose principalement sur le recours aux combustibles fossiles**.

**Les trois types de minerais diffèrent beaucoup de ceux des gisements terrestres** du fait de leur minéralogie complexe ainsi que de leur porosité et de leur teneur en eau élevées. Par conséquent, il est inévitable que le **traitement du minerai soit particulièrement long et énergivore**. Trois étapes s'avèrent nécessaires : (1) un pré-traitement par déshydratation afin de séparer le minerai des sédiments et de diminuer le taux d'humidité du minerai ; (2) une concentration par broyage et/ou flottation pour les minerais de sulfures hydrothermaux à teneur moyenne, pour les nodules, et pour la séparation du substrat des encroûtements ; (3) une extraction des métaux par pyrométallurgie et/ou hydrométallurgie. L'étape (1) et probablement l'étape (2) devraient être conduites en mer afin de réduire les coûts d'exploitation, donnant dès lors lieu à des **déversements d'effluents résiduels voire de déchets miniers dans l'océan**.

### **Les risques, connus et largement documentés, ne sont pas acceptables**

**Les risques pour la biodiversité et les milieux, tant benthiques que pélagiques, sont majeurs.** Cinq phénomènes induisent les risques les plus graves et les plus probables : (1) l'exploitation minière en tant que telle au niveau des fonds marins ; (2) la formation des panaches de sédiments et de particules ; (3) la libération des métaux et des métalloïdes ; (4) les pollutions sonores et lumineuses ; (5) le dérèglement de la fonction « puits de carbone » des océans.

**Il est d'ores-et-déjà certain que les activités minières sur les fonds marins conduiront à la fragmentation et la destruction des habitats, ainsi qu'à la mortalité de la faune et de la flore associées.** Les surfaces détruites chaque année seraient immenses. La Banque mondiale estime ainsi que les impacts directs d'une seule exploitation de nodules pourraient affecter une superficie comprise entre 300 et 600 km<sup>2</sup> par an ; tandis que les impacts indirects pourraient s'étendre sur une superficie comprise entre 1 500 et 6 000 km<sup>2</sup>, sur plusieurs années. Or, les trois types de gisements consistent en des **écosystèmes spécifiques, dont certaines espèces faunistiques et floristiques ne se trouvent nulle part ailleurs.** Les caractéristiques uniques de ces écosystèmes s'avèrent de surcroît nécessaires au développement d'autres espèces ou aux fonctionnements chimique et biologique des fonds marins.

Des **panaches de sédiments et de particules** se formeront du fait : (1) de l'activité continue des véhicules sous-marins télécommandés au niveau des fonds marins ; (2) du déversement d'effluents et de déchets miniers via des conduites de réinjection ; (3) des fuites au niveau des conduites (de lavage ou de réinjection). Bien que l'évolution spatio-temporelle des panaches reste difficile à évaluer, ces derniers devraient probablement se développer sur des dizaines voire des centaines de kilomètres autour des sites miniers. Concomitamment à la formation de ces panaches, des **métaux et métalloïdes** seront **libérés sous forme particulaire ou sous forme dissoute.** Tous ces processus conduiront à l'asphyxie et l'enfouissement d'une partie de la faune et de la flore, la maladie voire la mort des individus, le changement du comportement des espèces, etc.

**Les perturbations et les dommages associés à une exploitation minière pourraient persister sur le long terme, voire être irréversibles.** Compte tenu des écosystèmes exceptionnels et peu résilients qui se développent au sein des gisements, l'exploitation en tant que telle devrait être à l'origine des impacts qui s'étendent sur les plus grandes échelles de temps, de l'ordre du millier voire du million d'années.

Le fait que les sites soient éloignés des côtes (du moins, dans la perception qu'en ont les pays occidentaux) et qu'ils ne soient pas habités semble réduire ou effacer les conséquences sociales et environnementales potentielles. Cependant, contrairement à ces idées reçues, l'exploitation en eaux profondes soulèverait probablement des problématiques plus complexes encore que l'exploitation terrestre. Elle sera nécessairement à l'origine d'**impacts socio-économiques, culturels et politiques, multiples et complexes.**

### **Les impacts ne peuvent être ni évalués, ni gérés, ni compensés**

**La nature et le fonctionnement des écosystèmes marins ne sont que très partiellement connus, voire inconnus.** Des informations qualitatives et quantitatives manquent sur : les espèces en présence, leur abondance, leur(s) habitat(s) et leurs comportements ; la fragilité des écosystèmes, la rareté des espèces et les risques d'extinction ; la distribution et la connectivité des espèces, etc. **Ce manque de connaissance contraint voire empêche l'établissement de l'état initial,** préalable essentiel à la réalisation de toute étude d'impact.

La principale approche pour la gestion des impacts associés aux activités minières en eaux profondes consiste à prévenir et/ou à atténuer les impacts. La mise en œuvre opérationnelle de cette approche repose sur la hiérarchie des mesures d'atténuation, qui comprend quatre niveaux : (1) l'évitement, (2) la minimisation, (3) la restauration (incluant la réhabilitation), (4) la compensation. Les cadres réglementaires et méthodologiques associés à l'application de ces mesures sont au mieux en cours de définition, au pire inexistantes. **Seules des mesures d'évitement et de réduction des impacts pourraient être mises en œuvre mais ne suffiraient pas à éviter les pertes définitives. Les mesures de restauration et de compensation s'avèrent, quant à elles, inefficaces ou impossibles à appliquer.**

À titre d'illustration, **de nombreux enjeux rendent peu réaliste la faisabilité des travaux de réhabilitation en eaux profondes** : la lenteur du développement et de la croissance des espèces et des habitats concernés, l'échelle potentiellement vaste des impacts, la compréhension très limitée des fonctions écologiques, biologiques et écosystémiques à restaurer et les coûts très élevés des travaux et de leur suivi (de l'ordre de la centaine de millions voire du milliard de dollars).

### **Les réglementations s'avèrent largement insuffisantes**

L'espace maritime se divise en quatre secteurs : la mer territoriale, la zone économique exclusive (ZEE), le plateau continental étendu et la Zone (ou eaux internationales). Sur chacun de ces secteurs maritimes, les règles de souveraineté de l'État côtier diffèrent : depuis la mer territoriale, où cette souveraineté est entière, jusqu'à la Zone, où un régime juridique international s'applique. S'agissant du sol et du sous-sol des fonds marins (et donc des ressources minières associées), ils relèvent de la souveraineté de l'État côtier au niveau des trois premiers secteurs maritimes. Cependant, **dans la Zone, ils relèvent du patrimoine commun de l'humanité** et se trouvent sous le contrôle de l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM).

L'évolution historique des accords internationaux a conduit à une diminution importante de la portée du patrimoine commun de l'humanité ainsi qu'à un affaiblissement des prérogatives et de la gouvernance de l'AIFM. Dans la Zone, les réglementations existantes ou en cours d'élaboration (pour l'exploitation) sont insuffisantes pour répondre aux enjeux environnementaux majeurs soulevés par l'activité minière en eaux profondes.

Beaucoup d'attention a été portée ces dernières années aux eaux sous juridiction internationale et relativement peu à celles sous juridictions nationales. Ce constat est paradoxal au regard de **l'importance que les zones économiques exclusives (ZEE) représentent pour l'exploration et l'exploitation minière des fonds marins**. La surface associée aux titres miniers obtenus dans les eaux « nationales » est quatre fois supérieure à celle des titres obtenus dans la Zone. Lorsqu'ils existent, **les régimes juridiques nationaux s'avèrent très insuffisants**. L'une des raisons est que les États s'appuient le plus souvent sur les lois qui régissent les gisements terrestres, qui s'avèrent complètement inadaptées aux gisements en eaux profondes.

Le plateau continental correspond au prolongement sous-marin des terres émergées. Tout État peut demander une **extension de son plateau continental** avec une limite maximale de 350 milles marins (soit 648 km). Une telle demande est **intrinsèquement orientée vers l'exploration et l'exploitation des ressources minérales**. Le régime d'extension ne comporte aucune obligation environnementale et la plupart des dispositions relèvent uniquement de l'État côtier. Une véritable « course à l'extension » s'est mise en place ces dernières années, avec un nombre élevé de demandes et des surfaces concernées de l'ordre de la dizaine à la centaine de milliers de kilomètres carrés.

**Toute extension du plateau continental réduit nécessairement la superficie de la Zone et donc les surfaces relevant du patrimoine commun de l'humanité.**

### **Il est nécessaire d'interdire l'activité minière en eaux profondes**

**Les appels à un moratoire voire à une interdiction de l'activité minière en eaux profondes se sont généralisés ces trois dernières années** dans les sphères académiques, associatives, institutionnelles et politiques, et dans des dizaines de pays du monde. Parmi les très nombreuses initiatives et prises de position à l'international, quatre ont été particulièrement déterminantes : deux résolutions du Parlement européen en 2018 et 2021, une résolution de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) en 2021 et un avis défavorable de l'Initiative financière du Programme des Nations unies pour l'environnement (UNEP FI) en 2022.

Tant l'application de l'approche de précaution que celle de prévention aboutissent aux mêmes conclusions :

- **Il est impossible de gérer les impacts graves et prévisibles de cette industrie ;**
- **Les dispositions afférentes au statut de patrimoine commun de l'humanité des grands fonds marins dans la Zone ne pourraient pas être respectées en cas d'exploitation ;**
- **Le développement de cette activité est incohérent avec l'urgence de protection environnementale et de limitation des effets du changement climatique.**

Par ailleurs, **la seule finalité de l'exploration des gisements des grands fonds marins ne peut-être que leur exploitation.** L'exploration minière a vocation à évaluer un potentiel en ressources minérales et non à acquérir des connaissances sur les écosystèmes marins et leur fonctionnement. Cette dernière mission ne peut être assurée que par la recherche scientifique marine qui est menée dans l'intérêt de l'humanité.

**Tous ces éléments conduisent SystExt à prendre position en faveur d'une interdiction de l'exploration et de l'exploitation minières en eaux profondes.**

## SOMMAIRE

<b>1. Introduction.....</b>	<b>9</b>
1.1. Origine et objectifs de l'étude "Controverses minières" .....	9
1.1.1. Origine de l'étude .....	9
1.1.2. Principaux résultats du Volet 1 .....	10
1.1.3. Objectifs du Volet 2 .....	11
1.2. Approche méthodologique et limites associées .....	13
1.3. Contexte du sujet .....	14
<b>2. Les viabilités technique et économique de l'exploitation des fonds marins restent controversées.....</b>	<b>16</b>
2.1. Trois principaux types de gisements .....	16
2.1.1. Principales caractéristiques des gisements de ressources minérales marines profondes .....	16
2.1.2. Sulfures hydrothermaux .....	18
2.1.3. Nodules .....	19
2.1.4. Encroûtements .....	20
2.2. Importance relative des ressources .....	21
2.2.1. Teneurs faibles à moyennes par rapport aux gisements terrestres .....	21
2.2.2. Incertitudes très élevées sur les ressources minières .....	23
2.2.3. Situation actuelle des projets d'exploration et d'exploitation .....	26
2.3. Méthodes d'exploration et d'exploitation invasives .....	28
2.3.1. Méthodes d'exploration .....	28
2.3.2. Généralités sur les méthodes d'exploitation .....	28
2.3.3. Exploitation des sulfures hydrothermaux .....	32
2.3.4. Exploitation des nodules .....	33
2.3.5. Traitement du minerai .....	35
2.3.6. Déversement des effluents résiduaux et des déchets miniers .....	37
<b>3. Les risques, connus et largement documentés, ne sont pas acceptables.....</b>	<b>38</b>
3.1. Risques environnementaux graves voire irréversibles .....	39
3.1.1. Risques associés aux travaux d'exploration .....	39
3.1.2. Destruction des habitats et mortalité des espèces .....	40
3.1.3. Panaches de sédiments et de particules .....	42
3.1.4. Toxicité des métaux et métalloïdes .....	43
3.1.5. Pollutions lumineuses et sonores .....	47
3.1.6. Perte de biodiversité et effets sur le long terme .....	48
3.1.7. Dérèglement de la fonction "puits de carbone" .....	49

3.2.	<b>Tensions sociales, culturelles et politiques inévitables .....</b>	<b>51</b>
3.2.1.	Bouleversements socio-économiques.....	51
3.2.2.	Enjeux culturels majeurs .....	52
3.2.3.	Conflits associés à la gestion des ressources et des bénéfices.....	54
<b>4.</b>	<b>Les impacts ne peuvent être ni évalués, ni gérés, ni compensés .....</b>	<b>55</b>
4.1.	<b>Évaluation des impacts irréalisable .....</b>	<b>56</b>
4.1.1.	Connaissances partielles à nulles sur les écosystèmes et sur les techniques minières .....	56
4.1.2.	Limites dans l'élaboration de l'état initial et des études d'impact .....	58
4.2.	<b>Gestion et compensation des impacts impossibles.....</b>	<b>59</b>
4.2.1.	Mise en application périlleuse de la hiérarchie des mesures d'atténuation.....	59
4.2.2.	Mesures de restauration et de compensation non réalistes .....	59
<b>5.</b>	<b>Les réglementations s'avèrent largement insuffisantes .....</b>	<b>62</b>
5.1.	<b>Délimitation des zones maritimes et pluralité des régimes.....</b>	<b>62</b>
5.2.	<b>Zone : entre patrimoine commun de l'humanité et intérêts commerciaux.....</b>	<b>63</b>
5.2.1.	Patrimoine commun de l'humanité .....	63
5.2.2.	Autorité internationale des fonds marins (AIFM) .....	64
5.2.3.	Limites des accords initiaux et diminution volontaire de leur portée.....	64
5.2.4.	Réglementation déficiente dans la Zone .....	66
5.3.	<b>ZEE : une réglementation à la carte .....</b>	<b>71</b>
5.3.1.	Souveraineté des États et application de la réglementation nationale .....	71
5.3.2.	Régime législatif français très insuffisant .....	74
5.3.3.	Potential minier français essentiellement dans les Outre-mer .....	75
5.4.	<b>Plateau continental étendu : la ruée des États vers les ressources minérales marines profondes .....</b>	<b>78</b>
5.4.1.	Procédures facilitées mettant en péril le patrimoine commun de l'humanité.....	78
5.4.2.	Ruée française sur les ressources des fonds marins.....	79
<b>6.</b>	<b>Il est nécessaire d'interdire l'activité minière en eaux profondes .....</b>	<b>83</b>
6.1.	<b>Opposition étendue à l'international .....</b>	<b>83</b>
6.1.1.	Positionnements divergents dans un contexte controversé .....	83
6.1.2.	Multiplication des appels à un moratoire .....	84
6.2.	<b>Principe de précaution : de l'autorisation à l'interdiction.....</b>	<b>86</b>
6.2.1.	Concept ambitieux mais peu normalisé .....	86
6.2.2.	Application souvent mal définie mais qui n'empêche pas la réglementation .....	87
6.3.	<b>Appel à l'interdiction de l'exploration et de l'exploitation minières dans les grands fonds marins .....</b>	<b>89</b>
6.3.1.	Convergence de toutes les approches vers une nécessaire interdiction.....	89
6.3.2.	Pour la mise en œuvre de politiques "métalliques" alternatives.....	92

## 1. Introduction

### 1.1. Origine et objectifs de l'étude "Controverses minières"

#### 1.1.1. Origine de l'étude

Entre 2018 et 2021, SystExt et le Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) ont rédigé puis défendu la **résolution "Réduire les impacts de l'industrie minière sur la biodiversité"** (UICN, 2021a). Celle-ci fut adoptée lors du Congrès mondial de l'UICN en septembre 2021 à la quasi-unanimité : par 94,2 % des représentants étatiques et par 99,5 % des représentants de la société civile<sup>1</sup>. Cette résolution appelle les États à : (1) régler plus efficacement les activités minières ; (2) réduire la consommation de ressources primaires et prioriser la récupération, la réutilisation et le recyclage ; (3) appliquer l'approche de précaution à la gestion des risques et faire cesser les pratiques menaçant l'homme et la nature en matière de gestion de déchets miniers et d'utilisation de produits chimiques dangereux ; (4) mettre en place des plans d'approvisionnement ainsi que des plans de transition visant à réduire la demande en matériaux primaires (*voir quatre des huit recommandations dans la citation ci-dessous*) (UICN, 2021a).

[...]

3. RECOMMANDE une consommation réduite des ressources primaires.

4. DEMANDE aux gouvernements et aux industries de prioriser et d'adopter des alternatives pour la prospection et l'extraction de matériaux bruts vierges, et de donner la priorité à la récupération des ressources, à la réutilisation et au recyclage des minéraux comme sources d'approvisionnement, ainsi qu'au remplacement par des matériaux renouvelables, et d'améliorer l'efficacité des techniques associées à ces méthodes.

5. APPELLE les États à appliquer l'approche de précaution à la gestion des risques pour les écosystèmes terrestres, d'eaux douces et benthiques et pour la colonne d'eau à toutes les phases de l'exploitation minière, de la prospection, à l'extraction et au traitement des minéraux.

6. PLAIDE pour que cessent les pratiques qui ne garantissent pas la sécurité de l'homme et la protection de la nature à long terme, issues de l'élimination des déchets miniers dans les écosystèmes terrestres, d'eau douce, marins et côtiers, comme l'utilisation de produits chimiques dangereux, afin de protéger l'homme et la nature.

[...]

Au début de l'année 2020, SystExt a donc rédigé un dossier destiné à contre-argumenter certaines assertions soutenues par les opposants à la résolution ou par ceux qui souhaitaient en diminuer la teneur. **Ce travail constitue le point de départ de l'étude "Controverses minières"**.

Par ailleurs, depuis une dizaine d'années, **la mine et les métaux occupent une part grandissante du débat public en France**. Cependant, loin de refléter les réalités de terrain décrites par le monde académique et par la société civile, de nouveaux concepts polarisent les discussions : métaux rares, substances indispensables à la transition, exploitation zéro émission, techniques minières modernes, technologies intelligentes, impacts positifs sur la biodiversité, standards internationaux contraignants, nouvelles frontières extractives... **Ces notions sont de plus en plus présentes dans l'espace public, sans que leur pertinence ne soit véritablement mise en débat ou questionnée**.

---

<sup>1</sup> Voir les résultats détaillés du vote [au lien suivant](#).

L'étude "Controverses minières" se donne ainsi quatre objectifs :

- (1) Réaliser un état de l'art des connaissances sur les sujets qui font l'objet de la communication la plus soutenue ;
- (2) Identifier les faits et les démonstrations qui font consensus parmi les auteurs académiques, institutionnels et de la société civile ;
- (3) Rendre accessibles ces données pour alimenter le débat public ;
- (4) Dénoncer les situations graves et alerter sur les perspectives les plus préoccupantes.

### 1.1.2. Principaux résultats du Volet 1

Les "nouveaux concepts" mentionnés précédemment sont issus de stratégies de communication des compagnies minières qui prétendent développer leur activité avec les meilleures performances sociales et environnementales, appuyées par les gouvernements qui prétendent requérir le plus haut niveau d'exigence sur ces questions. Les nombreuses associations nationales et locales qui travaillent dans le monde entier sur les questions minières s'inquiètent au contraire de l'aggravation des impacts humains, sanitaires, environnementaux et sociaux ; tendance corroborée par le monde académique, qui multiplie les travaux de recherche sur la question.

Dans le premier volet de l'étude, SystExt a souhaité alerter les citoyens sur l'écart grandissant entre **cette communication et les réalités humaines et environnementales** (SystExt, 2021). Pour ce faire, l'association a retenu quatre sujets : (1) Caractère prédateur et dangereux ; (2) Techniques minières ; (3) Déversements volontaires en milieux aquatiques ; (4) Anciens sites miniers. Les principaux faits développés dans le premier volet sont présentés ci-après.

#### **(1) Industrie intrinsèquement prédatrice et dangereuse**

Les gisements métalliques comportent deux caractéristiques intrinsèques : (1) les minerais présentent généralement des teneurs très faibles ; (2) les substances d'intérêt sont associées à un cortège d'éléments - principalement des métaux et des métalloïdes - dont certains sont particulièrement toxiques pour la santé humaine et, plus largement, pour toute forme de vie. Pour ces deux raisons, l'industrie minière a recours à des **procédés complexes**, très consommateurs d'eau et d'énergie, et générant des quantités considérables de déchets. **Cette industrie est ainsi celle qui produit le plus de déchets solides, liquides et gazeux parmi toutes les autres industries du monde.**

Cette spécificité de l'industrie minière entraîne des réactions en chaîne : les déchets miniers générés induisent des **impacts environnementaux majeurs**, affectant tous les milieux (eaux, air, sols), et cette dégradation de l'environnement ainsi que la contamination des milieux de vie des populations sont à l'origine de **conséquences sanitaires et sociales graves**.

Il en résulte l'émergence de nombreux conflits d'usages, socio-culturels et socio-environnementaux. **Le secteur est ainsi responsable du plus grand nombre de conflits socio-environnementaux et est impliqué dans le plus grand nombre d'assassinats de défenseurs des droits.**

#### **(2) Deux principales postures dans l'évolution des techniques minières : inertie et gigantisme**

Contrairement aux idées reçues, **les techniques minières les plus utilisées n'ont pas changé depuis plus d'un siècle** (à la différence des technologies). Les principales innovations techniques datent de la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Elles ont servi un objectif précis : **faire entrer l'industrie minière dans une ère de production de masse.**

Ce paradigme a été conservé durant toute la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle et s'est amplifié dans les années 1960 avec l'avènement de techniques "novatrices" : *block-caving*, *mountain top removal*, *strip-mining*, lixiviation en tas et lixiviation in situ. Toutes ces techniques ont deux points communs : (1) elles permettent d'exploiter à bas coût des gisements à faible teneur ; (2) elles peuvent être à l'origine de risques plus graves encore que les techniques "conventionnelles".

Aujourd'hui, **si des innovations existent, elles concernent davantage la numérisation et l'automatisation**. Cette évolution est souvent présentée comme un moyen d'augmenter les performances environnementales et sociales de l'industrie minière. Dans les faits, les premiers retours d'expérience sont beaucoup plus contrastés.

### **(3) Déversement volontaire en milieux aquatiques : une technique de gestion des déchets miniers parmi les plus polluantes et destructrices**

Contrairement aux idées reçues, le déversement volontaire est une **pratique extrêmement répandue, mise en œuvre autant dans les pays dits "développés" que les autres**. Les conséquences sur les cours d'eau, les lacs, les fjords et les mers sont catastrophiques : contamination des eaux et des sédiments, comblement des rivières et des lacs, destruction des habitats, dépérissement forestier, etc.

Compte tenu de la gravité des impacts sanitaires et environnementaux engendrés, de l'absence de réglementation internationale et de la faiblesse des lois nationales, **SystExt appelle à interdire cette pratique**, en arrêtant dès maintenant les déversements en cours et en s'engageant à refuser toute proposition de nouveau déversement.

### **(4) Abandon de millions d'anciens sites miniers dans le monde**

**Des millions de sites miniers ont été abandonnés à travers le monde**, et sont désormais sous la responsabilité des États et de leurs contribuables. Des milliards de dollars sont dépensés chaque année pour tenter d'endiguer les impacts environnementaux et sanitaires associés.

L'après-mine souffre encore de **méthodes de gestion inappropriées et insuffisantes**, tant au moment de la fermeture du site minier (mise en sécurité) que pour son suivi sur le long-terme (réhabilitation). Si cette question est cruciale, c'est aussi parce que **toutes ces pollutions peuvent perdurer sur des échelles centenaires à millénaires**.

#### **1.1.3. Objectifs du Volet 2**

Le Volet 1 de l'étude a permis de démontrer que l'industrie minière repose sur **un modèle intrinsèquement insoutenable**. Il met également en évidence que, dans un contexte de diminution des teneurs et de raréfaction des gisements "facilement" exploitables, ce modèle sera **inévitament à l'origine d'une augmentation exponentielle de la consommation d'eau et d'énergie, ainsi que des impacts environnementaux et sociaux**.

Parallèlement, la production minière n'a jamais cessé de croître et a même connu une accélération depuis la fin des années 2000. Étant donné que les modèles de développement actuels s'appuient sur un recours massif en matières premières minérales, **leur déploiement conduira nécessairement à une augmentation de la production métallique à des niveaux sans précédent**.

Ces constats ont conduit à explorer des leviers de changement, permettant d'agir soit sur les pratiques minières, soit sur la demande métallique. Quatre de ces leviers animent actuellement le débat public à l'international :

- (1) L'exploitation des ressources minières marines profondes ; cette éventualité étant régulièrement présentée comme une activité moins prédatrice et dangereuse que l'exploitation des ressources minières terrestres et comme un complément substantiel à l'offre métallique actuelle ;
- (2) La limitation des conséquences environnementales et sociales de l'industrie minière par le déploiement de "bonnes" et de "meilleures" pratiques, et la mise en place de mines "responsables" ;
- (3) L'instauration d'une économie "véritablement" circulaire par le développement de la récupération, de la réutilisation et du recyclage ; ce modèle étant le plus souvent considéré comme indispensable mais insuffisant pour répondre à la demande métallique future ;
- (4) La réduction de la demande en matières premières minérales ; cette perspective étant largement **débat**tue face aux "besoins" actuels des sociétés et à la mise en œuvre des modèles dits "de transition".

Dans le second volet de l'étude, SystExt a donc souhaité approfondir ces quatre leviers à la lumière des données les plus récentes. Compte tenu de la complexité de ces sujets, chacun d'entre eux fait l'objet d'un tome :

- **Tome 1 - Exploration et exploitation minières en eaux profondes ;**
- **Tome 2 - Meilleures pratiques et mine "responsable" ;**
- **Tome 3 - Mine secondaire et recyclage ;**
- **Tome 4 - Dépendance minérale et plans de "transition métallique".**

## 1.2. Approche méthodologique et limites associées

Comme introduit précédemment, l'un des objectifs de l'étude "Controverses minières" est de **réaliser une synthèse des principaux faits qui marquent la question de l'exploration et de l'exploitation minières en eaux profondes**. Afin d'appréhender cette question dans sa globalité, SystExt a approfondi de nombreux sujets, d'ordre : géographique, géologique, métallogénique<sup>2</sup>, technique et technologique (en particulier par rapport aux méthodes et outils nécessaires à l'exploration, à l'exploitation, au traitement du minerai et à la gestion des déchets miniers), environnemental (en particulier par rapport à l'évaluation et la gestion des risques et des impacts), écologique, écosystémique, toxicologique, social, culturel, réglementaire (en particulier par rapport au droit de la mer et au droit international) et juridique.

Au regard de la diversité des problématiques abordées et de la nécessité de disposer d'éléments précis et robustes, les recherches ont été effectuées dans : (1) des revues scientifiques ; (2) des livres de référence ; (3) des presses spécialisées (en géologie, en techniques et technologies, en économie, en sociologie, en géographie, etc.) ; (4) des rapports et des publications d'institutions internationales ainsi que d'organisations de la société civile. **La majorité des sources retenues concerne des travaux de recherche avec évaluation par les pairs** (ou *peer review* en anglais)<sup>3</sup>. **Pour cette question de l'exploration et de l'exploitation minières en eaux profondes, près de 400 sources documentaires ont été étudiées**. Parmi elles, seules les 208 sources citées dans ce rapport sont référencées dans la bibliographie qui est fournie à la fin du présent document.

En complément des travaux bibliographiques, plusieurs experts ont été consultés par SystExt, en particulier sur le droit de la mer, sur la biodiversité marine et sur la situation socio-environnementale de certains territoires ultramarins.

Par le croisement des nombreuses données et informations recueillies, **SystExt a recherché les faits et les démonstrations qui sont les plus couramment admis**. Cependant, certains sujets peuvent être peu traités (parce que peu de chercheurs les ont étudiés, parce que les recherches relèvent du droit privé, ou parce que les recherches sont toujours en cours, par exemple) ou particulièrement controversés. Le cas échéant, des mentions spécifiques ont été apportées dans le rapport. Dans tous les cas, **SystExt ne prétend pas à l'exhaustivité des sujets traités, compte tenu du très grand nombre de problématiques abordées et d'enjeux soulevés**.

Du fait des langues dans lesquelles SystExt a réalisé ses recherches (anglais, français, espagnol), les publications utilisées concernent davantage l'Europe, l'Amérique et l'Océanie, et moins l'Afrique et l'Asie. De plus, SystExt n'a travaillé que sur des données accessibles au public.

L'étude s'est déroulée sur deux ans et a été conduite par des membres de SystExt.

---

<sup>2</sup> Le terme "**métallogénique**" fait référence aux gisements métallifères et plus particulièrement à leurs mécanismes de formation.

<sup>3</sup> Les travaux de recherche avec évaluation par les pairs représentent 119 des 208 sources citées.

### 1.3. Contexte du sujet

L'activité minière en eaux profondes (ou *deep sea mining* en anglais) fait référence à l'exploration et l'exploitation de gisements situés en eaux marines profondes. Celles-ci correspondent à la partie de la colonne d'eau située en dessous de 200 mètres de profondeur (UICN)<sup>4</sup>. Outre une biodiversité d'une richesse exceptionnelle, les grands fonds marins peuvent également abriter des gisements de minerais métalliques. **L'intérêt grandissant pour ce type de gisement s'explique par leur valeur économique potentielle et l'étendue des superficies concernées.**

L'exploitation des ressources minérales marines profondes fut décrite dès 1967 comme une véritable « *course aux trésors marins* » (Oraison, 2006, p. 276). Cette course n'a cessé de s'accélérer pour devenir aujourd'hui un sujet d'actualité. En effet, depuis plusieurs mois, les publications et les prises de position se multiplient dans toutes les sphères : associatives, scientifiques, industrielles et institutionnelles. Les avis divergent tant qu'il peut s'avérer difficile d'évaluer la pertinence de ces projets à la lumière des enjeux humains, environnementaux, sociaux et économiques sous-jacents.

Ainsi, les partisans de l'exploitation minière en eaux profondes affirment généralement que **cette activité aurait un impact environnemental bien plus faible que l'exploitation minière terrestre**. De plus, **elle permettrait de répondre à la demande mondiale croissante en métaux**, en particulier en cobalt, en cuivre, en nickel, en lithium et en terres rares ; ces substances étant fréquemment présentées comme « indispensables à la transition écologique ». Ces deux thèses sont notamment soutenues par Hein, et al. (2020) dans une étude récente sur le potentiel métallique des gisements de nodules (Hein, et al., 2020, pp. 162-163 et p. 166-167) :

« [...] no overburden will need to be removed before mining can take place, as the deposits of interest are exposed at the ocean floor. [...] Acid mine drainage and river or soil contamination will be avoided by deep-ocean mining, as will many other challenges faced by terrestrial mine sites, such as the relocation of towns and villages, deforestation and largescale lowering of the groundwater table. »<sup>5</sup>

« The sources of CRM [critical raw materials] required for high-tech, green and alternative energy applications are currently limited and it has become necessary to dig deeper and deeper in terrestrial mines. Deep-ocean mineral deposits, in the form of polymetallic nodules on the seafloor, are rich in many of these CRM. [...] Modern societies cannot exist without the materials that are found in polymetallic nodules, and demand for these metals is projected to increase markedly in the future. [...] The enormous amount of marine mineral resources, and the development of technology to access them, makes deep-ocean contributions to the production of critical minerals seem inevitable. »<sup>6</sup>

<sup>4</sup> Site internet de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) ; page « Deep-sea mining » · [Lien](#).

<sup>5</sup> Traduction proposée par SystExt : « [...] il ne sera pas nécessaire d'enlever les stériles avant de procéder à l'exploitation minière, car les gisements d'intérêt sont à découvert au fond de l'océan. [...] L'exploitation minière en eaux profondes permettra d'éviter le drainage minier acide et la contamination des rivières ou des sols, ainsi que de nombreux autres problèmes rencontrés sur les sites miniers terrestres, tels que le déplacement des villes et des villages, la déforestation et l'abaissement à grande échelle de la nappe phréatique. »

<sup>6</sup> Traduction proposée par SystExt : « Les sources de matières premières critiques nécessaires aux applications de haute technologie et aux applications d'énergie verte et alternative sont actuellement limitées et il est devenu nécessaire de creuser de plus en plus profondément dans les mines terrestres. Les gisements marins profonds, sous la forme de nodules polymétalliques sur les fonds marins, sont riches en nombre de ces matières premières critiques. [...] Les sociétés modernes ne peuvent pas exister sans les matériaux que l'on trouve dans les nodules polymétalliques, et la demande de ces métaux devrait augmenter considérablement à l'avenir. [...] En raison de l'énorme quantité de ressources minérales marines profondes et du développement des technologies permettant d'y accéder, la contribution des grands fonds marins à la production de minéraux critiques semble inévitable. »

Cependant, **de très nombreux représentants académiques, institutionnels et de la société civile considèrent qu'actuellement l'exploitation minière en eaux profondes présente des risques majeurs et ne peut être soutenue**, tels que :

- l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) (UICN, 2021b) : « *Reconnaissant les avancées dans les connaissances scientifiques depuis 2012 concernant l'exploitation minière des grands fonds marins, et les préoccupations exprimées par les scientifiques, pour qui la perte de la biodiversité sera inévitable si l'activité minière des grands fonds marins est autorisée, cette perte de la biodiversité sera susceptible d'être permanente à l'échelle de temps humaine, et les conséquences pour le fonctionnement de l'écosystème océanique sont encore inconnues* », ou encore ;
- l'Initiative financière du Programme des Nations unies pour l'environnement (UNEP FI, 2022, p. 33) : « *With the current absence of a detailed understanding of ecological relationships, the only conclusion that can be drawn is that, at present, no robust, precautionary approach exists to safeguard the ocean against the potential ecological impacts associated with deep-sea mining.* »<sup>7</sup>

Certains chercheurs craignent même que cette industrie ait **la plus grande empreinte de toutes les activités humaines sur la planète**, tel que s'en alarme Craig Smith, océanographe à l'Université d'Hawaï (Grant, 19/12/2013, *PRJ*) :

« This mining, when it occurs, is going to be just massive in scale. It probably will have the largest footprint of any single human activity on the planet [...]. »<sup>8</sup>

Ainsi, en se basant sur les faits les plus couramment admis et reconnus, SystExt met en évidence les limites techniques et économiques de cette activité, ainsi que les risques environnementaux et humains associés. La corrélation d'une grande quantité de données scientifiques détaillées dans le présent rapport conduit l'association à **se positionner contre l'exploration et l'exploitation minières en eaux profondes et à appeler à l'interdiction de cette activité.**

---

<sup>7</sup> Traduction proposée par SystExt : « *En l'absence d'une compréhension détaillée des relations écologiques, la seule conclusion que l'on puisse tirer est qu'il n'existe actuellement aucune approche de précaution solide permettant de protéger l'océan contre les impacts écologiques potentiels associés à l'exploitation minière en eaux profondes.* »

<sup>8</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Cette exploitation minière, lorsqu'elle aura lieu, sera d'une ampleur considérable. Elle aura probablement la plus grande empreinte de toutes les activités humaines sur la planète [...].* »

## 2. Les viabilités technique et économique de l'exploitation des fonds marins restent controversées

### 2.1. Trois principaux types de gisements

#### 2.1.1. Principales caractéristiques des gisements de ressources minérales marines profondes

Dans les eaux marines profondes se trouvent trois principaux types de gisements : **les sulfures hydrothermaux, les nodules et les encroûtements**<sup>9</sup>. Le *Tableau 1 page suivante* dresse une synthèse de leurs principales caractéristiques. S'ils se distinguent par certains critères, tels que les environnements de mise en place, les mécanismes de formation ou les métaux contenus, ces trois types de gisements présentent des similitudes : (1) Ils se situent dans tous les océans ; (2) Ils se mettent en place à des profondeurs très élevées ; (3) Leur formation est extrêmement lente, de l'ordre de la dizaine de milliers voire du million d'années ; (4) Les principaux métaux d'intérêt sont des substances « communes », très majoritairement des métaux ferreux et non ferreux<sup>10</sup>.

La *Figure 1* situe les zones d'intérêt pour les différents types de gisements en eaux profondes et met en évidence les gisements majeurs : Atlantis dans la Mer Rouge pour les sulfures hydrothermaux ; la Zone de Clarion-Clipperton (ou *Clarion-Clipperton Zone (CCZ)* en anglais), le *Peru Basin (PB)* et le *Cook Islands* ou *Penrhyn Basin (PEN)* dans l'Océan Pacifique pour les nodules ; la *Prime Crust Zone (PCZ)* dans l'Océan Pacifique pour les encroûtements.

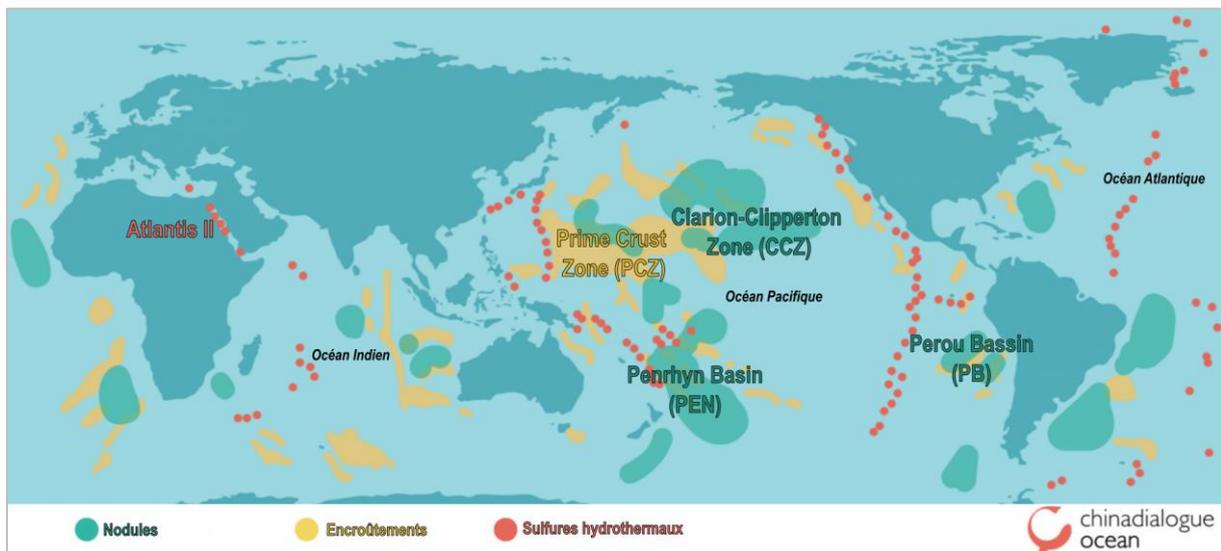


Figure 1 : Localisation des zones d'intérêt pour les trois types de gisements en eaux profondes et mise en évidence des sites majeurs ; traduit et adapté de (Woody, 07/05/2020, *China Dialogue Ocean*)

<sup>9</sup> SystExt se basera pour la suite sur ces dénominations simplifiées, mais plusieurs autres dénominations existent : dépôts de sulfures hydrothermaux, sulfures massifs du plancher océanique, nodules polymétalliques, nodules manganésifères, encroûtements cobaltifères, encroûtements d'oxydes ferromanganésifères, etc.

<sup>10</sup> Les **métaux ferreux** sont principalement utilisés dans l'industrie de l'acier (UNEP, 2011). Il s'agit des 7 métaux suivants : Chrome (Cr) · Fer (Fe) · Manganèse (Mn) · Molybdène (Mo) · Nickel (Ni) · Niobium (Nb) · Vanadium (V). Les **métaux non-ferreux**, dont l'utilisation n'est pas en lien direct avec l'industrie de l'acier, constituent des matériaux de référence dans l'industrie (notamment pour leurs propriétés, telles que le non-magnétisme, la légèreté, la malléabilité, la conductivité électrique) (UNEP, 2011). Il s'agit des 8 métaux suivants : Aluminium (Al) · Cobalt (Co) · Cuivre (Cu) · Étain (Sn) · Magnésium (Mg) · Plomb (Pb) · Titane (Ti) · Zinc (Zn).

	Sulfures hydrothermaux	Nodules	Encroûtements
<b>Contexte géologique</b>			
<b>Environnements favorables ou nécessaires</b>	Zones de volcanisme sous-marin (dorsale <sup>11</sup> , arc volcanique <sup>12</sup> ; bassin d'arrière arc)	Plaines abyssales à faible taux de sédimentation	Reliefs sous-marins particuliers (flancs de volcans, crêtes et plateaux) à taux de sédimentation quasi-nul
<b>Gisements d'intérêt majeur</b>	Atlantis II (rift)   Mer Rouge	<i>Clarion-Clipperton Zone</i> (CCZ); <i>Peru Basin</i> (PB); <i>Cook Islands</i> ou <i>Penrhyn Basin</i> (PEN)   Océan Pacifique	<i>Pacific Prime Crust Zone</i> (PCZ)   Océan Pacifique
<b>Profondeur</b>	1 000-5 000 m La majorité des gisements au niveau des dorsales se situent à <b>2 000-3 000 m de profondeur</b>	3 500-6 500 m La majorité des surfaces couvertes par des nodules se situent à des <b>profondeurs entre 4 100 et 4 200 m.</b>	400-7 000 m Les encroûtements les plus riches en métaux et les plus épais se situent à des <b>profondeurs entre 800 et 2 500 m.</b>
<b>Caractéristiques des gisements</b>			
<b>Mécanismes de formation</b>	Circulation hydrothermale dans la croûte océanique qui précipite les métaux sous forme de sulfures au niveau des événements ("cheminées volcaniques")	Précipitations d'hydroxydes métalliques sur un nucléus à partir d'eau de mer ou à partir d'eau de porosité des sédiments	Précipitations d'hydroxydes métalliques sur un substrat induré à partir d'eau de mer
<b>Croissance et durée de mise en place</b>	Plusieurs dizaines de milliers d'années pour la formation des plus grands gisements	Extrêmement lent De quelques mm à quelques centaines de mm par million d'années	Extrêmement lent 1 à 6 mm par million d'années
<b>Épaisseur et taille des objets</b>	Sous forme de cheminée individuelle (de quelques cm à plus de 45 m) ou de monts	Nodules de 1 à 12 cm	Épaisseur de moins de 1 mm à 260 mm
<b>Principaux minéraux de la zone minéralisée</b>	Sulfures, sulfates et silicates	Oxydes de manganèse et oxyhydroxydes de fer	Oxydes de manganèse et oxyhydroxydes de fer, quartz, feldspaths, phosphates, carbonates
<b>Métaux contenus</b>			
<b>Principaux métaux d'intérêt</b>	Cuivre (Cu) · Zinc (Zn) · Or (Au) · Argent (Ag)	Manganèse (Mn) · Cuivre (Cu) · Nickel (Ni) · Cobalt (Co)	Manganèse (Mn) · Cuivre (Cu) · Nickel (Ni) · Cobalt (Co)
<b>Autres métaux d'intérêt potentiel</b>	Antimoine (Sb) · Cadmium (Cd) · Gallium (Ga) · Germanium (Ge) · Indium (In)	Lithium (Li) · Molybdène (Mo) · Zirconium (Zr)	Platine (Pt) · Tellure (Te) · Éléments du groupe des terres rares
<b>Autres métaux présents</b>	Bismuth (Bi) · Mercure (Hg) · Sélénium (Se) · Tellure (Te) · Thallium (Th)	Tellure (Te) · Thallium (Th) · Tungstène (W) · Terres rares	Bismuth (Bi) · Molybdène (Mo) · Niobium (Nb) · Phosphore (P) · Thallium (Th) · Titane (Ti) · Tungstène (W) · Zirconium (Zr)

Tableau 1 : Synthèse des principales caractéristiques des gisements des fonds marins (sulfures hydrothermaux, nodules et encroûtements) | Création : SystExt · Août 2022, selon le croisement de données issues de (Fouquet, 2013 ; Hein, et al., 2013 ; Ecorys, 2014a ; Hein, et al., 2020 ; Ochromowicz, et al., 2021)

<sup>11</sup> Une **dorsale** correspond à une chaîne de montagnes sous-marines (où se forme de la croûte océanique) au niveau de zones d'extension tectonique.

<sup>12</sup> Un **arc volcanique** est un ensemble de volcans alignés selon une courbe. Un **bassin d'arrière-arc** correspond au bassin sédimentaire situé à l'arrière d'un arc volcanique.

### 2.1.2. Sulfures hydrothermaux

Les sulfures hydrothermaux se mettent en place au niveau des zones de **volcanisme sous-marin** (dorsales, bassins d'arrière arc, arcs volcaniques) et plus particulièrement le long des dorsales<sup>13</sup> (Hannington, et al., 2011 ; Fouquet, 2013 ; Ecorys, 2014a). Leur surface d'emprise sur les fonds marins s'étend généralement sur quelques hectares (Fouquet, 2013). Si leur profondeur varie de 1 000 à 5 000 m, les principaux gisements se situent à des **profondeurs comprises entre 2 000 et 3 000 m**<sup>14</sup> (Ecorys, 2014a).

Ces gisements sont liés aux circulations d'eau de mer au sein de la croûte océanique, concentrant et transportant les métaux, qui précipitent sous la forme d'amas de sulfures métalliques au niveau des événements ("cheminées volcaniques") (Figure 2). Une grande partie du métal est cependant perdue dans le panache hydrothermal et dispersée loin des sites de l'événement (Ecorys, 2014a). Ces mécanismes de formation sont ainsi très lents : il faut **plusieurs dizaines de milliers d'années pour constituer les plus grands gisements** (Ecorys, 2014a). Ces derniers sont toutefois rares, pas plus d'une dizaine de gisements (sur les 306 identifiés) présenteraient une taille et des teneurs métalliques suffisantes permettant d'envisager une exploitation future (Ecorys, 2014a).

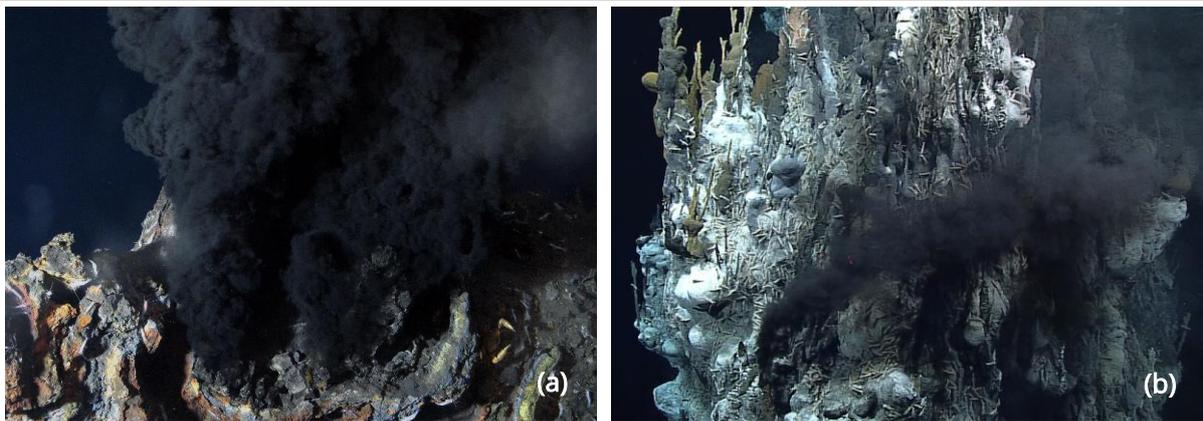


Figure 2 : (a) Fumeur noir actif à 3 000 m de profondeur, site hydrothermal de Logatchev, dorsale médio-atlantique | Ifremer · 2007 · cc by 4.0 ; (b) Cheminée d'un événement hydrothermal en activité, couverte d'animaux (dont des crevettes, des crabes, des escargots et des vers à écailles), Îles Mariannes, océan Pacifique | © NOAA<sup>15</sup> Ocean Exploration · 2016 ; tiré de (Chadwick, 2016)

**Les principaux métaux d'intérêt des gisements de sulfures hydrothermaux sont le cuivre (Cu), le zinc (Zn), l'or (Au) et l'argent (Ag)** (Ecorys, 2014a). D'autres métaux et métalloïdes peuvent présenter un intérêt potentiel ; il s'agit de l'antimoine (Sb), du cadmium (Cd), du gallium (Ga), du germanium (Ge) et de l'indium (In) (Fouquet, 2013 ; Ecorys, 2014a). Le bismuth (Bi), le mercure (Hg), le sélénium (Se), le tellure (Te) et le thallium (Th) sont également signalés (Fouquet, 2013 ; Ecorys, 2014a).

<sup>13</sup> 65 % des gisements de sulfures hydrothermaux se trouvent le long des dorsales, 22 %, dans les bassins d'arrière-arc, 12 %, au niveau des arcs volcaniques (Hannington, et al., 2011).

<sup>14</sup> Cela concerne les gisements situés au niveau des dorsales. Les gisements associés aux bassins d'arrière-arc et aux arcs volcaniques sont généralement situés à des profondeurs plus faibles (Ecorys, 2014a).

<sup>15</sup> Le *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) est une agence scientifique et réglementaire américaine au sein du ministère du commerce des États-Unis.

### 2.1.3. Nodules

Les nodules se mettent en place dans les plaines abyssales à faible taux de sédimentation, inférieurs à 1 cm par millier d'années (Ecorys, 2014a ; Hein, et al., 2020). Si leur profondeur varie de 3 500 à 6 500 m, la majorité des surfaces couvertes par des nodules se situent à des **profondeurs comprises entre 4 100 et 4 200 m** (Ecorys, 2014a).

Les nodules se présentent sous la forme de concrétions noirâtres d'un diamètre de 1 à 12 cm (Hein, et al., 2013) et contenant environ 40 % d'eau (Fouquet, 2013) (Figure 3). Elles se composent d'oxydes de manganèse et d'hydroxydes de fer, qui ont précipité autour d'un nucléus<sup>16</sup> pouvant être un fragment de roche ou un débris organique (Fouquet, 2013 ; Ecorys, 2014a). Les minéraux précipitent soit à partir d'eau de mer (processus hydrogénétiq ue), soit à partir de l'eau incluse dans la porosité des sédiments (processus diagénétique). La croissance de ces concrétions est particulièrement lente : de **quelques millimètres à quelques centaines de millimètres par million d'années** (Ecorys, 2014a ; Hein, et al., 2020).

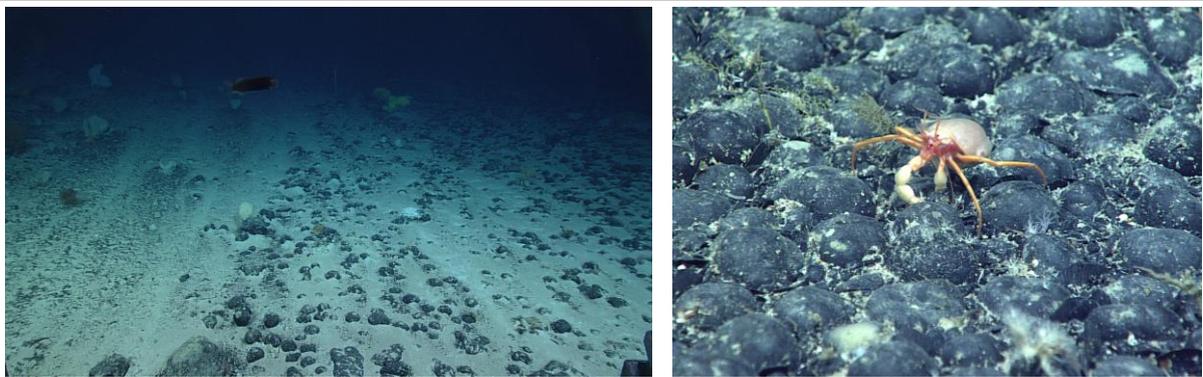


Figure 3 : Champ de nodules au niveau des Monts sous-marins de la Nouvelle-Angleterre et de Corner Rise, océan Atlantique Nord | © NOAA Ocean Exploration · 2021 ; tiré de (Mizell, 2021)

**Les nodules contiennent essentiellement du manganèse (Mn) et du fer (Fe). Les principaux métaux d'intérêt de ces gisements sont le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le cobalt (Co) ainsi que le manganèse (Mn) dans une moindre mesure** (Ecorys, 2014a). D'autres métaux peuvent présenter un intérêt potentiel ; il s'agit du lithium (Li), du molybdène (Mo) et du zirconium (Zr) (Fouquet, 2013 ; Ecorys, 2014a). Le tellure (Te), le thallium (Th), le tungstène (W) et des terres rares sont également signalés (Fouquet, 2013).

<sup>16</sup> En géologie, un nucléus est un fragment à l'origine d'une concrétion.

#### 2.1.4. Encroûtements

Les encroûtements se mettent en place **au niveau de reliefs sous-marins particuliers** (flancs de volcans, crêtes et plateaux) dans des zones où les taux de sédimentation sont quasiment nuls<sup>17</sup>. Ils recouvrent des surfaces de plusieurs dizaines de kilomètres carrés (Fouquet, 2013). Si leur profondeur varie de 400 à 7 000 m, les encroûtements les plus riches en métaux et les plus épais se situent à des **profondeurs comprises entre 800 et 2 500 m** (Hein, et al., 2013 ; Ecorys, 2014a).

Leur formation se base sur le même principe que celle des nodules (Bougault & Saget, 2011), elle consiste en une précipitation d'oxydes de manganèse et d'hydroxydes de fer à partir d'eau de mer (processus hydrogénétiq ue), mais sur un substrat induré et sous la forme de croûtes noirâtres (Figure 4). Ces gisements se caractérisent par des taux de croissance particulièrement lents, de **1 à 6 mm par million d'années** (Fouquet, 2013 ; Hein, et al., 2013 ; Ecorys, 2014a). Ainsi, les encroûtements les plus épais peuvent être âgés de plus de 60 millions d'années (Fouquet, 2013). Leur épaisseur, bien que variable, reste faible : de moins d'un 1 mm jusqu'à 260 mm (Ecorys, 2014a).

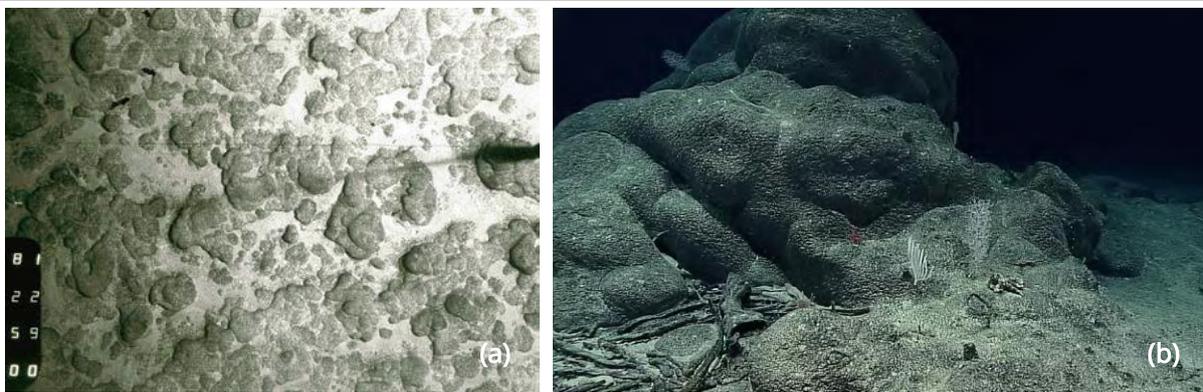


Figure 4 : (a) Fond couvert d'encroûtements, site de Niau, îles Tuamotu, océan Pacifique ; tiré de (Bougault & Saget, 2011, p. 6) ; (b) Encroûtements, Îles Mariannes, océan Pacifique | © NOAA Ocean Exploration · 2016 ; tiré de (Glickson, 2016)

Les encroûtements contiennent essentiellement du manganèse (Mn) et du fer (Fe). **Les principaux métaux d'intérêt de ces gisements sont le cuivre (Cu), le cobalt (Co), le nickel (Ni) ainsi que le manganèse (Mn) dans une moindre mesure** (Ecorys, 2014a). D'autres métaux peuvent présenter un intérêt potentiel ; il s'agit du platine (Pt), du tellure (Te) et des terres rares (Fouquet, 2013 ; Ecorys, 2014a). Le bismuth (Bi), le molybdène (Mo), le niobium (Nb), le phosphore (P), le thallium (Th), le titane (Ti), le tungstène (W) et le zirconium (Zr) sont également signalés (Fouquet, 2013 ; Ecorys, 2014a).

<sup>17</sup> Zones sur lesquelles aucun phénomène de sédimentation ne s'est produit depuis des millions d'années (Hein, et al., 2013).

## 2.2. Importance relative des ressources

Les premières recherches minières ont débuté dans les années 1970, d'abord pour les nodules puis pour les sulfures hydrothermaux et enfin pour les encroûtements à partir du début des années 1980 (Fouquet, 2013 ; Hein, et al., 2013). Selon Fouquet (2013), les investigations conduites sur les nodules dans les années 1970 et 1980 n'ont pas abouti à leur exploitation pour plusieurs raisons (Fouquet, 2013, p. 52) : « [...] une profondeur supérieure à 4 000 mètres de fond, une mauvaise estimation de la ressource, le coût élevé des traitements métallurgiques, des problèmes politiques liés au droit de la mer et, enfin, l'effondrement du cours des métaux ».

Selon Hein, et al. (2013), cette dernière raison est la principale cause du désintérêt pour les fonds marins jusqu'au début du 21<sup>ème</sup> siècle. Ils soulignent cependant que les recherches se sont dès lors concentrées sur les métaux de spécialité<sup>18</sup>, tels que les terres rares, le lithium (Li), le molybdène (Mo), l'antimoine (Sb), la gallium (Ga), etc. (Hein, et al., 2013). Selon ces derniers auteurs, l'**augmentation de la demande en métaux de spécialité** et les **dynamiques monopolistiques et concurrentielles sur ces filières** seraient à l'origine du regain d'intérêt pour les ressources minérales marines profondes à partir des années 2000 (Hein, et al., 2013). De nos jours, il est effectivement très fréquent que les publications scientifiques et médiatiques mettent en avant la « richesse » des ressources minérales marines profondes face à la demande croissante en métaux « rares ». SystExt a donc étudié les teneurs (concentrations en métal(aux)) et le tonnage (quantité totale de minerai) de ces gisements afin de mieux comprendre leur potentiel métallogénique<sup>19</sup>.

### 2.2.1. Teneurs faibles à moyennes par rapport aux gisements terrestres

Le *Tableau 2 page suivante* propose une synthèse des teneurs moyennes de 13 métaux d'intérêt et d'intérêt potentiel dans les trois types de gisements (sulfures hydrothermaux, nodules et encroûtements), en les comparant aux teneurs moyennes des gisements terrestres.

Compte tenu du caractère partiel et variable des données sur les teneurs moyennes des différents gisements en eaux profondes, SystExt s'est basée sur :

- Les moyennes internationales pour les sulfures hydrothermaux (Ecorys, 2014a), mais qui n'étaient pas disponibles pour 8 des 13 métaux considérés ;
- Les valeurs moyennes de la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ) (Hein, et al., 2013) qui est le gisement de nodules le mieux connu et présentant le plus grand potentiel économique (en termes de teneurs et de tonnage) ;
- Les valeurs moyennes de la *Prime Crust Zone* (PCZ) (Hein, et al., 2013) qui est le gisement d'encroûtements le mieux connu et présentant le plus grand potentiel économique (en termes de teneurs et de tonnage).

Dans les deux derniers cas, si les valeurs retenues ne sont pas représentatives de tous les gisements, elles permettent de comparer le « meilleur potentiel minier » connu à ce jour avec les gisements terrestres.

---

<sup>18</sup> Les métaux de spécialité correspondent à un groupe de 37 métaux défini par l'International Resource Panel qui ont notamment pour caractéristique d'être couramment utilisés à des fins industrielles spécifiques (UNEP, 2011).

<sup>19</sup> Pour rappel, le terme "**métallogénique**" fait référence aux gisements métallifères et plus particulièrement à leurs mécanismes de formation.

	Sulfures hydrothermaux		Nodules	Encroûtements	Moyennes des gisements terrestres <sup>20</sup>
	Unité	Moyenne internationale	Dans la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ)	Dans la Prime Crust Zone (PCZ)	
Manganèse (Mn)	%	-	<b>28,4</b>	<b>22,8</b>	30 à 50
Zinc (Zn)	%	<b>10</b>	0,14	0,07	4 à 20
Cuivre (Cu)	%	<b>5</b>	<b>1,07</b>	<b>0,98</b>	0,3 à 2
Nickel (Ni)	%	-	<b>1,30</b>	<b>0,42</b>	0,7 à 3
Cobalt (Co)	%	-	<b>0,21</b>	<b>0,67</b>	0,01 à 1
Terres rares <sup>21</sup>	%	-	0,08	0,25	5 à 10
Lithium (Li)	g/t	-	131	3	500 à 15 000
Molybdène (Mo)	g/t	-	590	463	200 à 3 000
Zirconium (Zr)	g/t	-	307	559	5 000 à 250 000
Tellure (Te)	g/t	5	4	<b>60</b>	0,1 à 1
Or (Au)	g/t	<b>5</b>	0,005	0,06	0,5 à 20
Argent (Ag)	g/t	<b>200</b>	0,2	0,1	10 à 1 000
Platine (Pt)	g/t	-	0,1	0,5	5 à 15

Légende :

• Principaux métaux d'intérêt (teneurs en gras)

• Comparaison des teneurs des gisements en eaux profondes par rapport à la moyenne des gisements terrestres en exploitation (couleurs uniquement pour les principaux métaux d'intérêt et pour les autres métaux d'intérêt potentiel de chaque type de gisement) :

	Teneur inférieure à la borne basse de la gamme
	Teneur dans la gamme
	Teneur supérieure à la borne haute de la gamme

Tableau 2 : Teneurs moyennes pour les principaux métaux et métalloïdes d'intérêt et pour ceux d'intérêt potentiel, dans les gisements marins en eaux profondes (Hein, et al., 2013 ; Ecorys, 2014a) et comparaison aux teneurs moyennes des gisements terrestres<sup>20</sup>

Il en ressort que, pour la plupart des métaux d'intérêt ou d'intérêt potentiel, les teneurs moyennes dans les gisements en eaux profondes sont **inférieures à la borne basse de la gamme ou dans la gamme de celles des gisements terrestres**, exception faite du cuivre dans les sulfures hydrothermaux (5 % par rapport à une gamme de 0,3 à 2 %) et du tellure dans les encroûtements (60 g/t par rapport à une gamme de 0,1 à 1 g/t). Pour certains métaux d'intérêt ou d'intérêt potentiel, **les concentrations peuvent même être très inférieures aux teneurs d'exploitation sur terre**, comme pour le lithium dans les nodules (131 g/t par rapport à une gamme de 500 à 15 000 g/t) ou pour les terres rares dans les encroûtements (0,25 % par rapport à une gamme de 5 à 10 %).

Ce constat est d'ailleurs partagé par une mission d'information sénatoriale récente (Sénat, 2022b, p. 85) : « [...] **la teneur en métaux des ressources minérales des grands fonds marins n'est pas nécessairement significativement plus élevée que celle des mines terrestres, à l'exception des sulfures hydrothermaux pour le cuivre et le zinc et des encroûtements cobaltifères pour le cobalt.** »

<sup>20</sup> Voir Annexe 1 p. 95 qui détaille les données et sources d'informations ayant permis à SystExt de proposer ces gammes de valeurs pour les teneurs moyennes des gisements terrestres.

<sup>21</sup> Somme des concentrations de tous les lanthanides et de celle de l'yttrium.

Hein, et al. (2013) ont conduit une étude de référence, dédiée à la comparaison des ressources minières marines profondes (pour les nodules et les encroûtements) par rapport aux ressources terrestres. La mise en évidence de teneurs faibles à moyennes ne conduit pas les auteurs à remettre en cause le potentiel des ressources minières marines profondes, car ils les pondèrent au regard d'**enjeux de souveraineté et de diversification des sources d'approvisionnement**, comme dans le cas des terres rares dont les concentrations sont particulièrement faibles (Hein, et al., 2013, pp. 7-9) :

« REEs in nodules are also of economic interest [...], but are generally two to six times lower than they are in Fe-Mn crusts, [...]. However, **there are advantages to recovering REEs even with those low grades**, as discussed below [...]. Further, there are **limited sources for many critical metals**; China is the major producer for 30 critical metals, including the 14 REEs and Y [...]. China's exports of these metals are decreasing as more of their production is being used internally. **Decreasing supply and increasing demand** for metals will open markets to new sources of metals. »<sup>22</sup>

### 2.2.2. Incertitudes très élevées sur les ressources minières

Cette dernière approche est partagée par d'autres auteurs, qui la confortent avec des estimations du tonnage (Fouquet, 2013 ; Dymont, et al., 2014 ; Ecorys, 2014a). Selon eux, bien que les teneurs soient moyennes à très faibles, le potentiel minier est majeur compte tenu de la quantité totale de minerai (ou tonnage).

Des valeurs de tonnage sont ainsi régulièrement utilisées par les chercheurs, voire reprises dans la presse, notamment :

- (1) 3 milliards de tonnes de minéralisations sulfurées au niveau des dorsales (Fouquet, 2013) ;
- (2) 34 milliards de tonnes de nodules (Fouquet, 2013 ; Dymont, et al., 2014 ; valeur tirée de (Hoffert, 2008)) ou 21 milliards de tonnes de nodules dans la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ) (Hein, et al., 2013 ; Ecorys, 2014a ; valeur tirée de (ISA, 2010)) ;
- (3) 7,5 milliards de tonnes d'encroûtements dans la *Prime Crust Zone* (PCZ) (Hein, et al., 2013 ; Ecorys, 2014a ; valeur tirée de (Hein & Koschinsky, 2014)<sup>23</sup> ;
- (4) 50 000 km<sup>2</sup> d'encroûtements en Polynésie (Fouquet, 2013).

<sup>22</sup> Traduction proposée par SystExt : « Les terres rares dans les nodules présentent également un intérêt économique [...], mais sont généralement à des teneurs deux à six fois plus faibles que dans les encroûtements ferromanganésifères [...]. Cependant, il y a des avantages à récupérer les terres rares même avec ces faibles teneurs, comme discuté ci-dessous [...]. En outre, il existe des sources limitées pour de nombreux métaux critiques ; la Chine est le principal producteur de 30 métaux critiques, dont 14 terres rares et l'yttrium [...]. Les exportations chinoises de ces métaux sont en baisse, car une plus grande partie de leur production est utilisée en interne. La diminution de l'offre et l'augmentation de la demande de métaux ouvriront les marchés à de nouvelles sources de métaux. »

<sup>23</sup> Si Hein et Koschinsky (2014) indiquent que cette valeur est basée sur des données de (Hein, et al., 2009), ils n'explicitent cependant pas leur calcul.

La multiplication des tonnages précédents par les concentrations moyennes permet aux auteurs de fournir des quantités totales de métaux qui s'avèrent particulièrement élevées, et de les comparer aux réserves terrestres, tel qu'en attestent les exemples suivants : « *A conservative calculation for the CCZ [Clarion-Clipperton Zone] estimates there are about 21,100 million dry metric tonnes of nodules in the region. That would yield nearly 6,000 million tonnes of manganese, more than the entire land-based reserve base of manganese. Similarly, the amount of nickel (270 million tonnes) and cobalt (46 million tonnes) in those nodules would be two and three times greater than the entire land-based nickel and cobalt reserve bases, respectively.* »<sup>24</sup> (Ecorys, 2014a, p. 22), ou encore « [...] *the potential resource for the PPCZ [Pacific Prime Crust Zone] alone is greater than the projected global land-based reserve base for Co [Cobalt], Y [Yttrium], and especially Te [Tellurium], but less for the other metals listed.* »<sup>25</sup> (Hein & Koschinsky, 2014, p. 287).

SystExt s'est donc intéressée aux méthodes de calcul des tonnages, tel que détaillé dans l'*Encadré 1 page suivante*. Il en ressort qu'il s'agit au mieux de ressources présumées<sup>26</sup> (c'est-à-dire de l'estimation la plus incertaine des ressources minières) au pire d'un potentiel entaché d'incertitudes majeures.

**Les calculs de tonnages sont basés sur des hypothèses controversées**, notamment : (1) l'assimilation des environnements favorables à la mise en place de minéralisations à des gisements potentiellement exploitables ; (2) l'homogénéité des gisements sur des distances de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres ou encore sur des surfaces de plusieurs millions de kilomètres carrés ; (3) la possibilité de récupérer la totalité du volume du gisement.

Concernant cette troisième hypothèse, celle-ci est régulièrement discutée compte tenu de la morphologie des trois types de gisements, tel que le mentionne par exemple Fouquet (2013) concernant les encroûtements de Polynésie (Fouquet, 2013, p. 54) : « *Il convient cependant de nuancer ces chiffres, car beaucoup de zones, telles que les pentes des volcans, présentent des rugosités trop élevées pour un ramassage efficace.* » ou encore Hein et al. (2013) concernant les quantités de métal potentiellement présentes dans la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ) et la Prime Crust Zone (PCZ) (Hein, et al., 2013, pp. 9-10) : « *These calculations illustrate that significant tonnages of metals occur in the marine deposits, however, it should be kept in mind that not all the nodules in the CCZ or crusts in the PCZ will be recovered [...].* »<sup>27</sup>. Concernant les encroûtements, certaines estimations indiquent un taux de récupération entre 30 et 80 % (Hein, et al, 2009).

<sup>24</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Dans une approche conservatoire, un calcul pour la CCZ permet d'évaluer à environ 21 100 millions de tonnes (en poids sec) la quantité de nodules dans la région. Cela donnerait près de 6 000 millions de tonnes de manganèse, soit plus que la totalité des réserves terrestres de manganèse. De même, les quantités de nickel (270 millions de tonnes) et de cobalt (46 millions de tonnes) contenues dans ces nodules seraient respectivement deux et trois fois supérieures à l'ensemble des réserves terrestres de nickel et de cobalt.* »

<sup>25</sup> Traduction proposée par SystExt : « [...] *les ressources potentielles de la seule Prime Crust Zone sont supérieures aux réserves terrestres mondiales projetées pour le cobalt, l'yttrium et surtout le tellure, mais inférieures pour les autres métaux listés.* »

<sup>26</sup> Selon la classification des réserves et ressources de l'Institut canadien des mines, de la métallurgie et du pétrole (ICM) : une **ressource minérale** « *est une concentration ou une occurrence de substance solide présentant un intérêt économique dans ou sur la croûte terrestre dont la forme, la teneur (ou qualité) et la quantité sont telles qu'elles présentent des perspectives raisonnables d'extraction rentable à terme* » (ICM, 2014, p. 4) ; une **ressource minérale présumée** « *constitue la partie de la ressource minérale dont on peut estimer la quantité et la teneur (ou qualité) sur la base de preuves géologiques et d'un échantillonnage restreint. Les preuves géologiques suffisent à supposer, mais pas à vérifier, la continuité géologique et celle de la teneur (ou qualité)* » (ICM, 2014, p. 4).

<sup>27</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Ces calculs illustrent que des tonnages importants de métaux sont présents dans les gisements marins, cependant, il faut garder à l'esprit que tous les nodules de la CCZ ou les encroûtements de la PCZ ne seront pas récupérés [...].* »

## Encadré 1 : Incertitudes et surestimations dans les méthodes de calcul du tonnage des gisements en eaux profondes

### 3 milliards de tonnes de minéralisations sulfurées au niveau des dorsales

« La zone la mieux connue et la mieux explorée actuellement, à la fois pour les sites actifs et les sites inactifs, est celle étudiée par la Russie depuis plus d'une dizaine d'années [...] entre 13°N et 21°N sur la dorsale Atlantique. Une exploration systématique de cette portion de dorsale lente sur environ 1000 kilomètres de long et 20 kilomètres de large a permis de localiser sept champs hydrothermaux majeurs dont quatre dépôts inactifs. L'ensemble de ces minéralisations totalise plus de 75 millions de tonnes de sulfures. En considérant qu'environ 40 000 kilomètres des 60 000 kilomètres de dorsales sont des dorsales lentes, on peut estimer que la portion de ces dernières ayant moins d'un million d'années [...] contient 40 X 75 millions de tonnes, soit environ 3 000 millions de tonnes de minéralisations sulfurées. » **(Fouquet, 2013, p. 56)**

Cette estimation consiste donc en l'application d'une simple règle de trois, basée sur deux hypothèses extrêmement fortes : (1) 2/3 de toutes les dorsales sont lentes et s'étendent donc sur 20 km de large environ ; (2) Ces 40 000 km de dorsales sont autant minéralisés que la zone la plus connue située entre 13°N et 21°N sur la dorsale Atlantique. D'autres auteurs ont modélisé des scénarios beaucoup moins ambitieux, considérant par exemple 10 000 km de dorsales, d'arcs et de bassins d'arrière-arc pour un total de 600 millions de tonnes de sulfures massifs **(Hannington, et al., 2011)**. Ces derniers considèrent plutôt un tonnage 5 fois inférieur en prenant en compte dans leur évaluation tous les environnements de volcanisme sous-marins favorables (et pas seulement les dorsales).

D'autres auteurs encore ne se risquent pas à évaluer le potentiel des sulfures hydrothermaux compte tenu du manque de données : « Due to lack of information about the important subsurface component of deposits, it is difficult to estimate the resource potential of most seafloor massive sulphides. »<sup>28</sup> **(Ecorys, 2014a, p. 14)** ou « [...] the tonnages of SMS in various environments throughout the global ocean are poorly known and grade/tonnage comparisons with land-based deposits have a high degree of uncertainty. »<sup>29</sup> **(Hein, et al., 2013, p. 2)**.

### 21 milliards de tonnes de nodules dans la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ)

À partir d'une modélisation par krigeage<sup>30</sup>, l'International Seabed Authority (ISA) a évalué la quantité de nodules présents dans la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ) **(ISA, 2010)**. Si la surface initialement étudiée était de 4,19 millions de km<sup>2</sup>, la surface retenue (en excluant les zones sans aucune donnée) était de 3,83 millions de km<sup>2</sup>. Sur cette dernière surface, l'ISA a ainsi conclu que les ressources présumées de la CCZ s'élèvent à 21,1 milliards de tonnes de nodules **(ISA, 2010)**. Cette valeur résulte de l'application d'un modèle mathématique sur plusieurs millions de kilomètres carrés, approche qui est associée à de très grandes incertitudes. De plus, aucun des auteurs consultés par SystExt qui utilisent cette valeur ne remet en cause la viabilité même d'exploiter un territoire de 3,83 millions de km<sup>2</sup>, ce qui est plus grand que la superficie de l'Inde (de 3,29 millions de km<sup>2</sup>).

### 50 000 km<sup>2</sup> d'encroûtements en Polynésie

« Dans la zone des Tuamotu, les croûtes forment un tapis plat et continu sur des formations sédimentaires indurées. Dans cette zone, on estime qu'une surface de 100 km<sup>2</sup> de fond marin contient environ 10 millions de tonnes de croûtes polymétalliques, ce qui représente plus de 100 000 tonnes de cobalt et 10 tonnes de platine [...]. Les images sonar réalisées en Polynésie ont permis de déterminer que les substrats durs favorables à la formation des encroûtements représentent environ 50 000 km<sup>2</sup>. Il y aurait donc en Polynésie, environ 50 millions de tonnes de cobalt et 5000 tonnes de platine [...]. » **(Fouquet, 2013, p. 54)**

Comme dans le cas des sulfures hydrothermaux, cette évaluation du potentiel en Polynésie s'appuie sur une application de la règle de trois en faisant l'hypothèse que les minéralisations sont similaires dans une zone 500 fois plus grande que celle des Tuamotu. Par ailleurs, des environnements favorables à la mise en place d'encroûtements ne correspondent pas nécessairement à des gisements exploitables.

<sup>28</sup> Traduction proposée par SystExt : « En raison du manque d'information sur l'importante composante souterraine des gisements, il est difficile d'estimer le potentiel de ressources de la plupart des sulfures hydrothermaux. »

<sup>29</sup> Traduction proposée par SystExt : « [...] les tonnages de sulfures massifs dans les différents environnements de l'océan mondial sont mal connus et les comparaisons teneur/tonnage avec les gisements terrestres présentent un degré élevé d'incertitude. »

<sup>30</sup> Le **krigeage** est une méthode d'estimation géostatistique basée sur l'interpolation de données localisées. Schématiquement, à partir de critères connus en différents points, la méthode permet de déterminer comment ce critère est distribué dans l'espace.

À ces hypothèses, s'ajoutent les **très nombreuses incertitudes** sur les données permettant d'établir les teneurs moyennes ou encore les dimensions des zones minéralisées (Hannington, et al, 2011 ; Hein, et al., 2009 ; Hein, et al, 2013 ; Ecorys, 2014a). Cela est notamment dû au fait que les modèles reposent sur les données issues des sites les plus riches ou encore au fait que toutes les informations ne sont pas publiquement accessibles (Ecorys, 2014a).

**L'utilisation de ces valeurs de tonnages et de quantités de métaux s'avère donc particulièrement discutable**, d'autant plus lorsqu'elles sont comparées à des réserves terrestres (correspondant à des ressources connues et exploitables) ou encore à une consommation mondiale annuelle. Selon SystExt, il ne suffit pas d'annoncer des quantités gigantesques de minerai et donc de métaux théoriquement présents, mais bien de les **mettre en parallèle des superficies à exploiter pour les récupérer : presque 4 millions de km<sup>2</sup>** (soit plus que la superficie de l'Inde) **pour les 21 milliards de tonnes de nodules de la CCZ ou encore 50 000 km<sup>2</sup> pour les encroûtements de la Polynésie** (soit l'équivalent de la superficie de la Slovaquie ou du Costa Rica). À titre de comparaison, dans le cas des exploitations terrestres, les emprises des sites miniers les plus grands s'élèvent à quelques dizaines de kilomètres carrés (comme la mine de lignite de Garzweiler en Allemagne ou la mine de fer de Carajás au Brésil) jusqu'à quelques centaines de kilomètres carrés (comme la mine d'or de Yanacocha au Pérou ou le complexe minier de nickel-platinoïdes de Norilsk en Russie).

### 2.2.3. Situation actuelle des projets d'exploration et d'exploitation

Dans la Zone (ou eaux internationales)<sup>31</sup>, **aucun permis d'exploitation n'a été octroyé à date (ISAb).**

**31 permis d'exploration ont été octroyés à date**<sup>32</sup> (ISAb ; Pew Charitable Trust, 2018 ; ISA, 2020 ; ISA, 2022). Leur description complète est fournie en *Annexe 2 p. 97*. 19 permis d'exploration (soit 61 %) concernent des nodules, dont 17 sur la seule Zone de Clarion-Clipperton (CCZ) ; 7 permis (soit 23 %) concernent des sulfures hydrothermaux ; 5 permis (soit 16 %) concernent des encroûtements, tel que représenté sur la *Figure 5 à gauche*. S'agissant des dates d'octroi, la moitié des titres ont été attribués entre 2010 et 2015 ; 7, l'ont été entre 2015 et 2020 ; et 1 seul, l'a été depuis 2020, tel que représenté sur la *Figure 5 à droite*.

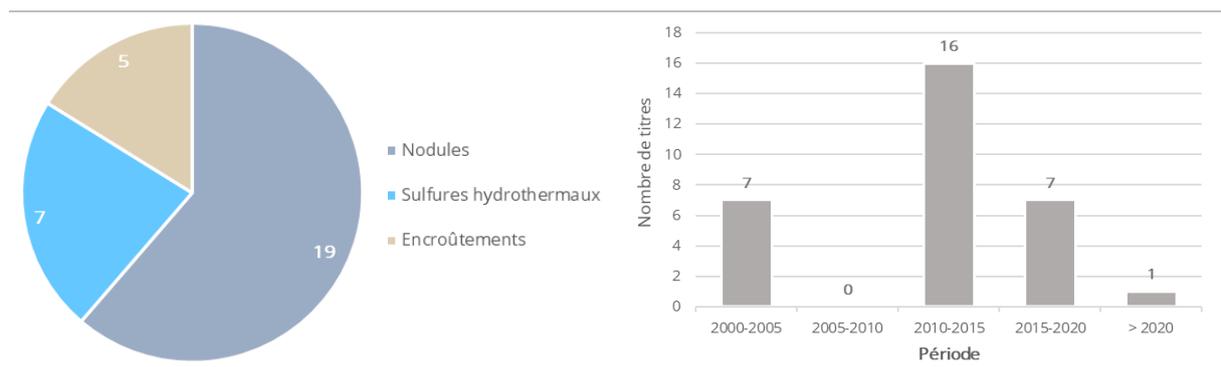


Figure 5 : Situation des titres d'exploration minière dans la Zone : répartition par type de gisement (à gauche) ; et nombre de titres selon la période d'octroi (à droite) | Création : SystExt · Septembre 2022, selon le croisement de données issues de (ISAb ; Pew Charitable Trust, 2018 ; ISA, 2020 ; ISA, 2022)

<sup>31</sup> La **Zone** correspond aux fonds marins et océaniques et à leur sous-sol, au-delà des limites de la juridiction nationale, tel que détaillé dans le § 5.2 p. 63. Dans la suite du document, elle sera désignée par « la Zone » avec une majuscule sur la première lettre.

<sup>32</sup> Parmi ces 31 permis, 8 concernent des États, tandis que 23 ont été signés par des acteurs non étatiques patronnés par un État (Willaert, 2021).

Ces 31 permis d'exploration sont détenus par un total de 21 États<sup>33</sup> parmi lesquels l'Allemagne, la Chine, la Corée du Sud, la France, l'Inde, le Japon, le Royaume-Uni et la Russie sont concernés par deux titres ou plus (ISAb ; Pew Charitable Trust, 2018 ; ISA, 2020 ; ISA, 2022). Leur localisation est fournie sur la Figure 6.

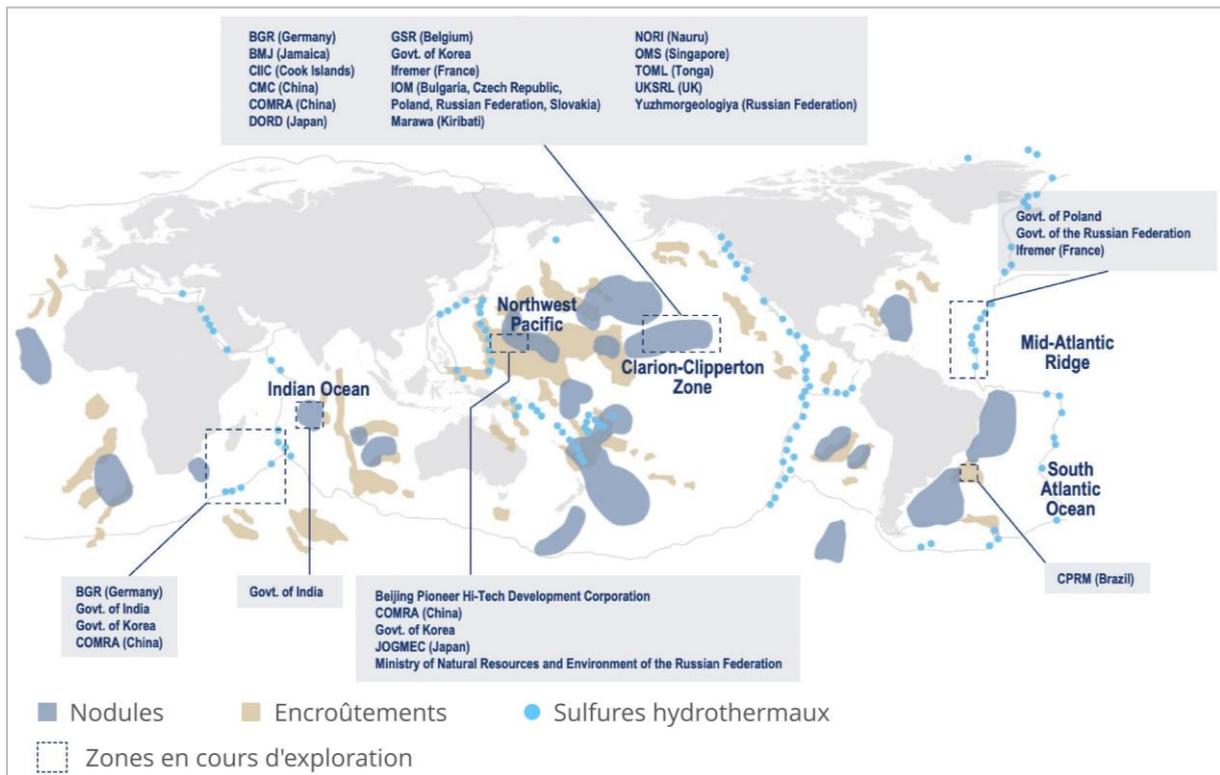


Figure 6 : Localisation des 31 titres d'exploration minière dans la Zone à date ; adapté de (ISA, 2022, p. 3)

Dans les zones économiques exclusives<sup>34</sup> (ZEE), « **aucun pays n'a délivré de permis d'exploitation concernant des ressources minérales sous-marines** » (Sénat, 2022b, p. 182). Des entreprises japonaises et chinoises ont testé des collecteurs sur des gisements de sulfures hydrothermaux et des encroûtements dans leur ZEE, en 2017<sup>35</sup> et en 2020 (Sénat, 2022b). Cependant, tous les projets de ce type « *ne sont encore que des prototypes, testés sur de petites surfaces* » (Sénat, 2022b, p. 83). **Les données publiques sur les permis d'exploration octroyés dans les ZEE sont encore rares et éparpillés** (voir également § 5.3 p. 71). Le Sénat français a identifié deux pays qui se sont particulièrement engagés dans de telles démarches : la Norvège et le Japon<sup>36</sup> (Sénat, 2022b). La Norvège est considérée comme le pays européen le plus avancé dans le domaine de l'exploration sous-marine (Sénat, 2022b). Le pays a lancé en 2021 un processus d'ouverture à l'exploration des zones de Svalbard et de Jan Mayen, « *devant aboutir à une décision sur leur éventuelle exploitation commerciale en 2023* » (Sénat, 2022b, p. 182).

<sup>33</sup> Selon des règles de patronage explicitées en § 5.2 p. 63.

<sup>34</sup> Ces données ne concernent pas les gisements de pétrole et de gaz qui sont concernés par de nombreux permis d'exploration et d'exploitation dans les ZEE à l'international (Sénat, 2022b).

<sup>35</sup> En 2017, le Japon a annoncé avoir extrait du zinc avec succès des fonds marins (à 1 600 m de profondeur) à proximité d'Okinawa avec la Japan Oil, Gas, Mining and Exploration Corporation (JOGMEC) (Carver, et al., 2020 ; JOGMEC, 2020).

<sup>36</sup> « Pour les ressources minérales des fonds marins, seuls des projets de recherche sont menés pour le moment (subventionnés par l'Etat). Plusieurs dizaines de projets de prospection par an font l'objet de permis d'exploration. » (Sénat, 2022b, p. 186)

## 2.3. Méthodes d'exploration et d'exploitation invasives

### 2.3.1. Méthodes d'exploration

*Ce paragraphe est basé sur le croisement de données issues de (Secretariat of the Pacific Community (SPC), 2013 ; Ecorys, 2014b ; Fauna & Flora International (FFI), 2020 ; Hein, et al., 2020).*

La localisation des zones d'intérêt est généralement réalisée par des **systèmes d'échosondages** (embarqués sur les navires de recherche) qui fournissent une imagerie acoustique du fond marin. Ceci permet de connaître le contexte géologique du plancher sous-marin et notamment d'identifier les zones potentiellement minéralisées. Des investigations plus précises sont ensuite réalisées par des **dispositifs d'échosondages à haute résolution** et des **dispositifs télévisuels et photographiques fixes**. Ces travaux de recherche peuvent être complétés par des mesures gravimétriques<sup>37</sup> et magnétométriques<sup>38</sup>. Il est fréquent qu'à cette étape de l'exploration des **véhicules télécommandés** (ou *Remotely Operated Vehicles - ROV* en anglais) et des **véhicules sous-marins autonomes** soient utilisés. Les opérations d'identification et de caractérisation des gisements sont ensuite complétées par des **opérations d'échantillonnage** du minerai ou de sédiments, mais aussi du fond marin<sup>39</sup>, par carottier et benne<sup>40</sup>. Les échantillons collectés sont analysés sur les navires et un premier dosage des métaux contenus dans le minerai peut être réalisé.

En complément, l'environnement des gisements est généralement étudié par la conduite de mesures météorologiques, hydrographiques et océanographiques. Des échantillonnages d'eaux et biotiques sont également régulièrement menés. Par ailleurs, afin de préparer une éventuelle exploitation, des systèmes de positionnement géographiques peuvent être installés dans les zones d'intérêt dès la phase exploratoire.

*Les perturbations et impacts potentiels sur la faune, la flore et leurs habitats, associés aux travaux d'exploration sont détaillés en § 3.1.1 p. 39.*

### 2.3.2. Généralités sur les méthodes d'exploitation

Comme expliqué précédemment (voir § 2.2.3 p. 26), aucune exploitation de gisements en eaux profondes n'a été menée jusqu'alors. La présentation des méthodes d'exploitation à suivre s'appuie donc uniquement sur des **tentatives d'exploitation** ou des **projets en cours de développement**, en décrivant les techniques et technologies qui seront le plus probablement mises en œuvre.

---

<sup>37</sup> Une **mesure gravimétrique** est une mesure géophysique indirecte ayant pour objectif d'évaluer l'intensité de la pesanteur. L'étude de ses variations donne des informations sur les masses en profondeur (permettant par exemple de distinguer les zones riches et pauvres en nodules).

<sup>38</sup> Une **mesure magnétométrique** est une mesure géophysique indirecte ayant pour objectif d'évaluer le champ magnétique et ses perturbations. Cette méthode permet de détecter les contrastes magnétiques des fonds marins, dus notamment à la présence de minerai.

<sup>39</sup> L'échantillonnage du fond marin permet d'en déterminer les propriétés géologiques ou géotechniques.

<sup>40</sup> Une **benne** correspond à une boîte métallique enfoncée dans les fonds marins et dont la base est équipée de mâchoires qui réalisent des prélèvements en se refermant.

L'exploitation de ces gisements sur les fonds marins comporte tout d'abord **plusieurs défis techniques**, notamment au regard ([Fauna & Flora International \(FFI\), 2020](#)) :

- des conditions extrêmes qui caractérisent des profondeurs de 1 à 6 km, notamment la très haute pression (plusieurs centaines de bars, à comparer avec la pression atmosphérique de 1 bar) et les basses températures ;
- de la distance par rapport aux côtes qui est souvent supérieure à 1 000 km ;
- des forces physiques marines, telles que les courants, les vagues et les intempéries.

Les techniques d'exploitation des fonds marins envisagées sont similaires, quel que soit le type de gisement (sulfures hydrothermaux, nodules ou encroûtements) (*Figure 7 p. 31*), à savoir l'utilisation : (1) d'un système d'exploitation et de collecte du minerai présent au niveau des fonds marins ; (2) d'un système de levage ou de remontée du minerai à travers la colonne d'eau ; (3) d'un (ou de plusieurs) navire(s) nécessaire(s) à la manutention, au pré-traitement (voire au traitement) et au transport du minerai ([Secretariat of the Pacific Community \(SPC\), 2013](#) ; [Miller, et al., 2018](#) ; [Hein, et al., 2020](#)).

(1) Concernant le système d'exploitation et de collecte, il requiert l'utilisation de véhicules sous-marins télécommandés dont les fonctionnalités dépendent du type de gisement, tel que détaillé par la suite.

(2) Concernant le système de levage, la difficulté majeure réside dans l'**énergie considérable nécessaire pour remonter le minerai** sur plusieurs milliers de mètres et le recours prioritaire aux combustibles fossiles, tel que mis en évidence pour les nodules ([Agarwal, et al., 2012, p. 63](#)) :

« Substantial amount of energy is required to lift up the nodules from the sea floor. Despite the continuous efforts in exploring various renewables to supply the energy demand for lifting, fossil fuels remain the dominant source. Therefore, the major concern with the lifting process is not the resultant impacts on the water column, but more about the air emissions associated with fossil fuel combustion, such as carbon dioxide, sulphur dioxide, nitrogen oxides, hydrocarbon compounds, carbon monoxides, and particular matters. »<sup>41</sup>

(3) Concernant le(s) navire(s) qui appuie(nt) les opérations minières (navire de soutien à la production ou *production support vessel (PSV)* en anglais), **ils dépendent du type de traitement de minerai<sup>42</sup> choisi et de la localisation des installations associées, en mer et/ou sur terre**. Dans tous les cas, il est attendu que les sites d'exploitation se trouvent le plus souvent à **plusieurs milliers de kilomètres des côtes les plus proches** ([Fauna & Flora International \(FFI\), 2020](#)).

<sup>41</sup> Traduction proposée par SystExt : « Une quantité substantielle d'énergie est nécessaire pour faire remonter les nodules du fond de la mer. Malgré les efforts continus pour étudier différentes énergies renouvelables afin de répondre à la demande énergétique pour le levage, les combustibles fossiles restent la source dominante. Par conséquent, la principale préoccupation concernant le processus de levage n'est pas l'impact sur la colonne d'eau, mais plutôt les émissions atmosphériques associées à la combustion de combustibles fossiles, telles que le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les composés d'hydrocarbures, le monoxyde de carbone et les particules fines. »

<sup>42</sup> Les modalités de traitement du minerai (pré-traitement, minéralurgie et métallurgie) sont décrites dans le § 2.3.5 p. 35.

Deux principaux scénarios se dessinent alors (Hein, et al., 2013 ; Le Meur, et al., 2016 ; Ochromowicz, et al., 2021) :

- (1) **Le minerai « brut » (ou uniquement prétraité) est directement transporté jusqu'à des installations terrestres**, ce qui induit alors le recours à un navire supplémentaire (qui n'est pas connecté à la conduite de remontée du minerai) ou à une plateforme en mer de stockage des concentrés servant de port pour les vraquiers<sup>43</sup>.
- (2) **Le minerai est concentré en mer**, ce qui nécessite d'équiper le navire de soutien à la production (PSV) voire d'autres navires avec les installations de concentration, voire de construire une plateforme dédiée. « *Cela pourrait aller jusqu'à la construction d'une "île flottante" pouvant éventuellement recevoir tout type d'infrastructures (hôtel, voire un port de plaisance, une gare maritime...) et surtout une centrale électrique fournissant l'énergie à l'ensemble du système de ramassage et d'opérations de surface sur le matériau récolté.* » (Le Meur, et al., 2016, p. 97)

À l'image des systèmes de levage, les navires de soutien à la production sont alimentés grâce aux combustibles fossiles, et plus particulièrement par des génératrices à diesel : « *The power source on-board is from diesel generators placed on each PSV, and each of them is expected to run continuously by burning fuel throughout the recovery operation.* »<sup>44</sup> (Agarwal, et al., 2012, p. 91).

Les engins qui sont actuellement en phase de construction voire de test sont uniquement destinés à l'exploitation des gisements de sulfures hydrothermaux ou de nodules (Hein, et al., 2013 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020). Bien que les encroûtements soient situés à des profondeurs similaires, **leur exploitation est encore plus difficile que celles des nodules**, car ces derniers reposent sur un substrat de sédiments mous, alors que les encroûtements reposent sur un substrat rocheux induré auquel ils sont faiblement à fortement attachés (Hein, et al., 2009 ; Koschinsky, et al., 2018). À ce jour, aucune méthode d'exploitation des encroûtements n'a été identifiée : « *No feasibility concept for mining FeMn crusts has been made public to date.* »<sup>45</sup> (Koschinsky, et al., 2018, p. 3).

*Ainsi, seules les techniques et technologies envisagées pour l'exploitation des sulfures hydrothermaux et des nodules seront donc développées par la suite.*

<sup>43</sup> Un **vraquier** est un navire qui transporte des marchandises en vrac, du minerai ici.

<sup>44</sup> Traduction proposée par SystExt : « *La source d'énergie à bord est constituée de générateurs diesel placés sur chaque PSV [production support vessel], et chacun d'entre eux est censé fonctionner en continu, en brûlant du carburant tout au long de l'exploitation.* »

<sup>45</sup> Traduction proposée par SystExt : « *L'exploitation des encroûtements ferromanganésifères n'a fait l'objet d'aucune conceptualisation crédible rendue publique à ce jour.* »

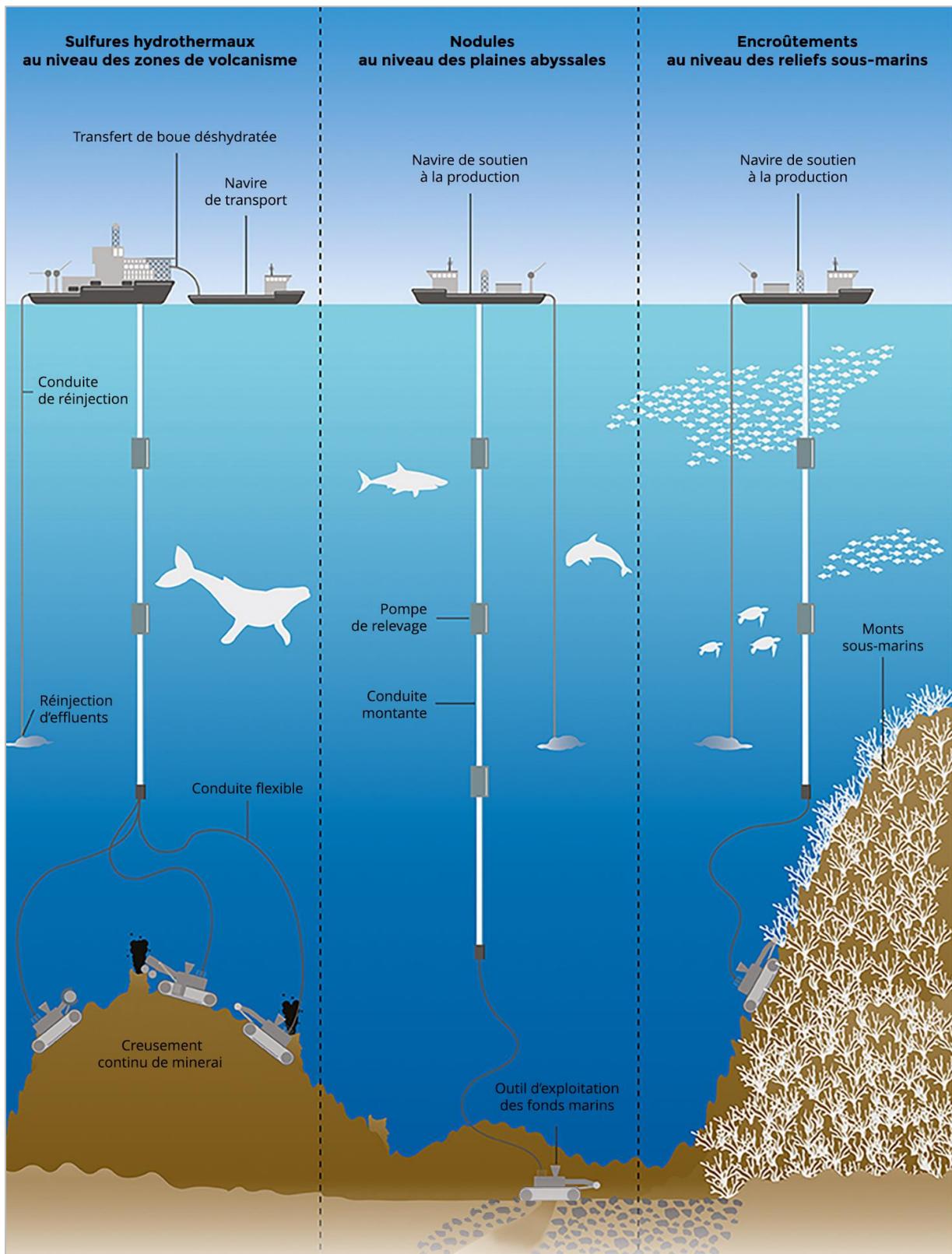


Figure 7 : Représentation schématique des processus mis en œuvre dans l'exploitation en eaux profondes pour les trois principaux types de gisements (sulfures hydrothermaux, nodules, encroûtements) ; traduit et adapté de (Miller, et al., 2018, p. 10) · cc by 4.0

### 2.3.3. Exploitation des sulfures hydrothermaux

Dans le cas des gisements de sulfures hydrothermaux, les dispositifs de collecte sont issus de l'adaptation de ceux utilisés dans l'exploitation pétrolière en eaux profondes et dans l'exploitation des placers<sup>46</sup> diamantifères en eaux peu profondes (Ecorys, 2014b). Ils consistent en un **ensemble de trois véhicules sous-marins télécommandés** (Ecorys, 2014b ; Denègre, 2017) :

- (1) le découpeur auxiliaire ou *Auxiliary Cutter* (AC), qui prépare les fonds marins en découpant le gisement grossièrement pour que les autres engins puissent intervenir ;
- (2) le découpeur en masse ou *Bulk Cutter* (BC), qui poursuit la découpe du gisement de manière plus précise que l'AC ;
- (3) l'appareil de collecte ou *Collection Machine* (CM), qui recueille le minerai préalablement découpé par l'AC et le BC en l'aspirant à travers un système de pompage.

Ce triptyque devait être mis en œuvre dans le cadre du projet Solwara 1, situé dans la zone économique exclusive (ZEE) de la Papouasie Nouvelle-Guinée (Parianos, 2016) (Figure 8). Ce projet devait démarrer en 2018 mais a été abandonné deux ans plus tard<sup>47</sup>.



Figure 8 : Véhicules sous-marins télécommandés qui devaient être déployés dans le cadre du projet Solwara 1 ; adapté de © Mike Smith Photography & Motion dans (Watts, 27/09/2021, *The Guardian*)

Ces engins équivalent aux machines utilisées dans l'exploitation des gisements terrestres, en termes de taille, de poids ou encore de puissance. Ils sont en effet caractérisés par des **poids importants, de 180 à 280 tonnes**, et des **puissances installées particulièrement élevées, de 1,8 à 2,5 MW** (Parianos, 2016) (Figure 9 page suivante).

<sup>46</sup> Un **placer** est un gisement secondaire de roches sédimentaires, le plus souvent d'origine alluvionnaire, et concentrant des métaux denses et des minéraux lourds (l'or, les diamants et les oxydes de titane, par exemple).

<sup>47</sup> Voir Encadré 6 "Échec du projet Solwara 1 en Papouasie-Nouvelle-Guinée" p. 73.

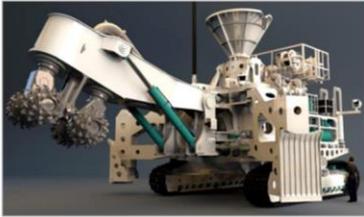
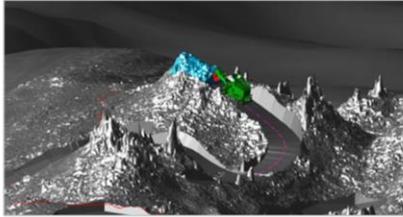
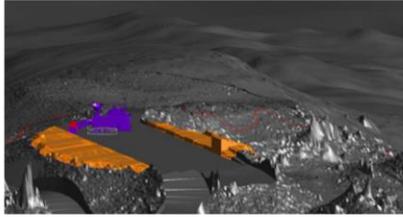
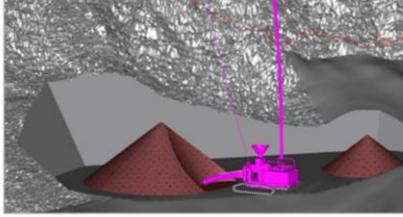
<b>Auxiliary Cutter (AC) ou découpeur auxiliaire</b> Préparation du fond marin par la découpe grossière du gisement												
		<table border="1"> <tbody> <tr><td>Longueur</td><td>16 m</td></tr> <tr><td>Largeur</td><td>6 m</td></tr> <tr><td>Hauteur</td><td>8 m</td></tr> <tr><td>Poids</td><td>240 tonnes</td></tr> <tr><td>Puissance installée</td><td>2 MW</td></tr> </tbody> </table>	Longueur	16 m	Largeur	6 m	Hauteur	8 m	Poids	240 tonnes	Puissance installée	2 MW
Longueur	16 m											
Largeur	6 m											
Hauteur	8 m											
Poids	240 tonnes											
Puissance installée	2 MW											
<b>Bulk Cutter (BC) ou découpeur en masse</b> Poursuite de la découpe du gisement avec précision												
		<table border="1"> <tbody> <tr><td>Longueur</td><td>14 m</td></tr> <tr><td>Largeur</td><td>4 m</td></tr> <tr><td>Hauteur</td><td>7 m</td></tr> <tr><td>Poids</td><td>280 tonnes</td></tr> <tr><td>Puissance installée</td><td>2,5 MW</td></tr> </tbody> </table>	Longueur	14 m	Largeur	4 m	Hauteur	7 m	Poids	280 tonnes	Puissance installée	2,5 MW
Longueur	14 m											
Largeur	4 m											
Hauteur	7 m											
Poids	280 tonnes											
Puissance installée	2,5 MW											
<b>Collection Machine (CM) ou appareil de collecte</b> Recueil du minerai découpé par aspiration												
		<table border="1"> <tbody> <tr><td>Longueur</td><td>17 m</td></tr> <tr><td>Largeur</td><td>6 m</td></tr> <tr><td>Hauteur</td><td>8 m</td></tr> <tr><td>Poids</td><td>180 tonnes</td></tr> <tr><td>Puissance installée</td><td>1,8 MW</td></tr> </tbody> </table>	Longueur	17 m	Largeur	6 m	Hauteur	8 m	Poids	180 tonnes	Puissance installée	1,8 MW
Longueur	17 m											
Largeur	6 m											
Hauteur	8 m											
Poids	180 tonnes											
Puissance installée	1,8 MW											

Figure 9 : Caractéristiques des véhicules sous-marins télécommandés destinés à l'exploitation des sulfures hydrothermaux | Création : SystExt · Août 2022 ; figures et données tirées de (Parianos, 2016, pp. 14-16)

#### 2.3.4. Exploitation des nodules

Deux voies ont été étudiées dans le cas des gisements de nodules : la collecte passive et la collecte active. Le collecteur passif est remorqué le long des fonds marins et recueille ainsi les nodules et les sédiments (Agarwal, et al., 2012 ; Ecorys, 2014b). Des désavantages importants ont conduit à leur abandon progressif par l'industrie, notamment : l'impossibilité de contrôler la quantité et la qualité des nodules collectés et la grande quantité de sédiments rejoignant la conduite de levage (Agarwal, et al., 2012 ; Ecorys, 2014b).

Le **collecteur actif** répond à ces problématiques en aspirant et séparant les nodules des sédiments avant le transport vertical. Il peut même intégrer un système de concassage afin de collecter les nodules surdimensionnés par rapport à la taille prédéfinie (Agarwal, et al., 2012 ; Ecorys, 2014b). Ces collecteurs nécessitent cependant une **source d'énergie supplémentaire** et sont plus complexes que leurs équivalents passifs.

Un prototype de collecteur actif nommé *Patania II* a récemment été développé par l'entreprise *Global Sea Mineral Resource (GSR)*<sup>48</sup>. Il a pour fonction de **tester la collecte des nodules**, avec pour objectif de fournir des informations concernant : (1) la faisabilité de son utilisation (manœuvrabilité, fiabilité et efficacité de ramassage des nodules) ; (2) les impacts environnementaux associés ([Leal Filho, et al., 2021](#)). *Patania II* est un véhicule sous-marin à chenille de 35 tonnes ([BGR, 2018](#)). Il est muni de plusieurs tuyaux aspirant les nodules à l'avant de l'engin et les stockant ensuite dans une benne située à l'arrière du véhicule (*Figure 10*). Ce prototype a pour caractéristique de ne pas être raccordé à une conduite de levage (permettant de remonter les nodules vers un navire de soutien à la production, pour rappel). Par conséquent, il doit procéder à un déversement en tas et sur site, après séparation des nodules et des sédiments ([BGR, 2018](#)).



Figure 10 : Véhicule sous-marin télécommandé expérimental de collecte des nodules « Patania II » ; tiré de ([DSM Observer, 2018](#))

Avant la réalisation des essais avec *Patania II* dans la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ), deux rapports sur les impacts environnementaux des opérations minières réalisées par le collecteur ont été publiés par GSR ([GSR, 2018](#)) et le *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)*<sup>49</sup> ([BGR, 2018](#)). Selon [Leal Filho, et al. \(2021\)](#), ces deux évaluations préliminaires menées sur *Patania II* ne permettent pas d'appréhender certaines problématiques environnementales majeures, telles que : l'échelle des impacts causés par les panaches de sédiments et particules, ou encore les effets des perturbations causées par l'exploitation minière sur les écosystèmes et leurs fonctions.

<sup>48</sup> GSR est une filiale du groupe belge Dredging, Environmental and Marine Engineering (DEME), leader mondial notamment dans les domaines du dragage, des infrastructures maritimes et des dispositifs énergétiques offshore.

<sup>49</sup> Institut fédéral des géosciences et des ressources naturelles en Allemagne.

### 2.3.5. Traitement du minéral

Quel que soit le type de gisement (sulfures hydrothermaux, nodules ou encroûtements), **le minéral doit nécessairement être traité afin de récupérer le(s) métal(aux) d'intérêt**, à l'image des minerais terrestres. Celui-ci se compose de trois étapes : pré-traitement, minéralurgie<sup>50</sup> et métallurgie<sup>51</sup>.

**Les trois types de minéral diffèrent beaucoup de ceux des gisements terrestres du fait de leur minéralogie complexe ainsi que de leur porosité et de leur teneur en eau élevées** (Hein, et al., 2020 ; Ochromowicz, et al., 2021). Leur traitement sera donc nécessairement différent. Toutefois, aucun procédé complet n'a encore été élaboré à ce jour (Hein, et al., 2020 ; Ochromowicz, et al., 2021).

Pour les trois types de minéral, un **pré-traitement par déshydratation** est nécessaire (Hein, et al., 2013) afin de séparer le minéral des sédiments, et de diminuer le taux d'humidité du minéral (Agarwal, et al., 2012). Cette opération devrait être conduite soit directement au niveau des fonds marins, soit sur le navire de soutien à la production (Ochromowicz, et al., 2021). Ce pré-traitement peut être réalisé avec des cribles vibrants, des pompes centrifuges ou encore des hydrocyclones<sup>52</sup> (Agarwal, et al., 2012).

Les minerais des gisements de sulfures hydrothermaux se composent principalement de sulfures de fer (pyrite et marcassite) mais aussi de sulfures de cuivre (chalcopyrite et isocubanite) et de sulfure de zinc (sphalérite)<sup>53</sup> (Ochromowicz, et al., 2021). Cependant, la texture de ces minerais est généralement différente de la texture des minerais des gisements terrestres communément exploités<sup>54</sup>, car **les minéraux d'intérêt (sulfures de cuivre et de zinc) sont imbriqués de façon complexe jusqu'à une échelle nanométrique** (Ochromowicz, et al., 2021).

Trois voies sont envisagées selon le type de minéral (Ochromowicz, et al., 2021) :

- Le minéral riche à forte concentration de cuivre, de zinc et d'éléments mineurs serait directement traité par pyrométallurgie<sup>55</sup> ;
- Le minéral à teneur moyenne serait d'abord enrichi par un traitement conventionnel (broyage et flottation<sup>56</sup>, principalement), puis traité par pyrométallurgie ou hydrométallurgie<sup>57</sup> ;
- Le minéral pauvre (et/ou dont la minéralogie est particulièrement complexe) serait traité directement par hydrométallurgie.

<sup>50</sup> La **minéralurgie** (ou concentration) correspond à l'ensemble des procédés de traitement du minéral, permettant de passer du minéral brut (en sortie de mine) au minéral marchand (ou concentré). Plus précisément, elle permet de séparer les minéraux d'intérêt des autres minéraux présents dans le minéral, afin d'obtenir un concentré.

<sup>51</sup> La **métallurgie** (ou extraction chimique) correspond à l'ensemble des procédés de traitement du minéral, permettant d'extraire et de récupérer la substance d'intérêt soit directement depuis un minéral, soit depuis un concentré.

<sup>52</sup> Un **hydrocyclone** est un dispositif qui utilise la force centrifuge pour séparer des grains de densité différente.

<sup>53</sup> Tous les autres minéraux constitutifs des sulfures hydrothermaux sont considérés comme mineurs (Ochromowicz, et al., 2021).

<sup>54</sup> Gisements de sulfures massifs volcanogènes (ou *volcanogenic massive sulfides (VMS)* en anglais).

<sup>55</sup> La **pyrométallurgie** comprend des opérations de chauffage à très haute température (au moins plusieurs centaines de degrés Celsius) telles que : (a) le grillage, dans lequel minéraux sont convertis à des températures juste en dessous de leur point de fusion ; et (b) la fusion, dans laquelle tous les minéraux sont complètement fondus et séparés en deux couches liquides, l'une contenant les métaux d'intérêt et l'autre les déchets.

<sup>56</sup> La **flottation** permet de concentrer les minéraux d'intérêt en les faisant « flotter ». Ces derniers sont rendus hydrophobes par l'ajout de « collecteurs ». En présence de bulles d'air, les particules hydrophobes s'y fixent et remontent ainsi à la surface. Ce transport sélectif sépare donc les minéraux d'intérêt des autres, qui restent en suspension dans la pulpe.

<sup>57</sup> L'**hydrométallurgie** comprend des opérations telles que : (a) la lixiviation, dans laquelle des composés métalliques sont dissous sélectivement d'un minéral par un solvant aqueux ; et (b) l'électrolyse, dans laquelle des ions métalliques sont déposés sur une électrode par un courant électrique passant dans la solution.

Des tests ont été menées sur des échantillons de minerais de sulfures hydrothermaux afin d'évaluer la faisabilité des différentes étapes de traitement. Il s'agit par exemple<sup>58</sup> : d'un broyage permettant d'atteindre une taille des grains inférieure à 50 µm, d'une flottation précédée d'un pré-traitement avec de l'éthylènediaminetétraacétique (EDTA), d'une lixiviation avec de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et du chlorure de sodium (NaCl), ou encore d'une fusion directe à 1 350°C (Ochromowicz, et al., 2021).

Les minerais des gisements de nodules consistent en des minerais oxydés qui ne disposent **pas d'équivalent dans les gisements terrestres** (Hein, et al., 2020 ; Ochromowicz, et al., 2021). Ils présentent en effet une minéralogie particulièrement complexe. Ils sont constitués d'oxydes de manganèse et d'oxy-hydroxydes de fer de taille nanométrique et finement imbriqués (Hein, et al., 2020 ; Ochromowicz, et al., 2021). **Les métaux d'intérêt** (cuivre (Cu), nickel (Ni) et cobalt (Co)) **ainsi que les métaux d'intérêt potentiel** (lithium (Li), molybdène (Mo) et zirconium (Zr)) **se « fixent »** (par adsorption ou par incorporation, notamment) **sur ces minéraux à l'état d'ions**<sup>59</sup> (Hein, et al., 2020).

Les nodules requièrent généralement un **séchage à l'air puis un concassage et un broyage**, afin d'obtenir une poudre dont les grains présentent un diamètre inférieur à 100 µm (Ochromowicz, et al., 2021). Pour récupérer ces métaux, il n'est pas possible d'employer les méthodes conventionnelles telles que les méthodes gravimétriques, les méthodes magnétiques ou encore la flottation (Hein, et al., 2020 ; Ochromowicz, et al., 2021). Il est nécessaire de **briser complètement le réseau cristallin des oxydes pour libérer les métaux qui y sont incorporés** (Hein, et al., 2020 ; Ochromowicz, et al., 2021). Pour ce faire, trois voies sont possibles :

- par pyrométallurgie, en réalisant une fusion à 1 400 - 1 500°C ;
- par hydrométallurgie, en réalisant une lixiviation avec de l'acide sulfurique ou de l'acide chlorhydrique ou une solution à base de sulfate d'ammonium et de carbonate ;
- par une combinaison des voies pyrométallurgique et hydrométallurgique.

Il semblerait que cette troisième voie soit privilégiée (Hein, et al., 2020 ; Ochromowicz, et al., 2021).

Les minerais des gisements d'encroûtements présentent une **minéralogie très similaire à celle des nodules**. Ils correspondent à des oxydes de manganèse et des oxy-hydroxydes de fer sur lesquels se sont fixés les métaux d'intérêt sous forme d'ions. Il est ainsi attendu que le pré-traitement et la métallurgie soient identiques à ceux des nodules. Dans les deux cas, ces opérations **consommant davantage d'énergie que le traitement des minerais terrestres** (Ochromowicz, et al., 2021, p. 25) :

« Due to the complex mineralogy of polymetallic nodules and polymetallic crusts, separation and enrichment of metals of interest from the other components by physical beneficiation methods would tend to be energy intensive in comparison with the terrestrial resources. Thus, PMN and CRC would be treated either hydrometallurgically or pyrometallurgically, or a combination of both. »<sup>60</sup>

<sup>58</sup> Ces opérations peuvent être menées successivement ou non.

<sup>59</sup> Un **ion** est une espèce chimique chargée électriquement, un atome ou une molécule ayant gagné ou perdu un ou plusieurs électrons.

<sup>60</sup> Traduction proposée par SystExt : « En raison de la minéralogie complexe des nodules et des encroûtements, la séparation et l'enrichissement des métaux d'intérêt par des méthodes d'enrichissement physique auraient tendance à consommer beaucoup d'énergie par rapport aux ressources terrestres. Ainsi, les PMN [nodules] et les CRC [encroûtements] seraient traités soit par hydrométallurgie, soit par pyrométallurgie, ou une combinaison des deux. »

À la différence des nodules, le minerai des encroûtements devrait être composé des encroûtements en tant que tel et d'une fraction de substrat rocheux sous-jacent. Après le pré-traitement, **un traitement minéralurgique « conventionnel » devra vraisemblablement être réalisé pour séparer ces deux fractions** (Ochromowicz, et al., 2021). Celui-ci se ferait par concassage et broyage, par une association de méthodes gravimétriques et magnétiques, et par flottation (Ochromowicz, et al., 2021).

### 2.3.6. Déversement des effluents résiduels et des déchets miniers

Tel que détaillé précédemment, un pré-traitement par déshydratation est nécessaire pour les trois types de minerais. Les **effluents résiduels** résultant de cette première séparation se composeraient principalement de sédiments et d'eau de mer, mais aussi de particules de minerai. Ils seraient rejetés, soit directement au niveau de la zone d'exploitation, soit en profondeur par une conduite de réinjection (Hein, et al., 2013 ; Hein et al., 2020).

Concernant les étapes de traitement ultérieures, la plupart des auteurs consultés par SystExt considèrent qu'il est plus économiquement intéressant de **réaliser le maximum d'entre elles en mer, au niveau du navire de soutien à la production, voire directement sur les fonds marins**. Ochromowicz, et al. (2021) estiment ainsi que la conduite des opérations de pré-traitement au fond et des opérations de traitement sur le navire de soutien à la production permettraient de réduire significativement les coûts d'exploitation (Ochromowicz, et al., 2021, p. 25-26) :

« The current processing tests have been performed on the land. However, future preprocessing such as pre-grinding [...] and preconcentration (e.g., sensorbased sorting) might take place on the seabed [...]. Such pre-processing might reduce the quantity of waste material lifted from the ocean bed and then reported to the next processing stage. [...] Enrichment by pre-concentration on the seabed and processing on the vessel would significantly decrease the operational costs. »<sup>61</sup>

Dans le cas des nodules, Agarwal, et al. (2012) présentent par exemple des dispositifs qui permettent de réaliser le pré-traitement sur les fonds marins en parallèle de la collecte. Autre exemple, dans le cas des encroûtements, Hein, et al. (2013) supposent que la séparation du minerai et du substrat rocheux pourrait être réalisée par flottation sur un navire.

Dans tous les cas, **toute opération de pré-traitement réalisée au fond donnera lieu à un déversement d'effluents résiduels et toute opération de traitement réalisée sur un navire donnera lieu à un déversement de déchets miniers dans l'océan**. En effet, il ne pourrait pas être techniquement et économiquement viable de réaliser ces opérations en mer et de mettre en place les infrastructures logistiques et de transport nécessaires à la gestion des effluents résiduels et des déchets miniers sur terre. Les risques associés à ce type de déversements sont détaillés dans le § 2.3.6 p. 37.

<sup>61</sup> Traduction proposée par SystExt : « Les essais de traitement actuels ont été réalisés sur terre. Toutefois, les futurs pré-traitements tels que le pré-broyage [...] et le pré-traitement [...] pourraient avoir lieu sur le fond marin [...]. Un tel pré-traitement pourrait réduire la quantité de déchets remontés depuis le fond de l'océan et ensuite reportés sur l'étape de traitement suivante. [...] L'enrichissement par pré-traitement au fond de l'océan et le traitement sur le navire réduiraient considérablement les coûts d'exploitation. »

### 3. Les risques, connus et largement documentés, ne sont pas acceptables

En raison du développement récent des activités minières en eaux profondes, le retour d'expérience est limité. Ainsi la nature et l'ampleur des impacts environnementaux sont mal compris. Certains auteurs insistent même sur le fait que les impacts, bien qu'inévitables, restent difficilement prévisibles (Dyment, et al., 2014, p. 593) :

« Indéniablement, les processus miniers vont avoir des impacts sur l'environnement. Ces impacts pourront être très localisés ou au contraire très étendus, d'une durée plus ou moins longue et seront plus ou moins spécifiques, selon la nature de la ressource exploitée, les spécificités des communautés biologiques associées à cette ressource, les caractéristiques de l'environnement, la vulnérabilité et les capacités d'adaptation des écosystèmes face aux processus miniers. Si certains impacts ont été confirmés et précisés grâce à des simulations en laboratoire ou à des tests in situ à petite échelle, nombreux sont ceux qui restent à l'état d'hypothèses, construites à partir des connaissances actuelles sur les technologies d'exploration et (surtout) d'exploitation, ainsi que sur la biodiversité, les écosystèmes et les milieux associés aux ressources [...]. »

Il est nécessaire de distinguer :

- L'**impact**, qui correspond à un changement de la qualité d'un milieu (air, sol, eau), et ;
- Le **risque**, qui correspond au croisement d'un phénomène dangereux avec un enjeu à préserver (populations, écosystèmes, ressources, etc.)<sup>62</sup>.

Ainsi, il est possible d'évaluer un risque sans pouvoir quantifier l'impact associé. Autrement dit, il est possible de démontrer qu'un phénomène peut certainement advenir et mettre en danger un enjeu, sans être en mesure de déterminer avec précision l'ampleur et la durée de ce phénomène.

À titre d'exemple, tous les auteurs s'accordent sur le fait que les activités des véhicules sous-marins télécommandés généreront nécessairement des panaches de sédiments. Tous démontrent également que le risque d'asphyxie et d'enfouissement des espèces faunistiques et floristiques des fonds marins est très fort. Néanmoins, il n'est pas possible de répondre aux questions suivantes : quel volume d'eau serait chargé de sédiments ? quelle surface des fonds marins serait affectée par le dépôt des sédiments ? quelles espèces seraient concernées ? combien de spécimens seraient enfouis ou asphyxiés ? etc. ; ce qui signifie que l'impact, qu'il soit important ou non, ne pourrait donc pas être déterminé précisément et encore moins quantifié.

À défaut de pouvoir caractériser les impacts, les chercheurs ont donc identifié **les risques les plus probables et les plus élevés pour la biodiversité ainsi que pour les milieux**. Ce sont ces risques qui font l'objet du présent paragraphe 3, qu'ils soient associés aux travaux d'exploration, d'exploitation, de traitement du minerai ou encore de gestion des effluents et des déchets miniers.

---

<sup>62</sup> Plus précisément, le risque est déterminé par le croisement de trois paramètres : (1) une probabilité d'occurrence d'un phénomène (qu'il soit accidentel ou chronique) ; (2) la gravité de ce phénomène ; (3) la vulnérabilité du ou (des) enjeu(x) à préserver. Ainsi, à enjeu similaire, le risque est équivalent pour un événement peu grave qui pourrait se produire souvent, que pour un événement très grave qui a très peu de chance de se produire.

## 3.1. Risques environnementaux graves voire irréversibles

### 3.1.1. Risques associés aux travaux d'exploration

S'il est attendu que les risques environnementaux associés à la phase d'exploration soient moins importants que ceux associés à la phase d'exploitation, ils doivent néanmoins faire l'objet d'une attention particulière, compte tenu des perturbations engendrées par certains travaux (Ecorys, 2014c ; Miller, et al., 2018). **Les perturbations les plus importantes sont imputables au bruit et à la lumière générés par les dispositifs de mesure et d'observation** (Birney, et al., 2006 ; Ecorys, 2014c ; Fauna & Flora International (FFI), 2020). D'autres impacts potentiels sont associés aux activités d'imagerie et d'échantillonnage (Birney, et al., 2006 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020). Les principaux risques pour la faune et la flore à l'étape d'exploration consiste en deux phénomènes majeurs : le **changement de comportement des espèces** ainsi que la **dégradation (voire la perte) des habitats**.

Le *Tableau 3* décrit les perturbations et impacts potentiels sur la faune, la flore ainsi que sur leurs habitats, associées aux techniques d'exploration.

Techniques d'exploration	Perturbations et impacts potentiels sur la faune, la flore et leurs habitats
Observations et mesures gravimétriques et magnétométriques	<p><b>Lumière</b> · Impacts sur les écosystèmes évoluant dans l'obscurité, en particulier : (1) les espèces utilisant la bioluminescence<sup>63</sup> ; (2) les espèces qui migrent entre les eaux profondes et peu profondes car elles sont attirées par la lumière du jour (calamars et méduses, par exemple).</p> <p><b>Bruit</b> · Impacts affectant le comportement (alimentation, reproduction et déplacement) des macro-organismes et de la mégafaune</p> <p>Impact potentiel sur les micro-organismes sensibles aux rayonnements magnétiques</p>
Imagerie acoustique du fond et du sous-sol sans utilisation d'explosifs	<p><b>Bruit</b> · Impacts affectant le comportement (alimentation, reproduction et déplacement) des organismes des grands fonds marins</p> <p><b>Fragmentation</b> potentielle des <b>habitats</b> et perte de connectivité</p>
Observations et mesures télévisuelles et photographiques fixes	Aucun impact mesurable au-delà d'une perturbation temporaire sur le comportement
Échantillonnage de minerais ou de sédiments (par carottier ou par benne)	<p><b>Perte et dégradation des habitats</b></p> <p><b>Perte d'individus</b></p>
Échantillonnage du fond marin (par carottier ou par benne)	Impact mesurable mais négligeable
Dosage et analyse du minerai à bord des navires	<b>Bruit et lumière des navires</b> · Aucun impact mesurable
Observations et mesures météorologiques	Aucun impact mesurable
Observations et mesures hydrographiques et océanographiques	<b>Bruit et lumière</b> · Impacts temporaires identiques aux observations et mesures gravimétriques et magnétométriques
Échantillonnage d'eau et biotique	Impacts négligeables ou non mesurables
Systèmes de positionnement géographiques <sup>64</sup>	<b>Bruit</b> · Impacts par fragmentation de l'habitat ou par perte d'habitat mais négligeables

Tableau 3 : Perturbations et impacts potentiels sur la faune la flore et leurs habitats, associés aux techniques d'exploration ; traduit et modifié de (Fauna & Flora International (FFI), 2020, pp. 136-137)

Par la suite, seront traités les risques associés à l'exploitation et au traitement du minerai.

<sup>63</sup> Organismes qui produisent de la lumière par une réaction biochimique.

<sup>64</sup> Comprenant les transpondeurs de fond (appareil automatique qui reçoit, amplifie et transmet des signaux sur des fréquences différentes) et les bouées, destinés à préparer l'exploitation minière future.

### 3.1.2. Destruction des habitats et mortalité des espèces

**La biodiversité marine est déjà menacée et en déclin** (UNEP, 2006 ; Mora & Sale, 2011 ; Miller, et al., 2018 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020). Les principaux moteurs de la dégradation ou de la perte d'écosystèmes marins est d'origine anthropique (UNEP, 2006 ; Revéret & Dancette, 2010 ; Amara, 2011). « *La pollution de la mer, dont 80 % provient des activités humaines d'origine tellurique, la navigation, l'introduction d'espèces invasives, la surexploitation des ressources halieutiques, la dégradation, la fragmentation et les pertes d'habitats sont autant de facteurs responsables de l'érosion de la biodiversité marine. Exacerbée par le changement climatique, cette anthropisation menace de détruire l'équilibre fragile des écosystèmes marins et de la biodiversité qu'ils renferment.* » (Amara, 2011, p. 6)

Il est d'ores-et-déjà certain que les activités minières sur les fonds marins conduiront à la **fragmentation<sup>65</sup> et la destruction des habitats, ainsi qu'à la mortalité de la faune et de la flore associées** (Van Reusel, et al., 2016 ; Sarradin, et al, 2017 ; Van Dover, et al., 2017 ; Miller, et al, 2018). La faune et la flore sessiles<sup>66</sup> ainsi que la faune se déplaçant lentement (tel qu'illustré sur la *Figure 11*) sont prioritairement concernées (Birney, et al., 2006).

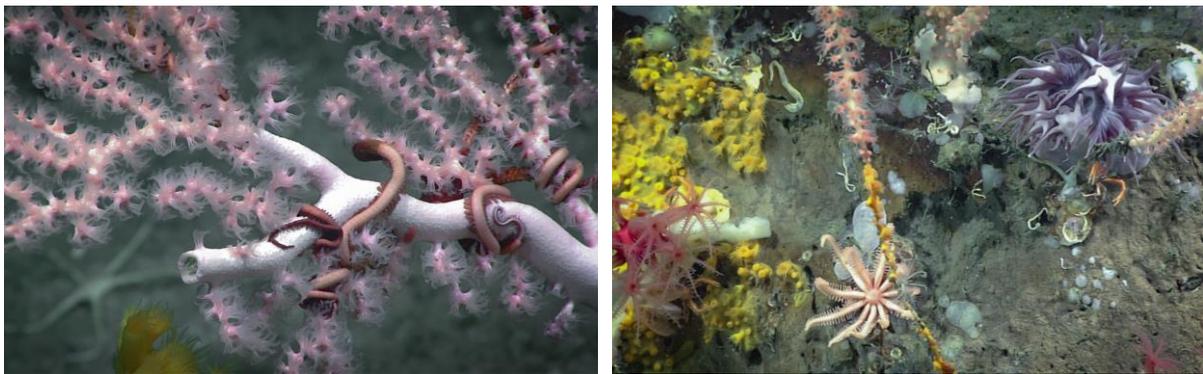


Figure 11 : Faune et flore observées entre 1 000 et 1 300 m de profondeur dans le canyon Gully<sup>67</sup>, avec : (à gauche) un corail bubblegum et des étoiles "serpent" ; (à droite) des coraux bambous, des zoanthidés, des démosponges encroûtantes, des hydroïdes, une anémone, une étoile de mer *Freyella elegans* et une langouste | © NOAA Ocean Exploration · 2019 ; tiré de (NOAA Ocean Exploration, 2019)

Selon l'Initiative financière du Programme des Nations unies pour l'environnement (UNEP FI), il s'agit des **impacts potentiels les plus probables et les plus graves de l'activité minière en eaux profondes** (UNEP FI, 2022, p. 24) :

« By far the greatest projected impact associated with mining activity is the destruction of seabed habitats and the mortality of associated fauna that grow on these substrates (e.g. deep-water corals and sponges, which are both exceedingly slow-growing and longlived), as well as **fragmentation and modification of remaining habitat** through altered mineral and sediment composition, geomorphology, and biogeochemical processes [...]. »<sup>68</sup>

<sup>65</sup> La **fragmentation des habitats** est le processus par lequel un habitat est converti en plusieurs fragments plus petits. Ces îlots d'habitats se trouvent ainsi isolés, séparés : on parle de perte de connectivité. Les conséquences sur la biodiversité sont majeures : cycle biologique contraint et mortalité directe par collision, à court terme ; isolement des populations voire extinction, à moyen et long terme. **Source : Office français de la biodiversité (OFB).**

<sup>66</sup> La **faune et la flore sessiles** correspondent aux organismes le plus souvent aquatiques, vivant seuls ou en colonies et définitivement fixés directement sur le substratum, tels que les éponges ou les coraux.

<sup>67</sup> Le canyon sous-marin Gully s'inscrit dans la zone de protection marine canadienne du Gully, située au large de la Nouvelle-Écosse.

Concernant l'ampleur de ces impacts, et quel que soit le type de gisement considéré, **les superficies détruites chaque année seraient gigantesques** : l'exploitation des sulfures hydrothermaux pourrait affecter plusieurs hectares ; celle des nodules, des centaines à des milliers de kilomètres carrés (Miller, et al., 2018). La Banque mondiale estime ainsi que les impacts directs d'une seule exploitation de nodules pourraient affecter une superficie comprise entre 300 et 600 km<sup>2</sup> par an ; tandis que les impacts indirects pourraient s'étendre sur une superficie comprise entre 1 500 et 6 000 km<sup>2</sup> et sur plusieurs années (La Banque mondiale, 2017).

Par ailleurs, les phénomènes de destruction des habitats et de mortalité des espèces sont d'autant plus graves que les trois types de gisements consistent en des **écosystèmes spécifiques**, dont **certaines espèces faunistiques et floristiques ne se trouvent nulle part ailleurs** (Vanreusel, et al., 2016 ; Sarradin, et al., 2017 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020). Les caractéristiques uniques de ces écosystèmes s'avèrent de surcroît nécessaires au développement d'autres espèces ou aux fonctionnements chimique et biologique des fonds marins (Fauna & Flora International (FFI), 2020, p. 110) : « *Mineral resources on the seabed are also centrepieces of deep-sea ecosystems, functioning as refugia and stepping stones for animal biodiversity.* »<sup>69</sup>

Ainsi, les sulfures hydrothermaux constituent **des écosystèmes parmi les plus diversifiés de la planète**, compte tenu des conditions physico-chimiques qui les caractérisent (Fauna & Flora International (FFI), 2020). Ils comprennent des communautés étendues et uniques, telles que des invertébrés benthiques<sup>70</sup> et des microorganismes chimiotrophes<sup>71</sup> (Van Dover, 2014).

Les encroûtements abritent des coraux d'eau profonde et plus de 1 300 espèces différentes d'animaux ; **certaines ne vivent que dans ces zones et d'autres ne vivent même que sur une espèce spécifique de corail** (Fauna & Flora International (FFI), 2020).

Les nodules représentent des **environnements tout aussi exceptionnels** et abritent **certaines des communautés benthiques les plus diverses des plaines abyssales** (Vanreusel, et al., 2016). Ils se caractérisent par une diversité microbienne spécifique (Shulse, et al., 2016), la présence de nombreux organismes fouisseurs, ainsi qu'une faune dépositrice et suspensivore<sup>72</sup> unique (Sarradin, et al., 2017).

À titre d'exemple, l'*Encadré 2 page suivante* illustre comment les nodules et les encroûtements constituent des environnements indispensables à la vie des poulpes en eaux profondes.

---

<sup>68</sup> Traduction proposée par SystExt : « *L'impact prévisible de loin le plus important associé à l'activité minière est la destruction des habitats des fonds marins et la mortalité de la faune associée qui se développe sur ces substrats (par exemple, les coraux et les éponges d'eau profonde, qui ont une croissance extrêmement lente et une longue durée de vie), ainsi que la fragmentation et la modification de l'habitat restant par l'altération de la composition minérale et sédimentaire, par la géomorphologie et par les processus biogéochimiques [...].* »

<sup>69</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Les ressources minérales des fonds marins sont également des pièces maîtresses des écosystèmes des grands fonds, servant de refuges et de tremplins pour la biodiversité animale.* »

<sup>70</sup> Le **milieu benthique** qualifie les substrats du fond des mers et des océans.

<sup>71</sup> Un **organisme chimiotrophe** utilise l'énergie de composés chimiques comme source d'énergie, il peut ainsi se développer sans utiliser l'énergie solaire.

<sup>72</sup> La **faune suspensivore** se nourrit en extrayant les particules nutritives en suspension dans le milieu aquatique ; tandis que la **faune dépositrice** se nourrit des particules nutritives déposées sur le fond ou attachée aux sédiments.

**Encadré 2 : Casper, le poulpe des fonds marins (Purser, et al., 2016 ; Chin & Hari, 2020 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020)**

Les encroûtements et les nodules offrent un support de vie important, où se développe une biodiversité variée et unique. Cela concerne, entre autres, certaines éponges ou certains octopodes – notamment une espèce surnommée « Casper le poulpe » - qui ne peuvent pas se fixer sur les sédiments mous. Lorsque les éponges meurent, elles forment un bras vertical rigide sur lesquels les poulpes se fixent pour couvrir et ventiler leurs œufs (*voir (E) sur la Figure 12*). À de telles profondeurs (entre 4 000 et 4 200 m), les conditions sont extrêmes et la température y est particulièrement faible (environ 1,5°C). Le développement des œufs et la couvaison s'en trouvent donc très ralentis et peuvent durer jusqu'à 7 ans. Lorsque les œufs éclosent, le poulpe meurt d'épuisement. Les nodules et encroûtements offrent alors les conditions nécessaires au développement des jeunes poulpes, tels que la présence d'anfractuosités ou l'accès à des nutriments.

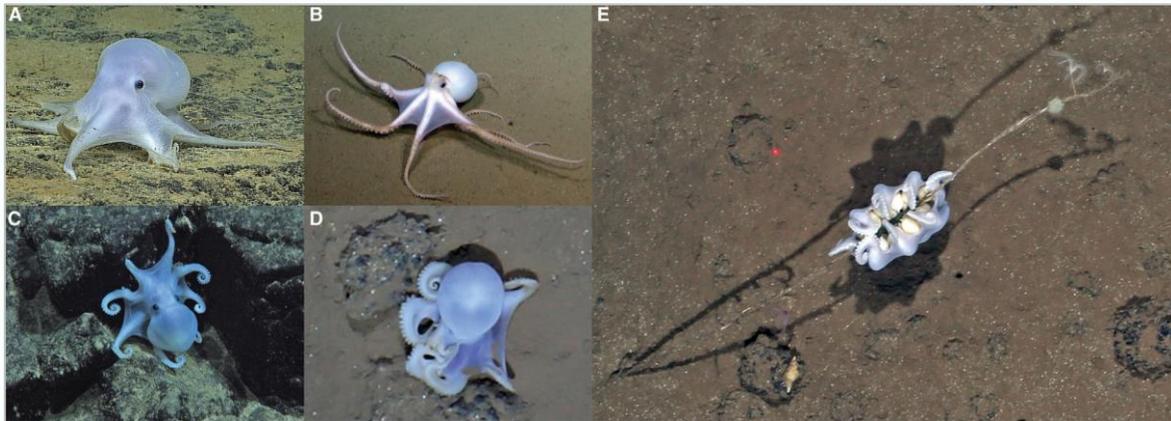


Figure 12 : Différentes observations de poulpes dans des zones riches en encroûtements et en nodules ; tiré de (Purser, et al., 2016, p. 1268)<sup>73</sup>

### 3.1.3. Panaches de sédiments et de particules

Des **panaches de sédiments et de particules** se formeront du fait de l'activité continue des véhicules sous-marins télécommandés dans les fonds marins (Oebius, et al., 2001 ; Gollner, et al., 2017 ; Hein, et al., 2020 ; Spearman, et al., 2020). De **très importantes quantités de particules** devraient être ainsi mobilisées : 65 000 m<sup>3</sup> (ou 50 000 tonnes) par jour pour une seule exploitation de nodules (Rolinski, et al., 2001 ; Hein, et al., 2020). À ces derniers peuvent s'ajouter des **panaches de matériaux résiduaux** provenant : soit de **déversements d'effluents et de déchets miniers** via des conduites de réinjection (après pré-traitement et/ou traitement sur les navires) ; soit de **fuites au niveau des conduites de levage** (qui remontent le minerai extrait) **ou au niveau des conduites de réinjection** (Oebius, et al., 2001 ; Schriever & Thiel, 2013 ; Ecorys, 2014c ; Gollner, et al., 2017 ; Spearman, et al., 2020).

S'il est attendu que les panaches issus de l'activité minière au niveau des fonds marins se maintiennent à des profondeurs élevées, les modélisations réalisées jusqu'alors restent tout de même limitées du fait du **manque d'information sur les phénomènes de remontée et de plongée d'eau** (ou *upwelling et downwelling* en anglais) **ainsi que sur les courants océanographiques** (MIDAS<sup>74</sup>, 2016 ; Sarradin, et al., 2017 ; Miller, et al., 2018). Par ailleurs, les panaches issus de fuites ou de déversements pourraient se mettre en place à des profondeurs très variables, depuis la surface jusqu'à plus de 1 000 m (Miller, et al., 2018 ; Chin & Hari, 2020).

<sup>73</sup> La description de chaque figure et les crédits associés sont détaillés sous la figure originale dans la publication (Purser, et al., 2016, p. R1268).

<sup>74</sup> Le projet **MIDAS - Managing Impacts of Deep-sea reSource exploitation** - est un programme de recherche multidisciplinaire visant à étudier les conséquences environnementales de l'exploitation des ressources minérales et énergétiques des grands fonds marins. **Source : [www.eu-midas.net](http://www.eu-midas.net)**.

La plupart des auteurs recommandent d'ailleurs de procéder au déversement d'effluents et de déchets miniers à partir de cette dernière profondeur (Schriever & Thiel, 2013 ; Hein, et al, 2020).

De plus, les particules mises en suspension pourraient mettre très longtemps (plusieurs années à dizaines d'années) pour se redéposer au fond (Rolinski, et al., 2001 ; Miller, et al., 2018).

**L'emprise des panaches est également très difficile à évaluer**, tant en termes de profondeur (tel qu'explicité précédemment) qu'en termes de surface (MIDAS, 2016 ; Spearman, et al., 2020) : « *One of the most important and least understood threats is the sediment plume that is expected to travel in the ocean column away from the mine site.* »<sup>75</sup> (Ochromowicz, 2021, p. 2). Les modélisations réalisées jusqu'alors démontrent que la dispersion des panaches pourrait s'étendre sur plusieurs centaines de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres autour du site d'exploitation (MIDAS, 2016 ; Spearman, et al., 2020) ; voire bien au-delà encore : « *Such plumes can potentially travel hundreds of kilometres [...].* »<sup>76</sup> (MIDAS, 2016, p. 9).

La formation, le déplacement et la sédimentation des panaches modifient la turbidité, la luminosité (pour les eaux peu profondes) et la composition physico-chimique de la colonne d'eau (Sarradin, et al., 2017 ; Miller, et al., 2018). Ces panaches peuvent : (1) **causer l'asphyxie et l'enfouissement d'une partie de la faune et de la flore** ; (2) **modifier le comportement des espèces** ; ou encore (3) **provoquer la fragmentation voire la destruction des habitats** (Birney, et al., 2006 ; Sharma, 2015 ; Shulse, et al., 2016 ; Miller, et al., 2018 ; Chin & Hari, 2020).

De surcroît, **la distribution des particules nutritives pourrait être modifiée, affectant ainsi les chaînes trophiques** (Birney, et al., 2006 ; Montserrat, et al., 2019). Le transport de nutriments entre couches d'eau aurait en effet pour conséquence de limiter la croissance du phytoplancton dans les zones appauvries en nutriments, et de conduire à une explosion du phytoplancton et des bactéries dans les zones enrichies en nutriments (Hyun, et al., 1998 ; Scheltinga & Heydon, 2005 ; Montserrat, et al., 2019). Par ailleurs, le phytoplancton pourrait être perturbé par l'augmentation de la turbidité des eaux et la réduction de la lumière (limitant conséquemment la photosynthèse) (Hyun, et al., 1998 ; Birney, et al., 2006). L'adhérence de certains sédiments au plancton pourrait également affecter sa capacité à se déplacer dans l'eau (Ahnert & Borowski, 2000).

#### 3.1.4. Toxicité des métaux et métalloïdes

À l'image des gisements terrestres, les gisements en eaux profondes comprennent des **éléments potentiellement toxiques**, qui font partie des métaux d'intérêt ou sont naturellement associés à eux. Tel que décrit dans le § 2.1.1 p. 16, les concentrations en certains de ces métaux et métalloïdes peuvent ainsi être élevées dans les minerais<sup>77</sup> (Hein, et al., 2013 ; Ecorys, 2014a), notamment :

- le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le zinc (Zn), l'arsenic (As), l'antimoine (Sb), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le sélénium (Se) ; pour les sulfures hydrothermaux ;
- le nickel (Ni), le cobalt (Co), le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le zinc (Zn), le thallium (Tl), le tellure (Te) ; pour les nodules et les encroûtements.

<sup>75</sup> Traduction proposée par SystExt : « *L'une des menaces les plus importantes et les moins bien comprises est le panache de sédiments qui devrait se déplacer dans la colonne d'eau en s'éloignant du site minier.* »

<sup>76</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Ces panaches peuvent potentiellement parcourir des centaines de kilomètres [...].* »

<sup>77</sup> Bien que les teneurs pour les métaux d'intérêt et d'intérêt potentiel soient faibles « en valeur absolue » ou par rapport à des objectifs économiques, ces valeurs restent particulièrement élevées au regard d'enjeux toxicologiques.

Les **processus de libération des métaux et métalloïdes** dans les fonds marins et dans la colonne d'eau **correspondent globalement aux mêmes processus que ceux qui sont à l'origine de la mise en place des panaches** : creusement et extraction du minerai dans les fonds marins, déversements d'effluents et de déchets miniers, fuites sur les conduites de levage et de réinjection (Ecorys, 2014c ; MIDAS, 2016 ; Hauton, et al., 2017 ; Sarradin, et al., 2017 ; Miller, et al., 2018).

Au même titre que les panaches, il reste très difficile d'estimer la surface et le volume de la zone qui serait polluée par les métaux et métalloïdes (Hauton, et al., 2017 ; Miller, et al., 2018), mais les surfaces affectées pourraient probablement atteindre des centaines voire des milliers de kilomètres carrés (Hauton, et al., 2017).

**Les métaux et métalloïdes peuvent être libérés et transportés à l'état dissous** (sous forme d'ions métalliques) **ou à l'état particulaire** (adsorbé sur une particule ou inclus dans un minéral, tel qu'un sulfure métallique, par exemple). Et ces états peuvent évoluer dans le temps, en fonction des conditions physico-chimiques de l'environnement ; **modifiant ainsi la mobilité et la biodisponibilité des éléments**.

À titre d'illustration, Mestre, et al. (2017) ont étudié les processus de relargage des métaux par la remobilisation artificielle de déchets miniers déversés dans la baie de Portmán, au sud-est de l'Espagne. Cette expérimentation avait pour objectif d'évaluer le comportement de matériaux résiduels dont la composition s'apparente à celle des panaches générés par une exploitation de sulfures hydrothermaux<sup>78</sup>, avec des concentrations élevées en arsenic (As), cadmium (Cd), plomb (Pb) et zinc (Zn) (Mestre, et al., 2017). Les auteurs montrent que la remise en suspension des matériaux résiduels est à l'origine de la libération des contaminants sous formes particulaire et dissoute, ce qui a conduit à un impact écotoxicologique, notamment sur la santé des moules (Mestre, et al., 2017).

Si ces derniers travaux de recherche permettent de mettre en évidence le risque lié à la toxicité des métaux dans des conditions similaires à celles de l'exploitation des fonds marins, ils ont été réalisés dans une partie superficielle de la colonne d'eau (Mestre, et al., 2017). Or, les conditions physico-chimiques en eaux profondes diffèrent beaucoup de par : les pressions très élevées (supérieure à 60 MPa, à comparer à la pression atmosphérique de 0,1 MPa) et les températures très faibles (inférieures à 2°C) (Hauton, et al., 2017). **Ces conditions spécifiques peuvent modifier la solubilité des métaux (et donc leur mobilité) ainsi que leur toxicité**. De fait, la solubilité des métaux pourrait être augmentée en eaux profondes<sup>79</sup> (Dold, 2014), tandis que leur toxicité pourrait être diminuée à faible température et augmentée à haute pression (Brown, et al., 2017 ; Hauton, et al., 2017).

De plus, la toxicité des métaux et métalloïdes n'a été étudiée que pour certaines substances, pour certaines espèces marines et dans des conditions correspondant aux eaux superficielles (Mestre, et al., 2014 ; Hauton, et al., 2017). La complexité des processus, corrélée au manque de données expérimentales, conduit donc certains chercheurs à considérer qu'**il n'est actuellement pas possible de conclure quant à la toxicité des métaux et métalloïdes pour les différentes espèces et de fournir des valeurs seuils associées** (Schriever & Thiel, 2013 ; MIDAS, 2016 ; Hauton, et al., 2017).

<sup>78</sup> Compte tenu des similarités entre ce type de gisement et ceux exploités dans le district minier de Portmán.

<sup>79</sup> Du fait de mécanismes tels que la solubilité des sulfures dans l'eau de mer ou la dissolution réductrice des minéraux oxydés (Dold, 2014).

Cependant, tel qu'explicité en introduction de cette section, si tous les impacts ne peuvent pas encore être quantifiés, il est cependant possible d'évaluer les risques associés. Ainsi, en cas d'exploitation, **les espèces benthiques mais également pélagiques<sup>80</sup> seront nécessairement exposées à des métaux et métalloïdes**, sous forme dissoute et/ou sous forme particulière (Ramirez-Llodra, et al., 2015 ; Miller, et al., 2018 ; Montserrat, et al., 2019).

Par ailleurs, la toxicité de ces substances affectera fortement le phytoplancton et le zooplancton (Fuchida, et al., 2017 ; Hauton, et al., 2017). Si des phénomènes de bioaccumulation<sup>81</sup> et de bioamplification<sup>82</sup> venaient à se mettre en place dans ces environnements, cela pourrait également affecter toute la chaîne trophique.

Cette contamination pourrait avoir des effets létaux, sublétaux<sup>83</sup> et non létaux sur les espèces faunistiques et floristiques, tant benthiques que pélagiques (Hauton, et al., 2017 ; Montserrat, et al., 2019 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020). Il en résulterait des **risques majeurs**, notamment : (1) **le changement de comportement, la maladie voire la mort des individus** ; (2) **la migration des espèces hors des zones contaminées** ; (3) **la modification du fonctionnement des écosystèmes** (Hauton, et al., 2017 ; Montserrat, et al., 2019 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020).

Face aux nombreuses incertitudes, il est recommandé de **se baser sur le retour d'expérience afférent au déversement de déchets miniers en mer, en particulier en eaux profondes** (ou *deep-sea tailings disposal (DSTD)* en anglais) (Vare, et al., 2018, p. 4 et p. 11) :

« Both the extraction of minerals from the seabed and disposal of mining waste products into the deep sea [...] are of growing concern due to the disturbances that can be caused to both littoral and deep-sea benthic ecosystems. » [...] « The emerging regulations and science of deep-seabed mining have much to gain by utilizing the scientific studies carried out on DSTD, and by learning from the past regulatory successes and failures of DSTD. »<sup>84</sup>

L'*Encadré 3 page suivante* consiste en une synthèse des principaux enjeux et impacts associés aux déversements en mer, et plus particulièrement ceux réalisés dans les grands fonds marins (ou à une profondeur supérieure à 1 000 m).

<sup>80</sup> Le **milieu pélagique** fait référence à la colonne d'eau sus-jacente au milieu benthique, plus particulièrement les parties autres que les côtes et les fonds marins.

<sup>81</sup> La **bioaccumulation** désigne la capacité des êtres vivants à absorber ou concentrer des substances chimiques dans tout ou partie de leur organisme

<sup>82</sup> La **bioamplification** désigne l'augmentation cumulative des concentrations d'une substance chimique à mesure que l'on progresse dans la chaîne alimentaire.

<sup>83</sup> Un **effet sublétal** concerne une exposition à substance toxique, et plus particulièrement au niveau le plus proche de celui qui provoque la mort (sans que celle-ci se produise).

<sup>84</sup> Traductions proposées par SystExt : « *Tant l'exploitation des fonds marins que le déversement de déchets miniers en eaux profondes [...] suscitent une inquiétude croissante en raison des perturbations qui peuvent être causées aux écosystèmes benthiques présents en eau profonde et au niveau du littoral.* » [...] « *Les nouvelles réglementations et travaux de recherche sur l'exploitation des fonds marins ont beaucoup à gagner en utilisant les études scientifiques réalisées sur le DSTD et en tirant les leçons des succès et des échecs passés en termes de réglementation du DSTD.* »

### Encadré 3 : Des impacts environnementaux prévisibles : retour d'expérience associé au déversement de déchets miniers en eaux profondes ; tiré de (SystExt, 2021)

En principe, les déversements de résidus miniers en mer se subdivisent en deux catégories (GESAMP, 2015 ; Vare, et al., 2018) : (1) Ceux réalisés dans des eaux de profondeurs faibles à moyennes (ou *submarine tailings disposal (STD)* en anglais) ; soit à basse profondeur (< 200 m), soit à profondeur intermédiaire (200 m à 1 000 m) ; (2) Ceux réalisés dans des eaux profondes et dans les grands fonds marins (ou *deep-sea tailings disposal (DSTD)* en anglais), au-delà de 1 000 m de profondeur.

Dans la plupart des cas, le point de décharge se situe à des profondeurs intermédiaires (environ 100 m) au niveau d'une zone dont la topographie sous-marine favorise la migration des déchets par gravité vers les grands fonds océaniques. Par exemple, pour la mine d'or-cuivre de Batu Hijau, en Indonésie, le point de décharge se situe à une profondeur de 108 m dans un canyon sous-marin, et les résidus miniers migrent ensuite vers 3 000 m voire 4 000 m de profondeur (Ramirez-Llodra, et al., 2015 ; Morello, et al., 2016).

Lorsque les déversements sont réalisés en milieu marin, l'une des problématiques majeures réside dans la migration des déchets, parfois loin du point de décharge (Earthworks & MiningWatch Canada, 2012 ; Morello, et al., 2016). Cette migration et cette évolution dans le temps du panache de matériaux résiduaux augmentent la taille de la zone affectée et rendent difficile l'évaluation des impacts (Morello, et al., 2016). De plus, la dégradation des conduites transportant les résidus est un enjeu important, car elle peut conduire à des fuites en eaux peu profondes. En 2012, la moitié des 12 sites de déversement en mer alors en fonctionnement (ou étant en fonctionnement peu de temps avant) était ainsi concernée par ce type d'accidents (Earthworks & MiningWatch Canada, 2012).

L'impact sur la faune benthique est majeur parce que celle-ci est directement en contact avec le fond de la mer, notamment en creusant à l'intérieur des sédiments, ou encore en ingérant ces derniers dans le but d'en récupérer la fraction organique (Morello, et al., 2016). Ainsi, le déversement des déchets miniers dans les fonds marins peut être à l'origine d'impacts graves sur les organismes benthiques. Parmi eux, les principaux sont : l'étouffement des organismes, le changement de la nature des habitats, l'augmentation de la turbidité et l'exposition aux substances contaminantes (Burd, et al., 2000 ; Ramirez-Llodra, et al., 2015 ; Morello, et al., 2016) (Figure 13 à droite). Dans les cas les plus extrêmes d'hyper-sédimentation, toute la faune benthique peut disparaître et de larges zones du fond marin peuvent devenir stériles (Ramirez-Llodra, et al., 2015).

De plus, Morello, et al. (2016) décrivent les effets potentiels sur les organismes pélagiques et sur la totalité du réseau trophique (Figure 13 à gauche) : (1) changements dans la productivité primaire et la disponibilité de la nourriture ; (2) changements dans la composition/abondance des espèces ; (3) effets des particules fines sur les organismes (obstruction des branchies, par exemple) ; (4) effets de l'augmentation de la turbidité sur les organismes qui utilisent la bioluminescence ; (5) toxicités aiguë et chronique des métaux sous forme dissoute ou particulaire ainsi que des éventuels produits chimiques utilisés pour le traitement du minerai ; (6) bioaccumulation ou bioamplification des métaux.

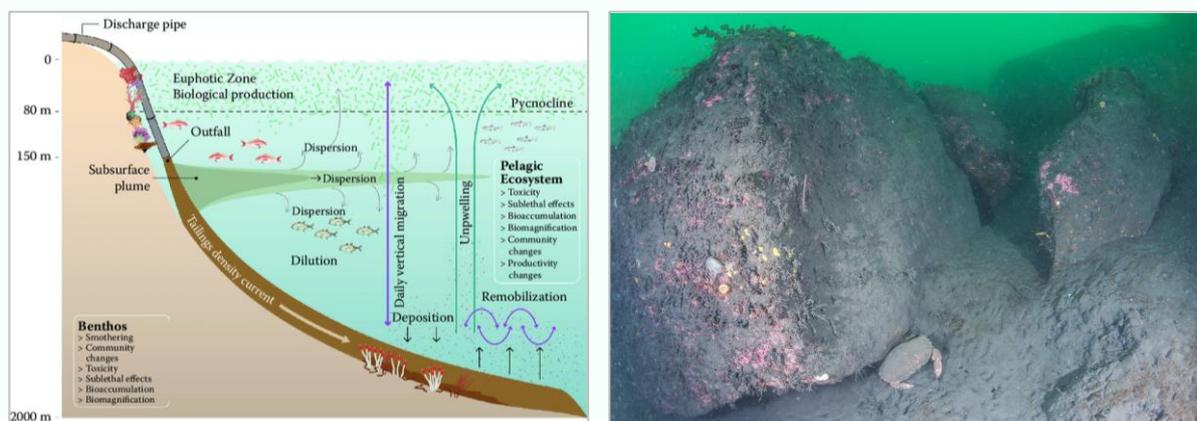


Figure 13 : (à gauche) Représentation des impacts environnementaux associés aux déversements en milieu marin profond ; tiré de (Morello, et al., 2016, p. 321) ; (à droite) Lit du fjord Jøssingfjord recouvert de résidus miniers, 35 années après l'arrêt de cette pratique, mine de titane de Tellnes, Norvège | © Erling Svensen, Earthworks · Lien flickr

### 3.1.5. Pollutions lumineuses et sonores

Les espèces des grands fonds sont habituées à une absence complète de lumière à l'exception de la bioluminescence de certaines d'entre elles (Phillips, et al., 2016). **La lumière émise par les véhicules sous-marins télécommandés et les autres équipements entraînera inévitablement une perturbation lumineuse pour toutes ces espèces, ce qui peut menacer leur santé ou leur développement** (Ecorys, 2014c ; Davies, et al., 2016 ; Miller, et al., 2018).

De plus, le retour d'expérience en la matière alerte déjà sur les risques associés à une exposition lumineuse. Des études ont démontré, par exemple, que des crevettes vivant dans les grands fonds marins ont subi des lésions rétinienne permanentes suite à l'utilisation de projecteurs par des sous-marins surveillant des fumeurs noirs sur la dorsale médio-atlantique (Herring, et al., 1999).

Si l'augmentation des niveaux de lumière devait persister, d'autres organismes mobiles pourraient migrer loin des sites exploités (Miller, et al., 2018). Bien que la lumière soit reconnue comme un polluant par la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin de la Commission européenne<sup>85</sup>, celle-ci indique que les informations disponibles sont actuellement insuffisantes pour définir des limites de bon état écologique pour son utilisation (Miller, et al., 2018).

Aux pollutions lumineuses s'ajoutent les **pollutions sonores qui sont responsables de changements de comportement voire de dommages physiques sur les écosystèmes** (Birney, et al., 2006). Dans la zone ainsi impactée, le bruit empêche les animaux de se repérer, de trouver un abri, de défendre leur territoire contre des prédateurs, de communiquer pour rester en groupe ou pour indiquer qu'il y a de la nourriture (L'Hostis, 2017 ; Trent Long & Colombie, 2019<sup>86</sup>). Ces perturbations peuvent également modifier la répartition des espèces et le fonctionnement des écosystèmes (Miller, et al., 2018 ; Jones, 2019 ; Merchant, 2019). Elles seraient audibles sur des centaines de kilomètres selon les méthodes employées<sup>86</sup>.

---

<sup>85</sup> Décision de la Commission du 1<sup>er</sup> septembre 2010 relative aux critères et aux normes méthodologiques concernant le bon état écologique des eaux marines (2010/477/UE) · [Lien](#).

<sup>86</sup> D'après Stephen Simpson, docteur en biologie marine à l'Université d'Exeter, interviewé dans le podcast (Trent Long & Colombie, 2019).

### 3.1.6. Perte de biodiversité et effets sur le long terme

Les différents phénomènes décrits précédemment conduiront nécessairement à **une perte de biodiversité, tant pour les espèces benthiques que pélagiques**. Dans ce dernier cas, les risques sont principalement évalués par rapport aux panaches et à la toxicité des métaux, tel que décrit précédemment. Cependant, **les écosystèmes pélagiques pourraient également être affectés directement ou indirectement par l'exploitation des fonds marins du fait des connexions importantes qu'ils ont avec les écosystèmes benthiques** (Chin & Hari, 2020 ; Drazen, et al., 2020 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020). Ces phénomènes sont encore sous-estimés, dû au manque d'études scientifiques dédiées (Drazen, et al., 2020, p. 17459) : « *Deep-sea mining is rapidly approaching. Nonetheless, we lack scientific evidence to understand and manage mining impacts on deep pelagic ecosystems, which constitute most of the biosphere.* »<sup>87</sup>

Quel que soit le type de gisements (sulfures hydrothermaux, nodules et encroûtements), **les perturbations et les dommages associés à une exploitation minière pourraient persister sur le long terme, voire être irréversibles** (Vanreusel, et al., 2016 ; Gollner, et al., 2017 ; Niner, et al., 2018). Le rétablissement de certaines espèces est en effet limité par leur faible vitesse de croissance, de reproduction et de recolonisation, et par leur très longue durée de vie dans les grands fond marins (Montserrat, et al., 2019 ; Chin & Hari, 2020).

À titre d'exemple, une exploitation « test » de nodules a été réalisée en 1978 dans la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ). La zone a ensuite été revisitée en 2004 pour évaluer les impacts associés sur les seuls habitats benthiques. Malgré les 26 années écoulées, les traces laissées en 1978 étaient toujours clairement visibles. Il a également été constaté une perte de biodiversité et de biomasse au niveau des zones perturbées, par rapport aux zones non perturbées environnantes (Miljutin, et al., 2011 ; Jones, et al., 2017 ; Stratmann, et al., 2018 ; Simon-Lledó, et al., 2019).

Compte tenu des écosystèmes exceptionnels et peu résilients qui se développent au sein des gisements<sup>88</sup>, **l'extraction du minerai en tant que tel devrait être à l'origine des impacts qui s'étendent sur les plus grandes échelles de temps** (Gollner, et al., 2017). Pour les nodules, cela concerne l'altération voire la « désertification » des plaines abyssales alors dépourvues des concrétions qui abritent la biodiversité faunistique et floristique (Gollner, et al., 2017). Pour les sulfures hydrothermaux et les encroûtements, cela concerne l'extinction locale d'espèces clés ou la disparition de faunes spécifiques (Gollner, et al., 2017). **Ces phénomènes de perte voire de disparition d'espèces persisteraient sur des durées équivalentes à celles nécessaires pour restaurer les gisements, de l'ordre du millier voire du million d'années**<sup>89</sup> (Gollner, et al., 2017) : « *Substantial community shifts, including the loss of species, may persist over geological timescales at directly mined sites due to habitat loss (mineral removal)* »<sup>90</sup>.

<sup>87</sup> Traduction proposée par SystExt : « *L'exploitation minière en eaux profondes approche à grands pas. Néanmoins, nous manquons de preuves scientifiques pour comprendre et gérer les impacts de l'exploitation minière sur les écosystèmes pélagiques profonds, qui constituent la majeure partie de la biosphère.* »

<sup>88</sup> Voir § 3.1.2 p. 40.

<sup>89</sup> Voir § 2.1.2 p. 18, § 2.1.3 p. 19 et § 2.1.4 p. 20.

<sup>90</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Des changements substantiels de la communauté, y compris la perte d'espèces, peuvent persister sur des échelles de temps géologiques au niveau des sites directement exploités en raison de la perte d'habitat (suppression du minerai)* ».

### 3.1.7. Dérèglement de la fonction "puits de carbone"

« L'océan est un important puits de carbone, capable de capturer le  $\text{CO}_2$  atmosphérique grâce au couplage de deux phénomènes, physique et biologique. Il séquestre ainsi près de 30 % du  $\text{CO}_2$  émis par les humains. » (Perez, 2021). En effet, deux phénomènes se combinent pour réaliser la fonction dite « puits de carbone » de l'océan (Davison, et al., 2013 ; Steinberg & Landry, 2017 ; Perez, 2021) : (1) le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) atmosphérique est dissous naturellement dans l'eau des océans et d'autant plus dans les eaux de basse température<sup>91</sup> ; celles-ci sont plus denses et plongent au fond de l'océan en emportant le  $\text{CO}_2$  (Figure 14 à gauche) ; (2) le phytoplancton absorbe le  $\text{CO}_2$  atmosphérique au moment de la photosynthèse et, en mourant, le transporte vers les fonds marins (Figure 14 à droite).

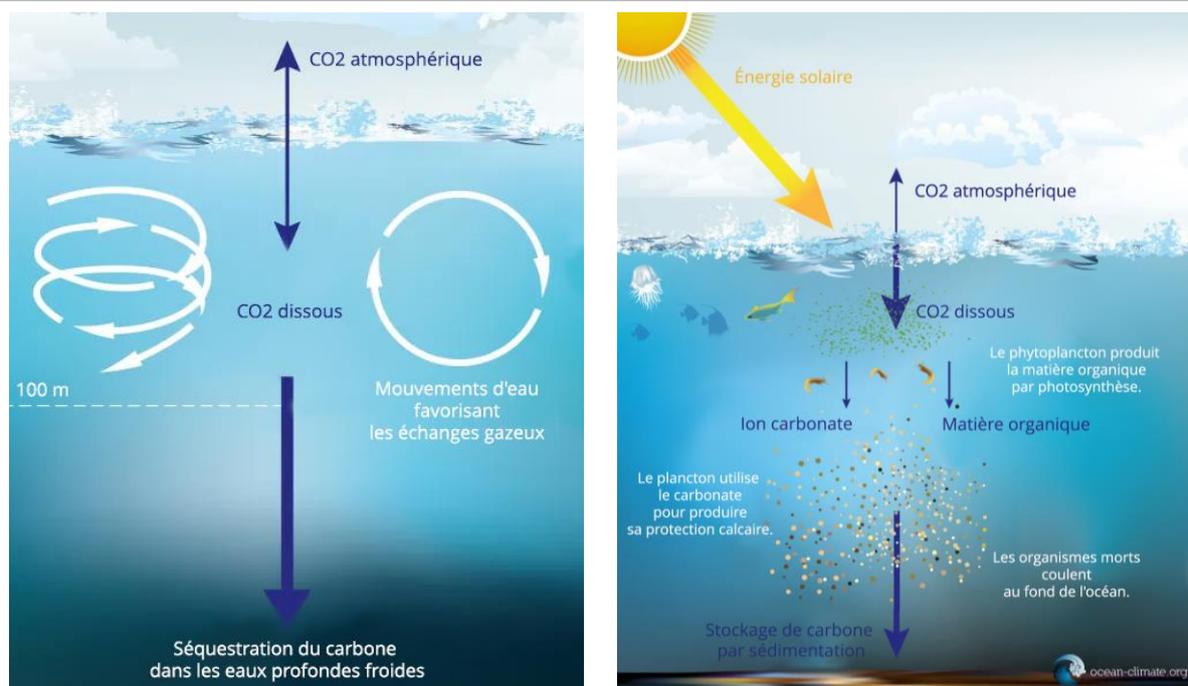


Figure 14 : Phénomènes physiques (à gauche) et biologiques (à droite) à l'origine du stockage de carbone dans les fonds marins ; adapté et traduit de (Ocean and Climate, 2016)

Plusieurs organisations et institutions, telles que le Parlement européen, alertent sur le manque de connaissances concernant la fonction « puits de carbone » des océans, sur les risques induits par l'exploitation minière en eaux profondes ainsi que sur les répercussions par rapport au changement climatique (Parlement européen, 2021 ; Sénat, 2022b ; UNEP FI, 2022). En effet, cette activité minière déplacera nécessairement les sédiments des fonds marins, **libérant ainsi le carbone qui y est piégé**. Au contact du dioxygène présent dans l'eau, celui-ci peut se transformer à nouveau en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), qui remonte à la surface puis jusqu'à l'atmosphère (Atwood, et al., 2020).

Ce processus de libération du carbone des fonds marins amplifie également l'**acidification des océans** (Sustainable Ocean Alliance (SOA) France, 05/07/2022, *Le Club de Mediapart*). Tout ceci participe à la mise en danger de la biodiversité marine ainsi qu'à l'accentuation de l'effet de serre et donc du changement climatique (Sustainable Ocean Alliance (SOA) France, 05/07/2022, *Le Club de Mediapart*) : « La fonction de séquestration de carbone de l'océan serait alors affectée, pouvant avoir des impacts conséquents sur le climat. ».

<sup>91</sup> La dissolution étant favorisée à basse température (Perez, 2021).

En guise de conclusion, la *Figure 15 page suivante* propose une synthèse schématique des principaux risques environnementaux associés à l'exploitation des nodules ([Fauna & Flora International \(FFI\), 2020](#)). Dans ce dernier rapport, Fauna & Flora International (FFI) a établi des synthèses très similaires pour les sulfures hydrothermaux et les encroûtements.

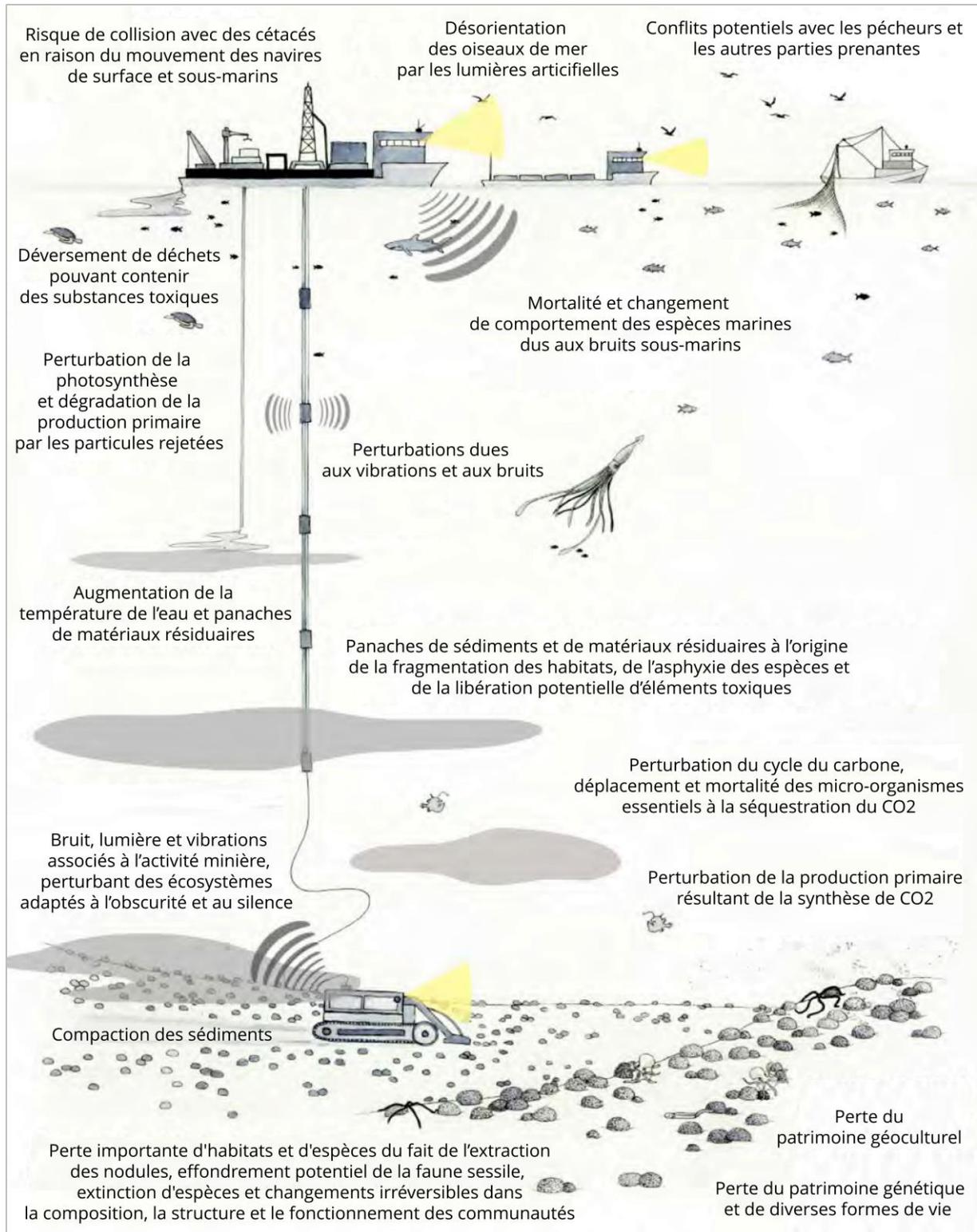


Figure 15 : Synthèse schématique des principaux risques environnementaux associés à l'exploitation des nodules ; traduit et adapté de ([Fauna & Flora International \(FFI\), 2020, p. 195](#))

## 3.2. Tensions sociales, culturelles et politiques inévitables

Plus encore que les risques environnementaux, **les risques sociaux, culturels et politiques restent encore sous-évalués et sous-étudiés**. Les impacts associés ne sont toujours pas connus (Harris, 2018 ; Chin & Hari, 2020) et ne peuvent être que sous-estimés, du fait notamment de l'absence de projet d'exploitation conduit à son terme et de la diversité des contextes des projets miniers envisagés (Koschinsky, et al., 2018 ; Carver, et al., 2020).

Selon Carver, et al. (2020), le fait que les sites soient éloignés des côtes (du moins, dans la perception qu'en ont les pays occidentalisés) et qu'ils ne soient pas habités semble réduire ou effacer les conséquences sociales et environnementales potentielles. Ces auteurs démontrent cependant que, contrairement à ces idées reçues, l'exploitation en eaux profondes porterait **probablement des problématiques plus complexes encore que l'exploitation terrestre** (Carver, et al., 2020).

En effet, l'exploitation des gisements des fonds marins sera nécessairement à l'origine d'**impacts socio-économiques, culturels et politiques, multiples et complexes** (Roche & Bice, 2013 ; Koschinsky, et al., 2018 ; Carver, et al., 2020). Les communautés vivant dans l'environnement, même éloigné, des sites d'exploitation seront inévitablement affectées (Roche & Bice, 2013, p. 78) :

« It is difficult to predict the timing, extent, or type of social impacts that will flow from development of deep sea mining in the Pacific. What is certain, however, is that where mining occurs, whether onshore or offshore, communities will be affected. »<sup>92</sup>

### 3.2.1. Bouleversements socio-économiques

Les communautés insulaires et côtières sont très dépendantes de la pêche et plus globalement des ressources marines. Le transport entre le site d'exploitation et les côtes, l'exploitation et le déversement d'effluents voire de déchets miniers, ainsi que les activités logistiques et de traitement du minerai sur les côtes pourraient **perturber fortement la pêche et mettre en danger les ressources de subsistances des communautés** (Roche & Bice, 2013 ; Chin & Hari, 2020 ; Ochoa, 2021). Les conséquences d'un accident (qu'il soit lié aux activités minières ou dû au dysfonctionnement d'un navire venant en soutien à ces activités) toucheraient durement les personnes dépendantes de la santé des océans (Chin & Hari, 2020).

**Les services écosystémiques rendus par le milieu océanique au sens large (depuis les fonds marins jusqu'aux zones côtières) ne sont pas quantifiables ; ce qui empêche toute évaluation des conséquences économiques des impacts environnementaux** (Bergeron, et al., 2017, p. 54) :

« Les services écosystémiques [...] rendus par l'océan étant difficilement monétisables et les impacts environnementaux peu quantifiables, il est **difficile de chiffrer les conséquences économiques des impacts environnementaux**. Les zones potentiellement affectées par l'extraction minière s'étendent du plancher océanique à la colonne d'eau jusqu'à la surface, et aussi à terre. **Une méthodologie d'évaluation des conséquences économiques des impacts environnementaux reste donc à mettre en place et à systématiser.** »

<sup>92</sup> Traductions proposées par SystExt : « Il est difficile de prévoir le moment, l'étendue ou le type d'impacts sociaux qui découleront du développement de l'exploitation minière en eaux profondes dans le Pacifique. Ce qui est certain, cependant, c'est que là où l'exploitation minière a lieu, que ce soit sur terre ou en mer, les communautés seront touchées. »

Si certains auteurs mettent en avant les potentiels bénéfiques socio-économiques que les pays directement concernés<sup>93</sup> pourraient tirer de l'exploitation minière en eaux profondes (Roche & Feenan, 2013 ; Wakefield & Myers, 2018), d'autres sont beaucoup plus prudents au regard des nombreuses incertitudes associées aux risques environnementaux, sociaux et culturels (Koschinsky, et al., 2018 ; Carver, et al., 2020 ; Chin & Hari, 2020 ; Ochoa, 2021).

Ainsi, la plupart des auteurs étudiés par SystExt s'accordent sur le fait que **de nombreuses initiatives devront être menées par les industriels, et par les autres acteurs publics et privés investis dans l'exploitation minière en eau profonde, pour que cette activité puisse potentiellement apporter une contribution économique positive** (UNEP FI, 2022, p. 34) : « *There are, therefore, significant challenges to overcome before the deep-sea mining industry is recognized as economically viable or as a responsible industry that can make a positive economic contribution [...].* »<sup>94</sup>

### 3.2.2. Enjeux culturels majeurs

**Les identités culturelles des communautés insulaires et côtières sont intimement liées à l'océan**, incluant les zones situées en profondeur et celles éloignées des habitations humaines (Harris, 2018 ; Chin & Hari, 2020). Pour les populations locales, la mer est un espace empreint d'une signification spirituelle, une position qui entre nécessairement en conflit avec les entreprises cherchant à s'approprier les fonds marins (Carver, et al., 2020). À Wallis et Futuna (une collectivité d'outre-mer française), par exemple, l'océan s'apparente ainsi à un véritable « *objet coutumier* » (Le Meur & Muni Toke, 2021). Ce fondement culturel mène à une revendication de souveraineté qui s'oppose aux prérogatives de l'État français en matière d'exploration et d'exploitation minière dans sa zone économique exclusive (ZEE) (Le Meur & Muni Toke, 2021)<sup>95</sup>.

Ces enjeux culturels concernent également les pratiques traditionnelles en matière d'aménagement du littoral, d'accès à la nourriture ou d'actes spirituels. L'exploitation minière en eaux profondes présente ainsi des **risques élevés de perte d'espèces culturellement importantes, de connaissances locales, ainsi que de patrimoine et d'histoire** (Roche & Bice, 2013 ; Harris, 2018 ; Carver, et al., 2020).

La mise en péril de « l'appel au requin » illustre ainsi les impacts socio-culturels qui peuvent être induits par l'activité minière dans les fonds marins. Cette coutume ancestrale est pratiquée sur la côte ouest de la province de la Nouvelle-Irlande, en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Les pêcheurs attirent les requins des profondeurs et les attrapent à la main, après avoir chanté les noms de leurs ancêtres et leurs respects au requin (Fainu & Uechtritz, 30/09/2021, *The Guardian*). Cette pratique constitue un lien social fort au sein des communautés et entretient une connexion avec l'océan (Trent Long & Colombie, 2019 ; Fainu & Uechtritz, 30/09/2021, *The Guardian*). Depuis le début des travaux d'exploration par l'entreprise *Nautilus Minerals*, les communautés locales dénoncent la diminution du nombre de requins (Papua New Guinea Mine Watch, 2012). Selon elles, ces animaux sont fortement perturbés par le bruit des appareils marins et sous-marins, ainsi que par des panaches turbides (Harris, 2018 ; Fainu & Uechtritz, 30/09/2021, *The Guardian*).

<sup>93</sup> Les pays directement concernés sont ici ceux dont la zone économique exclusive (ZEE) comprend le(s) site(s) d'exploitation ou les pays dont les côtes seraient concernées par l'implantation des installations portuaires, logistiques voire de traitement du minerai.

<sup>94</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Il y a donc des défis importants à relever avant que l'industrie minière en eaux profondes soit reconnue comme économiquement viable ou comme une industrie responsable pouvant apporter une contribution économique positive.* »

<sup>95</sup> Voir Encadré 7 "Exploration minière à Wallis-et-Futuna : l'État débouté, après avoir fait abstraction des populations locales" p. 76.

Il est essentiel que les communautés autochtones et locales soient placées au cœur de l'évaluation et de la gestion des risques socio-économiques et culturels, et que des engagements forts soient pris afin de garantir le **permis social d'exploiter** (ou *social licence to operate* en anglais) et le **consentement préalable, libre et éclairé (CPLE)** (ou *free, prior, and informed consent (FPIC)* en anglais) (Roche & Bice, 2013 ; Filer & Gabriel, 2018 ; Harris, 2018 ; Ochoa, 2021).

Une difficulté majeure réside cependant dans l'**identification des communautés autochtones et locales** avec qui ces démarches doivent être menées. Elles ne peuvent correspondre aux propriétaires fonciers de la zone du projet minier ni à une communauté « affectée par la mine », au sens conventionnel du terme (Filer & Gabriel, 2018). En Papouasie-Nouvelle-Guinée<sup>96</sup>, la solution choisie a été de créer une communauté « artificielle » sous le nom de « zone côtière bénéficiaire » (ZCB) (ou *coastal area of benefit (CAB)* en anglais) (Filer & Gabriel, 2018). Selon la politique minière en vigueur en Papouasie-Nouvelle-Guinée, elle est définie comme (Filer & Gabriel, 2018, p. 5) : « *[t]he closest LLG [local-level government] ward to the nearest landward boundary of a Mining Lease together with three adjacent coastal LLG wards in both directions along the coastline* »<sup>97</sup>.

Il est crucial de rappeler la nécessité de garantir le consentement préalable, libre et éclairé (CPLE). En effet, la plupart des entreprises minières qui s'engagent à l'appliquer, le réduisent le plus souvent à des démarches de transparence et de consultation élargie (Roche & Bice, 2013 ; Ochoa, 2021), tel que le soulignent (Roche & Bice, 2013, p. 76) :

« While a growing number of mining companies espouse free, prior, and informed consent ideals, very few companies institute the practice in its fullest sense. Instead, they lean towards free, prior, and informed "consultation", in which ideals of transparency and strong community engagement are upheld, but where the decision about whether a project proceeds rests outside of community control [...]. »<sup>98</sup>

Il est donc **indispensable que le CPLE soit mis en pratique dans sa définition la plus stricte**, c'est-à-dire que les communautés autochtones et locales aient la possibilité (Roche & Bice, 2013 ; Ochoa, 2021) : (1) d'accéder à toutes les informations afférentes au projet et à ses implications potentielles, de façon précise et transparente ; (2) de s'opposer au projet<sup>99</sup> ; (3) dans le cas où elles l'approuveraient, de contribuer aux procédures d'autorisation et de contractualisation, de façon à que les droits et obligations juridiques reflètent les conditions auxquelles elles consentent.

<sup>96</sup> Voir Encadré 6 "Échec du projet Solwara 1 en Papouasie-Nouvelle-Guinée" p. 73.

<sup>97</sup> Traduction proposée par SystExt : « le secteur du gouvernement local situé au plus proche de la limite terrestre la plus proche d'une concession minière, ainsi que les trois secteurs de gouvernements locaux côtiers qui sont adjacents dans les deux directions le long du littoral ».

<sup>98</sup> Traduction proposée par SystExt : « Si un nombre croissant de sociétés minières adhèrent aux idéaux du consentement préalable, libre et éclairé, très peu d'entre elles appliquent cette pratique dans son sens le plus large. Elles se tournent plutôt vers la "consultation" libre, préalable et éclairée, dans laquelle les idéaux de transparence et d'engagement fort de la communauté sont respectés, mais où la décision de poursuivre ou non un projet échappe au contrôle de la communauté [...]. »

<sup>99</sup> Plus précisément, il est indispensable que les communautés autochtones et locales puissent : (1) exprimer leur opposition sans qu'aucune forme de coercition ou de pression ne soit exercée par les représentants étatiques ou les porteurs de projet ; (2) faire valoir un « droit de veto » et rejeter un projet et les conséquences qui en découlent (Roche & Bice, 2013).

### 3.2.3. Conflits associés à la gestion des ressources et des bénéfiques

La question se pose tout d'abord du **partage des ressources minières situées dans la Zone** (ou eaux internationales) qui n'appartiennent à aucun pays, **faisant craindre des conflits géopolitiques** (Roche & Bice, 2013 ; Carver, et al., 2020).

Au sein des eaux territoriales (hors de la Zone), **des conflits peuvent également survenir** entre les gestionnaires de la ressource, les communautés autochtones et locales (notamment insulaires et côtières), les gouvernements et les compagnies minières, **à propos d'injustices perçues dans la propriété, les bénéfiques, les taxes et la légitimité des opérations minières conduites** (Roche & Bice, 2013 ; Petterson & Tawake, 2019 ; Carver, et al., 2020).

Selon Ochoa (2021), les différents acteurs du projet minier doivent équilibrer l'intérêt commercial et l'intérêt public, en veillant à ce que les avantages et les risques connus (et inconnus) soient équilibrés. Ainsi, la plupart des pays insulaires du Pacifique, priorisent la préservation des habitats, de leur mode de vie, des moyens de subsistance et de la sécurité alimentaire plutôt que les avantages potentiels que pourrait leur apporter l'exploitation minière en eaux profondes (Chin & Hari, 2020).

Alors même qu'aucun projet d'exploitation n'a été mené à son terme, cette activité modifie d'ores et déjà les relations politiques et crée des conflits locaux, nationaux et internationaux entre les partisans et les opposants aux projets miniers (Koschinsky, et al., 2018 ; Chin & Hari, 2020).

#### 4. Les impacts ne peuvent être ni évalués, ni gérés, ni compensés

Tel qu'introduit au début du § 3 "Les risques, connus et largement documentés, ne sont pas acceptables" p. 38, il est nécessaire de distinguer les risques, qui correspondent au croisement d'un phénomène dangereux avec un enjeu à préserver, des impacts, qui caractérisent un changement de la qualité d'un milieu (impact environnemental) ou d'un environnement (impact socio-économique ou culturel). Le paragraphe précédent détaille ainsi les risques les plus probables et les plus graves, désormais connus et très documentés. Il introduit également le fait que les impacts ne peuvent être caractérisés avec précision et encore moins quantifiés.

Pourtant, face à l'intérêt grandissant pour les ressources minières des grands fonds marins, **les États et les institutions accélèrent la définition du cadre réglementaire relatif à l'évaluation et à la gestion des impacts**, tandis que **les industriels accélèrent les démarches pour obtenir les autorisations d'exploration et d'exploitation** (Durden, et al., 2017 ; Jones, et al., 2019 ; Ochoa, 2021).

À l'image d'autres projets industriels, il est ainsi attendu que les projets miniers en eaux profondes soient soumis à la réalisation d'une **étude d'impact social (EIS)** (ou *Social Impact Assessment (SIA)* en anglais) et d'une **étude d'impact environnemental (EIE)** (ou *Environmental Impact Assessment (EIA)* en anglais) (Koschinsky, et al., 2018 ; Jones, et al., 2019). Un **plan de gestion et de surveillance de l'environnement (PGSE)** (ou *Environmental Management and Monitoring Plan (EMMP)* en anglais) devrait également être élaboré (Niner, et al., 2018 ; Jones, et al., 2019). Le PGSE a pour but de s'assurer : que les effets nocifs soient réduits au minimum, qu'aucun dommage grave ne soit causé au milieu marin, que les exigences réglementaires soient respectées et que les objectifs fixés dans l'EIE soient atteints (Niner, et al., 2018 ; Jones, et al., 2019).

Le présent paragraphe souhaite mettre en lumière les **limites, parfois insolubles, associées à l'évaluation, la gestion et la compensation des impacts**.

## 4.1. Évaluation des impacts irréalisable

### 4.1.1. Connaissances partielles à nulles sur les écosystèmes et sur les techniques minières

Les positionnements des chercheurs et des experts diffèrent en ce qui concerne les activités minières en eaux profondes. Certains y sont favorables sous réserve d'élaborer des nouvelles méthodologies et des « bonnes pratiques » ; d'autres privilégient une approche itérative, en assujettissant toute décision au retour d'expérience sur les premiers sites qui auraient fait l'objet d'une exploitation ; d'autres encore recommandent de n'autoriser aucun projet minier, tant que l'absence d'impact grave n'aura pas été démontrée.

Malgré ces différences de positionnement, un enjeu fait consensus : **la nature et le fonctionnement des écosystèmes marins ne sont que très partiellement connus, voire inconnus** (Dyment, et al., 2014 ; MIDAS, 2016 ; Gollner, et al., 2017 ; Miller, et al., 2018 ; Jones, et al., 2019 ; Smith, et al., 2020 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020 ; Leal Filho, et al., 2021). Et le manque de connaissances est considérable (Gollner, et al., 2017) : « *However, the definition of "serious harm" is challenging in deep ecosystems, where lack of knowledge is the rule rather than the exception.* »<sup>100</sup>

Ainsi, Cindy Lee Van Dover, spécialiste internationalement reconnue de la biodiversité marine, déclarait en 2014 : « *Chaque fois que nous allons sous l'eau, même dans un site déjà étudié, nous trouvons de nouvelles espèces.* » (Lescuyer, 06/06/2014, *novethic*).

**Des informations qualitatives et quantitatives manquent ainsi pour toutes les caractéristiques des écosystèmes marins**, notamment :

- les espèces en présence, leur abondance, leur(s) habitat(s) et leurs comportements (pour se déplacer, se nourrir, se reproduire, etc.) (Ramirez-Llodra, et al., 2015 ; Amon, et al., 2016 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020) ;
- la fragilité des écosystèmes, la rareté des espèces et les risques d'extinction (MIDAS, 2016 ; Gollner, et al., 2017 ; Smith, et al., 2020) ;
- la distribution et la connectivité des espèces (tant à l'échelle spatiale que temporelle), ainsi que les relations entre les écosystèmes pélagiques et benthiques (Dyment, et al., 2014 ; MIDAS, 2016 ; Gollner, et al., 2017 ; Drazen, et al., 2020 ; Leal Filho, et al., 2021) ;
- la modification du comportement, la résistance et la capacité de reconstitution face aux perturbations induites par les activités minières (Gollner, et al., 2017 ; Miller, et al., 2018 ; Smith, et al., 2020).

Pour pallier ces manques, la plupart des auteurs précédents recommandent la conduite de travaux de recherche scientifique, qui pourraient prendre des dizaines d'années. Et il est important de distinguer ces travaux de la prospection minière, tel que détaillé dans l'*Encadré 4 page suivante*.

---

<sup>100</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Cependant, la définition d'un "dommage grave" est difficile pour les écosystèmes profonds, où le manque de connaissances est la règle plutôt que l'exception.* »

#### Encadré 4 : Recherche scientifique et prospection minière : des objectifs, des méthodes et des résultats divergents

Le 12 octobre 2021, le Président de la République s'est positionné en faveur de l'exploration des grands fonds marins dans les zones économiques exclusives (ZEE) françaises (Élysée, 2021) : « [...], c'est l'investissement dans le champ des grands fonds marins. [...]. Et il y en a aujourd'hui pour comprendre, connaître les grands fonds marins, des innovations de rupture à conduire pour mener ses explorations et pour permettre le travail scientifique. J'entends déjà le débat venir, je ne parle pas d'exploitation à ce moment-là, je parle d'exploration. [...] Et nous avons dans nos zones économiques exclusives, la possibilité d'avoir accès à ces explorations, qui est un levier extraordinaire de compréhension du vivant, peut-être d'accès à certains métaux rares, de compréhension du fonctionnement de nouveaux écosystèmes, [...] » Cet extrait met en évidence l'ambiguïté entretenue entre l'exploration minière, destinée à évaluer le potentiel en ressources minérales, et l'acquisition de connaissances scientifiques, destinée à identifier les écosystèmes marins et comprendre leur fonctionnement (Sénat, 2022b).

Or, selon Maître Virginie Tassin Campanella, (Barreaux de Paris & Zürich, VTA Tassin), experte du droit de la mer, et Anne Caillaud, chargée de programme outre-mer au Comité français de l'UICN, ces deux champs exploratoires ne requièrent ni les mêmes équipes, ni les mêmes moyens (Sénat, 2022a, p. 2) : « [...] l'expertise, le savoir-faire et les équipements ne sont pas les mêmes pour une mission d'exploration pure (qui requiert des connaissances en géologie et économie) et de la recherche scientifique marine ou réalisation d'un état initial (qui requiert des biologistes, taxonomistes, géomorphologistes, océanographes etc.). »

De plus, toujours selon ces dernières expertes, les deux activités ne fournissent pas les mêmes résultats (Sénat, 2022a, p. 2) : « La distinction entre recherche scientifique marine et activités d'exploration est cruciale : les résultats de la recherche scientifique marine sont publics par nature, elles sont menées dans l'intérêt de l'humanité et dans un but pacifique [ONU, 1994b, Art. 246], les activités d'exploration sont exercées dans le cadre des droits souverains sur les ressources minérales [ONU, 1994b, Art. 77] et répondent à des considérations commerciales, et les résultats d'exploration sont par principe confidentiels. Il n'y a donc pas de partage de connaissance *per se* de l'environnement marin dans le cadre des activités d'exploration : les informations et données sont conservées par l'État et les opérateurs privés. »

La divergence entre acquisition de données scientifiques et prospection minière peut être illustrée avec le retour d'expérience sur la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ) (Amon, et al., 2016). La recherche biologique dans la CCZ a été menée dans les années 1970 par des sociétés en parallèle de leur prospection minière (Amon, et al., 2016). Cependant, la mégafaune (Figure 16) a été mal caractérisée en termes d'abondance, de diversité et de structure des communautés (Amon, et al., 2016). Sur la période 2005-2015, la zone a connu un regain d'intérêt et une dizaine de permis d'exploration ont été octroyés. Malgré cela, la connaissance des écosystèmes marins n'a pas beaucoup progressé (Amon, et al., 2016, p. 3) : « Despite increased prospecting and great advances in deep-sea sampling technology [...] and analytical methods [...], knowledge of the regional fauna across all size classes has not increased greatly. »<sup>101</sup>



Figure 16 : Mégafaune observée dans la partie est de la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ) ; adapté de (Amon, et al., 2016, p. 3)<sup>102</sup>

<sup>101</sup> Traduction proposée par SystExt : « Malgré l'intensification de la prospection et les progrès considérables réalisés dans les technologies d'échantillonnage en eaux profondes [...] et les méthodes d'analyse [...], la connaissance de la faune régionale, toutes classes de taille confondues, n'a pas beaucoup progressé. »

<sup>102</sup> La description de chaque figure et les crédits associés sont détaillés sous la figure originale dans la publication (Amon, et al., 2016, p. 3).

Par ailleurs, **toutes les techniques minières restent à l'état conceptuel ou à celui de test** (Sénat, 2022b ; UNEP FI, 2022). Ces dernières sont mal définies et « *dépendent notamment des informations communiquées par les entreprises et les États impliqués* » (Bergeron, et al., 2017, p. 52). Par conséquent, une production à l'échelle industrielle n'est actuellement pas envisageable (Sénat, 2022b, p. 83) : « *La plupart des acteurs s'accordent toutefois sur le fait que les technologies d'extraction et de transformation du minerai ne sont pas, à ce stade, arrivées à maturité et qu'il serait irréaliste d'envisager une production à l'échelle industrielle avant la fin de la décennie.* »

Toutes ces raisons expliquent pourquoi **de nombreuses informations qualitatives et quantitatives manquent également concernant les techniques** : d'**exploitation** (Koschinsky, et al., 2018 ; Leal Filho, et al., 2021), de **transport**, de **traitement** (Hein, et al., 2020 ; Ochromowicz, et al., 2021), ainsi que de **gestion des effluents et des déchets** (Chin & Hari, 2020 ; Smith, et al., 2020).

#### 4.1.2. Limites dans l'élaboration de l'état initial et des études d'impact

L'étude d'impact environnemental (EIE) comprend généralement un « **état initial** » (ou « état zéro »). Il s'agit d'un document qui décrit la situation de référence d'un environnement avant tout projet d'exploration ou d'exploitation, à partir duquel seront évalués les éventuels impacts dus à l'activité minière.

**Le manque de connaissance sur les écosystèmes marins** décrit dans le paragraphe précédent **contraint voire empêche l'établissement de l'état initial**, et des efforts importants s'avéreront nécessaires pour pallier ces carences (MIDAS, 2016 ; Bergeron, et al., 2017 ; Gollner, et al., 2017). De plus, les connaissances acquises depuis le regain d'intérêt pour les gisements marins profonds ne suffisent pas (Bergeron, et al., 2017, p. 52) : « *L'état des connaissances sur la biodiversité de ces écosystèmes s'est fortement amélioré ces vingt dernières années, grâce à de nouveaux moyens d'exploration, mais il demeure encore très incomplet, et cela pose une difficulté majeure dans la description de l'état initial et des enjeux dans les études d'impact.* »

Il est également important de noter qu'il n'existe **aucune méthodologie permettant d'évaluer l'état initial des milieux sous-marins et pouvant rendre compte de la biodiversité et des habitats**, mais **seulement des « recommandations »** (MIDAS, 2016 ; Durden, et al., 2017).

Plus largement, les méthodologies d'évaluation des impacts environnementaux et socio-économiques doivent être instaurées et systématisées (Bergeron, et al., 2017 ; Sarradin, et al., 2017 ; Jones, et al., 2019), tel que le rappelle également le programme de recherche MIDAS (MIDAS, 2016, p. 17) :

« Despite recent advances, much of the existing state-of-the-art technologies and methodologies are still at the pilot test stage and cannot be used on an industrial scale for rapid biodiversity assessment. **There is no methodology that can rapidly assess biodiversity** across the size scales from megafauna to microbes, either to give the genetic connectivity or dispersal potential of species vulnerable to impacts. »<sup>103</sup>

<sup>103</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Malgré les récentes avancées, la plupart des technologies et méthodologies existantes restent à l'étape de test pilote et ne peuvent pas être utilisées à une échelle industrielle pour une évaluation rapide de la biodiversité. Il n'y a pas de méthodologie qui puisse rapidement évaluer la biodiversité sur différentes échelles, de la mégafaune aux microbes, que ce soit pour rendre compte de la connectivité génétique ou le potentiel de dispersion des espèces vulnérables aux impacts.* »

## 4.2. Gestion et compensation des impacts impossibles

### 4.2.1. Mise en application périlleuse de la hiérarchie des mesures d'atténuation

La principale approche pour la gestion des impacts associés aux activités minières en eaux profondes consiste à prévenir et/ou à atténuer les impacts (Durden, et al., 2017 ; Niner, et al., 2018 ; Jones, et al., 2019). La mise en œuvre opérationnelle de cette approche repose sur la **hiérarchie des mesures d'atténuation** (ou *mitigation hierarchy* en anglais), l'équivalent de la démarche « éviter, réduire, compenser » (ERC) en France.

La hiérarchie des mesures d'atténuation comprend quatre niveaux, à appliquer dans cet ordre :

- (1) **l'évitement** (ou *avoidance* en anglais), qui a vocation à empêcher que les impacts se produisent ;
- (2) la **minimisation** (ou *minimisation* en anglais), qui a pour but de réduire les impacts ;
- (3) la **restauration** (ou *restoration* en anglais) et (4) la **compensation** (ou *offsetting* en anglais), qui se donnent pour objectif de réparer et de compenser les dommages inévitables causés à la biodiversité et à l'environnement.

Dans le domaine de l'exploration et de l'exploitation des grands fonds marins, **les cadres réglementaires et méthodologiques associés à l'application de ces mesures sont au mieux en cours de définition, au pire, inexistant** (Bergeron, et al., 2017 ; Durden, et al., 2017 ; Niner, et al., 2018 ; Jones, et al., 2019 ; Ochoa, 2021). Ces lacunes proviennent de la vulnérabilité des milieux marins et de leur biodiversité ; des capacités technologiques limitées pour minimiser les dommages ; du manque de connaissances écologiques, écosystémiques et biologiques ; ainsi que des incertitudes quant au potentiel de récupération des écosystèmes (Bergeron, et al., 2017 ; Niner, et al., 2018).

Ainsi, selon Niner, et al. (2018) seules des mesures d'évitement et de réduction des impacts pourront être mises en œuvre mais ne suffiront pas à éviter **les pertes définitives** (Niner, et al., 2018). Ce constat est partagé par Céline Jacob, qui a réalisé une thèse sur la compensation écologique en milieu marin (Jacob, 2017, p. 7) : « *Un premier état des lieux des pratiques ERC ["éviter, réduire, compenser"] marines, s'appuyant sur les études d'impacts environnementales françaises, montre le manque de garanties concernant l'application des mesures, la quasi-absence de la phase d'évitement et la non-conformité des pratiques compensatoires [...]* ».

### 4.2.2. Mesures de restauration et de compensation non réalistes

Si les mesures d'évitement et de minimisation présentent des limites majeures, le constat est encore plus alarmant pour les mesures de restauration et de compensation. Les recherches scientifiques dédiées concluent à **l'absence de méthodologie adaptée** voire à **l'impossibilité d'appliquer ces mesures** (Bergeron, et al., 2017 ; Durden, et al., 2017 ; Niner, et al., 2018 ; Billett, et al., 2019 ; Jones, et al., 2019).

Les mesures de restauration (ou de remédiation) ont vocation à aider à la reconstitution d'un écosystème dégradé ou détruit, ou équivalent à celui qui a été perdu. Elles peuvent être actives (par la transplantation de la faune, la construction d'habitats artificiels, ou la réhabilitation de la zone dégradée, par exemple) ou passives (par la suppression des nuisances pour favoriser la reconstitution naturelle, par exemple) (Niner, et al., 2018 ; Billett, et al., 2019).

Les mesures de restauration actuelles se tournent principalement vers la création **de réserves ou de zones de refuge non explorées et non exploitées**, à partir desquels les espèces touchées pourraient recoloniser les milieux impactés (Niner, et al., 2018 ; Billett, et al., 2019). La directrice de l'environnement de *Nautilus Minerals*, Samantha Smith, promouvait ainsi en 2014 ce type de méthodes (Lescuyer, 06/06/2014, *novethic*) : « "Nous avons développé plusieurs stratégies pour minimiser et compenser les impacts", insiste Samantha Smith. Par exemple, des robots sous-marins (drones) déplaceront les blocs de sédiments qui contiennent la plus grande biomasse vers une zone refuge temporaire. "Nous testons actuellement différents types de substrats artificiels à Solwara. Pour déterminer ceux qui seront les plus efficaces pour la relocalisation animale". »

Cependant, la mise en place de ces réserves se heurte également au manque de connaissances sur les espèces et les écosystèmes des fonds marins. Comment établir une réserve alors que ne sont connus ni l'aire de répartition des espèces, ni les distances qu'elles peuvent parcourir, ni leur cycle de vie (et donc leurs zones de reproduction) (Ifremer, 2019) ?

Ces constatations sont d'autant plus cruciales que les écosystèmes des fonds marins se caractérisent par **des durées de mise en place et d'évolution particulièrement longues**, faisant craindre des durées de récupération tout aussi lentes (Niner, et al., 2018 ; Billett, et al., 2019 ; Jones, et al., 2019), tel que le soulignent (Niner, et al., 2018, p. 5) : « [...] **it is still unclear whether deep-sea restoration is feasible at all. Although the technology for remediation may appear relatively simple in some respects, [...] the efficacy of remediation approaches is unknown and will require decades to evaluate (due to the very slow recovery rates of abyssal communities) [...].** »<sup>104</sup>.

**La réhabilitation éventuelle des zones exploitées**, quant à elle, **ne semble pas possible, ni même « réaliste »** (UNEP FI, 2022, p. 23) :

« It is also unclear what activities would be associated with mine site closure, since there appears to be no realistic potential for the environmental damage resulting from mining activity to be rehabilitated or remediated in any way. »<sup>105</sup>

En effet, **de nombreux enjeux rendent très peu probable la faisabilité des travaux de réhabilitation en eaux profondes** : la lenteur du développement et de la croissance des espèces et des habitats concernés ; l'échelle potentiellement vaste des impacts ; la compréhension très limitée des fonctions écologiques, biologiques et écosystémiques à restaurer ; les coûts très élevés des travaux et de leur suivi (Niner, et al., 2018). Concernant ce dernier enjeu, Van Dover, et al. (2014) se sont basés sur le retour d'expérience afférent à la réhabilitation de récifs coralliens en eaux peu profondes. Le coût médian pour onze études de cas était légèrement inférieur à 500 000 dollars par hectare ; ces coûts variant cependant de 5,5 à plus de 100 millions de dollars (M\$) par hectare dans le cas de récifs coralliens gravement endommagés par des échouages de navires (Van Dover, et al., 2014). **Les coûts de la restauration en eaux profondes seraient probablement de deux à trois ordres de grandeur plus élevés que ceux de la restauration en eaux peu profondes** (Van Dover, et al., 2014) ; soit de l'ordre de la centaine de millions voire du milliard de dollars.

<sup>104</sup> Traduction proposée par SystExt : « [...] on ne sait toujours pas si la restauration en eaux profondes est réalisable. Bien que la technologie de restauration puisse sembler relativement simple à certains égards, [...] l'efficacité des approches de restauration est inconnue et il faudra des décennies pour l'évaluer (en raison des taux de récupération très lents des communautés abyssales) [...] ».

<sup>105</sup> Traduction proposée par SystExt : « On ne sait pas non plus quelles activités seraient associées à la fermeture des sites miniers, car il ne semble pas y avoir de possibilité réaliste de réhabiliter ou de remédier d'une manière ou d'une autre aux dommages environnementaux résultant de l'activité minière. »

Les mesures de compensation ont vocation à « contrebalancer » les dégradations et les destructions provoquées par l'activité minière. Il est le plus souvent attendu que celles-ci aboutissent à un gain net pour la biodiversité (Niner, et al., 2018 ; Billett, et al., 2019). Trois types de mesures peuvent être mises en place : (1) « Similaires », qui consistent à protéger un habitat similaire à celui qui est exploité (Niner, et al., 2018 ; Billett, et al., 2019) ; (2) « Différentes », qui s'appuient sur la création d'une nouvelle biodiversité (par exemple, en eaux peu profondes) ; (3) « Additionnelles », qui ne recherchent pas l'équivalence ou le gain de biodiversité mais compensent d'une autre manière, comme le renforcement de capacités.

Les mesures de compensation actuelles se tournent majoritairement vers des mesures « similaires » (1), et plus particulièrement la **création d'aires marines protégées** (Bergeron, et al., 2017 ; Jacob, 2017 ; Niner, et al., 2018). Cependant, **la plupart des auteurs concluent à l'insuffisance de ces mesures voire à leur inefficacité** pour répondre aux enjeux de préservation et de protection de la biodiversité marine (Jacob, 2017 ; Van Dover, et al., 2017 ; Niner, et al., 2018 ; Billett, et al., 2019), tel que le soulignent :

- (Jacob, 2017, p. 7) : « *Le peu de compensations marines envisagées ciblent essentiellement les espèces protégées. Dans ce cadre, des compensations qualifiées de socio-économiques ou "environnementales" se développent au détriment des compensations écologiques. D'autre part, les propositions de mesures ERC ["éviter, réduire, compenser"] font fortement appel aux techniques de restauration et d'ingénierie écologiques disponibles mais ne respectent, qu'en partie, les principes de compensation et notamment celui d'équivalence écologique.* », ou encore ;
- (Billett, et al., 2019) : « *The many barriers to compensation in the mitigation hierarchy suggest that, while continued research is important, **it may not be a desirable strategy for most mining operations.*** »<sup>106</sup>.

La restauration, la réhabilitation et la compensation n'étant pas envisageables, **il est attendu qu'une exploitation des gisements des fonds marins sans perte nette** (ou *no net loss* en anglais) **soit impossible** (Niner, et al., 2018, p. 8) :

« Industrial-scale remediation is not demonstrated and likely not feasible, and offsets are impossible, as such it can be reasonably expected that deep-sea mining will result in a net loss of biodiversity in the direct mining footprint and for some distance around it [...]. **These losses may well be irreversible** on timescales relevant to management and possibly for many human generations. »<sup>107</sup>

<sup>106</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Les nombreux obstacles à la compensation dans la hiérarchie des mesures d'atténuation suggèrent que, bien que la poursuite des recherches soit importante, elle pourrait ne pas être une stratégie souhaitable pour la plupart des exploitations minières.* »

<sup>107</sup> Traduction proposée par SystExt : « *La réhabilitation à l'échelle industrielle n'est pas démontrée et probablement pas réalisable, et les compensations sont impossibles. On peut donc raisonnablement s'attendre à ce que l'exploitation minière en eaux profondes entraîne une perte nette de biodiversité dans la zone d'exploitation et sur une certaine distance autour de celle-ci [...]. Ces pertes pourraient bien être irréversibles sur des échelles de temps adaptées à une gestion et peut-être pour de nombreuses générations humaines.* »

## 5. Les réglementations s'avèrent largement insuffisantes

### 5.1. Délimitation des zones maritimes et pluralité des régimes

La mer territoriale s'étend au-delà de la ligne de base<sup>108</sup> sur une largeur maximale de **12 milles marins (M), soit 22 km (ONU, 1994b, Art. 3)**. La souveraineté de l'État (et donc sa réglementation nationale) s'applique au sol et sous-sol des fonds marins, aux eaux surjacentes, ainsi qu'à l'espace aérien (ONU, 1994b, Art. 2). Au-delà de la mer territoriale et adjacente à celle-ci, se situe la zone économique exclusive (ZEE), d'une largeur maximale de **200 M, soit 370 km<sup>109</sup>** depuis la ligne de base (ONU, 1994b, Art. 57). Un régime juridique spécifique s'y applique : **l'État est souverain sur le sol et le sous-sol des fonds marins ainsi que sur les eaux surjacentes** ; en revanche, l'espace aérien et la navigation ne sont pas soumis à la réglementation du pays concerné (ONU, 1994b).

Le plateau continental correspond au prolongement sous-marin des terres émergées. L'État peut demander une extension pour couvrir un plateau continental dépassant les 200 M, avec une limite maximale de **350 M, soit 648 km (ONU, 1994b, Art. 76)**. Cette extension n'autorise des droits souverains que sur le sol et le sous-sol des fonds marins ; les eaux surjacentes ainsi que l'espace aérien étant soumis au régime juridique international (ONU, 1994b). Les enjeux associés à l'extension du plateau continental sont détaillés dans le § 5.4 p. 78. Au-delà de ces 350 M (ou des 200 M de la ZEE), se trouve la Zone, qui représente presque 50 % de la surface de la Terre (Ochoa, 2021). Un régime juridique international s'y applique, régi par la **Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (CNUDM) (ONU, 1994b)**. Dans la Zone, la CNUDM établit que le sol et le sous-sol des fonds marins se trouve sous le contrôle de l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM) (ONU, 1994b) (voir paragraphe suivant).

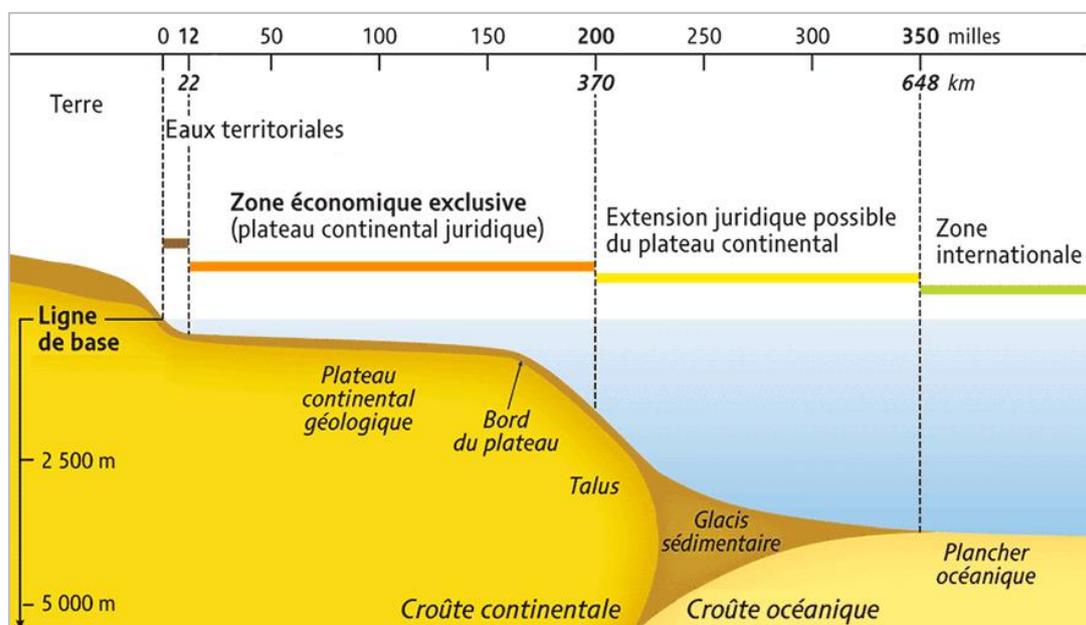


Figure 17 : Délimitation des zones maritimes ; adapté d'Extraplac (ou Programme français d'extension du plateau continental) et tiré de (Cormorand, Juin 2016, *Le Monde diplomatique*)

<sup>108</sup> La **ligne de base** correspond à « [...] la laisse de basse mer le long de la côte [ou limite extrême atteinte par la mer sous l'influence de la marée], telle qu'elle est indiquée sur les cartes marines à grande échelle reconnues officiellement par l'État côtier. » (ONU, 1994b, Art. 5).

<sup>109</sup> Si la mer territoriale fait 12 M de large (soit le maximum de sa largeur), la ZEE mesurera 188 M depuis la limite extérieure de la mer territoriale.

## 5.2. Zone : entre patrimoine commun de l'humanité et intérêts commerciaux

### 5.2.1. Patrimoine commun de l'humanité

La Zone représente des enjeux majeurs à l'échelle de la planète (ONU, 1994b, Art. 136) : « **La Zone et ses ressources sont le patrimoine commun de l'humanité.** ». Bien que ce statut exceptionnel soit également mentionné pour l'Antarctique (Traité sur l'Antarctique, 1959) ou pour les espaces extra-atmosphériques (Lune et corps célestes) (Traité sur l'espace extra-atmosphérique, 1967), c'est la première fois qu'il est utilisé dans un document cadre. Ainsi, **seuls les grands fonds marins rassemblent tous les critères nécessaires à l'obtention du statut de Patrimoine commun de l'humanité** (Parent, 2013).

Bien que la définition du patrimoine commun de l'humanité (PCH) puisse paraître imprécise, elle renvoie néanmoins au principe d'un **héritage qui doit être transmis aux générations futures dans un état inaltéré ou amélioré** (Frakes, 2003 ; Oraison, 2006 ; Parent, 2013). Le PCH repose ainsi sur cinq critères (Heim, 1990 ; Frakes, 2003 ; Oraison, 2006 ; Parent, 2013 ; Drisch, 2017) :

- **la non-appropriation** : « *Common heritage spaces are legally owned by no one* »<sup>110</sup> (Frakes, 2003, p. 411) ;
- **la gestion commune** : « *A commons area is literally considered to be space that belongs to all persons in the international community.* »<sup>111</sup> (Frakes, 2003, p. 412) ;
- **le partage des ressources et des bénéfices tirés de ces ressources** : « *[...] all nations must actively share with each other the benefits acquired from exploitation of the resources from the common heritage region.* »<sup>112</sup> (Frakes, 2003, p. 412) ;
- **l'utilisation à des fins pacifiques** : « *It is commonly agreed, for example, that countries may not station military personnel or any form of weaponry in common heritage spaces.* »<sup>113</sup> (Frakes, 2003, p. 412) ;
- **la préservation pour les générations futures** : « *The issue of preserving the common regions for the benefit of future generations will become even more important as our readily accessible resources deplete and as technology improves so as to make resource exploitation more cost effective in common areas.* »<sup>114</sup> (Frakes, 2003, p. 413).

<sup>110</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Les espaces du patrimoine commun ne sont légalement la propriété de personne.* »

<sup>111</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Un espace commun est littéralement considéré comme un espace qui appartient à toutes les personnes de la communauté internationale.* »

<sup>112</sup> Traduction proposée par SystExt : « *[...] toutes les nations doivent partager activement entre elles les bénéfices acquis de l'exploitation des ressources de la région du patrimoine commun.* »

<sup>113</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Il est communément admis, par exemple, que les pays ne peuvent pas stationner du personnel militaire ou toute forme d'armement dans les espaces du patrimoine commun.* »

<sup>114</sup> Traduction proposée par SystExt : « *La question de la préservation des régions communes au profit des générations futures deviendra encore plus importante à mesure que nos ressources facilement accessibles s'épuiseront et que la technologie s'améliorera de manière à rendre l'exploitation des ressources plus rentable dans les régions communes.* »

### 5.2.2. Autorité internationale des fonds marins (AIFM)

En 1967, à l'initiative de la délégation onusienne de Malte et de son ambassadeur Arvid Pardo, la question de « l'utilisation exclusive à des fins pacifiques des fonds marins et océaniques au-delà des limites de juridiction nationale actuelles » fut posée (Oraison, 2006). À cette occasion, un Comité spécial des fonds marins fut créé (Oraison, 2006).

Ses travaux ont conduit à l'adoption par l'ONU de la résolution n°2749 du 17/12/1970, contenant la *Déclaration des principes régissant le fond des mers et des océans, ainsi que leur sous-sol au-delà des limites de la juridiction nationale* (ONU, 1970). « Après avoir décrété que **le lit de la mer est un "patrimoine commun de l'humanité", insusceptible d'appropriation individuelle par les États et utilisable uniquement à des fins pacifiques dans l'intérêt de tous** [...] » (Oraison, 2006, p. 276) la résolution n°2749 précise son mode de gestion : « [...] un régime international s'appliquant à la zone et à ses ressources et assorti d'un mécanisme international approprié [...] » (ONU, 1970, Alinéa 9).

Ce régime est confirmé et précisé dans la *Convention de Montego Bay* du 10/12/1982, qui définit l'**Autorité internationale des fonds marins (AIFM)** (ou *International Seabed Authority (ISA)* en anglais) (ONU, 1994b). Par l'intermédiaire de cette organisation, les États « **organisent et contrôlent les activités menées dans la Zone, en particulier aux fins de l'administration des ressources de celle-ci** » (ONU, 1994b, Art. 157). En complément, la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (CNUDM) de 1994 (ONU, 1994b) prescrit notamment le régime juridique de la Zone et de ses ressources (ONU, 1994b, Art. 137), ainsi que la mission et le fonctionnement de l'AIFM.

L'Autorité internationale des fonds marins (AIFM) est un organisme intergouvernemental composé de 168 membres (167 États et l'Union européenne) (ISAa). Sa mission est définie comme tel : « [...] *organize and control all mineral-resources-related activities in the Area for the benefit of mankind as a whole.* »<sup>115</sup>. **Son existence même est intrinsèquement liée aux ressources minérales marines profondes**, tel que le rappelait Michel Lodge, Secrétaire général de l'AIFM, dans un interview en 2021<sup>116</sup> :

« Les entités autorisées par l'AIFM sont diverses. Cela peut être des gouvernements, des entreprises privées ou encore des organismes nationaux de recherche. Et à terme, **toutes ces entités ont pour objectif l'exploitation durable des ressources minérales des fonds marins.** »

### 5.2.3. Limites des accords initiaux et diminution volontaire de leur portée

Les deux paragraphes précédents présentent les principes généraux afférents au Patrimoine commun de l'humanité (PCH) et à la mission de l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM), tels qu'ils ont été initialement définis. Cependant, l'évolution historique des accords internationaux a conduit à une diminution importante de la portée et de l'applicabilité de ces principes.

Si « **toutes les ressources minérales solides, liquides ou gazeuses in situ qui, dans la Zone, se trouvent sur les fonds marins ou dans leur sous-sol, y compris les nodules polymétalliques** » (ONU, 1994b, Art. 133) relèvent du patrimoine commun de l'humanité, **les ressources biologiques quant à elles, en sont exclues** (Oraison, 2006 ; Parent, 2013). La CNUDM ne prescrit pour la faune, la flore, et les milieux que des recommandations de conservation et de préservation.

<sup>115</sup> Traduction proposée par SystExt : « [...] *organise[r] et contrôle[r] toutes les activités liées aux ressources minérales dans la Zone, dans l'intérêt de l'humanité tout entière.* »

<sup>116</sup> Retranscription entre 58'48" et 59'10" (Stocks, 2021).

Par ailleurs, le principe du patrimoine commun de l'humanité **est censé régir toutes les nations**. Cependant, il n'est techniquement contraignant que pour les nations qui ont signé les traités appropriés et non pour les nations non signataires (Frakes, 2003), telles que les États-Unis, Israël, le Pérou, la Turquie ou encore le Venezuela dans ce dernier cas (ONU, 2022).

La portée des engagements et objectifs fixés par la *Convention de Montego Bay* (CMB) de 1982 a été largement diminuée dans l'*Accord relatif à l'application de la partie XI de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer* du 28/07/1994 (ONU, 1994a). Selon Frakes (2003), les Nations Unies souhaitaient convaincre les États-Unis et la plupart des autres pays industrialisés de signer ces accords, en les basant sur les principes de la libre entreprise et de la libre concurrence (Frakes, 2003, p. 419) :

« [...] developed nations are more comfortable with a system that appears to be based on capitalist ideas. The common heritage principle, which encourages communal ideals, is not a popular concept in a capitalist society. Therefore, many of the elements central to the common heritage principle, namely benefit sharing and aspects of common management, have been removed in order to gain the support of developed nations. »<sup>117</sup>

**Ainsi, la plupart des exigences en matière de transfert technologique et financier ont été levées** (Frakes, 2003 ; Oraison, 2006 ; Parent, 2013). Alors que la CMB de 1982 prévoyait que « [...] le transfert des techniques et des connaissances scientifiques relatives aux activités menées dans la Zone [...] de façon que tous les États Parties puissent en bénéficier » (ONU, 1994b, Art. 144) soit obligatoire, l'Accord de 1994 rend ce transfert largement facultatif et le conditionne à des accords commerciaux (ONU, 1994a, Section 5). La CMB de 1982 instituait également le versement de compensations financières à l'AIFM par le biais de « droits fixes d'étude », d'un « droit annuel fixe », d'une « redevance sur la production » et de « taxes sur les recettes nettes » (Oraison, 2006). **La plupart de ces obligations financières de l'exploitant ont été, soit supprimées, soit revues à la baisse** (ONU, 1994a, Section 8). Des négociations portant sur ces obligations financières sont toujours en cours à l'heure actuelle, elles portent principalement sur les garanties environnementales (principe pollueur-payeur) et sur la gestion des bénéfices tirés de l'activité minière (Sénat, 2022b).

La réduction de la portée des accords initiaux a non seulement remis en cause le fonctionnement commun et partagé des ressources marines, mais a aussi conduit à un **affaiblissement des prérogatives et de la gouvernance de l'AIFM** (Oraison, 2006, p. 287) : « [...] l'Autorité a désormais la responsabilité d'un service public industriel et commercial à l'échelle mondiale dont **la quête de productivité et de rentabilité aux moindres coûts est devenue un objectif obsessionnel**. ». Cependant, l'organisation reste la seule porte d'entrée pour accéder à l'exploration et l'exploitation des grands fonds marins. Par ailleurs, bien qu'il soit attendu que l'AIFM « jou[e] un rôle central dans la gouvernance internationale de l'océan », son action, depuis sa mise en place effective en 1996, « [...] se limite actuellement à la délivrance, au suivi et au renouvellement de permis d'exploration [...] ainsi qu'à la définition des règles juridiques encadrant l'exploration [...] et l'exploitation [...] » et « [...] elle n'exerce pas à cette date un rôle particulièrement proactif relatif à la préservation de l'environnement marin [...] » (Sénat, 2022b, pp. 97-98).

<sup>117</sup> Traduction proposée par SystExt : « [...] les nations développées sont plus à l'aise avec un système qui semble être basé sur des idées capitalistes. Le principe du patrimoine commun de l'humanité, qui encourage les idéaux collectifs, n'est pas un concept répandu dans une société capitaliste. Par conséquent, de nombreux éléments centraux du principe du patrimoine commun de l'humanité, à savoir le partage des bénéfices et les aspects de la gestion commune, ont été supprimés afin d'obtenir le soutien des nations développées. »

De plus, nombreux sont ceux qui alertent sur les **conflits d'intérêt** et le **manque de transparence** de cette organisation (Ardron, et al., 2018 ; Sénat, 2022a ; Willaert, 2022). Ce dernier a en particulier été relevé par le Parlement européen qui a « *demand[é] une nouvelle fois aux États membres et à la Commission de coopérer avec l'Autorité internationale des fonds marins pour assurer la transparence de ses méthodes de travail et la protection effective du milieu marin contre les effets nocifs ainsi que la protection et la préservation du milieu marin [...]* ». (Parlement européen, 2021, p. C67/53). Par ailleurs, la question de l'indépendance financière de l'AIFM se pose. Si aujourd'hui elle dépend des contributions versées par ses membres, elle devrait à terme être financée par les revenus des industries minières disposant de contrats (ISA, 2020 ; Sénat, 2022a). Selon Anne Caillaud<sup>118</sup> et Virginie Tassin Campanella<sup>119</sup>, ceci constitue une problématique majeure (Sénat, 2022a, p. 9) :

« [...] le fait que l'AIFM soit à la fois le régulateur, le futur opérateur (via l'Entreprise<sup>120</sup>), et distributeur des bénéfices d'exploitation est un **conflit d'intérêt majeur** [...] »

#### 5.2.4. Règlementation déficiente dans la Zone

Pour établir et mettre à jour la réglementation, l'AIFM s'appuie sur celles des États membres, en leur demandant de lui transmettre les textes qu'ils appliquent aux zones relevant de leur souveraineté ou aux activités qu'ils pourraient patronner dans la Zone (voir ci-après) (Sénat, 2014). Or, **pour tous les pays membres, ces textes sont insuffisants voire inexistant** (voir § 5.3 p. 71) (Jones, et al., 2019 ; Willaert, 2020).

Concernant la règlementation de l'exploration, il existe des règlements internationaux portant sur les trois principaux types de gisements : les nodules (adopté en 2000, mis à jour en 2013), les sulfures hydrothermaux (adopté en 2010) et les encroûtements (adopté en 2012) (Koschinsky, et al., 2018 ; ISA, 2020 ; Ochoa, 2021). Selon le Sénat français, les règlements que l'AIFM a établi pour l'exploration des grands fonds marins traitent principalement « [...] de **questions de procédure** telles que la forme des demandes d'approbation de plans l'exploration [ou] les clauses types de contrat d'exploration. » (Sénat, 2014, p. 28). À titre d'illustration, le règlement relatif à l'exploration des nodules comporte 42 articles dont seulement 3 qui traitent des questions environnementales, sans précision quant aux procédures et techniques à mettre en œuvre pour prévenir et limiter les risques environnementaux (ISA, 2013, pp. 20-22) :

- **Art. 31-5** : « [...] chaque contractant prend les **mesures nécessaires pour prévenir, réduire et maîtriser autant qu'il est raisonnablement possible la pollution du milieu marin** et faire face aux autres risques qui menacent celui-ci du fait des activités qu'il mène dans la Zone, **en appliquant le principe de précaution ainsi que les meilleures pratiques écologiques.** »
- **Art. 31-6** : « Les contractants, les États qui les patronnent et les autres États ou entités intéressés coopèrent avec l'Autorité à l'élaboration et à l'exécution de **programmes de surveillance et d'évaluation de l'impact sur le milieu marin** [...] »
- **Art. 32-1** : « Tout contrat requiert du contractant qu'il **collecte des données écologiques de base et établisse** [...] **des profils écologiques témoins** par rapport auxquels seront évalués les effets que les activités menées [...] sont susceptibles d'avoir sur le milieu marin [...] »

<sup>118</sup> Chargée de programme outre-mer, Comité français de l'UICN.

<sup>119</sup> Experte du droit de la mer, Barreaux de Paris & Zürich, VTA Tassin.

<sup>120</sup> Par le biais d'un organe opérationnel autonome appelé "l'Entreprise", l'AIFM serait en mesure de développer ses propres activités d'exploration et d'exploitation minière en eaux profondes dans la Zone. L'Entreprise peut être considérée comme un élément permettant la mise en œuvre effective des objectifs liés au principe du patrimoine commun de l'humanité, mais elle n'a pas encore été créée. (Willaert, 2021).

- **Art 33-1** : « Le contractant notifie [...] tout incident résultant de ses activités qui a causé, qui cause ou qui menace de causer un dommage grave au milieu marin. »

Compte tenu du statut spécifique de la Zone, toute activité minière, qu'elle soit d'exploration ou d'exploitation, peut être menée : soit par l'Entreprise, soit par un État membre, soit par une entreprise d'État, **soit par une entreprise patronnée par un État membre** (ONU, 1994b, Art. 153-2). Dans ce dernier cas, l'État sponsor a la responsabilité de veiller à ce que les entreprises qu'il patronne agissent conformément aux termes de leur contrat et aux obligations qui leur incombent en vertu de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (CNUDM) (Jones, et al., 2019 ; Willaert, 2020). Les conditions d'obtention du certificat de patronage sont également définies par l'État sponsor (Jones, et al., 2019 ; Willaert, 2020). Sa responsabilité peut être engagée s'il n'a pas mis en place une législation spécifique concernant les activités minières en eaux profondes et s'il n'a pas pris de mesures pour s'assurer que cette législation est respectée (Koschinsky, et al., 2018 ; Jones, et al., 2019 ; Willaert, 2020). Dans ce contexte, **la mise en place et la mise en application effective d'une telle législation est nécessaire pour tout État sponsor qui souhaite s'acquitter de ses obligations** (Koschinsky, et al., 2018 ; Willaert, 2020).

Sous réserve de disposer d'un certificat de patronage, l'entreprise peut soumettre un programme de travail sur une surface donnée à l'AIFM, qui évalue ses capacités financières et techniques (ISA, 2013). En cas d'acceptation, un contrat est passé entre l'AIFM et l'entreprise, pour une durée de 15 ans (ISA, 2013 ; Willaert, 2020). Par exemple, l'Ifremer est l'entreprise en charge des travaux d'exploration des fonds marins pour le compte de l'État français qui le patronne (Willaert, 2020). Deux titres d'exploration ont ainsi été octroyés à l'Ifremer et la France dans la Zone : le premier en 2001 pour des nodules dans la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ), le second en 2014 pour des sulfures hydrothermaux au niveau de la Dorsale médio-atlantique (voir Annexe 2 p. 97).

Concernant la réglementation de l'exploitation, il n'existe **aucun règlement international**. L'AIFM définit l'exploitation comme « *la collecte à des fins commerciales de nodules polymétalliques [ou de sulfures ou d'encroûtements] dans la Zone et l'extraction des minéraux qu'ils contiennent, notamment la construction et l'exploitation de systèmes d'extraction minière, de traitement et de transport pour la production et la vente de minéraux* » (ISA, 2013, p. 3). La mise en place d'une réglementation pour l'exploitation des fonds marins a débuté en février 2016 par la mise en consultation du premier projet de règlement, suivi par deux autres projets de règlement, en 2017 et 2018 (ISAc). En mars 2019, suite à un processus de consultation, l'AIFM a publié son "Projet de règlement relatif à l'exploitation des ressources minérales dans la Zone" (ISA, 2019a), qui est **actuellement en attente d'adoption par le Conseil de l'AIFM** (ISAc).

En juillet 2019, le Conseil de l'AIFM a « *exprim[é] l'intention de veiller à ce que le règlement soit établi avec soin et dans les meilleurs délais, ayant à l'esprit que les normes et directives nécessaires devraient être élaborées avant son adoption.* » (ISA, 2019b, p. 1). L'AIFM a conséquemment proposé dix projets de normes (ou *standards* en anglais) et de directives (ou *guidelines* en anglais) (ISAd) ; tel que décrit dans le *Tableau 4 page suivante*. En 2020 et 2021, ces projets ont été soumis à la consultation des États membres, des entreprises minières, des ONGs et d'autres acteurs de la société civile<sup>121</sup>. Ils sont actuellement en cours d'examen avant approbation par la Commission juridique et technique (CJT) (ISAd).

---

<sup>121</sup> Voir la page sur le site de l'AIFM "Submissions received with respect to the stakeholder consultations on Standards and Guidelines" - [Lien](#).

Documents soumis à consultation du 20/08/2020 au 20/10/2020

#01	Projet de norme et de directives sur la forme et le calcul d'une garantie de performance environnementale
#02	Projet de norme et de directives sur le développement et l'application de systèmes de gestion environnementale
#03	Projet de directives sur la préparation et l'évaluation d'une demande d'approbation d'un plan de travail d'exploitation

Documents soumis à consultation du 08/04/2021 au 03/07/2021

#04	Projet de norme et de directives pour la préparation et la mise en œuvre de plans d'intervention d'urgence et de plans de secours
#05	Projet de norme et de directives pour la gestion et le fonctionnement en toute sécurité des navires et installations minières
#06	Projet de directives sur les outils et techniques pour l'identification des dangers et l'évaluation des risques
#07	Projet de directives pour la préparation d'un plan de gestion et de surveillance de l'environnement (PGSE)
#08	Projet de directives pour la préparation d'une déclaration d'impact sur l'environnement
#09	Projet de norme et de directives pour les études d'impact environnemental
#10	Projet de directives pour l'établissement de données environnementales de référence

Tableau 4 : Projets de normes et de directives mis en place par l'AIFM concernant l'exploitation des ressources minérales dans la Zone ; d'après des données issues de (ISAd)

À l'issue des processus de consultation de 2020 et 2021, de nombreuses parties prenantes ont souligné que **la mise en place de ces normes et directives devrait être menée concomitamment ou après l'adoption du règlement sur l'exploitation** car tous ces documents sont liés et indissociables. Ce principe a notamment été défendu par l'Australie<sup>122</sup> : « [...] *these Guidelines can only be approved as part of a package, together with the Draft Exploitation Regulations [...] and other Standards and Guidelines. We note also that to the extent these Guidelines refer to other Guidelines which are yet to be developed, [...].* »<sup>123</sup>. L'Allemagne<sup>122</sup> a rejoint ce dernier positionnement, en soulignant la **nécessité de fixer des exigences normatives, notamment des valeurs seuils** :

« Germany notes that all seven draft standards/guidelines submitted are primarily formulated as process-oriented instructions. None of the so far considered standards or guidelines contain normative requirements, e.g. in the form of binding threshold values. Germany regards the latter as a prerequisite for establishing an effective environmental protection regime in the permitting process and therefore believes that they should constitute the core of environmental standards in the future mining code. »<sup>124</sup>

De façon générale, la grande majorité des avis consultés par SystExt (États membres, organisations inter-gouvernementales et organisations de la société civile) insistent sur les **insuffisances dans les projets de normes et de directives proposés par l'AIFM**.

<sup>122</sup> L'Australie et l'Allemagne font partie des membres du Conseil de l'AIFM.

<sup>123</sup> Traduction proposée par SystExt : « [...] *ces directives ne peuvent être approuvées que dans le cadre d'un ensemble, avec le projet de règlement d'exploitation [...] et les autres normes et directives. Nous notons également que, dans la mesure où ces directives font référence à d'autres directives qui doivent encore être élaborées, [...].* ». Source : Commentaires généraux du Ministère des affaires étrangères et du commerce, avis de l'Australie dans le cadre de la consultation sur le *Projet de directives pour l'établissement de données environnementales de référence* (#10 dans le *Tableau 4*) · Juillet 2021 · [Lien](#) (Page 1).

<sup>124</sup> Traduction proposée par SystExt : « *L'Allemagne note que les sept projets de normes/directives soumis sont principalement rédigés sous forme d'instructions axées sur le processus. Aucune des normes ou directives examinées jusqu'à présent ne contient d'exigences normatives, par exemple sous la forme de valeurs seuils contraignantes. L'Allemagne considère ces dernières comme une condition préalable à l'établissement d'un régime efficace de protection de l'environnement dans le processus d'autorisation et estime donc qu'elles devraient constituer le noyau des normes environnementales dans le futur code minier.* ». Source : Commentaires généraux, avis de l'Allemagne dans le cadre de la consultation de 7 projets de normes et de directives (#04 à #10 dans le *Tableau 4*) · Juillet 2021 · [Lien](#) (Page 2).

Par ailleurs, bien que le projet de règlement sur l'exploitation minière n'ait pas encore été adopté, SystExt a également pu constater que **certaines de ses dispositions sont particulièrement discutables**. Il est par exemple paradoxal que le règlement requiert une étude d'impact environnemental (EIE) ou encore un plan de gestion et de surveillance de l'environnement (PGSE) alors que de nombreux chercheurs démontrent les limites, souvent insolubles, associées à : l'évaluation, la gestion et la compensation des impacts (voir § 4 p. 55).

De façon tout aussi discutable, **les dispositions afférentes à la limitation de la pollution s'avèrent lacunaires**. Elles ne constituent que 2 des 107 articles du projet de règlement (ISA, 2019a, pp. 41-42) :

- **Article 49 - Lutte contre la pollution** : « *Le contractant prend toutes les mesures nécessaires pour prévenir, réduire et maîtriser la pollution et les autres risques que les activités menées dans la Zone font peser sur le milieu marin, conformément au plan de gestion de l'environnement et de suivi et aux normes et directives applicables.* »
- **Article 50-1 - Limitation des rejets miniers** : « *Le contractant ne peut déverser, immerger ou rejeter aucun rejet minier dans le milieu marin, sauf si ce déversement, cette immersion ou ce rejet est autorisé conformément : a) Au cadre d'évaluation des rejets miniers tel qu'il est défini dans les directives ; b) Au plan de gestion de l'environnement et de suivi [PGSE]. [...] »*

S'agissant de ce dernier article, **le règlement d'exploitation minière dans la Zone pourrait donc autoriser le déversement de déchets et d'effluents miniers en mer**, notamment s'il est autorisé par le PGSE qui est établi par le demandeur ou le contractant (selon l'Article 48 du règlement). **Selon SystExt, cette proposition ne peut pas être défendue, au regard des impacts connus de telles pratiques** (voir Encadré 3 p. 46 traitant du retour d'expérience associé au déversement de déchets miniers en eaux profondes). De plus, la pratique de déversement de déchets miniers n'est toujours pas réglementée à l'international. Elle s'inscrit notamment dans un vide juridique de la Convention de Londres et du Protocole de Londres, les principaux instruments internationaux pour la protection des océans contre la pollution anthropique résultant de l'immersion de déchets (SystExt, 2021). Il devient dès lors antinomique qu'un texte de juridiction internationale puisse autoriser une pratique qui se situe dans un vide juridique au sein d'un autre texte de même portée.

Selon l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), **l'adoption prochaine de ces textes s'avère beaucoup trop précoce**, étant donné que le projet de règlement ne reflète ni les commentaires faits par les parties prenantes, ni une approche convenue de la protection du milieu marin :

« [...] IUCN strongly support the view that it is **too early to adopt the draft standards and guidelines** related to the EIA process or the draft guidelines for preparation of an EIS, as the draft exploitation regulations from March 2019 used as a basis fail to reflect stakeholder comments or an agreed approach to protection of the marine environment, which would be the necessary basis for measuring the performance of contractors. »<sup>125</sup>

<sup>125</sup> Traduction proposée par SystExt : « [...] l'**UICN soutient fermement le point de vue selon lequel il est trop tôt pour adopter le projet de normes et de lignes directrices relatives au processus d'EIE [étude d'impact environnemental] ou le projet de directives pour la préparation d'une EIS [étude d'impact social], car le projet de règlement sur l'exploitation de mars 2019 utilisé comme base ne reflète pas les commentaires des parties prenantes ou une approche convenue de la protection du milieu marin, qui serait la base nécessaire pour mesurer la performance des contractants.** ». Source : Commentaires généraux, avis de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) dans le cadre de la consultation de 3 projets de normes et de directives (#07, #09 et #10 dans le Tableau 4) · Juillet 2021 · [Lien](#) (Page 1).

En 2021, alors que les consultations et négociations autour du projet de règlement sur l'exploitation minière se poursuivaient, l'État de Nauru a accéléré le processus législatif en déclenchant la « règle des deux ans », tel qu'expliqué dans l'*Encadré 5*.

**Encadré 5 : Rôle de Nauru - "le pays qui s'est mangé lui-même" - dans l'accélération de la législation sur l'exploitation minière en eaux profondes**

Nauru est l'un des plus petits États indépendants du monde. Son territoire s'inscrit sur une île de 21 km<sup>2</sup> située dans l'océan Pacifique (*Figure 18*) et dont la population était estimée à près de 11 000 habitants en 2021 (**La Banque mondiale, 2021b**). Ce pays, colonie de l'Australie jusqu'en 1968, a tourné la quasi-totalité de son économie vers l'exploitation du phosphate, jusqu'à l'épuisement de ses gisements dans les années 1990. Cette exploitation a bouleversé non seulement l'environnement de près des deux tiers de l'île, mais aussi sa situation socio-économique (**Maillard, 2006 ; Pollock, 2014 ; Louison, 03/08/2021, Mediapart**). En effet, le PIB par habitant a d'abord augmenté de façon exponentielle pour atteindre la 2<sup>ème</sup> place mondiale en 1974 avant de diminuer tout aussi brutalement suite à l'arrêt des rentes minières, pour atteindre la 130<sup>ème</sup> place en 2005 (**La Banque mondiale, 2021a ; France Diplomatie, 2021**). **Maillard (2006)** résume ainsi : « [...] après avoir tout essayé, y compris le blanchiment d'argent, l'île aujourd'hui obligée d'assumer un endettement astronomique, se trouve en quasi-cessation de paiement et sa population asphyxiée par cette illusoire prospérité, [...] doit maintenant assumer toutes les séquelles de la société de consommation dans un espace exigu, sans perspectives d'avenir. ».



C'est dans ce contexte socio-économique et environnemental catastrophique que la société *Nauru Ocean Resources Inc. (NORI)* - devenue depuis une filiale de la société canadienne *The Metal Company* - obtient en 2011 le patronage de cet État, en quête de nouveaux revenus<sup>126</sup>. La même année, NORI et l'état nauruan obtiennent un permis d'exploration pour des nodules dans la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ) (*voir Annexe 2 page 97*). Au milieu de l'année 2021, Lionel Aingimea, le président de Nauru, a notifié l'AIFM de son intention d'autoriser l'exploitation sur l'emprise de ce titre minier (**Sénat, 2022b**), déclenchant la « règle des deux ans ». Cette règle impose à l'AIFM, dans un délai de deux années à partir du moment où un État membre en fait la demande, d'adopter les règles, règlements et procédures régissant l'activité concernée (**ONU, 1994a, Section 1**), à savoir l'exploitation minière des nodules dans le cas présent.

Figure 18 : Vue aérienne de l'île de Nauru | Image reproduite avec l'aimable autorisation de U.S. Department of Energy Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility · 2002 · cc by-nc-sa 2.0

Désormais, l'AIFM a donc l'obligation d'adopter les règles, règlements et procédures régissant l'exploitation minière des nodules au plus tard au milieu de l'année 2023. De nombreuses institutions dénoncent le fait que les **réflexions et négociations de long terme nécessaires à une telle adoption s'en trouvent entravées**, tel que le Sénat français (**Sénat, 2022b, pp. 167-168**) :

« La demande de Nauru à l'AIFM de finaliser les règles d'exploitation du code minier dans un délai de deux ans à compter de 2021, a acté le compte à rebours vers l'octroi de nouveaux permis d'exploration et d'exploitation, selon le nouveau droit international minier. De fait, cela lancerait l'industrie minière en eaux profondes à compter de 2023. **Cette situation constitue un risque grave pour l'environnement et les océans, qu'il faut absolument éviter. Avant d'ouvrir la boîte de Pandore et d'engager des opérations qui seraient irréversibles**, de nombreux travaux et négociations internationales restent à accomplir en amont, afin de dessiner le droit international relatif à l'industrie minière en eaux profondes. »

<sup>126</sup> « Nauru's participation in DSM can be traced back to 2011, when Nauru Ocean Resources Inc (NORI), a Nauruvian company under the effective control of Nauru, signed an exploration contract with the Authority. » (**Clifford Chance, 2021, p. 1**)

## 5.3. ZEE : une réglementation à la carte

### 5.3.1. Souveraineté des États et application de la réglementation nationale

Tel qu'introduit dans le § 5.1 p. 62, au sein de la zone économique exclusive (ZEE)<sup>127</sup>, l'État est souverain tant sur le sol et le sous-sol des fonds marins que sur les eaux surjacentes (ONU, 1994b). **La réglementation nationale s'y applique donc.**

S'agissant des activités minières en eaux profondes, beaucoup d'attention a été portée ces dernières décennies aux eaux sous juridiction internationale et relativement peu, à celles sous juridictions nationales (Ochoa, 2021). Ce constat est paradoxal au regard de l'importance que les zones économiques exclusives (ZEE) représentent pour l'exploration et l'exploitation minière des fonds marins (Figure 19). Environ 35 % de l'espace océanique fait partie des ZEE revendiquées par les États côtiers (Ochoa, 2021). La surface associée aux titres miniers obtenus dans les eaux "nationales" est quatre fois supérieure à celle des titres obtenus dans la Zone (Ochoa, 2021).

Ce constat est particulièrement probant dans l'Océan Pacifique compte tenu du potentiel minier conséquent identifié dans cette région du monde (Swaddling, 2016 ; La Banque mondiale, 2017 ; Krutilla, et al., 2021 ; Ochoa, 2021). Alors que 31 titres d'exploration ont été octroyés par l'AIFM dans la Zone, **plus de 300 ont été délivrés par les pays des îles du Pacifique dans leur ZEE** (Krutilla, et al., 2021).

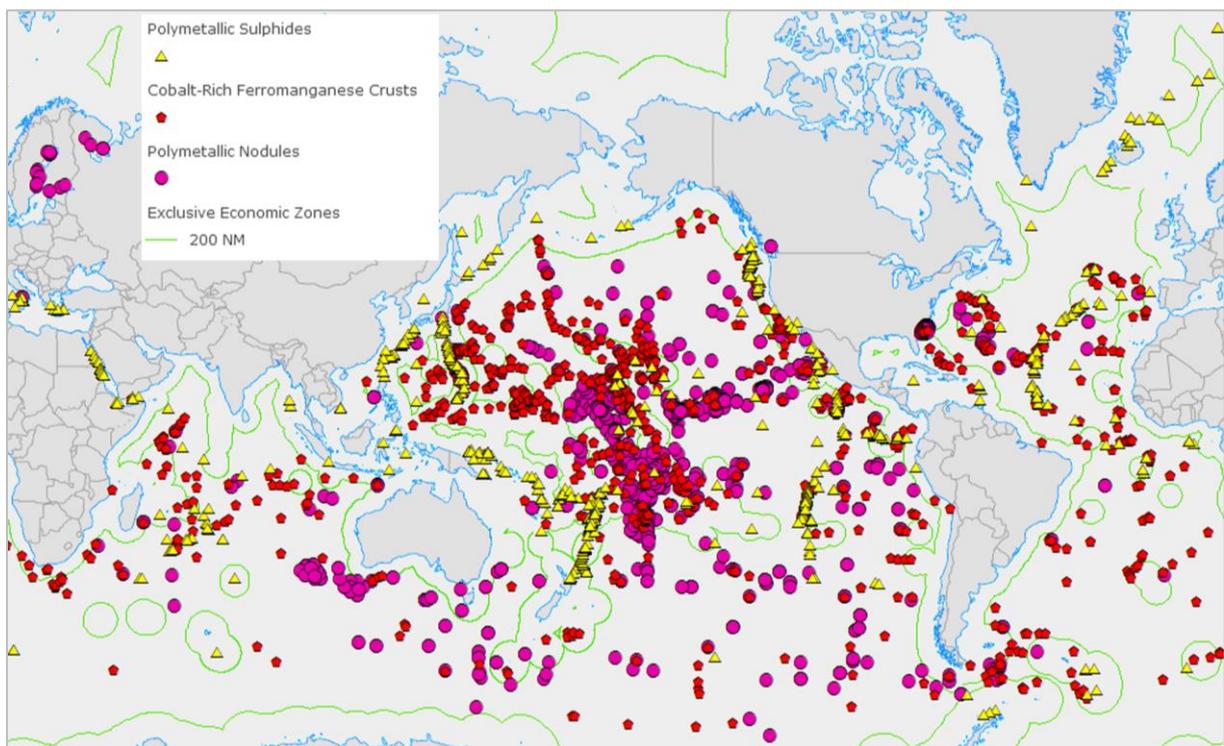


Figure 19 : Situation des gisements de ressources minérales marines profondes (sulfures hydrothermaux, nodules, encroûtements) et mise en évidence de leur localisation par rapport aux limites des zones économiques exclusives (ZEE) ; tiré de (UNEP, 2014, p. 2)

<sup>127</sup> Pour rappel, la ZEE s'étend au-delà des côtes d'un État (mesurée à partir des lignes de base) sur une largeur maximale de 200 milles marins (M), soit 370 km (ONU, 1994b, Art. 57).

Lorsqu'ils existent<sup>128</sup>, **les régimes juridiques nationaux afférents aux activités minières dans les fonds marins sont insuffisants** (Koschinsky, et al., 2018 ; Jones, et al., 2019 ; Willaert, 2020 ; Ochoa, 2021). Alexander W. Read de la faculté de droit de l'Université du Maine (États-Unis) conclut ainsi : « **Domestic regulatory regimes and courts are ill-equipped to provide uniform enforcement of international norms, full redressability of injuries, or effective deterrence for violations of international norms.** »<sup>129</sup> (Read, 2022, p. 230). L'une des raisons est que les États s'appuient le plus souvent sur les lois qui régissent l'exploration et l'exploitation minière des gisements terrestres, qui s'avèrent nécessairement complètement inadaptées aux gisements en eaux profondes (Ochoa, 2021).

Concernant plus précisément la situation européenne, « [...] *malgré leur intérêt croissant pour les activités liées à l'exploitation minière des grands fonds, la plupart des États membres de l'Union européenne ne disposent pas d'un cadre législatif spécifique.* » (Cozigou, 2017, p. 26). De plus, la question n'a pas été abordée dans le droit européen (Cozigou, 2017). À ce jour, l'Union européenne n'a adopté aucune directive dédiée, ni même aucun positionnement politique unique.

Si certains pays des îles du Pacifique envisagent l'exploration et l'exploitation minière des fonds marins, **ils ne disposent pas des structures constitutionnelles, des législations et des capacités administratives pour régler convenablement ces activités** (Ochoa, 2021). Ce dernier auteur alerte d'ailleurs sur les risques majeurs associés (Ochoa, 2021, p. 151) :

« In addition to lacking adequate governance structures to address seabed mining, many of [the Pacific Island countries] are **unprepared to grapple with the potential impacts** the mining will have on the natural environment and the communities that rely on the ocean for their sustenance and well-being. »<sup>130</sup>

L'échec du projet d'exploitation de sulfures hydrothermaux « Solwara 1 » dans la ZEE de la Papouasie-Nouvelle-Guinée (détaillé dans l'*Encadré 6 page suivante*) illustre ainsi les risques qu'encourent les États concernés par une gouvernance et une réglementation insuffisante (Ochoa, 2021).

De façon générale, **les États doivent veiller à ce que règles et normes qu'ils prescrivent dans leur ZEE ne soient pas « moins efficaces » que celles de la juridiction internationale** (Jones, et al., 2019). C'est pourquoi il est régulièrement recommandé qu'à minima ces derniers intègrent dans leur droit national les règles et règlements adoptés par l'AIFM pour la Zone (Koschinsky, et al., 2018 ; Jones, et al., 2019).

**La variabilité des législations afférentes aux activités minières en eaux profondes dans les ZEE est considérable**, bien que certaines prescriptions réglementaires soient reprises dans la plupart des lois existantes (Willaert, 2020 ; Ochoa, 2021). Aussi est-il attendu que le nombre de législations soit aussi élevé que le nombre de pays côtiers, soit 152 (Ochoa, 2021). Or, cette variabilité pourrait inciter les opérateurs à cibler les pays dans lesquelles les exigences législatives seraient les plus faibles (Read, 2022).

<sup>128</sup> En 2018, seuls 31 pays avaient adopté de tels régimes réglementaires nationaux (Read, 2022).

<sup>129</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Les régimes réglementaires et les tribunaux nationaux sont inadaptes pour assurer l'application uniforme des normes internationales, la réparation intégrale des préjudices ou la dissuasion efficace des violations des normes internationales.* »

<sup>130</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Outre l'absence de structures de gouvernance adéquates pour gérer l'exploitation minière des fonds marins, de nombreux [pays insulaires du Pacifique] ne sont pas préparés à faire face aux impacts potentiels que l'exploitation minière aura sur l'environnement naturel et les communautés qui dépendent de l'océan pour leur subsistance et leur bien-être.* »

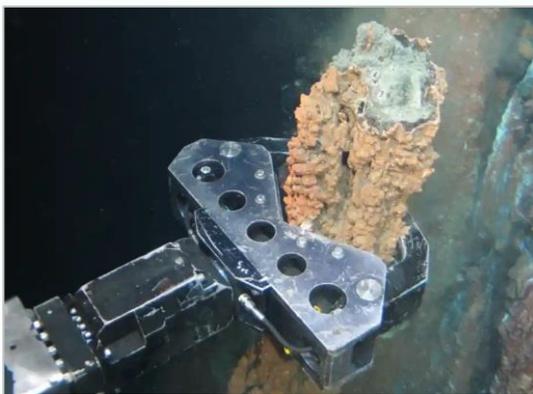
L'uniformisation des régimes réglementaires nationaux permettrait de répondre à cette problématique (Willaert, 2020 ; Read, 2022). Cependant, un mécanisme beaucoup plus efficace serait de **créer une norme internationale qui s'applique tant dans les eaux sous juridiction internationale que celles sous juridiction nationale** (Read, 2022, pp. 230-231) :

« [...], deep-sea mineral mining regimes require a robust, enforceable multilateral structure in order to account for foreseeable future dynamics. [...] Once deep-sea mineral mining becomes economical, both corporate entities and sponsoring states will be highly incentivized to breach the ISA's Mining Code and UNCLOS's principles in order to maximize their own interests. In the absence of an effective mechanism to draw these actors back into compliance, such activities will continue, be it through disregard of environmental concerns or mining boundaries. »<sup>131</sup>

#### Encadré 6 : Échec du projet Solwara 1 en Papouasie-Nouvelle-Guinée

Le projet Solwara 1 est connu comme la première tentative d'exploitation en eaux profondes. Il porte sur un gisement de sulfures hydrothermaux situé dans la zone économique exclusive (ZEE) de la Papouasie Nouvelle-Guinée, et plus particulièrement dans la Mer de Bismarck. Le premier permis d'exploration fut accordé en 2011 à l'entreprise d'exploration canadienne *Nautilus Minerals* (Roche & Bice, 2013 ; Read, 2022). Il couvre une surface de 11,2 hectares et est localisé à une profondeur de 1 600 m (Nautilus Minerals Niugini, 2008). Le gouvernement papouasien détenait 15 % du projet (Ochoa, 2021) et avait investi 375 millions de kina, soit plus de 100 millions d'euros (Doherty, 15/09/2019, *The Guardian*).

En décembre 2017, la coalition *Alliance of Solwara Warriors* a lancé une procédure judiciaire contre le gouvernement papouasien afin d'obtenir les documents relatifs à l'octroi du permis et en particulier à l'évaluation des impacts environnementaux, sanitaires et socio-économiques (Mesulam & Lowrey, 2021). Quelques mois plus tard, la société minière britannique *Anglo American* s'est retirée de la société *Nautilus* dont elle était l'un des investisseurs clés (Hume, 04/05/2018, *Financial Times* ; Mesulam & Lowrey, 2021). Ce retrait, combiné à une mobilisation locale et internationale, ainsi qu'à une série d'échecs opérationnels, ont conduit à la faillite de *Nautilus Minerals* en 2019 (Read, 2022). La même année, les Fidji et le Vanuatu ont appelé à un moratoire de 10 ans sur l'exploitation minière des fonds marins, rejoints rapidement par la Papouasie-Nouvelle-Guinée (Doherty, 15/09/2019, *The Guardian* ; Grassi, 2020 ; Read, 2022). Le gouvernement papouasien fait désormais face à une dette de 24 millions de dollars (Ochoa, 2021 ; Read, 2022).



Selon Ochoa (2021), cet échec financier illustre la nécessité d'établir des contrats robustes permettant : (1) d'assurer une bonne gouvernance de l'exploitation minière des fonds marins ; (2) de protéger ainsi les gouvernements qui ne disposent pas d'une réglementation minière suffisamment solide face à « la nature instable de cette industrie » (trad.) (Ochoa, 2021, p. 107).

Figure 20 : Bras de robot prélevant du minerai de sulfures hydrothermaux au large des côtes de la Papouasie Nouvelle-Guinée | © Nautilus Minerals ; tiré de (Taylor, 03/07/2019, *The Guardian*)

<sup>131</sup> Traduction proposée par SystExt : « [...], les régimes d'exploitation des minéraux en eaux profondes nécessitent une structure multilatérale robuste et applicable afin de tenir compte des dynamiques futures prévisibles. [...] Une fois que l'exploitation minière des minéraux en eaux profondes sera rentable, les entreprises et les États sponsors seront fortement incités à violer le code minier de l'AIFM et les principes de la CNUDM afin de maximiser leurs propres intérêts. En l'absence d'un mécanisme efficace pour ramener ces acteurs à la conformité, ces activités se poursuivront, que ce soit par le mépris des préoccupations environnementales ou des frontières minières. »

### 5.3.2. Régime législatif français très insuffisant

**Le régime législatif français relatif aux activités minières en eaux profondes est très insuffisant**, tel que appelé par le Sénat français (Sénat, 2022b, p. 39) :

« Bien que les grands fonds marins fassent l'objet d'une attention accrue depuis, a minima, la création de l'AIFM en 1994 et l'obtention du premier permis d'exploration par l'IFREMER en 2001, **le code minier se démarque par une certaine pauvreté concernant le régime juridique encadrant leur exploration tout comme leur exploitation.** »

Ce constat avait d'ailleurs conduit la délégation sénatoriale à l'outre-mer à faire la recommandation suivante dès 2014 : « *Au niveau national, inscrire dans le futur code minier le cadre normatif nécessaire à la gestion durable et à la valorisation des ressources des ZEE* » (Sénat, 2014, p. 12).

Le principe d'une actualisation du code minier a été voté dans le cadre de la loi « Climat et résilience » d'août 2021<sup>132</sup> qui habilite le Gouvernement à légiférer par ordonnance (Sénat, 2022b). Bien que cette actualisation ne soit pas achevée à date, les contenus des ordonnances publiées jusqu'alors mettent en exergue ce que le Sénat considère comme « **une occasion manquée de clarifier un régime juridique largement lacunaire** » (Sénat, 2022b, p. 39).

Tout d'abord, **les modifications apportées s'avèrent marginales** (Sénat, 2022b). Deux séries d'articles traitent de la recherche en mer (articles L. 123-1 à L. 123-15) et de l'exploitation en mer (L. 133-1 à L. 133-13-2). Cependant, aucune adaptation significative n'est réalisée afin de prendre en compte les spécificités des fonds marins (Sénat, 2022b, p. 40) : « *Les quelques précisions présentes concernent **davantage les hydrocarbures** [...] **que les substances minérales** ou s'attachent à définir le régime applicable aux substances de carrière et aux substances de mines des fonds marins du domaine public maritime [...], c'est-à-dire situés jusqu'à 12 miles de la côte, **ce qui exclut donc les grands fonds marins.*** ». De plus, aucun des articles afférents aux activités minières sur le plateau continental ou dans la zone économique exclusive (ZEE)<sup>133</sup> ne traite des ressources minérales marines profondes (Sénat, 2022b). **Les activités d'exploration minière menées jusqu'alors se sont donc appuyées sur un cadre règlementaire qui ne prend pas en compte les caractéristiques spécifiques des grands fonds marins.**

En effet, **les règles et procédures relatives à l'exploration et l'exploitation des gisements des fonds marins ne sont pas différenciées de celles des gisements terrestres.** Ceci conduit inévitablement à une sous-estimation des enjeux environnementaux (Ochoa, 2021). Il n'est, par exemple, jamais fait mention des problématiques posées par les véhicules sous-marins télécommandés, par les panaches de sédiments ou encore par les déversements d'effluents et de déchets miniers en mer. Le Sénat tire ainsi la conclusion suivante (Sénat, 2022b, p. 44) :

« Le régime juridique encadrant l'exploration et l'exploitation des grands fonds marins est donc **peu défini et insuffisamment distinct du droit minier terrestre.** »

<sup>132</sup> Loi n°2021-1104 du 22/08/2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets · [Lien](#).

<sup>133</sup> [Pour les activités d'exploration](#), se référer à : Livre 1<sup>er</sup> · Titre II · Chapitre III · Section 1 : La recherche de toute substance minérale ou fossile sur le plateau continental et dans la zone économique exclusive (Articles L123-1 à L123-4). [Pour les activités d'exploitation](#), se référer à : Livre 1<sup>er</sup> · Titre III · Chapitre III · Section 2 : L'exploitation des substances minérales ou fossiles sur le plateau continental et dans la zone économique exclusive (Articles L133-1-1 à L133-4).

### 5.3.3. Potentiel minier français essentiellement dans les Outre-mer

L'État français dispose du deuxième plus grand espace maritime au monde, avec une superficie totale de près de 11 millions de kilomètres carrés<sup>134</sup> (Gouvernement français, 2021). La zone économique exclusive (ZEE)<sup>135</sup> couvre la grande majorité de cette superficie, soit 10,4 millions de kilomètres carrés (Gouvernement français, 2021).

**Les territoires d'outre-mer représentent 97 % de la ZEE française** ; 44 % étant situés en Polynésie, 21 %, en Terres australes et antarctiques françaises (TAAF), 13 % en Nouvelle-Calédonie, et 22 % dans les autres territoires (Figure 21)<sup>136</sup>.

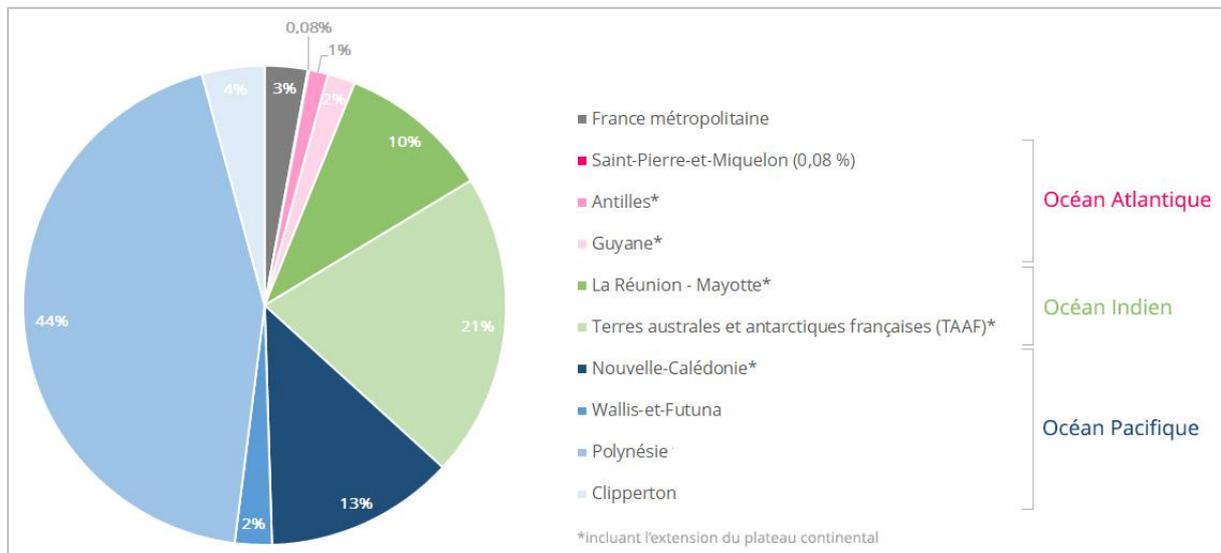


Figure 21 : Répartition surfacique de la zone économique exclusive (ZEE) française au 25/01/2021 |  
Création : SystExt · Septembre 2022 ; données issues de (Gouvernement français, 2021)

Cette configuration amène le Sénat à conclure (Sénat, 2022b, p. 46) : « *La question de l'exploration des fonds marins dans la ZEE française, en vue d'une éventuelle exploitation des ressources minérales est de facto une **question exclusivement ultramarine.*** »

Selon l'état actuel des connaissances, les territoires qui pourraient le plus probablement présenter un potentiel minier se situent dans la région Pacifique. Il s'agit de (Sénat, 2022b) :

- Clipperton, compte tenu de l'identification de nodules<sup>137</sup> au nord de l'île éponyme ;
- La Polynésie, compte tenu de la présence de gisements d'encroûtements (notamment au niveau du plateau des Tuamotu) et de gisements de nodules<sup>137</sup> ;
- Wallis-et-Futuna, compte tenu d'une zone de dorsale jugée favorable à la mise en place de sulfures hydrothermaux autour de l'île de Futuna.

<sup>134</sup> Au 25/01/2021 : Superficie totale de tous les espaces maritimes (eaux intérieures + mer territoriale + ZEE) = 10 186 526 km<sup>2</sup> ; Superficie totale de tous les espaces maritimes avec les extensions du plateau continental en vigueur = 10 911 823 km<sup>2</sup> (Gouvernement français, 2021).

<sup>135</sup> En incluant l'extension du plateau continental (voir sous-chapitre suivant).

<sup>136</sup> L'Annexe 3 p. 99 détaille les surfaces et les territoires concernés.

<sup>137</sup> Le Sénat nuance cependant l'intérêt économique de ces gisements (Sénat, 2022b, p. 47) : « *À ce stade toutefois, les concentrations en métaux ne paraissent pas suffisantes pour constituer des réserves économiques.* »

Ces deux derniers territoires sont des collectivités d'outre-mer (COM)<sup>138</sup>. Or, **les collectivités d'outre-mer ainsi que la Nouvelle-Calédonie<sup>139</sup> disposent de la compétence minière ; le code minier ne s'y applique pas<sup>140</sup>**. En ce qui concerne les départements et régions d'outre-mer (DROM)<sup>141</sup>, le code minier s'y applique, mais avec des spécificités locales. **Les DROM sont néanmoins compétents pour la délivrance des titres miniers en mer (Sénat, 2022b).**

En résumé, **la question de l'exploration et de l'exploitation des ressources minérales marines profondes concerne exclusivement les territoires d'outre-mer, qui disposent de tout ou partie des prérogatives réglementaires**. Cette situation conduit le Sénat à conclure (Sénat, 2022b, p. 48) :

« [...] rien ne pourra se faire sans un consensus politique et sociétal dans les territoires concernés. **Ce sont ces territoires qui ont vocation à porter et à mettre en œuvre les projets**, avec l'aide de l'État. »

Il est en effet indispensable que l'approche sociétale et politique de l'État français, ainsi que celle de ses partenaires industriels et de recherche, évolue pour répondre à ces enjeux, au risque de reproduire les erreurs commises à Wallis-et-Futuna, tel que décrit dans l'*Encadré 7*.

#### Encadré 7 : Exploration minière à Wallis-et-Futuna : l'État débouté, après avoir fait abstraction des populations locales

En 2010, une campagne d'exploration des ressources minérales marines profondes (« FUTUNA 1 ») a été menée dans la zone économique exclusive (ZEE) de Wallis-et-Futuna, afin de « [...] rechercher des sites hydrothermaux et d'en étudier la biodiversité » (Sénat, 2022b, p. 48). Cette campagne s'inscrit dans le cadre d'un partenariat public/privé entre plusieurs établissements publics français (Ifremer, BRGM et Agence des aires marines protégées (AAMP)) et plusieurs opérateurs miniers (Technip<sup>142</sup>, Eramet et Areva) (Le Meur & Muni Toke, 2021 ; Sénat, 2022b). Elle aboutit à la découverte de plusieurs gisements de sulfures hydrothermaux, jugée « prometteuse » (Sénat, 2022b, p. 48). Deux autres campagnes d'exploration ont été menées en 2011 et 2012, respectivement « FUTUNA 2 » et « FUTUNA 3 ». D'après l'Ifremer, cette dernière « [...] cl[ô]t la première étape d'exploration. La deuxième étape nécessaire consisterait à évaluer les ressources, étudier l'état initial des écosystèmes avant tout impact dans le cas d'exploitation et réaliser l'étude de cadrage d'un pilote minier. » (Ifremer, 2017).

Ainsi, le 8 novembre 2013, la société d'exploration *SialeO* - filiale du groupe minier Eramet - a demandé un permis exclusif de recherches minières (PERM) pour une durée de 5 ans (Le Meur & Muni Toke, 2021). Ce permis dit « Permis de Sialé » couvre une surface de 169 792 km<sup>2</sup> au sein de la ZEE de Wallis-et-Futuna (Le Meur & Muni Toke, 2021). Quelques mois plus tard, le 23 janvier 2014, un représentant de l'État français a répondu au président de *SialeO* en lui expliquant qu'un vide juridique l'empêchait d'instruire sa demande, bien que celle-ci soit conforme (Le Meur & Muni Toke, 2021). En effet, Wallis-et-Futuna relève d'un principe de spécificité législative : toute loi ou tout règlement s'appliquant au territoire doit expressément en faire mention dans les textes (Loi n°61-814 de juillet 1961)<sup>143</sup>. Or, en 2014, cela n'était pas le cas des décrets sur lesquels l'État souhaitait s'appuyer pour octroyer le PERM de Sialé. L'État se devait donc de consulter l'Assemblée territoriale des îles Wallis et Futuna pour obtenir un avis favorable à la modification de ces décrets (Loi n°61-814 de juillet 1961). « À Paris, cette lacune est vue comme un simple problème de technique juridique et un projet de décret minier est soumis le 30 septembre 2014 à l'Assemblée territoriale [des îles Wallis et Futuna]. » (Le Meur & Muni Toke, 2021).

*Suite page suivante*

<sup>138</sup> Pour rappel, les collectivités d'outre-mer (COM) sont : Saint Barthélemy, Saint-Martin, Saint-Pierre-et-Miquelon, la Polynésie et Wallis-et-Futuna.

<sup>139</sup> Des dispositions spécifiques sont applicables à la Nouvelle-Calédonie, aux Terres australes et antarctiques françaises (TAAF) et à l'île de Clipperton.

<sup>140</sup> Exception faite de Wallis-et-Futuna qui partage la compétence minière avec l'État. Le code minier ne s'y applique que partiellement (Sénat, 2022b).

<sup>141</sup> Pour rappel, les départements et régions d'outre-mer (DROM) sont la Guadeloupe, la Guyane, la Martinique, Mayotte et La Réunion.

<sup>142</sup> Technip est le leader mondial dans les technologies extractives offshore.

<sup>143</sup> Loi n°61-814 du 29/07/1961 conférant aux îles Wallis et Futuna le statut de territoire d'outre-mer (1) · [Lien](#)

### Encadré 7 (suite) : Exploration minière à Wallis-et-Futuna : l'État débouté, après avoir fait abstraction des populations locales

Cependant, les campagnes d'exploration ont été conduites sans que la population locale et les chefs coutumiers en soient informés, ni consultés (Le Meur & Muni Toke, 2021 ; Sénat, 2022b). De plus, il existe dans les territoires d'outre-mer du Pacifique une certaine défiance des populations locales vis-à-vis de l'État français (Chappell, 2005 ; Le Meur & Muni Toke, 2021) et vis-à-vis de l'industrie minière (Banaré & Le Meur, 2014).



Cette défiance trouve notamment son origine dans : (1) la gestion par l'État pendant et après la réalisation d'essais nucléaires sur l'atoll de Moruroa ; (2) les histoires minières de Nauru<sup>144</sup>, de Makatea en Polynésie, et de la ville de Thio en Nouvelle-Calédonie. À ces enjeux s'ajoute la non prise en compte des identités culturelles des communautés insulaires qui considèrent par exemple que la mer, la terre et le ciel sont reliées par un continuum sacré (Le Meur & Muni Toke, 2021).

Figure 22 : Île de Wallis (arrière-plan) et nord du lagon | Anna Vinet · 2016 · cc by-sa 4.0

Dans sa délibération du 17 décembre 2014, l'Assemblée territoriale des îles Wallis et Futuna n'a pas approuvé le projet de décret et a émis un avis réservé, bloquant ainsi les opérations minières (Le Meur & Muni Toke, 2021). À la suite de cet échec, l'État a mandaté l'Institut de recherche pour le développement (IRD) pour une mission d'information. Selon l'IRD, cette mission avait pour objectif d'évaluer la possibilité d'« une expertise collective à Wallis et Futuna » (IRD, 2018, p. 2) et des rencontres ont été organisées avec les populations locales et les représentants locaux en 2018.



À l'issue de l'une d'entre elles avec les deux autorités coutumières de Futuna, Tu'Isa'Avaka malino Masei, ministre coutumier du village de Kolia au Royaume d'Alo s'est exprimé : « Les deux rois de Futuna ont pris leur décision, il n'y aura pas d'autres missions sur les ressources minières sous-marines. » (Wallis & Futuna la 1<sup>ère</sup>, 13/09/2018, Interview à 2'48"). Des manifestants avaient d'ailleurs accueilli les représentants de l'IRD avec le slogan : « Nous ne voulons pas être détruits comme Moruroa-Nauru » (Le Meur & Muni Toke, 2021).

Figure 23 : Réunion publique du 10 septembre 2018 avec l'IRD ; tiré de (Préfecture de Wallis-et-Futuna, 2019)

Dans le cadre d'une mission d'information sénatoriale récente (Sénat, 2022b), M. Munipoese Muliakaaka, président de l'assemblée territoriale des îles Wallis et Futuna, a confirmé le positionnement des populations et autorités locales : « Les campagnes d'exploration, dans l'optique d'une exploitation future de nos fonds marins, suscitent des avis très réservés dans nos territoires, notamment de la part de nos chefferies. Nous souhaitons établir un moratoire de cinquante ans sur l'exploitation de nos fonds marins. Notre population demande à être associée à toutes les démarches et à devenir partie prenante des débats. Il s'agit de trouver des compromis avant toute décision. » (Sénat, 2022b, pp. 49-50).

Désormais, l'Assemblée territoriale des îles Wallis et Futuna envisage de coopérer avec les Fidji et les Tuvalu afin de constituer un « parc marin d'importance écologique et biologique » couvrant les trois ZEE de ces territoires et d'une superficie totale de 325 000 km<sup>2</sup> (Sénat, 2022b, p. 50).

<sup>144</sup> Voir Encadré 5 "Rôle de Nauru - "le pays qui s'est mangé lui-même" - dans l'accélération de la législation sur l'exploitation minière en eaux profondes" p. 70.

## 5.4. Plateau continental étendu : la ruée des États vers les ressources minérales marines profondes

### 5.4.1. Procédures facilitées mettant en péril le patrimoine commun de l'humanité

Tel qu'introduit dans le § 5.1 p. 62, le plateau continental correspond au prolongement sous-marin des terres émergées. Tout État côtier dispose par défaut de la souveraineté du sol et du sous-sol sur les 200 premiers milles marins (M) du plateau continental à travers sa zone économique exclusive, également appelée plateau continental « juridique » (Tassin, 2016). La CNUDM permet l'extension de cette souveraineté sur le plateau continental avec une limite maximale de 350 M, soit 648 km (ONU, 1994b, Art. 76). Cette extension n'autorise cependant des droits souverains que sur le sol et le sous-sol des fonds marins ; les eaux surjacentes ainsi que l'espace aérien étant soumis au régime juridique international (ONU, 1994b). **Une demande d'extension est donc intrinsèquement orientée vers l'exploration et l'exploitation des ressources minérales.** Par ailleurs, « [e]n étendant son plateau continental, l'État côtier gagne par conséquent un droit de regard étendu sur les activités des autres États exercées dans le cadre du régime de la haute mer, ce qui représente un avantage non négligeable en termes de présence et de potentielle puissance en mer. » (Tassin, 2016, p. 120).

Un État souhaitant demander une extension de son plateau continental doit démontrer que ce dernier répond à des critères géologiques et géomorphologiques définis dans la Convention des Nations unies pour le droit de la mer (CNUDM) (ONU, 1994b, Art. 76). Pour ce faire, il dépose ainsi un dossier auprès de la Commission des limites du plateau continental (CLPC) (ou *Commission on the Limits of the Continental Shelf (CLCS)* en anglais), un organe international émanant de la CNUDM. **Les prérogatives de cette commission sont toutefois limitées** (Franckx, 2010 ; Tassin, 2016). En effet, elle peut uniquement fournir des recommandations scientifiques et techniques sur le tracé de la zone d'extension ; recommandations que les États demandeurs ne sont de surcroît pas obligés de prendre en compte (Franckx, 2010 ; Tassin, 2016).

Par ailleurs, l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM), qui gère la Zone pour rappel, n'intervient d'aucune façon dans les processus d'extension du plateau continental et ne peut engager aucune action juridique (Franckx, 2010). Enfin, le régime du plateau continental « **ne comporte aucune obligation environnementale spéciale** [...] dans le but de donner aux États un accès facile, souple et privilégié aux ressources minérales. » (Sénat, 2022a, p. 11). Ces questions relèvent également de l'État côtier. Du point de vue de la protection des fonds marins, cela est particulièrement préoccupant étant donné les insuffisances et défaillances des régimes juridiques nationaux décrits précédemment.

**Toute extension du plateau continental réduit nécessairement la superficie de la Zone et donc les surfaces relevant du patrimoine commun de l'humanité** (Franckx, 2010 ; Parent, 2013 ; Tassin, 2016 ; Bähr, 2018). Ceci diminue davantage l'influence internationale de l'AIFM et sa capacité à assurer un partage équitable des ressources des fonds marins. Ainsi, la Zone représentait 43 % de la superficie des océans en 2018, contre 70 %, initialement (Bähr, 2018). Ce constat est partagé par Parent (2013) qui dénonce cet empiètement progressif sur la Zone (Parent, 2013, p. 27) :

« Il faut aussi noter que les efforts pour contrer l'appropriation par voie de déclaration de souveraineté sont contrariés par la limite extérieure des plateaux continentaux nationaux, qui fixent négativement les contours de la Zone. [...] [La Zone] conserve toujours une **assiette imprécise**, en l'absence de disposition empêchant l'empiètement et de compétence de l'Autorité sur sa délimitation. L'étendue de la Zone a ainsi un **caractère carrément résiduel** et est susceptible de voir ses dimensions évoluer en fonction des convoitises des États. »

Une véritable « *course à l'extension* » (Tassin, 2016, p. 119) s'est mise en place : alors que 77 demandes avaient déjà été déposées auprès de la Commission des limites du plateau continental (CLPC) en 2015 (Tassin, 2016), ce nombre s'élevait à 93 en 2022 (Commission on the Limits of the Continental Shelf, 2022).

Au nombre élevé de demandes, s'ajoute l'**importance des surfaces concernées**, de l'ordre de la dizaine à la centaine de milliers de kilomètres carrés. Dans le cas des îles notamment, les demandes d'extension peuvent augmenter considérablement les superficies relevant de la souveraineté nationale. Ce phénomène peut être illustré avec le cas des Îles Kerguelen, un territoire de 7 215 km<sup>2</sup> situé à l'extrême sud de l'Océan Indien et ayant pour seule population un contingent de 50 à 100 scientifiques. Alors que la zone économique exclusive (ZEE) associée s'étend déjà sur plus de 500 000 km<sup>2</sup>, l'extension du plateau continental a quasiment doublé cette surface (Figure 24) (Extraplac, 2021b ; Gouvernement français, 2021). L'État français a donc acquis des droits souverains sur les ressources du sol et du sous-sol sur près d'un million de kilomètres carrés ; une superficie 134 fois plus grande que l'île qu'il possède.

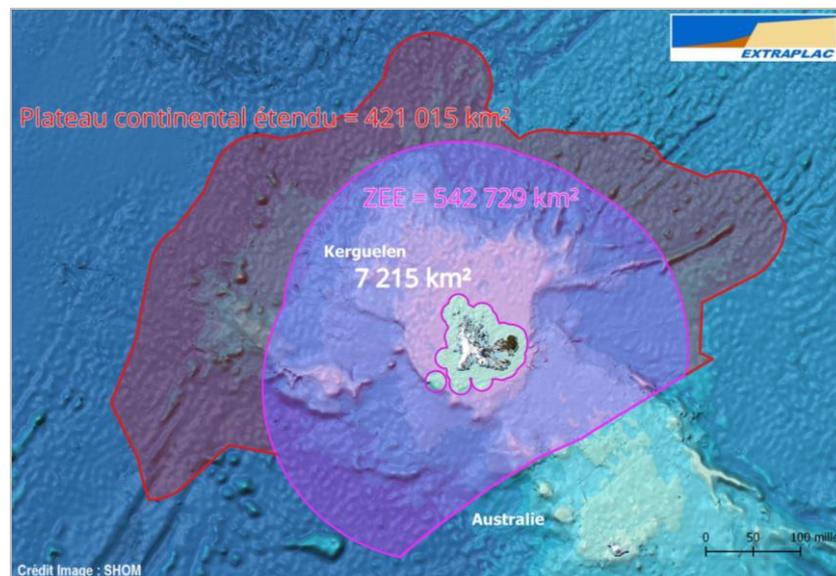


Figure 24 : Situation des Îles Kerguelen, de la zone économique exclusive (ZEE) et du plateau continental étendu associé ; adapté de (Extraplac, 2021a)

#### 5.4.2. Ruée française sur les ressources des fonds marins

Depuis 2003, la France s'est lancée dans ce que le Conseil économique social et environnemental (CESE) qualifie de « *conquête* » (CESE, 2013, p. 20) : « *Au niveau national, l'extension du plateau continental au-delà des 200 milles marins doit permettre à la France d'obtenir la reconnaissance internationale d'une conquête de droits souverains sur des ressources naturelles situées principalement au large des côtes de ses territoires ultramarins.* ». Pour atteindre cet objectif, l'État français a donc mis en place le **programme Extraplac** ou "Programme français d'extension du plateau continental" pour recueillir les données relatives aux zones d'extension potentielles, en particulier en matière de ressources du sol et du sous-sol (CESE, 2013).

La France augmente ainsi graduellement la superficie de son plateau continental étendu qui atteignait 725 297 km<sup>2</sup> en 2021, soit **7 % de la totalité des espaces maritimes français** (Tableau 5 et Figure 25 page suivante) (Gouvernement français, 2021).

Territoire	Commentaires	Surface supplémentaire (en km <sup>2</sup> )
Antilles	Décret publié en 2015	7 434
Archipel de Crozet	Dossier déposé en 2014 Conjointement avec l'Afrique du Sud	541 288
Golfe de Gascogne et Mer celtique <sup>145</sup>	Décret publié en 2015 Conjointement avec l'Irlande, l'Espagne, le Royaume-Uni et l'Irlande du Nord	0
Guyane	Décret publié en 2015	69 955
Îles Kerguelen	Décret publié en 2015	421 015
La Réunion	Décret publié en 2021	58 121
Nouvelle-Calédonie - Ouest	Décret publié en 2015	75 570
Nouvelle-Calédonie - Est	Dossier déposé en 2007	<i>inconnue</i>
Polynésie	Dossier déposé en 2019	814 842
Saint-Paul et Amsterdam	Décret publié en 2021	93 202
Saint-Pierre-et-Miquelon	Dossier déposé en 2016	43 135
Wallis-et-Futuna	Dossier déposé en 2012 Conjointement avec la Nouvelle-Zélande	17 329
<b>Total en 2021 (hors demandes en cours d'étude)</b>		<b>725 297</b>

Tableau 5 : Superficies demandées (en gris)<sup>146</sup> et acquises dans le cadre de l'extension du plateau continental de la France ; selon le croisement de données issues de (CESE, 2013 ; Extraplac, 2021b ; Gouvernement français, 2021)



Figure 25 : Situation de la mer territoriale (en rose), de la zone économique exclusive (ZEE) (en bleu) et de l'extension du plateau continental (en orange) en 2021 ; tiré de (Gouvernement français, 2021)

<sup>145</sup> Dans le cas du Golfe de Gascogne, après l'étude de la possibilité d'une extension, il a été constaté que la proximité avec les pays voisins ne permettait pas à la France d'en faire la demande. Le décret publié officialise donc les frontières maritimes définitives.

<sup>146</sup> Ces superficies ont fait l'objet d'une demande déposée auprès de la Commission des limites du plateau continental (CLPC) (CESE, 2013). Il n'y a cependant aucune garantie que les valeurs associées soient retenues du fait de revendications parallèles de pays limitrophes (CESE, 2013).

Les dossiers en cours d'étude auprès de la Commission des limites du plateau continental (CLPC) pourraient permettre d'ajouter encore 500 000 km<sup>2</sup> à la superficie totale des espaces maritimes français. (Extraplac, 2021b ; Gouvernement français, 2021), ce qui représente quasiment la superficie terrestre de la Métropole<sup>147</sup>.

Certains territoires ne font pas l'objet de demande d'extension du plateau continental du fait de la proximité avec des territoires maritimes d'autres pays ou d'un contexte géopolitique contraint. La situation de l'île de Clipperton permet d'illustrer ce dernier cas. Il s'agit d'un presqu'atoll<sup>148</sup> de 6 km<sup>2</sup> situé au cœur de l'Océan Pacifique Nord (Figure 26, à gauche). Il dispose d'une zone économique exclusive (ZEE) de 434 619 km<sup>2</sup>, qu'aucune autre ZEE n'approche (Jost, 2010 ; Gouvernement français, 2021). Il s'agit également du plus petit territoire ultramarin de la France et le plus isolé au monde : les côtes les plus proches, mexicaines, se trouvent à près de 1 300 km et le Haut-Commissariat de la République - qui délivre les autorisations - à Tahiti, se trouve à plus de 5 000 km (Jost, 2010 ; CESE, 2013).

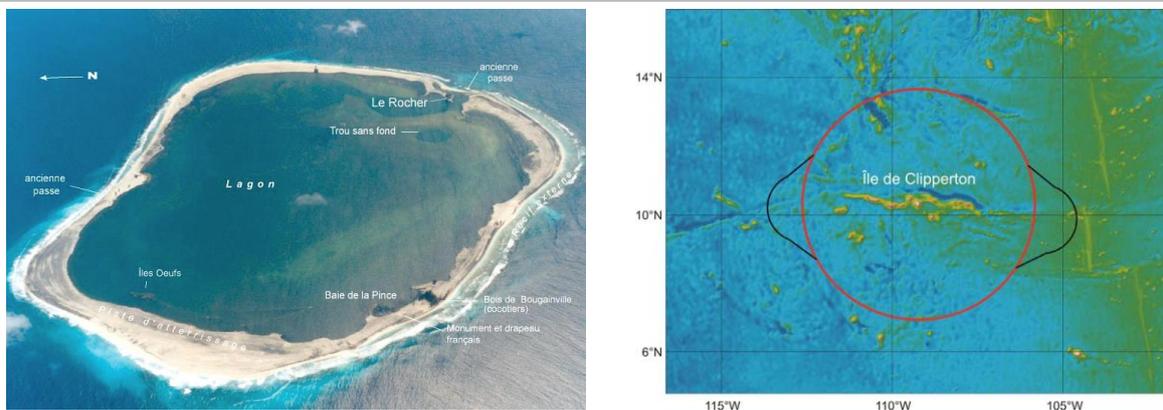


Figure 26 : Île de Clipperton ; (à gauche) Vue aérienne et description ; d'après (Jost, 2011) et tiré de (Tchékémian, 2022) ; (à droite) Position indicative de la limite extérieure de l'extension du plateau continental demandée (en noir) et limites de la ZEE (en rouge) ; tiré de (Extraplac, 2009, p. 3)

Par ailleurs, Clipperton dispose d'un fort potentiel halieutique, en particulier en populations de thonidés, attirant les pêcheurs d'autres nations situées plus proches, et qui exercent cette activité sans autorisation (Jost, 2010). L'État français ne dispose pas des moyens nécessaires pour faire respecter sa législation nationale, conduisant à des tensions avec les pays concernés (Jost, 2010). Par ailleurs, sa souveraineté sur ce territoire est remise en cause par la Mexique (CESE, 2013).

**Du point de vue de l'exploration et de l'exploitation des ressources minérales marines profondes, la situation de l'île est stratégique.** Elle se situe au niveau du plus important gisement de nodules au monde : la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ). Ce bassin minéralisé se trouve dans la Zone (hors l'île de Clipperton et sa ZEE) ; il est donc soumis au régime juridique international. L'intérêt pour ses ressources minérales est tel, qu'il s'agit de la région la plus explorée : l'AIFM y a octroyé 18 permis d'exploration dans lesquels sont impliqués 16 pays (voir § 2.2.3 p. 26 et Annexe 2 p. 97).

En 2009, la France a déposé un dossier préliminaire introduisant le dépôt d'une demande définitive auprès de la Commission des limites du plateau continental (CLPC). La demande portait sur une

<sup>147</sup> La superficie terrestre de la Métropole est de 543 940 km<sup>2</sup>.

<sup>148</sup> Un **presqu'atoll** est un type d'atoll qui constitue l'ultime étape entre une île rocheuse entourée d'un anneau corallien et un atoll "véritable", uniquement composé d'un anneau corallien.

extension de 25 000 km<sup>2</sup> à l'ouest et à l'est de la zone économique exclusive (ZEE) (*Figure 26, à droite, page précédente*) (CESE, 2013). Moins de deux jours plus tard, ce dossier a été retiré sans en motiver les raisons (CESE, 2013, p. 24) : « *L'île de Clipperton constitue un cas particulier dans les demandes d'extension françaises car moins de deux jours après son dépôt, la France a retiré cette information préliminaire sans que le CESE n'obtienne d'explication crédible à cette décision.* ». Il est probable que le contexte géopolitique contraint par les activités de pêche et par l'intérêt grandissant de nombreux États pour les gisements de nodules de la Zone de Clarion-Clipperton (CCZ) ait conduit à ce désistement.

## 6. Il est nécessaire d'interdire l'activité minière en eaux profondes

### 6.1. Opposition étendue à l'international

#### 6.1.1. Positionnements divergents dans un contexte controversé

Bien que l'exploration des ressources minérales marines profondes ait débuté dans les années 1970, l'intérêt pour ces ressources s'est véritablement accru à partir des années 2000 (Hein, et al., 2013). Dès lors, les travaux exploratoires sur l'identification des environnements favorables à la mise en place des gisements, sur l'évaluation du potentiel minéral, sur les techniques d'exploitation, sur les techniques de traitement du minerai, sur les infrastructures logistiques venant en soutien aux activités minières, etc. se sont considérablement intensifiés. Parallèlement, les études d'évaluation environnementale et sociale se sont multipliées, mettant en exergue des risques environnementaux, sociaux ou encore culturels, particulièrement préoccupants pour les zones qui seraient soumises à une telle activité.

20 ans après, il en résulte une **situation controversée**, dans un contexte de manque de connaissances sur les écosystèmes et sur les techniques minières (voir § 4.1.1 p. 56). **Deux principaux positionnements** ont par conséquent émergé sur l'activité minière en eaux profondes (Harris, 2018) :

- (1) Elle ne devrait pas voir le jour tant que l'absence de dommages sur l'environnement et les populations n'a pas été démontrée ;
- (2) Elle devrait être menée progressivement et de façon incrémentale afin de s'assurer de l'absence de dommages occasionnés.

Dans les deux cas, ces positionnements sont assujettis à la mise en place : d'un cadre normatif adapté, de techniques et technologies permettant de limiter les impacts, et de protocoles de contrôle (Sénat, 2022b).

Le premier positionnement est notamment défendu par **653 experts en sciences de la mer et en politique maritime** de plus de 44 pays<sup>149</sup> dans une "*Déclaration d'experts des océans appelant à un moratoire sur l'exploitation minière en eaux profondes*" (Deep-Sea Mining Science Statement, 2022) :

« On manque d'informations scientifiques rigoureuses sur la biologie, l'écologie et la connectivité des espèces et des écosystèmes d'eau profonde, ainsi que sur les services écosystémiques fournis par ceux-ci. En l'absence de ces informations, **les risques potentiels de l'exploitation minière en eaux profondes pour la biodiversité, les écosystèmes et le fonctionnement des fonds marins, comme pour le bien-être humain, ne peuvent être pleinement saisis.** [...] nous recommandons fortement que la transition vers l'exploitation des ressources minérales soit **suspendue jusqu'à ce que des informations scientifiques suffisantes et solides aient été obtenues.** Cela permettra de prendre des **décisions éclairées sur l'autorisation de l'exploitation minière en eaux profondes sans dommages significatifs sur l'environnement marin, et le cas échéant, sur les conditions de cette exploitation.** »

<sup>149</sup> Selon l'état des signatures au 16/11/2022, voir au [lien suivant](#).

### 6.1.2. Multiplication des appels à un moratoire

À l'image de l'exemple précédent, **les appels à un moratoire voire à une interdiction se sont généralisés** ces trois dernières années dans les sphères académiques, associatives, institutionnelles et politiques, et dans des dizaines de pays du monde<sup>150</sup>.

Dans une résolution de 2018, le **Parlement européen** a ([Parlement européen, 2018, p. C458/19](#)) : « [...] demand[é] à la Commission et aux États membres d'apporter leur soutien à un **moratoire international sur les licences d'exploitation minière commerciale des grands fonds** jusqu'à ce que les effets de l'exploitation minière des grands fonds sur le milieu marin, la biodiversité et les activités humaines en mer aient été étudiés et fait l'objet de recherches suffisantes et jusqu'à ce que tous les risques possibles soient compris [...] ». Ce positionnement sera repris deux ans plus tard par la **Commission européenne** ([Commission européenne, 2020](#))<sup>151</sup>. Face au manque d'engagement de cette dernière institution et des États membres, le Parlement européen a cependant confirmé son appel à un moratoire en 2021, en le durcissant par le biais de trois demandes complémentaires ([Parlement européen, 2021, p. C67/53](#)) (voir citation ci-dessous) :

- Le moratoire porte non seulement sur les aires sous la juridiction nationale des États membres mais devrait aussi porter sur la Zone (ou eaux internationales) ;
- La compréhension des risques ne suffit plus, le moratoire devrait être maintenu jusqu'à ce que l'absence totale de perte de biodiversité et l'absence de dégradation des fonds marins aient pu être démontrées ;
- La Commission européenne devrait mettre fin au financement du développement des technologies d'exploitation minière en eaux profondes.

« [...] souligne que les grands fonds marins détiendraient la **biodiversité la plus riche de la planète** et offrent des services environnementaux indispensables, y compris une séquestration à long terme du carbone ; souligne que l'exploitation minière des grands fonds marins risque très probablement de provoquer un **appauvrissement inévitable et permanent de la biodiversité** ; insiste pour que le principe de précaution s'applique au secteur émergent de l'exploitation minière des grands fonds marins ; [...] invite la **Commission et les États membres à encourager un moratoire sur l'exploitation des grands fonds marins, y compris auprès de l'Autorité internationale des fonds marins, jusqu'à ce que** les effets de l'exploitation des grands fonds marins sur le milieu marin, la biodiversité marine et les activités humaines en mer aient fait l'objet d'études et de recherches suffisantes et que **l'exploitation des grands fonds marins puisse être gérée de façon à ne provoquer aucune perte de biodiversité marine ni aucune dégradation des écosystèmes marins** ; souligne qu'il faut que la Commission mette fin au financement du développement de **technologies d'exploitation minière des grands fonds marins** conformément à une économie circulaire fondée sur la réduction au minimum, le réemploi et le recyclage des minerais et des métaux [...] »

L'une des prises de position les plus symboliques est probablement celle des **Fidji**, du **Vanuatu** et de la **Papouasie-Nouvelle-Guinée** qui ont appelé en 2019 à un moratoire de 10 ans sur l'exploitation minière des fonds marins suite à l'échec du projet d'exploitation Solwara 1 (voir Encadré 6 "Échec du projet Solwara 1 en Papouasie-Nouvelle-Guinée" p. 73).

<sup>150</sup> Les organisations ou institutions concernées sont référencées par le collectif *The Deep Sea Conservation Coalition (DSCC)* [au lien suivant](#).

<sup>151</sup> « [...] l'Union devrait défendre 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, conformément au principe de précaution et tout en prenant en compte l'appel lancé par le Parlement européen. » ([Commission européenne, 2020, p. 25](#))

Ce mouvement d'opposition, né dans les sphères académiques et associatives, rallie un **nombre grandissant d'organisations non-gouvernementales et inter-gouvernementales**. Il a ainsi été à l'origine d'une **résolution de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)**, votée lors de son Congrès mondial en septembre 2021 (UICN, 2021b). Celle-ci fut adoptée à une large majorité : 82 % des représentants étatiques - la France ayant voté contre, pour mémoire (Radisson, 09/09/2021, *Actu Environnement*) - et 95 % des représentants de la société civile<sup>152</sup>. Cette résolution appelle les États à mettre en œuvre un moratoire sur l'exploitation des ressources marines profondes dans l'attente (UICN, 2021b) (*voir citation ci-dessous*) : (1) d'une compréhension exhaustive des risques et d'une garantie de la protection effective du milieu marin ; (2) de la mise en œuvre du principe de précaution et du principe pollueur-payeur ; (3) de la mise en place de politiques minières et minérales responsables ; (4) de l'instauration de mécanismes décisionnels transparents et indépendants.

« [...] soutenir et mettre en œuvre un moratoire sur l'exploitation minière des grands fonds marins, la délivrance de nouveaux contrats d'exploitation et de nouveaux contrats d'exploration, et l'adoption de réglementations relatives à l'exploitation minière des fonds marins pour l'exploitation, y compris les réglementations sur l'exploitation par l'Autorité internationale des fonds marins (ISA) à moins que et jusqu'à ce que :

i. des **évaluations d'impact rigoureuses** et transparentes aient été menées, les risques environnementaux, sociaux, culturels et économiques de l'exploitation minière des grands fonds marins aient été exhaustivement compris, et la **protection efficace du milieu marin** soit garantie ;

ii. le **principe de précaution**, l'approche basée sur les écosystèmes, et le **principe du pollueur-payeur** soient mis en œuvre ;

iii. les **politiques pour garantir la production et l'utilisation responsable de métaux**, comme la réduction de la demande de métaux primaires, le passage vers une économie circulaire efficace en ressources, et des pratiques d'exploitation minière terrestre responsables aient été développées et mises en œuvre ; et

iv. des **mécanismes publics de consultation aient été inclus dans tous les processus de prise de décision** liés à l'exploitation minière des grands fonds marins, garantissant un engagement efficace permettant une évaluation indépendante et, lorsque pertinent, veillant à ce que le consentement libre, préalable et en connaissance de cause des peuples autochtones soit respecté et que le consentement des communautés potentiellement touchées soit obtenu [...] »

L'**Action Mondiale des Parlementaires** (ou *Parliamentarians for Global Action* en anglais)<sup>153</sup> s'est fait l'écho de ce positionnement dans une "*Déclaration parlementaire mondiale pour un moratoire sur l'exploitation minière des grands fonds marins*" (*Action Mondiale des Parlementaires, 2022*). Lancée par trois parlementaires<sup>154</sup> en juin 2022, l'initiative compte désormais 250 signataires issus de 51 pays<sup>155</sup>.

Les actions se poursuivent pour que le maximum d'instances nationales et supranationales s'associe à ce positionnement. Ainsi, *The Deep Sea Conservation Coalition (DSCC)* - comptant désormais plus de cent ONGs -, *Sustainable Ocean Alliance* et *The Oxygen Project* exhortent actuellement les dirigeants mondiaux à mettre fin à l'exploitation minière en eaux profondes et font pression sur l'Organisation des Nations Unies (ONU) et l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM) en ce sens<sup>156</sup>.

<sup>152</sup> Voir les résultats détaillés du vote [au lien suivant](#).

<sup>153</sup> L'**Action Mondiale des Parlementaires** est une organisation apolitique à but non lucratif qui rassemble 1350 législateurs issus de 118 pays. Elle vise à promouvoir la démocratie, la paix, la justice ou encore le développement durable dans le monde entier.

<sup>154</sup> Mme Marie Toussaint (députée européenne, France), Mme Caroline Roose (députée européenne, France) et l'Honorable Ralph Regenvanu (député, Vanuatu).

<sup>155</sup> Selon l'état des signatures au 16/11/2022, voir [au lien suivant](#).

<sup>156</sup> Voir la pétition "Say No to Deep-Sea Mining" comportant plus de 92 000 signataires le 16/11/2022. [Lien](#).

## 6.2. Principe de précaution : de l'autorisation à l'interdiction

Quasiment toutes les publications consultées par SystExt - que les auteurs soutiennent ou s'opposent aux activités minières en eaux profondes - mentionnent le principe de précaution. Le Parlement européen (Parlement européen, 2021) et l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) (UICN, 2021b) associent ainsi leur demande de moratoire à l'application du principe de précaution, tel que mentionné dans le *paragraphe précédent*. L'application de ce principe est également requise dans le "Projet de règlement relatif à l'exploitation des ressources minérales dans la Zone" de l'AIFM (ISA, 2019a, Art. 44). De nombreux autres exemples encore pourraient être fournis.

Ces constats ont donc conduit SystExt à étudier ce qu'induit la mise en œuvre effective de ce principe du point de vue juridique et du point de vue technique, sans prétendre à l'exhaustivité de cette étude. **L'objectif était uniquement d'évaluer si l'application du principe de précaution peut répondre aux risques majeurs associés à l'exploitation des ressources marines profondes ainsi qu'à la nécessité d'une protection effective du milieu marin.**

### 6.2.1. Concept ambitieux mais peu normalisé

Dans le domaine de la protection de l'environnement, l'un des premiers textes de portée internationale ayant défini et instauré le principe de précaution est la Déclaration de Rio de 1992 (Belvèze, 2000 ; Pinto-Bazurco, 2020). Son Principe 15 postule à cet effet (Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, 1992) :

« Pour protéger l'environnement, des mesures de précaution doivent être largement appliquées par les États selon leurs capacités. En cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement. »

En d'autres termes, le principe de précaution « [...] vise à **prendre des mesures préventives en présence d'un risque et d'un dommage potentiellement graves sans que ceux-ci ne puissent être fermement établis en l'état actuel des connaissances scientifiques** » (Flückiger, 2003, p. 112). Il constitue le développement du principe de prévention qui, à la différence du principe de précaution, « [...] vise à **prévenir des dégâts dont le rapport de causalité avec le fait générateur du dommage est scientifiquement prouvé.** » (Flückiger, 2003, p. 112). Ainsi, schématiquement, il existe un seuil minimal de scientificité déclenchant le principe de précaution<sup>157</sup> et un seuil de certitude scientifique déclenchant le principe de prévention (Flückiger, 2003 ; Dreyfus, 2017a ; Dreyfus, 2017b).

**Il n'existe pas de norme internationale et contraignante afférente au principe de précaution** (Dreyfus, 2017a ; Pinto-Bazurco, 2020), seuls des textes de « droit mou » (ou *soft law* en anglais) le prennent en compte (Dreyfus, 2017a, p. 391) :

« La portée juridique du principe de précaution n'est pas toujours claire. En droit international, il est inscrit dans des instruments de droit mou, sans force contraignante, comme la Déclaration de Rio de 1992. »

Il s'agit davantage d'un guide sur lequel les législateurs peuvent se reposer pour établir des règles (Dreyfus, 2017a ; Pinto-Bazurco, 2020).

<sup>157</sup> Bien que le principe de précaution s'intègre dans un contexte d'incertitudes scientifiques élevées, sa mise en œuvre requiert certains fondements scientifiques ; la controverse scientifique doit avoir atteint une certaine consistance (Flückiger, 2003).

Nicolas De Sadeleer, professeur de droit à l'Université de Saint-Louis (Bruxelles, Belgique), met en évidence que dans la plupart des cas - que ce soit à l'échelle internationale, communautaire ou nationale - le principe de précaution « *relève de l'incantatoire* » et requiert d'être transposé dans des textes à portée contraignante (De Sadeleer, 2000). Ce constat est toujours d'actualité dans la plupart des pays du monde : bien qu'il se diffuse de plus en plus, il reste peu retranscrit dans les textes de lois nationaux (Pinto-Bazurco, 2020).

### 6.2.2. Application souvent mal définie mais qui n'empêche pas la réglementation

De plus, **il est fréquent que le cadre applicatif soit mal défini**, c'est-à-dire que les mesures à mettre en place ou encore les sanctions en cas de non-respect ne soient pas décrites.

Le cas français permet d'illustrer cette problématique. Le principe de précaution est inscrit dans la Charte de l'environnement<sup>158</sup>, qui fait partie intégrante de la Constitution française, c'est à dire le niveau de droit le plus élevé. Cependant, le mode d'application de ce principe n'est pas clairement détaillé, tel que rappelé par Renaud Denoix de Saint Marc, membre du Conseil Constitutionnel entre 2007 et 2016 (Denoix de Saint Marc, 2014) : « *On relèvera, enfin, que la Charte ne définit pas le principe de précaution. Elle se borne à s'y référer. Le constituant a donc considéré que cette notion était suffisamment circonscrite. Ce n'est pourtant pas tout à fait évident, car l'article 5 ne renvoie pas à la loi, à la différence d'autres articles de cette même Charte et il n'est pas certain que l'article L.110.1 du code de l'environnement, définissant le principe de précaution, contienne toutes les implications de ce principe.* »

Il est d'usage que les autorités instaurent un régime d'autorisation préalable, subordonné au fait de « *rendre vraisemblable l'absence de danger sur la santé et l'environnement* » (Flückiger, 2003, p. 119). Il est alors requis que les impacts potentiels soient évalués, avec notamment la réalisation d'une étude d'impact environnemental (EIE) et d'une étude d'impact social (EIS). Lorsque des impacts potentiels sont identifiés, leur gestion consiste principalement à les prévenir et/ou les atténuer. La mise en œuvre opérationnelle de cette approche repose sur la hiérarchie des mesures d'atténuation, l'équivalent de la démarche « éviter, réduire, compenser » (ERC) en France. Si ces modalités d'évaluation et de gestion des impacts sont connues et répandues, **elles relèvent du principe de prévention et non du principe de précaution** (Dreyfus, 2017b).

L'application du principe de précaution peut donner lieu à deux grands types de mesures (Flückiger, 2003) :

- Des mesures « *formelles* » ou d'ordre procédural, telles que l'évaluation périodique ou encore le développement d'un programme de recherche parallèle à l'activité litigieuse ;
- Des mesures « *matérielles* », telles que la mise en place de normes protectrices, la fixation de conditions spécifiques à l'exercice de l'activité litigieuse, ou encore la limitation de l'activité dans l'espace et/ou dans le temps.

---

<sup>158</sup> Article 5 de la Charte de l'environnement : « Lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement, les autorités publiques veillent, par application du principe de précaution et dans leurs domaines d'attributions, à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques et à l'adoption de mesures provisoires et proportionnées afin de parer à la réalisation du dommage. » [Lien](#).

Cependant, dans le cadre de l'application du principe de précaution, **le législateur peut aller plus loin et interdire un produit ou une activité, sans instaurer de régime d'autorisation** (Flückiger, 2003). Il introduit alors dans le droit une « *présomption irréfragable* » (Flückiger, 2003), c'est-à-dire un fait qui ne peut pas être contesté et qui ne peut être réfuté par aucune preuve. C'est dans ce cadre législatif particulier que s'inscrit le moratoire (Flückiger, 2003, p. 119) : « **Lorsque la durée d'une telle interdiction est limitée dans le temps, elle est généralement qualifiée de moratoire. Seule l'autorité l'ayant décrété pourra autoriser ultérieurement le procédé en cas d'évolution des connaissances ou de modification des pouvoirs de force en annulant la présomption qu'elle avait adoptée.** ». **Un moratoire est donc limité dans le temps et peut être levé par l'autorité qui l'a mis en place.**

Tous les auteurs consultés par SystExt s'accordent sur un point : **les enjeux juridiques et politiques du principe de précaution sont très controversés** (De Sadeleer, 2000 ; Flückiger, 2003 ; Godard, 2006 ; Dreyfus, 2017b ; Pinto-Bazurco, 2020). Cette controverse réside dans la combinaison de deux problématiques (Flückiger, 2003 ; Godard, 2006 ; Pinto-Bazurco, 2020) :

- (1) Qui doit prouver l'effet nocif ou dangereux ? *Est-ce au porteur de projet de démontrer l'innocuité de son activité ou est-ce aux lanceurs d'alerte et aux requérants de démontrer le caractère nocif et dangereux de l'activité ?*
- (2) Quel niveau de certitude est exigé ? *À partir de quel moment le niveau de connaissance scientifique est-il considéré comme suffisant pour qu'une décision soit prise ?*

Cette dernière question souligne le rôle de la connaissance scientifique dans les processus de décision. Selon De Sadeleer (2006), **le principe de précaution témoigne finalement d'une nouvelle relation avec la science, où celle-ci est utilisée moins pour les connaissances qu'elle a à offrir que pour les doutes qu'elle est en mesure de soulever** (De Sadeleer, 2006).

Plus généralement, le principe de précaution appuie la possibilité pour l'autorité compétente de prendre une décision et de légiférer, sans certitude scientifique sur les risques (Read, 2022, p. 231) :

« Currently, environmental concerns are largely hypothetical since studies do not conclusively prove the negative impacts mining activities will have. Nonetheless, implementing incentive programs and retaliatory measures is still possible in the absence of certainty. Put simply, **we do not need to wait to discover the negative impacts of deep-sea mineral mining before establishing an effective system of enforcement.** »<sup>159</sup>

---

<sup>159</sup> Traduction proposée par SystExt : « À l'heure actuelle, les préoccupations environnementales sont largement hypothétiques puisque les études ne prouvent pas de façon concluante les impacts négatifs des activités minières [dans les fonds marins]. Néanmoins, la mise en œuvre de programmes d'incitation et de mesures de rétorsion est toujours possible en l'absence de certitude. En d'autres termes, il n'est pas nécessaire d'attendre de découvrir les effets négatifs de l'exploitation minière en eaux profondes pour mettre en place un système efficace d'application de la loi. »

## 6.3. Appel à l'interdiction de l'exploration et de l'exploitation minières dans les grands fonds marins

### 6.3.1. Convergence de toutes les approches vers une nécessaire interdiction

#### Principe de précaution et prise en compte des effets à long terme

SystExt s'appuie tout d'abord sur les analyses précédemment détaillées (Flückiger, 2003 ; De Sadeleer, 2006 ; Read, 2022) et considère que **les controverses portant sur le principe de précaution ne doivent pas servir de prétexte pour ne pas prendre de décision et ne pas légiférer dès maintenant**. Ce principe permet au contraire de dépasser les incertitudes scientifiques et d'enrichir l'analyse des risques de considérations humaines, sociales et politiques indissociables (Stirling, 2000).

À titre d'illustration, l'une des ouvertures introduites par le principe de précaution porte sur la prise en compte des générations futures (Belvèze, 2000). Ce dernier auteur rappelle qu'en l'absence de certitudes scientifiques, il est difficile de convaincre les décideurs de prendre des mesures de prévention en faveur de la minimisation des risques à long terme plutôt qu'en l'obtention de bénéfices à court terme (Belvèze, 2000, p. 43) : « *La tentation dans ce cas est de s'en remettre aux développements futurs de la science pour trouver des solutions aux problèmes que notre défaut de prévoyance aura laissés en héritage aux générations suivantes* ». **Le principe de précaution intègre justement le principe d'équité entre les générations** (Belvèze, 2000). Dans le cas de l'exploitation minière en eaux profondes, **cette considération est fondamentale compte tenu du fait que les grands fonds marins dans la Zone relèvent du patrimoine commun de l'humanité** (PCH) (voir § 5.2.1 p. 63), qui renvoie précisément au principe d'un héritage qui doit être transmis aux générations futures dans un état inaltéré ou amélioré (Frakes, 2003 ; Oraison, 2006 ; Parent, 2013).

Or, **les risques à long terme constituent l'une des plus importantes incertitudes scientifiques caractérisant l'exploitation des ressources marines profondes**. Tel que détaillé dans le § 3.1 p. 39, ces risques concernent en particulier l'évolution des écosystèmes benthiques et pélagiques suite à la fragmentation et la destruction des habitats, l'évolution spatio-temporelle des panaches de sédiments et de particules, les effets de la toxicité des métaux et métalloïdes. Pour rappel, quel que soit le type de gisements (sulfures hydrothermaux, nodules et encroûtements), **les perturbations et les dommages associés à une exploitation minière pourraient persister sur le long terme, voire être irréversibles** (Vanreusel, et al., 2016 ; Gollner, et al., 2017 ; Niner, et al., 2018). Le rétablissement de certaines espèces est en effet limité par leur faible vitesse de croissance, de reproduction et de recolonisation, et par leur très longue durée de vie dans les grands fonds marins (Montserrat, et al., 2019 ; Chin & Hari, 2020). Compte tenu des écosystèmes exceptionnels qui se développent au sein des gisements, l'extraction du minerai, à elle seule, devrait être à l'origine des impacts qui s'étendent sur les plus grandes échelles de temps (Gollner, et al., 2017). **Ces phénomènes de perte voire de disparition d'espèces persisteraient sur des durées équivalentes à celles nécessaires pour restaurer les gisements, de l'ordre du millier voire du million d'années** (Gollner, et al., 2017).

L'un des risques à long terme les moins caractérisés est le dérèglement de la **fonction "puits de carbone"** (voir § 3.1.7 p. 49). Ce phénomène pourrait participer à la mise en danger de la biodiversité marine alors que celle-ci est déjà menacée et en déclin (UNEP, 2006 ; Mora & Sale, 2011 ; Miller, et al., 2018 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020) ainsi qu'à l'accentuation de l'effet de serre dans un contexte d'urgence climatique.

Alors qu'un consensus existe désormais sur la nécessité de freiner la dégradation des milieux et la destruction des écosystèmes et de la biodiversité, **SystExt considère qu'il est irresponsable d'ajouter une menace qui pourrait constituer la plus grande empreinte de toutes les activités humaines sur la planète** (Grant, 19/12/2013, *PR*).

### **Principe de prévention et reconnaissance de l'impossible gestion des impacts**

Au cœur des principales incertitudes scientifiques afférentes à l'activité minière en eaux profondes - outre les risques à long terme décrits dans le sous-paragraphe précédent - se trouve le **manque de connaissances sur la nature et le fonctionnement des écosystèmes marins** (voir § 4.1.1 p. 56).

Malgré ces incertitudes, **certains risques sont avérés et démontrés scientifiquement** (voir § 3.1 p. 39) :

- Il est d'ores-et-déjà certain que les activités minières sur les fonds marins conduiront à la fragmentation et la destruction des habitats, ainsi qu'à la mortalité de la faune et de la flore associées (Van Reusel, et al., 2016 ; Sarradin, et al., 2017 ; Van Dover, et al., 2017 ; Miller, et al., 2018). Ces phénomènes s'avèrent d'autant plus graves que, quel que soit le type de gisement concerné, certaines espèces faunistiques et floristiques ne se trouvent nulle part ailleurs (Vanreusel, et al., 2016 ; Sarradin, et al., 2017 ; Fauna & Flora International (FFI), 2020).
- D'importants panaches de sédiments et de particules se formeront du fait de l'activité continue dans les fonds marins (Oebius, et al., 2001 ; Rolinski, et al., 2001 ; Gollner, et al., 2017 ; Hein, et al., 2020 ; Spearman, et al., 2020) et conduiront à la libération de métaux et métalloïdes (Ecorys, 2014c ; MIDAS, 2016 ; Hauton, et al., 2017 ; Sarradin, et al., 2017 ; Miller, et al., 2018), substances auxquelles seront nécessairement exposées les espèces benthiques et pélagiques (Ramirez-Llodra, et al., 2015 ; Miller, et al., 2018 ; Montserrat, et al., 2019).

« *Le principe de prévention suppose l'existence d'un risque avéré, connu et scientifiquement prouvé. Seuls sa réalisation et les dommages qui y sont associés sont incertains.* » (Dreyfus, 2017b, p. 393). Ainsi, **SystExt considère que certains risques sont suffisamment connus et scientifiquement étayés pour relever, non pas du principe de précaution, mais bien du principe de prévention.**

La mise en œuvre opérationnelle du principe de prévention repose sur la hiérarchie des mesures d'atténuation, l'équivalent de la démarche « éviter, réduire, compenser » (ERC) en France. Or, l'application de cette approche à l'exploitation minière en eaux profondes présentent de nombreuses limites voire des impossibilités, tel que détaillé dans le § 4.2 p. 59. Seules des mesures d'évitement et de réduction des impacts pourront être mises en œuvre mais **ne suffiront pas à éviter les pertes définitives** (Jacob, 2017 ; Niner, et al., 2018). **Quant aux mesures de restauration, de réhabilitation et de compensation, elles ne sont ni envisageables, ni réalistes** (Jacob, 2017 ; Van Dover, et al., 2017 ; Niner, et al., 2018 ; Billett, et al., 2019).

### **Indispensable interdiction en réponse aux certitudes et aux incertitudes**

De plus en plus d'appels à moratoire sont lancés à l'international, certains étant décrits dans le § 6.1.2 p. 84. Or, le moratoire et l'interdiction relèvent du même cadre législatif, seule la durée de la mesure diffère (Flückiger, 2003). **SystExt estime que les faits démontrant la gravité et l'irréversibilité des dommages associés à l'exploitation minière en eaux profondes sont suffisamment documentés scientifiquement pour légitimer une interdiction.**

Tant l'application de l'approche de précaution que celle de prévention aboutissent aux mêmes conclusions :

- (1) **Il est impossible de gérer les impacts graves et prévisibles de cette industrie ;**
- (2) **Les dispositions afférentes au statut de patrimoine commun de l'humanité des grands fonds marins dans la Zone ne pourraient pas être respectées en cas d'exploitation industrielle ;**
- (3) **Le développement de cette activité est incohérent avec l'urgence de protection environnementale et de limitation des effets du changement climatique.**

SystExt soutient l'idée que la seule finalité de l'exploration des gisements des grands fonds marins ne peut être que leur exploitation. Interdire leur exploitation conduit dès lors nécessairement à interdire leur exploration. En effet, contrairement à ce qui est régulièrement mis en avant, l'exploration minière a vocation à évaluer un potentiel en ressources minérales et **non à acquérir des connaissances sur les écosystèmes marins et leur fonctionnement** (voir Encadré 4 "Recherche scientifique et prospection minière : des objectifs, des méthodes et des résultats divergents" p. 57). Selon SystExt, cette dernière mission ne peut être assurée que par la recherche scientifique marine qui est menée dans l'intérêt de l'humanité et dans un but pacifique (ONU, 1994b, Art. 246).

Le Groupe de haut niveau sur l'économie durable des océans (Panel Océan)<sup>160</sup> souligne que l'exploitation minière en eaux profondes est conceptuellement difficile à aligner avec la définition d'une économie bleue durable (ou *sustainable blue economy* en anglais)<sup>161</sup> (Stuchtey, et al., 2020). Ceci conduit l'Initiative financière du Programme des Nations unies pour l'environnement (UNEP FI) à conclure qu'un investissement dans cette industrie est incompatible avec les principes de financement de l'économie bleue durable (UNEP FI, 2022).

De façon plus générale, l'UNEP FI considère **l'activité minière en eaux profondes comme étant intrinsèquement non durable** (UNEP FI, 2022, p. 12) :

« The extraction of non-renewable marine resources - particularly: (i) offshore oil & gas, (ii) dredging, marine sand & gravel extraction, and shallow marine mining, and (iii) the potential future development of deep-seabed mining - and the inherent impacts of these sectors on environment and society pose a significant risk to the ocean and therefore cannot be considered sustainable. »<sup>162</sup>

**Tous ces éléments conduisent SystExt à prendre position en faveur d'une interdiction de l'exploration et de l'exploitation minières en eaux profondes.**

<sup>160</sup> Le **Groupe de haut niveau sur l'économie durable des océans (Panel Océan)** (ou *High Level Panel for a Sustainable Ocean Economy (Ocean Panel)* en anglais) est une initiative mondiale œuvrant en faveur d'une économie durable des océans et visant à associer protection efficace, production durable et prospérité équitable (Stuchtey, et al., 2020).

<sup>161</sup> L'**économie bleue durable** (ou *sustainable blue economy* en anglais) se donne pour objectif de : procurer des avantages sociaux et économiques aux générations actuelles et futures ; de restaurer, protéger et maintenir des écosystèmes diversifiés, productifs et résilients ; et de reposer sur des technologies propres, des énergies renouvelables et des flux de matières circulaires (UNEP FI).

<sup>162</sup> Traduction proposée par SystExt : « L'extraction de ressources marines non renouvelables - en particulier : (i) le pétrole et le gaz offshore, (ii) le dragage, l'extraction de sable et de gravier marins et l'exploitation minière en eaux peu profondes, et (iii) le développement futur potentiel de l'exploitation minière en eaux profondes - et les impacts inhérents de ces secteurs sur l'environnement et la société représentent un risque important pour l'océan et ne peuvent donc pas être considérés comme durables. »

### 6.3.2. Pour la mise en œuvre de politiques "métalliques" alternatives

Tel que présenté en introduction (*voir § 1.3 p. 14*), il est régulièrement affirmé que l'exploitation minière en eaux profondes permettrait de compléter de façon substantielle l'offre en matières premières minérales, dans un contexte de « dopage » de la demande métallique associé aux scénarios dits « de transition ».

**Tout d'abord, le caractère « substantiel » de cette potentielle offre complémentaire doit être pondéré.** En effet, pour la plupart des métaux d'intérêt ou d'intérêt potentiel, les teneurs moyennes dans les gisements en eaux profondes sont inférieures à la borne basse de la gamme ou dans la gamme de celles des gisements terrestres, exception faite du cuivre (Cu) dans les sulfures hydrothermaux et du tellure (Te) dans les encroûtements. Pour certains métaux d'intérêt ou d'intérêt potentiel, les concentrations peuvent même être très inférieures aux teneurs d'exploitation sur terre, comme pour le lithium (Li) dans les nodules ou pour les terres rares dans les encroûtements (*voir § 2.2.1 p. 21*). De plus, les quantités totales de minerai (ou tonnages) restent surestimées. Il s'agit au mieux de ressources présumées (c'est-à-dire de l'estimation la plus incertaine des ressources minières) au pire d'un potentiel entaché d'incertitudes majeures (*voir § 2.2.2 p. 23*).

Ensuite, **la viabilité technico-économique de ces projets miniers est particulièrement discutable**, compte tenu de la difficulté à extraire et à traiter le minerai (*voir § 2.3 p. 28*). À ce dernier titre, SystExt remarque que les étapes de valorisation ultérieures (qui suivent la phase d'exploitation dans les fonds marins) sont peu mentionnées, alors que celles-ci soulèvent des problématiques énergétiques et environnementales majeures. Pour rappel, les minerais des gisements des grands fonds marins sont si complexes que les minerais de nodules et d'encroûtements ne disposent pas d'équivalent terrestre ([Hein, et al., 2020](#) ; [Ochromowicz, et al., 2021](#)).

Par ailleurs, avant même de repousser de telles frontières extractives, SystExt considère qu'il **est indispensable d'interroger la demande en matières premières minérales et de mettre en place des politiques minérales et "métalliques" alternatives**. Ce point de vue est soutenu par de nombreuses organisations et institutions à l'international ([Parlement européen, 2021](#) ; [UICN, 2021b](#) ; [Action Mondiale des Parlementaires, 2022](#) ; [Sénat, 2022b](#) ; [UNEP FI, 2022](#)).

Ainsi, dans le cadre d'un soutien à un moratoire sur l'exploitation minière en eaux profondes<sup>163</sup>, plusieurs entreprises multinationales - parmi lesquelles BMW, Samsung, Google, Volvo, Philips, Volkswagen et Renault - demandent que ces alternatives soient examinées. Tant que ces dernières n'auront pas été suffisamment développées, **ces entreprises s'engagent à exclure les ressources minérales marines profondes de leurs chaînes d'approvisionnement et à ne pas financer les activités minières associées** :

« All alternatives to deep sea minerals must be explored as a matter of urgency, with a focus on **reducing demand for primary metals, transitioning to a resource-efficient, closed-loop materials economy, and developing responsible terrestrial mining practices**. Until these matters are sufficiently addressed, we, the undersigned, support a moratorium on deep seabed mining as a matter of precaution and **commit not to source minerals from the deep seabed; to exclude such minerals from our supply chains; and not to finance deep seabed mining activities.** »<sup>164</sup>

<sup>163</sup> No deep seabed mining - Call for a moratorium | Business Statement Supporting a Moratorium on Deep Seabed Mining (Déclaration des entreprises soutenant un moratoire sur l'exploitation minière des grands fonds marins). [Lien](#).

La plupart des acteurs - y compris ceux qui ne soutiennent pas formellement un moratoire, tel que le Sénat français - appellent à ce que soit étudiées et approfondies **trois "voies alternatives" pour la demande en matières premières minérales** (Parlement européen, 2021 ; UICN, 2021b ; Action Mondiale des Parlementaires, 2022 ; Sénat, 2022b ; UNEP FI, 2022). Il s'agit, par ordre d'importance croissant :

- (1) **De la limitation de l'empreinte environnementale et sociale des mines terrestres et la mise en place de pratiques "responsables" ;**
- (2) **Du développement du recyclage et de la réutilisation, dans le but d'instaurer une économie "véritablement" circulaire, efficace en ressources ;**
- (3) **De la réduction de la demande en métaux primaire dans le but de mettre en place une société moins intensément consommatrice en matières premières minérales.**

Ces trois "voies alternatives" ont été étudiées par SystExt. Elles font l'objet respectivement du tome 2, du tome 3 et du tome 4 qui suivent le présent rapport.

---

<sup>164</sup> Traduction proposée par SystExt : « *Toutes les alternatives aux ressources minérales marines profondes doivent être explorées de toute urgence, en mettant l'accent sur la réduction de la demande de métaux primaires, la transition vers une économie circulaire et économe en ressources, et le développement de pratiques minières terrestres responsables. Jusqu'à ce que ces questions soient suffisamment traitées, nous, les soussignés, soutenons un moratoire sur l'exploitation minière des grands fonds marins par mesure de précaution et nous engageons à ne pas nous approvisionner en minéraux des grands fonds marins, à exclure ces minéraux de nos chaînes d'approvisionnement et à ne pas financer les activités minières des grands fonds marins.* »

Page laissée vide intentionnellement

## ANNEXES

### ANNEXE 1

#### Teneurs moyennes des gisements terrestres en exploitation · Données et sources d'informations

Métal	Gamme retenue par SystExt	Données utilisées
Manganèse (Mn)	30 à 50 %	En 2020, exprimé en [manganèse] Mn contenu, les minerais riches, avec une teneur $\geq$ à 44 % de Mn, représentent 40 % de la production totale de minerais, les intermédiaires avec une teneur comprise entre 30 et 44 %, 49 % de la production, les pauvres, avec une teneur inférieure à 30 %, 10 % de la production. (L'Élémentarium, Fiche Manganèse · <a href="#">Lien</a> ) Manganese ores contain a minimum of 15 percent manganese, but most ores are considerably higher grade, ranging up to about 50 percent manganese. (Cannon, et al., 2017, p. L4)
Zinc (Zn)	4 à 20 %	La teneur des minerais tout venant est comprise entre 4 et 20 % de Zn. (L'Élémentarium, Fiche Zinc · <a href="#">Lien</a> )
Cuivre (Cu)	0,3 à 2 %	Les teneurs des minerais exploités sont généralement comprises entre 0,3 et 2 %, exceptionnellement jusqu'à 5 % par exemple au début de l'exploitation de la mine de Neves Corvo, au Portugal. (L'Élémentarium, Fiche Cuivre · <a href="#">Lien</a> )
Nickel (Ni)	0,7 à 3 %	Les minerais [sulfurés] ont des teneurs de 0,7 à 3 % de nickel [...]. Les minerais silicatés [...] leur teneur en Ni est de 2,3 à 3 % [...]. Les limonites [...], ce sont des minerais pauvres qui contiennent de 1 à 1,5 % de Ni [...]. (L'Élémentarium, Fiche Nickel · <a href="#">Lien</a> )
Cobalt (Co)	0,01 à 1 %	[...] cobalt grades differ greatly - mostly low grades (0.01 to 0.2 percent cobalt) for magmatic Ni-Cu(-Co-PGE) sulfide deposits, intermediate grades (0.03 to 0.2 percent cobalt) for the majority of lateritic Ni-Co deposits, and relatively high grades (0.03 to 1.0 percent cobalt) for most stratiform sediment-hosted Cu-Co deposits. The highest average grades (about 1.5 percent cobalt) are in relatively small cobalt-rich vein deposits of the Bou Azzer district in Morocco. (Slack, et al., 2017, p. F10)
Terres rares (TREE + Y)	5 à 10 %	Les concentrations en terres rares [...] sont sensiblement plus faibles que dans les mines terrestres (> 5 %), mais les tonnages peuvent être comparables. (Fouquet, 2013, p. 53) Because of the low grades of economic deposits (< 10 percent total REOs) [...]. (Van Gosen, et al., 2017, pp. O22-O23)
Lithium (Li)	0,05 à 1,5 % 500 à 15 000 g/t	L'exploitation de saumures de lacs salés en partie asséchés, appelés "salars" [...]. La teneur en lithium de ces lacs salés peut atteindre 0,16 % pour le "salar" d'Atacama, 0,05 % pour celui de Zhabuye, au Tibet. [...] L'exploitation, généralement à ciel ouvert, de gisements de pegmatites granitiques, [...] Par exemple, pour le gisement de spodumène de Greenbushes, en Australie, qui a une teneur de 1,43 % de Li <sub>2</sub> O, [...]. (L'Élémentarium, Fiche Lithium · <a href="#">Lien</a> ) Conversions : Teneurs salars = 500 à 1600 ppm (ou g/t) ; Teneurs pegmatites = jusqu'à 14 300 ppm. Plots of lithium grade and tonnage for selected world deposits : [...] Lithium resources in LCT pegmatites [...] Grade, in weight percent Li <sub>2</sub> O [de 1 % à 8 %] Lithium resources in closed-basin brines [...] Grade, in parts per million Li [de 900 à 4000 ppm] (Bradley, et al., 2017, p. K13) Conversions : Teneurs pegmatites = de 1 à 8 % Li <sub>2</sub> O = de 0,18 à 1,43 % Li = de 1 800 ppm à 14 300 ppm (ou g/t).
Molybdène (Mo)	0,02 à 0,3 % 200 à 3 000 g/t	La teneur des mines de molybdène (Mo) est comprise entre 0,1 et 0,3 % de Mo, celle des mines de cuivre coproduisant du molybdène comprise entre 0,02 et 0,2 % de Mo. (L'Élémentarium, Fiche Molybdène · <a href="#">Lien</a> )

Métal	Gamme retenue par SystExt	Données utilisées
<b>Zirconium (Zr)</b>	0,5 à 25 % 5 000 à 250 000 g/t	Similarly, the zircon content varies from deposit to deposit, ranging from as little as 1 % to as much as 50 %. ( <a href="#">Zircon Industry Association · Lien</a> ) Conversions : de 1 à 50 % ZrSiO <sub>4</sub> = de 0,50 à 24,88 % Zr = 5 000 à 248 800 g/t.
<b>Tellure (Te)</b>	0,1 à 1 g/t	Le tellure est, [...] principalement co-produit de la métallurgie du cuivre mais aussi de celles du plomb et du nickel. [...] La métallurgie des minerais sulfurés de cuivre peut ainsi récupérer, en moyenne, 65 g de Te/t de cuivre. [...] Il existe toutefois, dans le monde, deux gisements dans lesquels le tellure est la principale ressource, l'un en Chine et l'autre en Suède [...]. ( <a href="#">L'Élémentarium, Fiche Tellure · Lien</a> ) In large-tonnage mineral deposits, such as porphyry copper and sea-floor volcanogenic massive sulfide deposits, sulfide minerals may contain hundreds of parts per million tellurium, although the orebodies likely have overall concentrations of 0.1 to 1.0 parts per million tellurium. ( <a href="#">Goldfarb, et al., 2017, p. R1</a> )
<b>Or (Au)</b>	0,5 à 20 g/t	Minerais : leurs teneurs sont, en moyenne, de 0,5 à 20 ppm (ou g/t) et elles peuvent être plus importantes, par exemple, 120 ppm dans la partie souterraine de la mine de Porgera en Papouasie-Nouvelle Guinée lors du début de son exploitation. Lorsque l'or est récupéré comme sous-produit d'autres métaux, les teneurs peuvent être nettement plus faibles [...]. ( <a href="#">L'Élémentarium, Fiche Or · Lien</a> )
<b>Argent (Ag)</b>	10 à 1 000 g/t	Les teneurs des minerais exploités varient, en général, de quelques dizaines à quelques centaines de g/t. ( <a href="#">L'Élémentarium, Fiche Argent · Lien</a> ) [...] High grade (1100-800 g/tonne) [...] Low grade (100-80 g/tonne) [...] Ultra low grade (below 10-8 g/tonne) ( <a href="#">Sverdrup, et al., 2014, p. 125</a> )
<b>Platine (Pt)</b>	5 à 15 g/t	Pas de teneur fournie pour le platine mais pour la somme des platinoïdes (PGE) (Platine (Pt) · Palladium (Pd) · Rhodium (Rh) · Ruthénium (Ru) · Iridium (Ir) · Osmium (Os)). Approximation de la teneur totale en platine par celle en PGE, en prenant en compte le fait que le platine est souvent la substance la plus abondante. Today, the average grade of PGEs in ores that are mined primarily for their PGE concentrations varies from 5 to 15 ppm [...]. ( <a href="#">Zientek, et al., 2017, p. N4</a> )

## ANNEXE 2

Liste des 31 titres d'exploration minière octroyés dans la Zone pour des gisements de nodules, de sulfures hydrothermaux et d'encroûtements (ISAb ; Pew Charitable Trust, 2018 ; ISA, 2020 ; ISA, 2022)

État	Contractant	Type de gisement	Zone géographique	Date de début	Date d'échéance
<b>Chine</b>	China Ocean Mineral Resources Research and Development Association	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2001	2021*
<b>France</b>	IFREMER	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2001	2021*
<b>Allemagne</b>	Federal Institute for Geosciences and Natural Resources	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2013	2021
<b>Japon</b>	Deep Ocean Resources Development Co. Ltd.	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2001	2021*
<b>Corée du Sud</b>	Government of the Republic of Korea	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2001	2021*
<b>Russie</b>	JSC Yuzhmorgeologiya	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2001	2021*
<b>Bulgarie, Cuba, République Tchèque, Pologne, Russie, Slovaquie</b>	Interoceanmetal Joint Organization	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2001	2021*
<b>Inde</b>	Government of India	Nodules	Océan Indien	2002	2022*
<b>Nauru</b>	Nauru Ocean Resources Inc.	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2011	2026
<b>Tonga</b>	Tonga Offshore Mining Ltd.	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2012	2027
<b>Belgique</b>	Global Sea Mineral Resources NV	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2013	2028
<b>Royaume-Uni</b>	UK Seabed Resources Ltd.	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2013	2028
<b>Kiribati</b>	Marawa Research and Exploration Ltd.	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2015	2030
<b>Singapour</b>	Ocean Mineral Singapore Pte Ltd.	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2015	2030
<b>Îles Cook</b>	Cook Islands Investment Corp.	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2016	2031
<b>Royaume-Uni</b>	UK Seabed Resources Ltd.	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2016	2031
<b>Chine</b>	China Minmetals Corp.	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2017	2032
<b>Chine</b>	Beijing Pioneer H- Tech Development Corporation	Nodules	Océan Pacifique	2019	2036
<b>Jamaïque</b>	Blue Minerals Jamaica Ltd	Nodules	Zone de Clarion-Clipperton	2021	2036

\* Contrats ayant été prolongés de 5 ans.

État	Contractant	Type de gisement	Zone géographique	Date de début	Date d'échéance
<b>Chine</b>	China Ocean Mineral Resources Research and Development Association	Sulfures hydrothermaux	Océan Indien	2011	2026
<b>Russie</b>	Government of the Russian Federation	Sulfures hydrothermaux	Dorsale médio-atlantique	2012	2027
<b>France</b>	IFREMER	Sulfures hydrothermaux	Dorsale médio-atlantique	2014	2029
<b>Corée du Sud</b>	Government of the Republic of Korea	Sulfures hydrothermaux	Océan Indien	2014	2029
<b>Allemagne</b>	Federal Institute for Geosciences and Natural Resources	Sulfures hydrothermaux	Océan Indien	2015	2030
<b>Inde</b>	Government of India	Sulfures hydrothermaux	Océan Indien	2016	2031
<b>Pologne</b>	Government of the Republic of Poland	Sulfures hydrothermaux	Dorsale médio-atlantique	2018	2033
<b>Japon</b>	Japan Oil, Gas, and Metals National Corp.	Encroûtements	Océan Pacifique	2014	2029
<b>Brésil</b>	CPRM (Geological Survey of Brazil)	Encroûtements	Océan Atlantique Sud	2015	2030
<b>Russie</b>	Ministry of Natural Resources and Environment	Encroûtements	Océan Pacifique	2015	2030
<b>Corée du Sud</b>	Government of the Republic of Korea	Encroûtements	Océan Pacifique	2017	2033
<b>Chine</b>	China Ocean Mineral Resources Research and Development Association	Encroûtements	Océan Pacifique	2014	2029

### ANNEXE 3

#### Répartition surfacique de la zone économique exclusive (ZEE) française au 25/01/2021 (Gouvernement français, 2021)

Territoire	Surface (en km <sup>2</sup> )	Part du territoire (en pourcents)
<b>Océan Atlantique</b>		
France métropolitaine	297 123	2,87 %
Saint-Pierre-et-Miquelon	8 734	0,08 %
Antilles (1)	126 148	1,22 %
Antilles · extension du plateau continental	7 434	0,07 %
Guyane	121 746	1,17 %
Guyane · extension du plateau continental	69 955	0,67 %
<b>Océan Indien</b>		
La Réunion – Mayotte (2)	998 523	9,63 %
La Réunion - Mayotte · extension du plateau continental	58 121	0,56 %
Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF) (3)	1 613 164	15,57 %
TAAF · extension du plateau continental	514 217	4,96 %
<b>Océan Pacifique</b>		
Nouvelle-Calédonie (4)	1 240 601	11,97 %
Nouvelle-Calédonie · extension du plateau continental	75 570	0,73 %
Wallis-et-Futuna	256 644	2,48 %
Polynésie (5)	4 541 204	43,82 %
Clipperton	434 619	4,19 %
<b>Total surface zone économique exclusive (ZEE)</b>	<b>9 638 506</b>	
<b>Total surface ZEE + extensions du plateau continental</b>	<b>10 363 803</b>	

(1) Guadeloupe · Martinique · Saint-Barthélemy · Saint-Martin

(2) incluant les Îles Éparses

(3) Crozet · Kerguelen · Saint-Paul · Amsterdam, hors Îles Éparses et Terre Adélie

(4) Grande Terre · Loyauté · Autres dépendances

(5) Îles Marquises · Îles de la Société · Îles Tuamotu · Îles Australes · Îles Gambier

Page laissée vide intentionnellement

## BIBLIOGRAPHIE

- Action Mondiale des Parlementaires. (2022). *Déclaration parlementaire mondiale pour un moratoire sur l'exploitation minière des grands fonds marins*.
- Agarwal, B., Hu, P., Placidi, M., Santo, H., & Zhou, J. J. (2012). *Feasibility study on manganese nodules recovery in the Clarion-Clipperton Zone*. The LRET Collegium 2012 Series. Vol. 2. University of Southampton.
- 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.
- Amara, R. (2011). L'homme et la biodiversité marine: les liaisons dangereuses. *Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie*, 23, 6-21.
- Amon, D. J., Ziegler, A. F., Dahlgre, T. G., Glover, A. G., Goineau, A., Gooday, A. J., . . . Smith, C. R. (2016). Insights into the abundance and diversity of abyssal megafauna in a polymetallic-nodule region in the eastern Clarion-Clipperton Zone. *Scientific Reports*, 6, 1-12.
- Ardron, J. A., Ruhl, H. A., & Jones, D. O. (2018). Incorporating transparency into the governance of deep-seabed mining in the Area beyond national jurisdiction. *Marine Policy*, 89, 58-66.
- Atwood, T. B., Witt, A., Mayorga, J., Hammill, E., & Sala, E. (2020). Global Patterns in Marine Sediment Carbon Stocks. *Frontiers in Marine Science*, 7, 165.
- Bähr, U. (2018). *Atlas de l'océan. Faits et chiffres sur les menaces qui pèsent sur nos écosystèmes marins*. Heinrich-Böll-Stiftung Schleswig-Holstein.
- Banaré, E., & Le Meur, P.-Y. (2014). Histoire et histoires. Politique et poétique des récits miniers dans le Pacifique Sud. *Journal de la Société des Océanistes*(138-139), 5-22.
- Belvèze, H. (2000). Lignes directrices pour l'application du principe de précaution. Dans E. Zaccai, & J.-N. Missa, *Le principe de précaution - Significations et conséquences* (pp. 39-49). Éditions de l'Université de Bruxelles.
- Bergeron, J.-D., Launay, R., & Sornin, J.-M. (2017). Les études d'impact de l'exploitation minière des grands fonds marins : une étape nécessaire, mais encore difficile. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*(85), 49-54.
- BGR. (2018). *Environmental Impact Assessment for the testing of a pre-prototype manganese nodule collector vehicle in the Eastern German license area (Clarion-Clipperton Zone) in the framework of the European JPI-O MiningImpact 2 research project*.
- Billett, D. S., Jones, D. O., & Weaver, P. P. (2019). Improving Environmental Management Practices in Deep-Sea Mining. Dans R. Sharma, *Environmental Issues of Deep-Sea Mining* (pp. 403-446). Springer.
- Birney, K., Griffin, A., Gwiazda, J., Kefauver, J., Nagai, T., & Varchol, D. (2006). *Potential deep-sea mining of seafloor massive sulfides: A case study in Papua New Guinea*. Donald Bren School of Environmental Science and Management Thesis.
- Bougault, H., & Saget, P. (2011). Les encroûtements cobaltifères de Polynésie Française. *Mines & Carrières*(185), 70-75.
- Bradley, D. C., Stillings, L. L., Jaskula, B. W., Munk, L., & McCauley, A. D. (2017). Lithium, Chapter K. Dans K. J. Schulz, J. H. DeYoung, R. R. Seal, & D. C. Bradley, *Critical mineral resources of the United States - Economic and environmental geology and prospects for future supply* (pp. K1-K21). U.S. Geological Survey: Professional Paper 1802.

- Brown, A., Thatje, S., & Hauton, C. (2017). The Effects of Temperature and Hydrostatic Pressure on Metal Toxicity: Insights into Toxicity in the Deep Sea. *Environmental Science & Technology*, 51(17), 10222-10231.
- Burd, B., Macdonald, R., & Boyd, J. (2000). Punctuated recovery of sediments and benthic infauna: a 19-year of tailings deposition in a British Columbia fjord. *Marine Environmental Research*, 49(2), 145-175.
- Cannon, W. F., Kimball, B. E., & Corathers, L. A. (2017). Manganese, Chapter L. Dans K. J. Schulz, J. H. DeYoung, R. R. Seal, & D. C. Bradley, *Critical mineral resources of the United States - Economic and environmental geology and prospects for future supply* (pp. L1–L28). U.S. Geological Survey: Professional Paper 1802.
- Carver, R., Childs, J., Steinberg, P., Mabon, L., Matsuda, H., Squire, R., . . . Esteban, M. (2020). A critical social perspective on deep sea mining: Lessons from the emergent industry in Japan. *Ocean and Coastal Management*, 193, 105242.
- CESE. (2013). *L'extension du plateau continental au-delà des 200 milles marins : un atout pour la France. Avis du Conseil économique, social et environnemental sur le rapport présenté par M. Gérard Grignon, rapporteur au nom de la délégation à l'Outre-mer*. Les éditions des journaux officiels.
- Chadwick, B. (2016, Mai 02). *Explorations in the Mariana Back-arc*. Récupéré sur NOAA Ocean Exploration: <https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/explorations/ex1605/logs/may2/welcome.html>
- Chappell, D. A. (2005). Reflections on nuclear testing in the South Pacific. *The Contemporary Pacific - University of Hawai'i Press*, 17(2), 336-338.
- 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.
- Clifford Chance. (2021). *The Republic of Nauru officially requests completion of deep seabed exploitation regulations*. Perth, Australia: Clifford Chance.
- Commission européenne. (2020). Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions. *Stratégie de l'UE en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030 - Ramener la nature dans nos vies*.
- Commission on the Limits of the Continental Shelf. (2022, Août 11). *Submissions, through the Secretary-General of the United Nations, to the Commission on the Limits of the Continental Shelf, pursuant to article 76, paragraph 8, of the United Nations Convention on the Law of the Sea of 10 December 1982*. Récupéré sur Oceans & Law of the Sea - United Nations: [https://www.un.org/Depts/los/clcs\\_new/commission\\_submissions.htm](https://www.un.org/Depts/los/clcs_new/commission_submissions.htm)
- Cormorand, D. (2016, Juin). Droits maritimes, un enjeu géopolitique. *Le Monde Diplomatique*, pp. 14-15. Récupéré sur <https://www.monde-diplomatique.fr/2016/06/CORMORAND/55727>
- Cozigou, G. (2017). Les défis de l'exploitation minière en eaux profondes : les cadres européen et global. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*(85), 24-29.
- Davies, T. W., Duffy, J. P., Bennie, J., & Gaston, K. J. (2016). Stemming the Tide of Light Pollution Encroaching into Marine Protected Areas. *Conservation Letters*, 9(3), 164-171.
- Davison, P. C., Checkley, D. M., Koslow, J. A., & Barlow, J. (2013). Carbon export mediated by mesopelagic fishes in the northeast Pacific. *Progress in Oceanography*, 116, 14-30.

- De Sadeleer, N. (2000). Réflexions sur le statut juridique du principe de précaution. Dans E. Zaccai, & J.-N. Missa, *Le principe de précaution - Significations et conséquences* (pp. 117-142). Éditions de l'Université de Bruxelles.
- De Sadeleer, N. (2006). The precautionary principle in EC health and environmental law. *European Law Journal*, 12(2), 139-172.
- Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement. (1992).
- Deep-Sea Mining Science Statement. (2022). *Deep-Sea Mining Science Statement*. Consulté le Octobre 16, 2022, sur <https://www.seabedminingsciencestatement.org/francais>
- Denègre, J. (2017). Un état de l'art de l'exploitation minière sous-marine. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*(85), 75-79.
- Denoix de Saint Marc, R. (2014, Novembre 25). *Le principe de précaution devant le Conseil constitutionnel - Communication à l'Académie nationale de médecine*. Récupéré sur Conseil Constitutionnel: <https://www.conseil-constitutionnel.fr/les-membres/le-principe-de-precaution-devant-le-conseil-constitutionnel>
- Doherty, B. (2019, Septembre 15). Collapse of PNG deep-sea mining venture sparks calls for moratorium. *The Guardian*. Récupéré sur <https://www.theguardian.com/world/2019/sep/16/collapse-of-png-deep-sea-mining-venture-sparks-calls-for-moratorium>
- Dold, B. (2014). Submarine Tailings Disposal (STD) - A Review. *Minerals*, 4, 642-666.
- Drazen, J. C., Smith, C. R., Gjerde, K. M., Haddock, S. H., Carter, G. S., Choy, C. A., . . . Yamamoto, H. (2020). Opinion: Midwater ecosystems must be considered when evaluating environmental risks of deep-sea mining. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 117(30), 17455-17460.
- Dreyfus, M. (2017a). Principe de précaution. Dans J.-L. Pissaloux, *Dictionnaire Collectivités territoriales et Développement Durable* (pp. 390-393). Cachan: Lavoisier.
- Dreyfus, M. (2017b). Principe de prévention. Dans J.-L. Pissaloux, *Dictionnaire Collectivités territoriales et Développement Durable* (pp. 393-395). Cachan: Lavoisier.
- Drisch, J. (2017). Stratégie maritime - L'océan, bien commun de l'humanité. *Revue Défense Nationale*, 797(2), 107-109.
- DSM Observer. (2018, Octobre 14). *Global Sea Mineral Resources unveils the Patania II nodule collector*. Récupéré sur DSM Observer - Deep Sea Mining News & Resources: <https://dsmobserver.com/2018/10/global-sea-mineral-resources-unveils-the-patania-ii-nodule-collector/>
- Durden, J. M., Murphy, K., Jaeckel, A., Van Dover, C. L., Christiansen, S., Gjerde, K., . . . Jones, D. O. (2017). A procedural framework for robust environmental management of deep-sea mining projects using a conceptual model. *Marine Policy*, 84, 193-201.
- Dyment, J., Lallier, F., Le Bris, N., Rouxel, O., Sarradin, P.-M., Lamare, S., . . . Tourolle, J. (2014). *Impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes. Expertise scientifique collective*. CNRS et Ifremer.
- Earthworks, & MiningWatch Canada. (2012). *Troubled waters - How mine waste dumping is poisoning our oceans, rivers, and lake*.
- Ecorys. (2014a). *Study to investigate state of knowledge of deep sea mining. Final report Annex 1 Geological Analysis. FWC MARE/2012/06 - SCE1/2013/04*. Rotterdam/Brussels.

- Ecorys. (2014b). *Study to investigate state of knowledge of deep sea mining. Final report Annex 4 Technology Analysis. FWC MARE/2012/06 - SCE1/2013/04*. Rotterdam/Brussels.
- Ecorys. (2014c). *Study to investigate state of knowledge of deep sea mining. Final report Annex 6 Environmental Analysis. FWC MARE/2012/06 - SCE1/2013/04*. Rotterdam/Brussels.
- Élysée. (2021, Octobre 12). *Discours du Président de la République à l'occasion de la présentation du Plan France 2030*.
- Extraplac. (2009). *Le plateau continental français. Informations préliminaires indicatives sur les limites extérieures du plateau continental, conformément à la décision figurant dans le document SPLOS/183 de la Dix-huitième Réunion des Etats parties de la CNUDM*. République Française.
- Extraplac. (2021a, Février 04). *Publications au Journal Officiel*. Récupéré sur Extraplac - Programme français d'extension du plateau continental: <https://www.extraplac.fr/Etat-d-avancement/Publications-au-Journal-Officiel>
- Extraplac. (2021b, Février 04). *État d'avancement*. Récupéré sur Extraplac - Programme français d'extension du plateau continental: <https://www.extraplac.fr/Etat-d-avancement#Anchor1>
- Fainu, K., & Uechtritz, M. (2021, Septembre 30). 'Shark calling': locals claim ancient custom threatened by seabed mining. *The Guardian*. Récupéré sur <https://www.theguardian.com/world/2021/sep/30/sharks-hiding-locals-claim-deep-sea-mining-off-papua-new-guinea-has-stirred-up-trouble>
- Fauna & Flora International (FFI). (2020). *An Assessment of the Risks and Impacts of Seabed Mining on Marine Ecosystems*. Cambridge.
- Filer, C., & Gabriel, J. (2018). How could Nautilus Minerals get a social licence to operate the world's first deep sea mine? *Marine Policy*, 95, 394-400.
- Flückiger, A. (2003). La preuve juridique à l'épreuve du principe de précaution. *Revue européenne des sciences sociales(XLI-128)*, 107-127.
- Fouquet, Y. (2013). Les ressources minérales marines. État des connaissances sur l'importance des dépôts. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement(70)*, 49-56.
- Frakes, J. (2003). The common heritage of mankind principle and deep seabed, outer space, and Antarctica: Will developed and developing nations reach a compromise. *Wisconsin International Law Journal International*, 21.
- France Diplomatie. (2021, Mars 20). *Présentation de Nauru*. Récupéré sur Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères: <https://www.diplomatie.gouv.fr/fr/dossiers-pays/nauru/presentation-de-nauru/>
- Franckx, E. (2010). The international seabed authority and the common heritage of mankind: the need for states to establish the outer limits of their continental shelf. *International Journal of Marine and Coastal Law*, 25(4), 543-567.
- Fuchida, S., Yokoyama, A., Fukuchi, R., Ishibashi, J.-I., Kawagucci, S., Kawachi, M., & Koshikawa, H. (2017). Leaching of Metals and Metalloids from Hydrothermal Ore Particulates and Their Effects on Marine Phytoplankton. *ACS Omega*, 2(7), 3175–3182.
- GESAMP. (2015). *Proceedings of the GESAMP international workshop on the impacts of mine tailings in the marine environment*. International Maritime Organization.
- Glickson, D. (2016, Juillet 05). *Leg 3: A Geological Tour of the Northern Marianas!* Récupéré sur NOAA Ocean Exploration: <https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/explorations/ex1605/logs/jul5/welcome.html>

- Global Sea Mineral Resources (GSR). (2018). *Environmental Impact - Small-scale testing of nodule collector on the seafloor of the Clarion-Clipperton Fracture Zone and its environmental impact*.
- Godard, O. (2006). Le principe de précaution. *Revue Projet*, 293(4), 39-47.
- Goldfarb, R. J., Berger, B. R., George, M. W., & Seal, R. R. (2017). Tellurium, Chapter R. Dans K. J. Schulz, J. H. DeYoung, R. R. Seal, & D. C. Bradley, *Critical mineral resources of the United States - Economic and environmental geology and prospects for future supply* (pp. R1–R27). U.S. Geological Survey: Professional Paper 1802.
- Gollner, S., Kaiser, S., Menzel, L., Jones, D. O., Brown, A., Mestre, N. C., . . . Arbizu, P. M. (2017). Resilience of benthic deep-sea fauna to mining activities. *Marine Environmental Research*, 129, 76-101.
- Gouvernement français. (2021, Janvier 25). *Tableau des superficies*. Récupéré sur Portail national des limites maritimes: <https://limitesmaritimes.gouv.fr/ressources/tableau-des-superficies>
- Grant, K. D. (2013, Décembre 19). Deep-sea mining could make 'largest footprint of any single human activity on the planet'. *PRI*. Récupéré sur <https://theworld.org/stories/2013-12-19/deep-sea-mining-could-make-largest-footprint-any-single-human-activity-planet>
- Grassi, L. (2020, Juin 27). *Projet d'exploitation minière de la mer profonde Solwara 1 à la mer Bismarck, Papouasie Nouvelle-Guinée*. Récupéré sur Atlas des Conflits pour la Justice Environnementale: <https://ejatlas.org/conflict/deep-sea-mining-project-solwara-1-in-the-bismarck-sea-papua-new-guinea/?translate=fr>
- Hannington, M., Jamieson, J., Monecke, T., Petersen, S., & Beaulieu, S. (2011). The abundance of seafloor massive sulfide deposits. *Geology*, 39(12), 1155-1158.
- Harris, L. (2018). Innovations in Deep Seabed Mining. Dans M. J. Clifford, R. K. Perrons, S. H. Ali, & T. A. Grice, *Extracting Innovations - Mining, Energy, and Technological Change in the Digital Age* (pp. 201-205). Taylor & Francis Group, LLC.
- Hauton, C., Brown, A., Thatje, S., Mestre, N. C., Bebianno, M. J., Martins, I., . . . Weaver, P. (2017). Identifying toxic impacts of metals potentially released during deep-sea mining - a synthesis of the challenges to quantifying risk. *Frontiers in Marine Science*, 4.
- Heim, B. E. (1990). Exploring the Last Frontiers for Mineral Resources: A Comparison of International Law Regarding the Deep Seabed, Outer Space, and Antarctica. *Vanderbilt Journal of Transnational Law*, 23(4), 819-849.
- Hein, J. R., & Koschinsky, A. (2014). 13.11 - Deep-Ocean Ferromanganese Crusts and Nodules. Dans H. D. Holland, & K. K. Turekian, *Treatise on Geochemistry: Second Edition* (Vol. 13, pp. 273-291). Elsevier.
- Hein, J. R., Conrad, T. A., & Dunham, R. E. (2009). Seamount characteristics and mine-site model applied to exploration-and mining-lease-block selection for cobalt-rich ferromanganese crusts. *Marine Georesources and Geotechnology*, 27(2), 160-176.
- Hein, J. R., Koschinsky, A., & Kuhn, T. (2020). Deep-ocean polymetallic nodules as a resource for critical materials. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(3), 158-169.
- Hein, J. R., Mizell, K., Koschinsky, A., & Conrad, T. (2013). Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications: comparison with land-based resources. *Ore Geology Reviews*, 51, 1–14.
- Herring, P. J., Gaten, E., & Shelton, P. M. (1999). Are vent shrimps blinded by science? *Nature*, 398(6723), 116-116.

- Hoffert, M. (2008). *Les nodules polymétalliques dans les grands fonds océaniques - Une extraordinaire aventure minière et scientifique sous-marine*. Société géologique de France - Vuibert.
- Hume, N. (2018, Mai 4). Anglo American to exit stake in deep sea mining company. *Financial Times*. Récupéré sur <https://www.ft.com/content/ad58aee6-4fad-11e8-a7a9-37318e776bab>
- Hyun, J.-H., Kim, K.-H., Jung, H.-S., & Lee, K.-Y. (1998). Potential environmental impact of deep seabed manganese nodule mining on the synechococcus (cyanobacteria) in the northeast equatorial pacific: Effect of bottom water-sediment slurry. *Marine Georesources & Geotechnology*, 16(2), 133-143.
- ICM. (2014). *Normes de définitions de l'ICM pour les ressources minérales et les réserves minérales*. Institut canadien des mines, de la métallurgie et du pétrole (ICM).
- Ifremer. (2017, Mars 06). *Mission Futuna 3*. Récupéré sur Ifremer - Géosciences marines: <https://wwz.ifremer.fr/gm/Campagnes-et-donnees/Annees/Fiches-campagnes/Mission-Futuna-3>
- Ifremer. (2019, Octobre 3). *Grands fonds : richesses minérales et fragilité biologique*. Récupéré sur Ifremer: <https://wwz.ifremer.fr/Espace-Presse/Decryptage/Grands-fonds-richesses-minerales-et-fragilite-biologique>
- Institut de recherche pour le développement (IRD). (2018). *Mission IRD - Présentation. Wallis & Futuna du 7 au 17 Septembre*.
- International Seabed Authority (ISA). (2010). *A geological model of polymetallic nodule deposits in the Clarion-Clipperton Fracture Zone*. Technical Study No. 6.
- International Seabed Authority (ISA). (2013). *Décision du Conseil de l'Autorité internationale des fonds marins concernant les modifications à apporter au Règlement relatif à la prospection et à l'exploration des nodules polymétalliques dans la Zone et des questions connexes. ISBA/19/C/17*.
- International Seabed Authority (ISA). (2019a). *Projet de règlement relatif à l'exploitation des ressources minérales dans la Zone. Document établi par la Commission juridique et technique. ISBA/25/C/WP.1*.
- International Seabed Authority (ISA). (2019b). *Décision du Conseil de l'Autorité internationale des fonds marins concernant les rapports de la présidence de la Commission juridique et technique. ISBA/25/C/37*.
- International Seabed Authority (ISA). (2020). *Rapport annuel du Secrétaire Général - Parvenir à une utilisation durable des ressources minérales des grands fonds marins pour le bénéfice de l'humanité*.
- International Seabed Authority (ISA). (2022). *The International Seabed Authority (ISA)*. Récupéré sur [https://isa.org.jm/files/files/documents/ISA\\_brochure\\_2022.pdf](https://isa.org.jm/files/files/documents/ISA_brochure_2022.pdf)
- International Seabed Authority (ISA)a. (s.d.). *About ISA*. Récupéré sur International Seabed Authority: <https://isa.org.jm/about-isa>
- International Seabed Authority (ISA)b. (s.d.). *Exploration Contracts*. Récupéré sur International Seabed Authority (ISA): <https://www.isa.org.jm/index.php/exploration-contracts>
- International Seabed Authority (ISA)c. (s.d.). *The Mining Code: Draft Exploitation Regulations*. Récupéré sur International Seabed Authority (ISA): <https://www.isa.org.jm/mining-code/draft-exploitation-regulations>

- International Seabed Authority (ISA)d. (s.d.). *The Mining Code: Standards and Guidelines*. Récupéré sur International Seabed Authority (ISA): <https://isa.org.jm/mining-code/standards-and-guidelines>
- Jacob, C. (2017). *Approche géographique de la compensation écologique en milieu marin: analyse de l'émergence d'un système de gouvernance environnementale*. Thèse de doctorat, Université Paul Valéry-Montpellier III.
- JOGMEC. (2020, Août 21). JOGMEC Conducts World's First Successful Excavation of Cobalt-Rich Seabed in the Deep Ocean. *News Release*.
- Jones, D. O., Durden, J. M., Murphy, K., Gjerde, K. M., Gebicka, A., Colaço, A., . . . Billett, D. S. (2019). Existing environmental management approaches relevant to deep-sea mining. *Marine Policy*, 103, 172-181.
- Jones, D. O., Kaiser, S., Sweetman, A. K., Smith, C. R., Menot, L., Vink, A., . . . Clark, M. R. (2017). Biological responses to disturbance from simulated deep-sea polymetallic nodule mining. *PLoS One*, 12(2), e0171750.
- Jones, N. (2019). The Quest for Quieter Seas. *Nature*, 568, 158-161.
- Jost, C. (2010). Jeux et enjeux géopolitiques et économiques dans le Pacifique nord-oriental. *Diplomatie : affaires stratégiques et relations internationales*(13), 51-55.
- Koschinsky, A., Heinrich, L., Boehnke, K., Cohrs, J. C., Markus, T., Shani, M., . . . Werner, W. (2018). Deep-sea mining: Interdisciplinary research on potential environmental, legal, economic, and societal implications. *Integrated environmental assessment and management*, 14(6), 672-691.
- Krutilla, K., Good, D., Toman, M., & Arin, T. (2021). Addressing Fundamental Uncertainty in Benefit-Cost Analysis: The Case of Deep Seabed Mining. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 12(1), 122-151.
- L'Hostis, D. (2017). Les ressources minérales des grands fonds océaniques : des enjeux environnementaux majeurs. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*(86), 104-107.
- La Banque mondiale. (2017). *Precautionary Management of Deep Sea Minerals. Pacific Possible Background Paper No.2*. . Washington, DC: World Bank.
- La Banque mondiale. (2021a). *PIB par habitant, (\$ PPA internationaux courants) - Nauru*. Récupéré sur La Banque mondiale · BIRD · IDA: <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.PCAP.PP.CD>
- La Banque mondiale. (2021b). *Population, total - Nauru*. Récupéré sur La Banque mondiale · BIRD · IDA: <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.POP.TOTL?locations=NR>
- Le Meur, P.-Y., & Muni Toke, V. (2021). Une frontière virtuelle : l'exploitation des ressources minérales profondes dans le Pacifique. *VertigO - La revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 33*.
- Le Meur, P.-Y., Cochonot, P., David, C., Geronimi, V., & Samadi, S. (2016). *Les ressources minérales profondes en Polynésie française / Deep-sea mineral resources in French Polynesia*. Marseille: IRD éditions.
- Leal Filho, W., Abubakar, I. R., Nunes, C., Platje, J. J., Ozuyar, P. G., Will, M., . . . Li, C. (2021). Deep Seabed Mining: A Note on Some Potentials and Risks to the Sustainable Mineral Extraction from the Oceans. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(5), 521.
- Lescuyer, T. (2014, Juin 06). Nautilus Minerals, un pionnier qui sent le soufre. *novethic*. Récupéré sur <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/pollution/isr-rse/nautilus-minerals-un-pionnier-qui-sent-le-soufre-142537.html>

- Louison, F. (2021, Août 03). Exploitation minière des océans : la ruée vers le fond. *Mediapart*.  
Récupéré sur <https://www.mediapart.fr/journal/international/030821/exploitation-mini%C3%A8re-des-oc%C3%A9ans-la-ru%C3%A9e-vers-le-fond>
- Maillard, J.-C. (2006). Économie maritime et insularité : le cas des îles tropicales. *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, 59(234), 167-198.
- Merchant, N. D. (2019). Underwater noise abatement: Economic factors and policy options. *Environmental Science & Policy*, 92, 116-123.
- Mestre, N. C., Calado, R., & Soares, A. M. (2014). Exploitation of deep-sea resources: the urgent need to understand the role of high pressure in the toxicity of chemical pollutants to deep-sea organisms. *Environmental Pollution*, 185, 369-371.
- Mestre, N. C., Rocha, T. L., Canals, M., Cardoso, C., Danovaro, R., Dell'Anno, A., . . . João Bebianno, M. (2017). Environmental hazard assessment of a marine mine tailings deposit site and potential implications for deep-sea mining. *Environmental Pollution*, 228, 169-178.
- Mesulam, J., & Lowrey, N. (2021, Décembre). Alliance of Solwara Warriors: Our culture, our heritage, our future. *Chain Reaction*(141), pp. 24-25.
- MIDAS. (2016). *Managing Impacts of Deep Sea Resource Exploitation - Research Highlights*.  
Récupéré sur [https://www.eu-midas.net/sites/default/files/downloads/MIDAS\\_research\\_highlights\\_low\\_res.pdf](https://www.eu-midas.net/sites/default/files/downloads/MIDAS_research_highlights_low_res.pdf)
- Miljutin, D. M., Miljutina, M. A., Arbizu, P. M., & Galéron, J. (2011). Deep-sea nematode assemblage has not recovered 26 years after experimental mining of polymetallic nodules (Clarion-Clipperton Fracture Zone, Tropical Eastern Pacific). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 58(8), 885-897.
- Miller, K. A., Thompson, K. F., Johnston, P., & Santillo, D. (2018). An Overview of Seabed Mining Including the Current State of Development, Environmental Impacts, and Knowledge Gaps. *Frontiers in Marine Science*, 4, 1-24.
- Mizell, K. (2021, Août 26). *2021 North Atlantic Stepping Stones: New England and Corner Rise Seamounts*. Récupéré sur NOAA Ocean Exploration: <https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/explorations/ex2104/features/nodule/welcome.html>
- Montserrat, F., Guilhon, M., Corrêa, P., Bergo, N., Signori, C., Tura, P., . . . Turra, A. (2019). Deep-sea mining on the Rio Grande Rise (Southwestern Atlantic): A review on environmental baseline, ecosystem services and potential impacts. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 145, 31-58.
- Mora, C., & Sale, P. F. (2011). Ongoing global biodiversity loss and the need to move beyond protected areas: a review of the technical and practical shortcomings of protected areas on land and sea. *Marine ecology progress series*, 434, 251-266.
- Morello, E. B., Haywood, M. D., Brewer, D. T., Apte, S. C., Asmund, G., Kwong, Y., & Dennis, D. (2016). The Ecological Impacts of Submarine Tailings Placement. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, 54, 315-366.
- Nautilus Minerals Niugini. (2008). *Environmental Impact Statement - Solwara 1 Project - Executive Summary*.
- Niner, H. J., Ardron, J. A., Escobar, E. G., Gianni, M., Jaeckel, A., Jones, D. O., . . . Gjerde, K. M. (2018). Deep-sea mining with no net loss of biodiversity - an impossible aim. *Frontiers in Marine Science*, 5, 53.

- NOAA Ocean Exploration. (2019, Août 29). *Deep Connections 2019: Exploring Atlantic Canyons and Seamounts of the U.S. and Canada · Dive 01: Gully Canyon*. Récupéré sur NOAA Ocean Exploration: <https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/explorations/ex1905/dailyupdates/aug29/aug29.html>
- Ocean and Climate. (2016). *The interactions between ocean and climate - Fact sheets, Second Edition*.
- Ochoa, C. (2021). Contracts on the Seabed. *The Yale Journal of International Law*, 46, 103-153.
- Ochromowicz, K., Aasly, K., & Kowalczyk, P. B. (2021). Recent Advancements in Metallurgical Processing of Marine Minerals. *Minerals*, 11(12), 1437.
- Oebius, H. U., Becker, H. J., Rolinski, S., & Jankowski, J. A. (2001). Parametrization and evaluation of marine environmental impacts produced by deep-sea manganese nodule mining. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 48(17-18), 3453-3467.
- Oraison, A. (2006). Remarques sur la conservation et la gestion durable des ressources naturelles des grandes profondeurs océaniques. La notion de "patrimoine commun de l'humanité" en droit international de la mer et la nécessité de son élargissement [...] environnement. *Revue Européenne de Droit de l'Environnement*, 3, 275-288.
- Organisation des Nations unies (ONU). (1970). *Résolution n°2749. Déclaration des principes régissant le fonds des mers et des océans, ainsi que leur sous-sol, au-delà de la juridiction nationale*.
- Organisation des Nations unies (ONU). (1994a). Accord relatif à l'application de la partie XI de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer du 10 décembre 1982.
- Organisation des Nations unies (ONU). (1994b). *Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (avec annexes, acte final et procès-verbaux de rectification de l'acte final en date des 3 mars 1986 et 26 juillet 1993). Conclue à Montego Bay le 10 décembre 1982*.
- Organisation des Nations unies (ONU). (2022, Septembre 11). *Chapitre XXI - Droit de la mer - Convention des Nations Unies sur le droit de la mer*. Récupéré sur Nations Unies - Collection des Traités: [https://treaties.un.org/pages/ViewDetailsIII.aspx?src=TREATY&mtdsg\\_no=XXI-6&chapter=21&Temp=mtdsg3&clang=\\_fr#1](https://treaties.un.org/pages/ViewDetailsIII.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXI-6&chapter=21&Temp=mtdsg3&clang=_fr#1)
- Papua New Guinea Mine Watch. (2012, Octobre 18). *New Ireland locals fear Nautilus destroying shark calling*. Récupéré sur Deep Sea Mining Campaign: <http://www.deepseaminingoutfourdepth.org/new-ireland-locals-fear-nautilus-destroying-shark-calling/>
- Parent, V. (2013). *L'humanité et le droit international*. Université de Montréal.
- Parianos, J. (2016). *Nautilus Minerals - General Update*. Récupéré sur <https://www.gceocean.no/media/1569/160428-subsea-innovation-day-deep-sea-mining-nautilus-minerals.pdf>
- Parlement européen. (2018, Janvier 16). *Résolution du Parlement européen du 16 janvier 2018 sur la gouvernance internationale des océans: un programme pour l'avenir de nos océans dans le contexte des objectifs de développement durable à l'horizon 2030 (2017/2055(INI))*. Journal Officiel de l'Union européenne.
- Parlement européen. (2021, Juin 09). *Résolution du Parlement européen du 9 juin 2021 sur la stratégie de l'UE en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030: Ramener la nature dans nos vies (2020/2273(INI))*. Journal Officiel de l'Union européenne.
- Perez, M. (2021, Juillet 09). *L'océan, puits de carbone à l'avenir incertain*. Récupéré sur CNRS: <https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/locean-puits-de-carbone-lavenir-incertain>

- Petterson, M. G., & Tawake, A. (2019). The Cook Islands (South Pacific) experience in governance of seabed manganese nodule mining. *Ocean and Coastal Management*, 167, 271-287.
- Pew Charitable Trust. (2018). *Deep Sea Mining: The Basic. Fact Sheet*.
- Phillips, B. T., Gruber, D. F., Vasan, G., Roman, C. N., Pieribone, V. A., & Sparks, J. S. (2016). Observations of in situ deep-sea marine bioluminescence with a high-speed, high-resolution sCMOS camera. *Deep-Sea Research I*, 111, 102-109.
- Pinto-Bazurco, J. F. (2020). The Precautionary Principle. (IISD, Éd.) *Still Only One Earth*(4).
- Pollock, N. J. (2014). Nauru phosphate history and the resource curse narrative. *Journal de la Société des Océanistes*(138-139), 107-120.
- Préfecture de Wallis-et-Futuna. (2019, Février 20). *Mission de l'IRD, réunion publique le 10 septembre 2018*. Récupéré sur Préfet des îles Wallis et Futuna - Les services de l'État et du Territoire à Wallis et Futuna: <https://www.wallis-et-futuna.gouv.fr/Publications/Autres-dossiers-archives/Articles-archives/2018/Mission-de-l-IRD-reunion-publique-le-10-septembre-2018>
- Purser, A., Marcon, Y., Hoving, H.-J. T., Vecchione, M., Piatkowski, U., Eason, D., . . . Boetius, A. (2016). Association of deep-sea incirrate octopods with manganese crusts and nodule fields in the Pacific Ocean. *Current Biology*, 26, 1268-1269.
- Radisson, L. (2021, Septembre 09). Extraction minière en eaux profondes : la France opposée au moratoire réclamé par l'UICN. *Actu Environnement*. Récupéré sur <https://www.actu-environnement.com/ae/news/extraction-miniere-fonds-marins-france-moratoire-uicn-38142.php4>
- Ramirez-Llodra, E., Trannum, H. C., Evenset, A., Levin, L. A., Andersson, M., Finne, E. T., . . . Vanreusel, A. (2015). Submarine and deep-sea mine tailing placements: A review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in Norway and internationally. *Marine Pollution Bulletin*, 97, 13-35.
- Read, A. W. (2022). Unilateral and Multilateral Deep-Sea Mineral Mining Regulations: Why an Effective Enforcement Mechanism is Needed in Order to Promote Responsible Mining Practices in the Future. *Ocean and Coastal Law Journal*, 27(1), 187-232.
- Revéret, J.-P., & Dancette, R. (2010). Biodiversité marine et accès aux ressources: Pêche et autres biens et services écologiques sous pression extrême. *Revue Tiers Monde*, 202, 75-92.
- Roche, C., & Bice, S. (2013). Anticipating Social and Community Impacts of Deep Sea Mining. Dans Secretariat of the Pacific Community (SPC), *Deep Sea Minerals: Deep Sea Minerals and the Green Economy* (pp. 59-80). Baker, E., and Beaudoin, Y. (Eds.). Vol. 2. Secretariat of the Pacific Community (SPC).
- Roche, C., & Feenan, J. (2013). Drivers for the development of deep sea minerals in the Pacific. Dans Secretariat of the Pacific Community (SPC), *Deep Sea Minerals: Deep Sea Minerals and the Green Economy* (pp. 22-40). Baker, E., and Beaudoin, Y. (Eds.). Vol. 2. Secretariat of the Pacific Community (SPC).
- Rolinski, S., Segschneider, J., & Sündermann, J. (2001). Long-term propagation of tailings from deep-sea mining under variable conditions by means of numerical simulations. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 48(17-18), 3469-3485.
- Sarradin, P.-M., Sarrazin, J., & Lallier, F. H. (2017). Les impacts environnementaux de l'exploitation minière des fonds marins : un état des lieux des connaissances. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*(85), 30-34.

- Scheltinga, D., & Heydon, L. (2005). *Report on the Condition of Estuarine, Coastal and Marine Resources of the Burdekin Dry Tropics Region*. Cooperative Research Centre for Coastal Zone, Estuary and Waterway Management.
- Schriever, G., & Thiel, H. (2013). Tailings and their disposal in deep-sea mining. *Proceedings of the Tenth (2013) ISOPE Ocean Mining and Gas Hydrates Symposium*, 5-17.
- Secretariat of the Pacific Community (SPC). (2013). *Deep Sea Minerals: Sea-Floor Massive Sulphides, a physical, biological, environmental, and technical review*. Baker, E., and Beaudoin, Y. (Eds.). Vol. 1A. Secretariat of the Pacific Community (SPC).
- Sénat. (2014). *Rapport d'information fait au nom de la délégation sénatoriale à l'outre-mer (1), sur : Zones économiques exclusives (ZEE) ultramarines : le moment de vérité - Par MM. Jean-Étienne ANTOINETTE, Joël GUERRIAU et Richard TUHEIAVA*.
- Sénat. (2022a). *Mission d'information sur les fonds marins - Audition de Me Virginie Tassin Campanella, (Barreaux de Paris & Zürich, VTA Tassin), experte du droit de la mer [...] et de Mme Anne Caillaud, chargée de programme outre-mer, Comité français de l'UICN*.
- Sénat. (2022b). *Rapport d'information fait au nom de la mission d'information sur "L'exploration, la protection et l'exploitation des fonds marins : quelle stratégie pour la France ?"*.
- Sharma, R. (2015). Environmental Issues of Deep-Sea Mining. *Procedia Earth and Planetary Science*, 11, 204-211.
- Shulze, C. N., Maillot, B., Smith, C. R., & Church, M. J. (2016). Polymetallic nodules, sediments, and deep waters in the equatorial North Pacific exhibit highly diverse and distinct bacterial, archaeal, and microeukaryotic communities. *MicrobiologyOpen*, 1-16.
- Simon-Lledó, E., Bett, B. J., Huvenne, V. A., Köser, K., Schoening, T., Greinert, J., & Jones, D. O. (2019). Biological effects 26 years after simulated deep-sea mining. *Scientific reports*, 9(1), 1-13.
- Slack, J. F., Kimball, B. E., & Shedd, K. B. (2017). Cobalt, , Chapter F. Dans K. J. Schulz, J. H. DeYoung, R. R. Seal, & D. C. Bradley, *Critical mineral resources of the United States - Economic and environmental geology and prospects for future supply* (pp. F1–F40). U.S. Geological Survey: Professional Paper 1802.
- Smith, C. R., Tunnicliffe, V., Colaço, A., Drazen, J. C., Gollner, S., Levin, L. A., . . . Amon, D. J. (2020). Deep-sea misconceptions cause underestimation of seabed-mining impacts. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(10), 853-857.
- Spearman, J., Taylor, J., Crossouard, N., Cooper, A., Turnbull, M., Manning, A., . . . Murton, B. (2020). Measurement and modelling of deep sea sediment plumes and implications for deep sea mining. *Scientific reports*, 10(1), 1-14.
- Steinberg, D. K., & Landry, M. R. (2017). Zooplankton and the ocean carbon cycle. *Annual review of marine science*, 9(1), 413-444.
- Stirling, A. (2000). Sciences et risques : aspects théoriques et pratiques d'une approche de précaution. Dans E. Zaccai, & J.-N. Missa, *Le principe de précaution - Significations et conséquences* (pp. 73-103). Éditions de l'Université de Bruxelles.
- Stocks, M. (Réalisateur). (2021). *Nos océans surexploités - La ruée vers la mer* [Film]. Allemagne. Récupéré sur [https://www.arte.tv/fr/videos/098421-000-A/nos-océans-surexploites-la-ruée-vers-la-mer/?fbclid=IwAR2DthEzMwgnhUBe7m\\_VDY71Bqdmu1m95vJPbXZiKezRVgcVLk6Wjz9y-Y](https://www.arte.tv/fr/videos/098421-000-A/nos-océans-surexploites-la-ruée-vers-la-mer/?fbclid=IwAR2DthEzMwgnhUBe7m_VDY71Bqdmu1m95vJPbXZiKezRVgcVLk6Wjz9y-Y)

- Stratmann, T., Lins, L., Purser, A., Marcon, Y., Rodrigues, C. F., Ravara, A., . . . van Oevelen, D. (2018). Abyssal plain faunal carbon flows remain depressed 26 years after a simulated deep-sea mining disturbance. *Biogeosciences*, 15, 4131-4145.
- Stuchtey, M., Vincent, A., Merkl, A., Bucher, M., Haugan, P. M., Lubchenco, J., & Pangestu, M. E. (2020). *Ocean solutions that benefit people, nature and the economy*. Washington, DC: World Resources Institute.
- Sustainable Ocean Alliance (SOA) France. (2022, Juillet 05). L'industrie minière menace le dernier puits de carbone de notre planète. *Le Club de Mediapart*. Récupéré sur <https://blogs.mediapart.fr/soalliance/blog/050722/lindustrie-mini%C3%A8re-menace-le-dernier-puits-de-carbone-de-notre-planete>
- Sverdrup, H., Koca, D., & Ragnarsdottir, K. V. (2014). Investigating the sustainability of the global silver supply, reserves, stocks in society and market price using different approaches. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 121-140.
- Swaddling, A. (2016). *Pacific-ACP States regional environmental management framework for deep sea minerals exploration and exploitation*. Secretariat of the Pacific Community (SPC).
- SystExt. (2021). *Controverses minières - Pour en finir avec certaines contrevérités sur la mine et les filières minérales - Volet 1*.
- Tassin, V. J. (2016). Stratégie maritime - L'extension du plateau continental: entre avancées et tâtonnements. *Revue Défense Nationale*(786), 119-122.
- Taylor, M. (2019, Juillet 03). Deep-sea mining to turn oceans into 'new industrial frontier'. *The Guardian*. Récupéré sur <https://www.theguardian.com/environment/2019/jul/03/deep-sea-mining-to-turn-oceans-into-new-industrial-frontier>
- Tchékémian, A. (2022). Clipperton, seul territoire français dans l'océan Pacifique nord-oriental : quels enjeux environnementaux et géopolitiques ? *Études caribéennes*(51).
- Traité sur l'Antarctique. (1959).
- Traité sur les principes régissant les activités des Etats en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la lune et les autres corps célestes. (1967).
- Trent Long, M., & Colombie, S. (2019, Novembre 15). *Podcast: The damaging failure of seabed mining in Papua New Guinea*. Récupéré sur China Dialogue Ocean: <https://chinadialogueocean.net/en/conservation/11653-solwara-1-nautilus-seabed-mining-podcast-2/>
- UICN. (2021a). WCC 2020 Res 121 · Réduire les impacts de l'industrie minière sur la biodiversité. Récupéré sur [https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC\\_2020\\_RES\\_121\\_FR.pdf](https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2020_RES_121_FR.pdf)
- UICN. (2021b). WCC 2020 Res 122 · Protection des écosystèmes et de la biodiversité des grands fonds marins par un moratoire sur l'exploitation minière des fonds marins. Récupéré sur [https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC\\_2020\\_RES\\_122\\_FR.pdf](https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2020_RES_122_FR.pdf)
- UNEP FI. (2022). *Harmful Marine Extractives: Understanding the risks & impacts of financing non-renewable extractive industries*. Geneva.
- UNEP FI. (s.d.). *Sustainable Blue Finance - Mobilising Capital for a Sustainable Ocean*. Récupéré sur UN Environment Programme · Finance initiative: <https://www.unepfi.org/blue-finance/>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2006). *Marine and coastal ecosystems and human well-being: A synthesis report based on the findings of the Millennium Ecosystem Assessment*. United Nations Environment Programme (UNEP).

- United Nations Environment Programme (UNEP). (2011). *Recycling rates of metals - A status report*. A report of the working group on the global metal flows to the International Resource Panel. Graedel, T.E. ; Allwood, J. ; Birat, J.-P. ; Reck, B.K. ; Sibley, S.F. ; Sonnemann, G. ; Buchert, M ; Hagelüken, C.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2014). *Wealth in the Oceans: Deep sea mining on the horizon?* UNEP Global Environmental Alert Service (GEAS).
- Van Dover, C. L. (2014). Impacts of anthropogenic disturbances at deep-sea hydrothermal vent ecosystems: a review. *Marine environmental research*, 102, 59-72.
- Van Dover, C. L., Ardron, J., Escobar, E., Gianni, M., Gjerde, K., Jaeckel, A., . . . Weaver, P. (2017). Biodiversity loss from deep-sea mining. *Nature Geoscience*, 10(7), 464-465.
- Van Dover, C. L., Aronson, J., Pendleton, L., Smith, S., Arnaud-Haond, S., Moreno-Mateos, D., . . . Warner, R. (2014). Ecological restoration in the deep sea: Desiderata. *Marine Policy*, 44, 98-106.
- Van Gosen, B. S., Verplanck, P. L., Seal, R. R., Long, K. R., & Gambogi, J. (2017). Rare-earth elements, Chapter O. Dans K. J. Schulz, J. H. DeYoung, R. R. Seal, & D. C. Bradley, *Critical mineral resources of the United States - Economic and environmental geology and prospects for future supply* (pp. O1–O31). U.S. Geological Survey: Professional Paper 1802.
- Vanreusel, A., Hilario, A., Ribeiro, P. A., Menot, L., & Arbizu, P. M. (2016). Threatened by mining, polymetallic nodules are required to preserve abyssal epifauna. *Scientific Reports*, 6, 1-6.
- Vare, L. A., Baker, M. C., Howe, J. A., Levin, L. A., Neira, C., Ramirez-Llodra, E. Z., . . . Soto, E. H. (2018). Scientific Considerations for the Assessment and Management of Mine Tailings Disposal in the Deep Sea. *Frontiers in Marine Science*, 5, 1-14.
- Wakefield, J. R., & Myers, K. (2018). Social cost benefit analysis for deep sea minerals mining. *Marine Policy*, 95, 346-355.
- Wallis & Futuna la 1ère. (2018, Septembre 13). Les chefferies de Futuna disent "Non" à toute mission sur les ressources sous-marines. *Wallis & Futuna la 1ère*. Récupéré sur <https://la1ere.francetvinfo.fr/wallisfutuna/futuna/chefferies-futuna-disent-non-toute-mission-ressources-marines-627156.html>
- Watts, J. (2021, Septembre 27). Race to the bottom: the disastrous, blindfolded rush to mine the deep sea. *The Guardian*. Récupéré sur <https://www.theguardian.com/environment/2021/sep/27/race-to-the-bottom-the-disastrous-blindfolded-rush-to-mine-the-deep-sea>
- Willaert, K. (2020). Crafting the perfect deep sea mining legislation: A patchwork of national laws. *Marine Policy*, 119, 104055.
- Willaert, K. (2021). The Enterprise: state of affairs, challenges and way forward. *Marine Policy*, 131, 104590.
- Willaert, K. (2022). Transparency in the field of deep sea mining: Filtering the murky waters. *Marine Policy*, 135, 104840.
- Woody, T. (2020, Mai 07). *Covid-19 throws seabed mining negotiations off track*. Récupéré sur China Dialogue Ocean: <https://chinadialogueocean.net/en/governance/13685-covid-19-could-throw-seabed-mining-negotiations-off-track/>
- Zientek, M. L., Loferski, P. J., Parks, H. L., Schulte, R. F., & Seal, R. R. (2017). Platinum-group elements, Chapter N. Dans K. J. Schulz, J. H. DeYoung, R. R. Seal, & D. C. Bradley, *Critical mineral resources of the United States - Economic and environmental geology and prospects for future supply* (pp. N1–N91). U.S. Geological Survey: Professional Paper 1802.

