

et compacterait le plancher océanique partout où elle passerait. Or une grande diversité d'organismes d'une taille dépassant la cinquantaine de micromètres vivent dans les nodules ou dans les sédiments. La plupart de ces organismes ne résisteront pas au prélèvement de la couche superficielle du fond ou au nuage de sédiments qui se redéposera.

Des microorganismes plus petits, notamment des bactéries, constituent le reste de la biomasse. On ne sait pas exactement ce qui arrivera à ces minuscules espèces. Projetées vers le haut avec les sédiments, elles se redéposeront au fond quelques kilomètres plus loin. Celles dont l'existence dépend des nodules auront sans doute du mal à survivre. Comme les nodules mettent des millions d'années à se former et que, dans l'océan profond, les communautés biologiques éloignées des événements hydrothermaux sont très lentes à se développer, il est probable que les régions exploitées ne retrouveront pas leur état antérieur avant une durée bien plus longue que la vie humaine.

Ainsi, il y a près de 30 ans, des chercheurs allemands ont utilisé un traîneau pour simuler le dragage le long d'un chemin d'extraction; quand les lieux ont été revisités en 2015, les traces de passage de l'engin semblaient encore toutes fraîches.

L'impact des nuages de sédiments relâchés par les navires est très difficile à évaluer

L'impact du nuage de sédiments émis par la machine collectrice est un autre sujet de préoccupation. Des courants de quelques centimètres par seconde parcourent le fond de l'océan; ils pourraient emporter les particules à plusieurs kilomètres du lieu d'extraction. Majoritairement très fines, avec un diamètre de l'ordre de 0,02 millimètre, ces particules sédimentent à une vitesse d'environ 1 millimètre par seconde. Comme les nuages de sédiments émis par les machines atteindront une dizaine de mètres de haut au sein des courants de fond, ces particules pourraient être déplacées d'une dizaine de kilomètres de leur lieu d'émission.

Cette estimation est peut-être trop simpliste, car les particules fines ont tendance à flocculer, c'est-à-dire à former des agrégats se déposant plus vite que les particules isolées, ce qui limite l'étendue des nuages. Mais comme le taux de sédimentation dans les grands fonds est extrêmement faible, de l'ordre du millimètre par millier d'années seulement, les biologistes pensent que même le dépôt de très faibles quantités de sédiments émis par les machines collectrices suffirait à étouffer la vie sur le plancher océanique jusqu'à des distances dépassant la dizaine de kilomètres.

Le compactage du fond par le passage de la machine collectrice est aussi un problème. L'étude des effets des tempêtes abyssales qui, de temps à autre, raclent les sédiments des grands fonds fournira peut-être des éléments d'information précieux à cet égard.

Quant à l'impact des nuages de sédiments relâchés par les navires sur l'environnement marin et son écologie, il est très difficile à évaluer. Les courants qui animent les couches supérieures de l'océan sont plus rapides et plus turbulents. La conduite rejetant les sédiments pourrait descendre à plusieurs centaines de mètres de profondeur. Elle émettra un nuage de forme plus ou moins conique, qui sera dilué et distordu par les courants, puis transporté sur plusieurs kilomètres par jour.

Au cours de l'expérience que nous avons menée au large de San Diego en février 2018, nous avons suivi le nuage à l'aide de plusieurs instruments. Nous avons constaté que les courants océaniques le rendaient sinueux, et observé la formation de filaments entremêlés. Un appareil sous-marin et remorqué en a prélevé des échantillons. Nous analysons les données recueillies afin d'en tirer les principales informations, telles que les concentrations en sédiments à proximité ou à distance de la conduite.

Les chercheurs tentent aussi de savoir dans quelle mesure la destruction de la vie dans une zone minière affectera les écosystèmes locaux, ainsi que les communautés abyssales adjacentes ou distantes de plusieurs kilomètres. Au sein de la zone de fracture de Clarion-Clipperton, l'AIFM a décidé de protéger neuf grandes régions et travaille aussi à l'établissement de zones protégées au sein de chaque zone contractuelle. Des spécialistes surveilleront en outre ces sanctuaires afin d'évaluer l'impact de l'extraction.

Il importe aussi de comparer les avantages et inconvénients de l'extraction minière en mer et sur terre. En République démocratique du Congo, qui fournit 60% du cobalt utilisé sur la planète, l'exploitation minière se traduit par de la déforestation et de la pollution atmosphérique, sans parler de l'exploitation des enfants dans les mines. Dans certains pays, les ➤

ET LA FRANCE DANS TOUT CELA?

Dans les années 1970, la France a été pionnière dans la découverte des sources hydrothermales métallifères et dans l'exploration des zones à nodules de la zone de fracture de Clarion-Clipperton (CCFZ), située dans le Pacifique Nord équatorial. L'exploration du fond de l'océan à la recherche de gisements métallifères a ensuite connu un fort ralentissement en raison de la situation sur le marché des métaux. Puis, dans les années 2000, l'intérêt pour les trois types de ressources minérales marines profondes – les nodules polymétalliques dans les plaines abyssales, les amas sulfurés le long des dorsales océaniques et des bassins proches des arcs volcaniques, et les encroûtements cobaltifères sur les pentes des monts sous-marins – est revenu.

C'est pourquoi, dans le cadre de la stratégie nationale relative à l'exploration et à l'exploitation minières des grands fonds marins, l'État français patronne l'Ifremer (l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer), qui a signé deux contrats d'exploration des ressources minières en océan profond avec l'Autorité internationale pour les fonds marins (AIFM), et en assure la gestion.

Signé en 2001, le contrat d'exploration des nodules dans la zone de Clarion-Clipperton concerne les nodules polymétalliques dans un secteur de 75 000 kilomètres carrés et court jusqu'en 2021. Les recherches effectuées sur la zone dans les années 1970 et 1980, puis pendant les 15 premières années du contrat, ont permis d'aboutir à une



Quelques exemples de nodules polymétalliques rapportés de l'océan profond. Une telle concrétion contient typiquement 25 % de son poids en manganèse et 3 % en cobalt, en cuivre et en nickel.

première estimation de la ressource, ainsi qu'à une meilleure connaissance de l'écosystème benthique. Les recherches se concentrent aujourd'hui sur les impacts qu'aurait une exploitation, notamment sur la vie marine profonde.

Signé en 2014, le contrat d'exploration des sulfures a été signé pour 15 ans. Il vise à explorer les sulfures polymétalliques d'une zone de la dorsale médioatlantique localisée entre 21° N et 26° N, par une profondeur moyenne de 3 400 mètres. Les travaux d'exploration menés ont pour objectifs l'évaluation des minéralisations, la recherche de sites hydrothermaux, l'évaluation de la biodiversité et des facteurs environnementaux.

Une expertise collective sur les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales profondes a été menée

Pour compléter cet appui à la puissance publique, l'Ifremer explore aussi des grands fonds, y mène des recherches sur la formation des ressources minérales et développe des technologies de reconnaissance, d'observation et d'intervention sous-marine à plusieurs échelles. Avec le CNRS, il a aussi réalisé une expertise collective sur les impacts environnementaux de l'exploration et

de l'exploitation des ressources minérales profondes (voir la bibliographie ci-contre). L'institut a par ailleurs participé à un projet de recherche européen intitulé «Aspects écologique de l'activité minière en mer profonde» (Ecological aspects of deep-sea mining), qui visait à évaluer les impacts à long terme d'une exploitation des nodules polymétalliques sur l'environnement profond. La suite de cette action pilote s'articulera autour du suivi environnemental du test d'un prototype de collecteur de nodules prévu par le contractant belge GSR-Deme en 2019 dans la CCFZ.

Afin de mieux comprendre les organismes vivants autour des sources hydrothermales, leur cycle de vie, leur capacité de dispersion, etc., l'Ifremer pilote aussi un projet de recherche en collaboration avec l'université Pierre-et-Marie-Curie, le Muséum national d'histoire naturelle et l'Institut océanographique méditerranéen. Deux campagnes scientifiques ont déjà été réalisées en 2014 et 2018 (*Bicose 1 & 2*) sur le site du permis sulfures.

Enfin, en collaboration avec le CNRS et dans le cadre de l'infrastructure européenne Emso-Eric, l'Ifremer pilote le fonctionnement d'un observatoire du fond marin au sud des Açores sur le champ hydrothermal Lucky Strike. Cet observatoire est opéré depuis 2010 et vise à acquérir des séries temporelles de données sur les processus hydrothermaux, tectoniques, volcaniques et les écosystèmes d'un site hydrothermal actif de la dorsale médioatlantique.

**PIERRE-MARIE SARRADIN
ET SÉBASTIEN YBERT**
Ifremer

► entreprises qui extraient le minerai de nickel sont en train d'épuiser les gisements faciles d'accès, et se tournent vers des gisements dont l'exploitation exige plus d'énergie et davantage de traitements chimiques, et qui aura donc un plus fort impact environnemental.

L'impact des usines exploitant les nodules doit aussi être considéré. Si un nodule ne renferme que 30% de métaux intéressants, le reste constitue du déchet, généralement sous forme de boue. Aujourd'hui, les usines de traitement des minerais renvoient ces boues dans la mine d'où elles ont été tirées. Mais on ne saura pas quoi faire de celles produites par l'exploitation de millions de nodules océaniques. D'un autre côté, l'extraction minière marine présente l'avantage de ne laisser sur place aucune infrastructure lorsqu'un navire d'extraction quitte une zone pour une autre. Il n'en va pas de même à terre, où d'anciennes installations minières encombrant partout le paysage...

Afin de diminuer les besoins en minerais et les impacts environnementaux associés, il est essentiel que la société développe à l'échelle planétaire un recyclage efficace des métaux. Pour autant, la récupération ne suffira pas à satisfaire la demande, qui est en augmentation constante. Il est aujourd'hui difficile de dire si, à quantité de minerai équivalente, l'exploitation du plancher océanique aura des conséquences environnementales plus graves que celles de l'extraction terrestre.

Bien entendu, la régulation des activités minières aura un effet sur ce bilan. L'AIFM ne dispose pas de navires pour inspecter les exploitations, de sorte qu'elle partage cette responsabilité avec les nations parrainant les entreprises minières. Elle ne peut que révoquer le permis d'un pays ou d'une entreprise, suspendre les opérations ou imposer une amende si elle parvient à la conclusion que les opérations minières menées dans une zone ne respectent pas les normes environnementales.

Quatorze des pays membres des Nations unies ont signé la CNUDM, mais ne l'ont pas ratifiée (dont les États-Unis), et 15 autres membres ne l'ont pas signée. Ces 29 États pourraient essayer d'exploiter les eaux internationales sans respecter les règles de l'AIFM, laquelle devrait alors s'en remettre à la diplomatie internationale pour régler le litige.

L'organisation a publié une ébauche de la réglementation qu'elle prévoit pour l'exploitation minière dans les eaux internationales. Les règles correspondantes visent à tout couvrir à terme, de l'émission d'un permis d'exploration et d'exploitation jusqu'aux mesures à prendre pour protéger l'environnement marin. L'AIFM prévoit l'entrée en application de ces règles d'ici à 2020. Quant à l'activité dans les usines terrestres de traitement des nodules, sa régulation relèvera des pays les accueillant.

Un autre aspect important de la problématique posée par l'émergence d'une industrie minière en mer est l'exploitation au sein des zones économiques exclusives des différents pays. Certains pays n'ont pas de mers profondes dans cette zone qui s'étend jusqu'à 200 milles nautiques (370 kilomètres) à partir de la côte. D'autres en ont beaucoup, en particulier les États insulaires du Pacifique. Certains pays, telle la République des Palaos, ont purement et simplement rejeté l'exploitation minière de leur plancher océanique. D'autres, tels les Tonga, les Kiribati et les Îles Cook, mettent une régulation en place et recherchent des partenaires industriels. Les Îles Cook ont par exemple signé un contrat avec la société américaine Ocean Minerals, qui accorde à l'entreprise la priorité quant à la prospection à la recherche de nodules cobaltifères de ses 23000 kilomètres carrés de zone économique exclusive.

L'EXPLOITATION MINIÈRE DES FONDS MARINS EST SUR LE POINT DE DEVENIR UNE RÉALITÉ

L'exploitation minière des grands fonds marins est ainsi sur le point de devenir une réalité. Étant donné son intérêt économique et stratégique croissant, certains États pourraient lancer une exploitation pilote dans les 5 à 10 prochaines années. Il est souhaitable dans cette perspective que toutes les parties concernées coopèrent, comme elles l'ont fait jusqu'à présent, les essais industriels à petite échelle se faisant conjointement aux indispensables recherches scientifiques.

De fait, une grande partie de ce que nous savons des écosystèmes et des ressources dans les zones économiques exclusives est le fruit d'études menées en conjonction avec les entreprises. Notre expédition de San Diego, par exemple, a été financée par le MIT (l'institut de technologie du Massachusetts), l'institut Scripps d'océanographie en collaboration avec l'Autorité internationale des fonds marins, l'institut d'études géologiques des États-Unis (USGS) et l'entreprise GSR. En 2019, le projet européen *JPI Oceans* effectuera une étude dans la zone de fracture de Clarion-Clipperton en collaboration avec l'AIFM et GSR.

Certaines des directives et normes à appliquer dans l'exploitation commerciale pourraient être inspirées des règles relatives à des industries existantes, et d'autres créées. Si les différents acteurs en présence parviennent à collaborer, l'exploitation minière du plancher océanique sera une référence éthique, puisque, jusqu'à présent, la réglementation n'a été établie qu'après la mise en exploitation d'une ressource naturelle. Nous pouvons cette fois réfléchir et réguler avant d'exploiter à tort et à travers. ■

BIBLIOGRAPHIE

J. Dymont et al. (coord.), **Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes**, Expertise scientifique collective, Synthèse du rapport, CNRS-Ifremer, 2014 (téléchargeable sur : www.cnrs.fr/fr/pdf/inee/SyntheseESCO/index.html#/1/).

Biodiversity, species ranges, and gene flow in the abyssal Pacific nodule Province : Predicting and managing the impacts of deep seabed mining, Étude technique de l'AIFM n°3, AIFM, 2008.

Site de l'AIFM :
www.isa.org.jm

Expérience Plumex de l'institut Scripps d'océanographie :
www.mod.ucsd.edu/plumex