

Les impacts environnementaux de l'exploitation minière des fonds marins : un état des lieux des connaissances

Par Pierre-Marie SARRADIN

Ifremer

Jozée SARRAZIN

Ifremer

et François H. LALLIER

Professeur, CNRS

Le développement potentiel des activités d'exploitation des ressources minérales marines profondes nécessite de se poser, en amont, la question de leurs impacts sur les écosystèmes, et ce, afin de mieux pouvoir les prévenir, les limiter, voire de proposer des processus de mitigation et de restauration.

L'évaluation de ces impacts potentiels reste encore très difficile en raison de notre manque de connaissances sur les méthodes d'exploitation qui seront mises en œuvre par les industriels et de connaissances fondamentales sur l'évaluation de la biodiversité, sur la compréhension de la dynamique et du fonctionnement des écosystèmes associés, mais aussi sur les couplages entre les eaux profondes et le reste de l'océan.

Les avancées technologiques et l'arrivée des sous-marins d'exploration, au début des années 1960, ont permis l'acquisition de connaissances fondamentales sur le fonctionnement des océans. La découverte, en 1977, d'écosystèmes luxuriants dans les profondeurs océaniques a ainsi révolutionné notre compréhension de la vie sur Terre : une source d'énergie alternative apportée par la chimiosynthèse microbienne permettait de soutenir une vie animale des plus riches, en l'absence même de lumière solaire. Depuis lors, plusieurs autres écosystèmes ont été découverts, conférant aux fonds océaniques une complexité de paysages abritant une grande hétérogénéité d'habitats et de faunes.

Ces explorations scientifiques menées dans les grands fonds marins ont également permis d'identifier différents types de ressources minérales qui suscitent un intérêt croissant dans le contexte de la raréfaction des ressources continentales. Ces ressources minérales sont présentes dans tous les océans du globe, tant dans la zone économique exclusive (ZEE) de certains États côtiers que dans la Zone internationale. Situées à de grandes profondeurs, elles sont associées à des écosystèmes particuliers peu connus, dont certains sont identifiés comme des îlots de

biodiversité ou abritant un fort endémisme. Le développement potentiel des activités d'exploitation de ces ressources nécessite de se poser, en amont, la question de leurs impacts sur les écosystèmes, et ce, afin de mieux pouvoir les prévenir, les limiter, voire de proposer des processus de mitigation et de restauration.

Les écosystèmes associés aux ressources minérales marines

Les ressources minérales marines procurent à la faune une diversité d'habitats : des substrats sédimentaires meubles sur les plaines à nodules et une prépondérance de substrats durs pour les sulfures et les encroûtements cobaltifères.

Convoités depuis les années 1960, les nodules polymétalliques sont présents sur de vastes zones de plaines abyssales (se situant entre - 3 000 et - 5 500 mètres de profondeur). Ces concrétions rocheuses riches en cuivre, en nickel et en cobalt sont formées de cercles concentriques d'hydroxydes de fer et de manganèse. Les plaines à nodules sont colonisées par une faune abyssale sédimentaire classique se caractérisant par une forte diversité et



Photo © Ifremer-Nautile/Campagne Mescal Leg1 2002

Crabes vivant à proximité de cheminées hydrothermales dans le nord-est du Pacifique.

« Les zones hydrothermales actives sont colonisées par une faune dont la chaîne alimentaire est basée sur la chimiosynthèse microbienne. »

une faible biomasse. Elle est largement dominée par des organismes fouisseurs de petite taille, qui vivent dans le sédiment et qui sont consommés par une faune dépositrice de grande taille, mais peu abondante. Véritables îlots de substrats rocheux, les nodules abritent une faune fixée suspensivore spécifique. La diversité microbienne associée à ces nodules est peu connue, mais elle joue un rôle important dans leur processus de formation. Les plaines abyssales oligotrophes, homogènes sur de larges échelles, sont affectées par une dynamique saisonnière générale liée aux variations de la production primaire de surface.

Les encroûtements cobaltifères sont des précipitations d'oxydes de manganèse et de fer riches en cobalt, en tellure et en platine. Ils sont essentiellement rencontrés sur les monts sous-marins à des profondeurs allant jusqu'à - 4 000 mètres et peuvent recouvrir des surfaces de plusieurs kilomètres carrés. C'est la production photosynthétique de surface, concentrée grâce à l'hydrodynamisme local, qui constitue la principale source d'énergie pour leurs communautés biologiques. Encore peu étudiées, l'abondance, la biodiversité et l'endémicité de leur faune sont variables, selon les sites. Les coraux et les gorgones

contribuent largement à la structuration de l'habitat sur les substrats rocheux et abritent eux aussi une faune diversifiée. La dynamique temporelle des écosystèmes associés à ces encroûtements est fortement influencée par les variations saisonnières et climatiques.

Les dépôts massifs de sulfures polymétalliques sont localisés le long des dorsales médio-océaniques et à proximité des sites volcaniques sous-marins, jusqu'à plus de 5 000 mètres de profondeur. Ils sont constitués majoritairement de sulfures de fer et peuvent présenter de forts enrichissements en métaux de base (cuivre, zinc, plomb, cobalt, argent, or) et en métaux rares.

Les zones hydrothermales actives sont colonisées par une faune dont la chaîne alimentaire est basée sur la chimiosynthèse microbienne. Leur faune abondante est dominée par un petit nombre d'espèces souvent endémiques et dont la composition spécifique varie d'une région océanique à l'autre. Les environnements associés aux sites hydrothermaux actifs ont des propriétés physico-chimiques contrastées, qui contribuent à la structuration des communautés animales à travers leurs besoins nutritifs et leur adaptation aux conditions extrêmes. Les systèmes hydrothermaux se caractérisent également par

une forte instabilité temporelle liée aux processus tectoniques et volcaniques sous-jacents. La production microbienne, intense au niveau des sites hydrothermaux actifs, est également présente dans les sites inactifs, où elle est faiblement soutenue par les minéraux sulfurés.

Mais nos connaissances sur la faune typique des dépôts inactifs sont extrêmement parcellaires. Or, ce sont ces dépôts qui sont particulièrement visés par une exploitation potentielle des ressources qu'ils renferment.

Les impacts potentiels de l'exploitation

L'exploitation industrielle n'a commencé pour aucune des ressources minérales sous-marines aujourd'hui identifiées. Les techniques d'exploitation sont encore en cours de développement et doivent répondre aux contraintes spécifiques des milieux profonds. Le projet le plus avancé en la matière, piloté par la société canadienne *Nautilus minerals inc.*, vise un dépôt de sulfures polymétalliques situé dans la ZEE de la Papouasie-Nouvelle-Guinée. Sa notice d'évaluation d'impact a été publiée en 2008. La construction de l'infrastructure est pratiquement achevée, et l'exploitation pourrait débuter en 2019. Ce projet accuse actuellement un retard, et la compagnie recherche des financements complémentaires (<http://www.nautilus-minerals.com/IRM/content/default.aspx>).

Bien que les ressources considérées présentent entre elles des différences, les principes généraux de leur exploitation sont identiques (voir la Figure 1 ci-dessous et

l'article de Julien Denègre, publié dans ce même numéro de *Responsabilité et Environnement*). Ils comportent trois étapes principales : a) l'extraction du minerai, sur le fond marin, par une unité mobile, prendra en compte la spécificité de la ressource – pour les nodules : ramassage sur de grandes surfaces et séparation d'avec le sédiment ; pour les encroûtements : extraction spécifique sans prélèvement du substrat rocheux et pour les sulfures polymétalliques : extraction sur des surfaces réduites ; b) le minerai sera ensuite broyé, puis transporté par pompage, *via* un *riser*, vers le navire support. Une première étape de traitement (déshydratation) de la boue minéralisée pourra être effectuée sur ce navire, et ce préalablement c) au transport de la matière première vers la terre après son transfert sur une barge. L'eau utilisée pour l'étape de pompage ou extraite lors du traitement de la boue sera recyclée en partie dans le *riser* ou rejetée à plus ou moins grande profondeur.

L'exploitation des ressources marines aura des impacts certains sur l'environnement. Ces impacts dépendront de la nature de la ressource exploitée, de la technologie d'exploitation utilisée et des spécificités des écosystèmes associés. Quelques tests d'exploitation minière ou de perturbation des environnements profonds ont été menés durant les décennies 1970, 1980 et 1990, ils portaient sur les nodules polymétalliques. Depuis le début des années 2000, la tension mondiale sur la demande en certains métaux stratégiques suscite un regain d'intérêt pour les ressources minérales marines et l'évaluation des impacts potentiels liés à leur exploitation (par exemple, l'action pi-

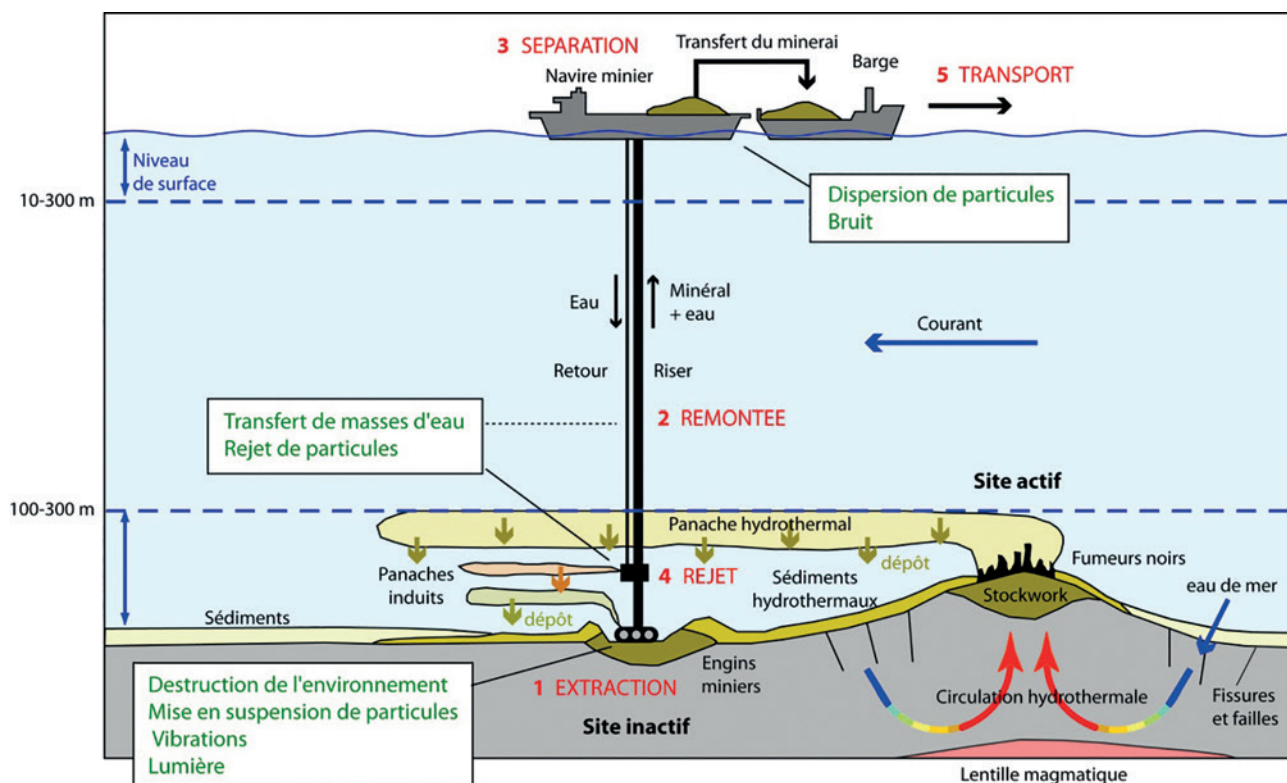


Figure 1 : Représentation schématique des impacts environnementaux de l'exploitation des nodules polymétalliques, sulfures polymétalliques et encroûtements cobaltifères (extrait de DYMENT et al., 2014).

lote du JPI Oceans – *Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans* – ou le projet européen MIDAS – *Managing Impacts of Deep-sea Resource exploitation*). Ces impacts ont été évalués à partir des connaissances dont on dispose actuellement sur les technologies d'exploitation et les différents écosystèmes associés (ECORYS, 2014 ; DYMENT et al., 2014 ; ROGERS et al., 2015 ; Midas Research Highlights, 2016...).

Les impacts majeurs envisagés (voir la Figure 1 de la page précédente) seraient la destruction durable de l'habitat et de la faune associée durant la phase de collecte du minerai. Cette phase s'accompagnera de la formation d'un nuage de particules fines pouvant modifier la turbidité et la composition physico-chimique de la colonne d'eau. Le déplacement de la couche sédimentaire recouvrant la ressource et la sédimentation de ce panache sur une large zone géographique affecteront la faune locale, par ensevelissement et en perturbant l'alimentation des espèces suspensivores.

La dissolution et l'oxydation de particules issues du broyage du minerai sont susceptibles de relarguer des éléments toxiques (métaux lourds) dans la colonne d'eau, et donc vers les écosystèmes voisins.

Par ailleurs, comme ces particules auront une minéralogie et une composition chimique différentes de celles des panaches hydrothermaux, leurs impacts écotoxicologiques et leurs comportements biogéochimiques ne pourront être *a priori* comparés à ceux des phénomènes naturels.

Le rejet des déchets miniers (l'eau chargée en particules fines utilisée durant la circulation de la boue dans le riser, ou obtenue après déshydratation du minerai) constituera un second apport particulaire, dont les impacts dépendront de la profondeur à laquelle il sera effectué. Relargués à proximité du fond, ces rejets viendront enrichir le panache de particules formées par les engins d'excavation et de broyage. Leur rejet en surface risquerait d'engendrer non seulement une augmentation de la turbidité et une modification du pH et de la température, mais aussi un apport en nutriments et en métaux lourds, avec des conséquences potentielles sur la production primaire, sur les cycles biogéochimiques et sur les écosystèmes pélagiques (tout rejet de déchets dans la zone photique est fortement déconseillé depuis plus de dix ans par la communauté scientifique).

L'emprise spatiale de leur impact dépendra de la quantité et de la qualité des particules produites durant la phase d'exploitation, de leur granulométrie et de leur potentiel de dispersion selon la courantométrie des masses d'eau locales. L'évaluation de cette dispersion n'est accessible actuellement qu'en recourant à des approches de modélisation prenant en compte les phénomènes de turbulence générés dans les masses d'eau supérieures, et à la topographie.

D'autres impacts, peu documentés, sont également envisageables : émissions acoustiques et électromagnétiques engendrées par l'infrastructure d'extraction, vibrations, bruits et rejets liés à la présence des navires en surface, introduction d'espèces invasives et accidents (fuites de carburant ou de produits toxiques...). Enfin, les impacts

de l'exploitation minière sont susceptibles de se cumuler avec les impacts dus à d'autres activités anthropiques (autres exploitations à proximité) ou au changement global, mais les informations scientifiques à ce sujet sont encore limitées aujourd'hui.

Actuellement, deux contraintes majeures limitent notre capacité à évaluer les impacts potentiels de l'exploitation minière en milieu profond. La première est liée à notre connaissance parcellaire de la distribution géographique de la biodiversité de la faune aux échelles régionales (biogéographie) et de la capacité des espèces à se disperser (connectivité), à se reproduire et à coloniser de nouveaux sites. La seconde concerne l'impossibilité dans laquelle nous sommes de prévoir la capacité de résilience des écosystèmes. Ainsi, peu d'écosystèmes profonds ont fait l'objet d'un suivi à long terme ou d'expérimentations spécifiques nous permettant d'appréhender comment et à quel rythme les communautés biologiques se rétabliront suite à un impact. Caractéristiques des différents écosystèmes considérés, les spécificités de fonctionnement et les échelles temporelles de variation ne permettent pas, en effet, d'extrapoler à l'ensemble des écosystèmes concernés les observations réalisées sur certains sites modèles.

Les outils de gestion

Le cadre réglementaire applicable à l'exploitation des ressources minérales marines dépend de la zone géographique considérée : la réglementation de l'État côtier s'applique dans les ZEE, l'AIFM contrôle et organise les activités de prospection et d'exploitation dans la zone internationale (la Zone), suivant une réglementation en cours d'élaboration (voir l'article d'Elie Jarmache publié dans ce même numéro de *Responsabilité et Environnement*).

Les outils de gestion et de préservation applicables aux environnements marins profonds ne sont pas tous prescriptifs. Ils peuvent être sectoriels, ou ne pas être reconnus par les différentes conventions en place. On peut citer les Zones d'intérêt écologique et biologique (ZIEB) ou les Écosystèmes marins vulnérables (EMV), des outils permettant l'identification d'écosystèmes ou de zones d'intérêt aussi bien dans les eaux territoriales que dans la Zone. Les EMV – par exemple, les coraux profonds – peuvent faire l'objet de mesures d'évitement par la pêche profonde.

Les Aires marines protégées sont des outils intégrés de préservation du milieu et de gestion des usages. Elles peuvent être appliquées dans la Zone dans le cadre de conventions de mer régionales ayant une compétence au-delà des juridictions nationales. L'AIFM a acté, en 2012, dans le cadre du plan de gestion environnemental de la région de Clarion-Clipperton, la création de 9 ZIEP (Zones d'intérêt environnemental particulier), dans lesquelles toute forme d'activité minière était exclue (voir l'article de Lénéïck Menot publié dans ce même numéro de *Responsabilité et Environnement*). Une proposition similaire ciblée sur la dorsale médio-Atlantique et également portée par des initiatives scientifiques est en cours de discussion (*Atlantic Strategic Environmental Management Plan – Açores*, 2015).

Les questions émergentes

L'évaluation des impacts potentiels induits par l'exploitation des ressources minérales marines reste encore très difficile, en raison de notre manque de connaissances technologiques sur les méthodes d'exploitation qui seront mises en œuvre par les industriels et de connaissances fondamentales sur l'évaluation de la biodiversité, sur la compréhension de la dynamique et du fonctionnement des écosystèmes associés, mais aussi sur les couplages entre les eaux profondes et le reste de l'océan.

L'hétérogénéité des habitats aux différentes échelles caractérise les écosystèmes associés aux ressources minérales marines et représente également un facteur favorisant la biodiversité. Les fluctuations à court terme des conditions physico-chimiques des milieux associés aux encroûtements cobaltifères et aux sulfures minéraux inactifs ou, au contraire, la stabilité des propriétés des masses d'eaux profondes sont des propriétés particulièrement importantes pour appréhender la sensibilité des communautés biologiques aux perturbations qui pourraient être induites par l'exploitation. Le taux de croissance, le cycle de vie et la longévité des espèces clés, ainsi que la diversité génétique et les capacités évolutives des populations, sont des facteurs majeurs de la dynamique des peuplements, qui restent encore très largement méconnus.

La connectivité des populations n'est actuellement appréhendée que pour certaines espèces hydrothermales naturellement soumises à des phénomènes d'extinction-re-

colonisation. La plupart de ces espèces sont capables de coloniser rapidement de nouveaux sites, de proche en proche. La courantométrie régionale, qui est contrainte par le relief sous-marin, est un élément clé de la connectivité, et donc du maintien des populations, mais aussi du transport de particules et de composés minéraux dissous. Les outils et les modèles prédictifs qui permettraient de l'appréhender restent cependant à développer.

Enfin, le transfert de ces connaissances fondamentales vers l'élaboration de protocoles d'évaluation d'impacts qui soient scientifiquement efficaces et industriellement réalisables reste une étape importante à franchir.

Bibliographie

DYMENT (J.) & al., *Les Impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes. Expertise scientifique collective*, Rapport CNRS-Ifrermer, 2014, 930 p.

ROGERS (A. D.) & al. (Eds.), *Position Paper 22 of the European Marine Board*, Ostend, Belgium. 224 p., ISBN 978-94-920431-1-5.

Midas research highlights, 2016, www.eu-midas.net, MIDAS project, 2014-2016: PI P. Weaver.

Ecorys (2014), *Study to investigate the state of knowledge of deep sea mining*, Final report & Annexes, European Commission, DG Maritime Affairs and Fisheries.