

➤ l'échantillonnage sur l'ensemble du champ pressenti. Un site passe pour économiquement viable s'il promet au moins 10 kilogrammes de nodules par mètre carré, si peu ou pas de sédiments les recouvrent et si la pente du fond océanique est inférieure à 10%, afin que les machines collectrices, roulant sur de lourdes chenilles, puissent s'y déplacer sans trop de difficulté.

L'outil crucial de l'extraction minière sous-marine est la machine collectrice, alimentée par un câble électrique relié au navire. Elle doit être conçue pour exploiter la couche superficielle du fond océanique sur environ 50 kilomètres par jour, sans doute par allers et retours à l'intérieur d'une bande large d'un kilomètre. Des véhicules sous-marins autonomes aideraient à guider l'engin et à explorer les environs immédiats.

Après avoir aspiré ou ramassé à la pelle les nodules et les sédiments qui les accompagnent, la machine effectuerait un tri grossier en expulsant derrière elle le plus possible de boue. Un long tube équipé d'une série de pompes ferait ensuite remonter le matériau issu de ce premier tri jusqu'à un navire de traitement; les industries gazière, pétrolière et de dragage utilisent déjà couramment ce type de colonne ascendante. Le navire séparerait les nodules et renverrait le reste des sédiments dans l'océan par un tuyau d'évacuation. De gros navires minéraliers achemineraient ensuite les nodules jusqu'à une usine de traitement située à terre, qui en extrairait les métaux.

SOUS L'ÉGIDE DES NATIONS UNIES

Pour que cette collecte soit économiquement rentable, les entreprises minières devront ramasser 3 millions de tonnes de nodules par an, soit environ 37 000 tonnes de nickel, 32 000 tonnes de cuivre, 6 000 tonnes de cobalt et 750 000 tonnes de manganèse.

L'AIFM a été instaurée sous l'égide de la CNUDM, c'est-à-dire de la Convention des Nations unies sur le droit de la mer. Celle-ci stipule notamment qu'une nation signataire doit prendre toutes les mesures nécessaires pour protéger l'environnement marin. L'AIFM accorde des permis d'exploration par zones de 150 000 kilomètres carrés. Comme les pays ayant ratifié la CNUDM ou l'ayant rejointe (167 États et l'Union européenne) considèrent le fond des océans comme une ressource «pour le patrimoine commun de l'humanité», toute entreprise ou organisme qui souhaite y pratiquer une activité minière doit être parrainé par un pays ayant ratifié la CNUDM. Une fois les études prospectives faites, l'entreprise divise chaque parcelle en deux moitiés, dont l'une est choisie par l'Autorité et réservée pour une exploitation éventuelle par un pays en développement.

Les études suggèrent que sur une parcelle de 75 000 kilomètres carrés alloués, une



Des nodules de manganèse contenant des métaux économiquement intéressants sont remontés du fond du Pacifique au cours d'une mission d'échantillonnage de la société canadienne *Nautilus Minerals*.

entreprise ne trouvera vraisemblablement que 10 000 kilomètres carrés exploitables économiquement (soit environ 0,2% de la zone de fracture de Clarion-Clipperton).

La machine collectrice aspirerait les 10 à 15 centimètres superficiels du fond de l'océan et compacterait le plancher océanique partout où elle passerait. Or une grande diversité d'organismes d'une taille dépassant la cinquantaine de micromètres vit 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 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.

SUIVRE LES NUAGES

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 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



**PLUS DE 25 ANS
APRÈS LE PASSAGE
D'UN TRAÎNEAU
SUR LE FOND MARIN,
LES TRACES
SEMBLAIENT ENCORE
TOUTES FRAÎCHES**