

- > 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



L'ESSENTIEL

> Emmy Noether était une brillante mathématicienne allemande, dont la carrière a été entravée par divers facteurs.

> Ses importants apports à l'algèbre abstraite ont mis au second plan certains autres travaux, notamment deux théorèmes qu'elle a publiés en 1918.

> Ces théorèmes, dont le premier est davantage connu que le second, relient symétries d'un système physique et lois de conservation.

> Ils sont le résultat de recherches menées pour éclaircir des questions posées par la théorie de la relativité générale.

L'AUTEUR



DAVID E. ROWE
professeur émérite d'histoire
des sciences à l'université
Johannes-Gutenberg de Mayence,
en Allemagne

Emmy Noether le centenaire d'un théorème

Figure dominante de l'école allemande d'algèbre à Göttingen durant les années 1920-1933, Emmy Noether a aussi marqué le développement de la physique théorique en démontrant qu'à toute symétrie continue d'un système physique correspond une grandeur conservée.

Il y a cent ans, en 1918, la mathématicienne allemande Emmy Noether publiait un article intitulé «Invariantenprobleme» («Problèmes variationnels invariants»). Cet article et les théorèmes qu'il contenait sont aujourd'hui considérés comme l'un des grands jalons du développement de la physique théorique du xx^e siècle. Cependant, ces travaux ne sont devenus célèbres que de façon posthume. La condition de femme ainsi que l'opinion modeste qu'avait Emmy Noether de ses propres résultats ne sont que deux des facteurs qui expliquent pourquoi.

De son vivant et longtemps après sa mort en 1935, cette mathématicienne a eu son nom exclusivement associé à son rôle majeur dans le développement de l'algèbre abstraite moderne, dans les années 1920. En partie à cause de son influence et de son prestige en tant qu'algébriste, peu se souvenaient qu'Emmy Noether avait également joué un rôle éminent dans l'élucidation de certaines zones d'ombre mathématiques de la théorie de la relativité générale d'Einstein, et en particulier celles

entourant le statut des lois de conservation dans cette théorie.

Il convient cependant de souligner que le principal théorème qu'avait démontré Emmy Noether avait une grande généralité : il se rapportait tout autant à la mécanique classique qu'aux théories des champs (dont la théorie du champ électromagnétique ou celle de la relativité générale sont des exemples). En fait, le théorème de Noether fournit un éclairage profond sur les lois de conservation dans presque tout type de système physique, en les liant étroitement à des symétries – ou des invariances – du système.

En particulier, parmi les applications de ce théorème clé, on retrouve les lois de conservation usuelles portant sur la quantité de mouvement, le moment cinétique et l'énergie. Par exemple, le théorème de Noether fait apparaître la conservation de la quantité de mouvement totale d'un système physique isolé comme la conséquence de la symétrie ou invariance du système par des translations dans l'espace. Ici, «symétrie par des translations dans l'espace» signifie que les équations >

Portrait d'Emmy Noether peint (acrylique sur toile) par Jennifer Mondfrans, une artiste qui vit à San Francisco. Ce portrait est inspiré d'une photographie de la mathématicienne prise vers 1907, quand elle avait moins de 30 ans.