



Assemblée

Distr. générale
9 mai 2002
Français
Original: anglais

Huitième session

Kingston, Jamaïque
5-16 août 2002

Exposés succincts sur les dépôts massifs de sulfures polymétalliques et les encroûtements de ferromanganèse riches en cobalt

I. Les minéraux marins et la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer¹

1. Notre compréhension du fonctionnement de la Terre a subi, dans les années 70 et au début des années 80, une révolution scientifique qui a considérablement élargi notre connaissance des minéraux marins au moment où était élaborée la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer. Cette révolution scientifique a profondément modifié la manière dont sont perçus les bassins océaniques et les continents. En effet, avant cette révolution scientifique, les bassins océaniques étaient perçus comme des récipients contenant passivement les océans. Les continents et les bassins océaniques apparaissaient comme des éléments permanents qui ont occupé leur position actuelle quasiment tout au long de l'histoire de la Terre. C'est cette ancienne thèse, qui ne reconnaissait que les gisements de minéraux marins qui s'étaient constitués du fait de l'érosion des terres et ont été charriés par les fleuves sous forme soluble ou de particules jusqu'à l'océan, qui a présidé à l'élaboration des dispositions de la Convention relatives aux minéraux marins. Ces minéraux comprenaient des gisements de métaux lourds (étain, or, etc.) et des pierres précieuses (en particulier des diamants) déposés par sédimentation sur les marges continentales, ainsi que des nodules de

manganèse déposés sur le plancher du fond marin par précipitation des métaux dissous dans l'eau de mer.

2. La révolution scientifique tient au fait que les bassins océaniques se sont révélés être des éléments dynamiques qui s'ouvrent et qui se ferment sur une période de millions d'années, parallèlement au mouvement des surfaces émergées dénommé dérive continentale. Ainsi, les bassins océaniques sont reconnus comme des sources d'autres types de dépôts de minéraux en plus de ceux qui étaient déjà connus. Parmi les nouveaux types de ressources minérales marines, on peut citer les sulfures polymétalliques contenant du cuivre, du zinc, de l'argent et de l'or de teneur variée. Les sources thermales du plancher marin ont concentré, pendant des milliers d'années, les dépôts de sulfure polymétallique le long d'une chaîne montagneuse volcanique immergée mondiale active qui s'étend à tous les bassins océaniques du monde. On trouve également des dépôts de sulfure polymétallique dans des sites associés à des archipels volcaniques tels que ceux rencontrés le long de la limite occidentale de l'océan Pacifique. Les encroûtements ferromanganésifères riches en cobalt constituent un autre type de ressource minérale marine nouvellement reconnue; ils proviennent de précipitations, survenues pendant des millions d'années le long des pentes immergées de volcans sous-marins inactifs, de métaux dissous dans l'eau de



mer et provenant des fleuves et des eaux thermales sous-marines.

3. Non seulement les eaux thermales concentrent les dépôts de sulfure polymétallique et dispersent les métaux dans les océans, contribuant ainsi à l'accumulation d'encroûtements ferromanganésifères riches en cobalt, mais aussi elles fournissent l'énergie chimique provenant du centre de la Terre dont ont besoin les microbes pour assurer leur croissance. Les microbes sont à la base de la chaîne alimentaire d'un écosystème d'espèces vivantes au niveau des eaux thermales qui est largement indépendant de l'énergie lumineuse qui alimente la photosynthèse chez les plantes, base de la chaîne alimentaire sur la Terre. Les microbes se révèlent importants comme source de nouveaux composés pour des applications industrielles et médicales, et comprennent aussi des formes primitives qui pourraient fournir la clef de l'origine de la vie. Il s'agit actuellement d'incorporer ces nouvelles ressources minérales dans le régime de la Convention, de sorte à protéger les formes de vie inestimables qu'elles renferment.

II. Les dépôts massifs de sulfures polymétalliques sur le plancher marin néoformé et leur potentiel en tant que source d'exploitation²

4. Depuis 1979, des dépôts massifs de sulfures polymétalliques ont été découverts jusqu'à 3 700 mètres de profondeur dans diverses configurations tectoniques du plancher marin, y compris les dorsales médio-océaniques, les zones d'affaissement au niveau de l'arc interne et les monts marins. Plusieurs de ces gisements consistent en un complexe de fumeurs noirs situé au-dessus d'un monticule de sulfures, en dessous duquel se trouve généralement une zone de stockwerks. Il a été établi que l'eau de mer en circulation, qui est modifiée dans une zone de réaction proche d'une chambre magmatique subaxiale, est le principal moyen de transport des métaux et du sulfure qui sont lessivés du socle océanique. La précipitation des sulfures, tant massifs que de stockwerks, sur le plancher marin et dans le sous-sol océanique, intervient en réponse au mélange, avec l'eau de mer ambiante, de fluides hydrothermaux d'eau de mer riches en métaux à

température élevée (jusqu'à 400 °C). Les gisements de sulfures polymétalliques sur le plancher marin peuvent atteindre des tailles considérables (jusqu'à 100 millions de tonnes) et contiennent souvent de fortes concentrations de cuivre (chalcopyrite), de zinc (sphalérite) et de plomb (galène) en plus de l'or et de l'argent. Il a été clairement établi que la composition minéralogique et chimique des sulfures massifs polymétalliques situés sur les dorsales médio-océaniques, à dominante basaltique, diffère de celle des sulfures situés sur des centres d'expansion de l'arc interne qui sont plutôt composés de roches volcaniques feldsiques (dacite, rhyolite).

5. Ces derniers sont plus proches des grands gisements de sulfure que l'on exploite sur terre à l'heure actuelle, mais ont été formés à l'origine sur des centres d'expansion des paléo-océans. Des concentrations très élevées d'or (jusqu'à 230 grammes par tonne et une moyenne de 26 grammes par tonne pour 40 échantillons analysés) ont récemment été découvertes dans un nouveau type de gisement minéral du plancher océanique situé dans le cratère d'un volcan éteint, dans les eaux territoriales de la Papouasie-Nouvelle-Guinée. La minéralisation et l'altération particulières de ces gisements offrent de nombreuses similitudes avec ce qu'on appelle les « gisements d'or épithermaux » dont l'existence n'était jusqu'à présent connue que sur les continents. Outre l'eau de mer en circulation, des fluides magmatiques contenant de fortes concentrations d'or semblent constituer une source importante de métal et être responsables de l'enrichissement en métal précieux. Ce type de minéralisation a toutes les chances d'exister dans d'autres environnements océaniques associés aux arcs insulaires. En raison de leur forte concentration en métaux non nobles et en métaux précieux, les gisements de sulfures polymétalliques du fond marin ont récemment attiré l'attention de l'industrie minière à l'échelon international. L'exploitation de certains de ces gisements semble faisable, tant d'un point de vue économique que d'un point de vue écologique puisqu'ils présentent certains avantages par rapport aux gisements terrestres, et se concrétisera certainement au cours des 10 prochaines années.

III. Encroûtements ferromanganésifères riches en cobalt : géologie, ressources et technologie d'exploitation³

6. Les encroûtements ferromanganésifères riches en cobalt sont présents dans tous les océans du monde, dans les monts sous-marins, les dorsales et les plateaux, où les courants ont empêché la sédimentation des roches depuis des millions d'années. Ces encroûtements proviennent d'une précipitation de l'eau de mer ambiante froide sur des substrats rocheux durs, formant des pavages d'une épaisseur pouvant atteindre 250 millimètres. Ils sont importants en tant que source potentielle de cobalt, mais contiennent également du titane, du cérium, du nickel, du platine, du manganèse, du thallium, du tellurium, du tungstène, du bismuth, du zirconium et d'autres métaux. Les encroûtements se forment à des profondeurs comprises entre 400 et 4 000 mètres, les plus épais et les plus riches en cobalt se trouvant entre 800 et 2 500 mètres. Des processus gravitaires, tels que des glissements, ainsi que des roches sédimentaires, des récifs immergés ou émergés et les courants déterminent la répartition et l'épaisseur des encroûtements.

7. Les encroûtements se trouvent sur des substrats rocheux très divers; partant, il n'est pas facile de distinguer le substrat des encroûtements à partir des seules données de télédétection. Il s'agit d'un facteur important à prendre en compte pour la mise au point des technologies de la prospection. Heureusement, les encroûtements se distinguent des substrats par leurs niveaux de rayonnement gamma beaucoup plus élevé. Les propriétés physiques des encroûtements, telles une porosité moyenne très élevée (60 %) et un rapport moyen surface/poids extrêmement élevé (300 mètres carrés par gramme), ainsi que leur taux de croissance incroyablement lent (1 à 6 millimètres par million d'années), contribuent à l'adsorption de grandes quantités de métaux, ayant une valeur économique importante, de l'eau de mer sur la surface des encroûtements.

8. Les encroûtements sont composés de vernadite (oxyde de manganèse) et de feroxyhyte (oxyde de fer). Les encroûtements épais contiennent, en outre, des quantités moyennes de carbonate fluorapatite (CFA), tandis que la plupart des encroûtements contiennent de faibles quantités de quartz et de feldspath. Les éléments qui adsorbent généralement au vernadite sont

le cobalt, le nickel, le zinc et le thallium; ceux qui adsorbent à l'oxyde de fer sont le cuivre, le plomb, le titane, le molybdène, l'arsenic, le vanadium, le tungstène, le zirconium, le bismuth et le tellurium.

9. La teneur maximale des encroûtements en cobalt peut être de 1,7 %, en nickel de 1,1 % et en platine de 1,3 partie par million (ppm). Une teneur moyenne en cobalt de 0,5 à 1 %, constatée dans de vastes régions océaniques, fait des encroûtements la source en cobalt potentiellement la plus riche, tant sur terre qu'au fond des mers. Les concentrations en cobalt, nickel, titane et platine diminuent, tandis que celles en silicone et en aluminium augmentent dans les encroûtements de la marge continentale et dans ceux qui se trouvent à proximité des arcs volcaniques du Pacifique Ouest. Plus les encroûtements se trouvent en profondeur, plus rares se font les éléments liés à la vernadite et plus fréquents sont le fer et le cuivre. Le cobalt, le cérium, le thallium, le titane, le plomb, le tellurium et le platine sont en concentration élevée dans les encroûtements situés sur d'autres métaux, car ils sont incorporés par des réactions d'oxydation qui produisent des composés plus stables et moins mobiles. Le total des éléments de terre rares se situe généralement entre 0,1 et 0,3 %. Ces éléments proviennent de l'eau de mer, tout comme d'autres éléments hydrogénétiques, le cobalt, le manganèse, le nickel, entre autres. Le cérium est un élément de terre rare qui s'enrichit énormément dans les encroûtements et possède une valeur économique potentielle importante.

10. Les monts marins et les dorsales sur lesquelles les encroûtements se développent obstruent le flux des masses océaniques et créent une grande variété de courants dont l'énergie est généralement supérieure à celle du flux des masses qui sont éloignées des monts. Les effets de ces courants se font le plus fortement sentir sur le pourtour du sommet des monts, zone où l'on trouve les encroûtements les plus épais. Les courants générés par les monts augmentent aussi le mélange turbulent et produisent des remontées d'eau qui renforcent la productivité primaire. Ces processus physiques influent sur les communautés biologiques des monts marins qui varient d'un mont à l'autre. Ces communautés se caractérisent par une densité relativement faible et une moindre diversité là où les encroûtements sont les plus épais et riches en cobalt. La composition des communautés est fonction des courants, de la topographie, de la sédimentation du

fond marin, ainsi que du type et de l'étendue des roches, de la taille du mont, de la profondeur de l'eau, de la taille et de l'importance de la zone du minimum d'oxygène. Les documents consacrés à l'étude des incidences écologiques devront être fondés sur une meilleure compréhension des écosystèmes et des communautés des monts marins qu'en l'état actuel des connaissances.

11. Environ 40 croisières de recherche ont été consacrées à l'étude des encroûtements riches en cobalt, principalement organisées par l'Allemagne, le Japon, les États-Unis d'Amérique, la République de Corée, la Fédération de Russie, la Chine et la France, sans compter des croisières effectuées par l'Union soviétique (l'actuelle Fédération de Russie) et la Chine dont les résultats ne sont pas accessibles à l'auteur. Toutefois, à raison de quelque 42 croisières effectuées de 1981 à 2001, les dépenses minimales engagées seraient d'environ 32 millions de dollars des États-Unis pour le navire et les opérations scientifiques connexes liées aux travaux sur le terrain, et de 42 millions de dollars pour les recherches à terre, soit un investissement total d'environ 74 millions de dollars.

12. La recherche-développement dans le domaine de la technologie de l'exploitation des encroûtements n'en est encore qu'à ses débuts. On ne dispose d'aucune carte détaillée sur les gisements et l'on n'est toujours pas en mesure d'appréhender dans sa totalité la microtopographie des monts marins. Autant d'éléments nécessaires pour élaborer les stratégies d'exploitation les plus appropriées. Jusqu'à présent, les opérations de prospection sur le terrain ont avant tout permis de dresser des cartes bathymétriques obtenues par sondeurs multifaisceaux SeaBeam et des cartes connexes de rétrodiffusion et d'angles de pente, ainsi que des profils sismiques, qui sont utilisés conjointement pour choisir les sites d'échantillonnage. Lors des travaux de reconnaissance, on prélève 15 à 20 échantillons par dragage et carottage par mont marin. Ensuite, des levés sont effectués au moyen de caméras vidéo pour définir le type et la répartition des encroûtements, des roches et des sédiments, ainsi que l'épaisseur de l'encroûtement, le cas échéant. Ces activités de prospection nécessitent d'utiliser un navire de recherche de grande taille et bien équipé, en raison du nombre important d'émetteurs acoustiques de fond, des dimensions de l'équipement remorqué et du volume des échantillons prélevés. Lorsque la prospection et les levés sur le terrain sont bien avancés,

on conseille d'utiliser un sonar à balayage latéral remorqué en profondeur, doté d'un système de sondage surfacique, ainsi que des robots sous-marins télécommandés pour le levé cartographique et la définition de la microtopographie. Un échantillonnage de grande ampleur peut être effectué grâce au dragage, au carottage, aux robots, ainsi qu'à un système conçu pour permettre une grande densité d'échantillonnage qui n'a pas encore été mis au point. Des levés effectués au moyen d'un rayonnement gamma permettront de déterminer l'épaisseur des encroûtements et de déceler la présence d'encroûtements sous de fines couches de sédiments. Il sera nécessaire de recourir à des mouillages de courantomètres, en vue d'appréhender l'environnement des monts marins, ainsi qu'à des échantillonnages et des levés biologiques.

13. Aux fins de la prospection et de l'exploitation des encroûtements, 12 critères ont été définis.

a) Critères régionaux

- i) De grands édifices volcaniques d'une profondeur inférieure à 1 000-1 500 mètres;
- ii) Des édifices volcaniques de plus de 20 millions d'années;
- iii) Des structures volcaniques qui ne sont pas couronnées par des atolls ou des récifs de grandes dimensions;
- iv) Des zones de courants de fond forts et permanents;
- v) Une zone d'oxygène minimum peu profonde et étendue; et
- vi) Des zones à l'abri des débris fluviaux et éoliens.

b) Critères particuliers au site

- vii) Microtopographie douce;
- viii) Terrasses, ensellement et passes (sommet);
- ix) Stabilité de la pente;
- x) Absence de volcanisme local;
- xi) Teneur moyenne en cobalt : $\geq 0,8 \%$; et
- xii) Épaisseur moyenne de l'encroûtement : ≥ 40 mm.

14. L'exploitation des encroûtements est, sur le plan technologique, beaucoup plus difficile que celle des nodules de manganèse. La récupération des nodules est relativement aisée puisqu'ils reposent sur un substrat de sédiments meubles, tandis que les encroûtements sont plus ou moins solidement rattachés au substrat. Pour une exploitation réussie, il est indispensable de récupérer les croûtes sans enlever le substrat rocheux, ce qui diluerait considérablement la teneur en minerai. Cinq opérations sont envisageables : la fragmentation, le broyage, l'enlèvement, le ramassage et la séparation. La méthode de récupération proposée fait intervenir un véhicule qui se déplace sur le fond marin et qui est attaché à un navire d'exploitation minière en surface, au moyen d'un système d'enlèvement hydraulique et d'un câble électrique. Le véhicule est autopropulsé et se déplace à une vitesse d'environ 20 cm/s. Dans le cadre du scénario classique, le volume de la production est de 1 million de tonnes par an. Ce scénario offre une efficacité de 80 % en ce qui concerne la fragmentation et de 25 % pour ce qui est de la dilution de la teneur en minerai lors de la séparation des croûtes du substrat. D'autres méthodes innovantes sont proposées, telles que le décapage par jet d'eau pour séparer les croûtes du substrat, les techniques de lixiviation *in situ* et le détachement des croûtes du substrat par effet acoustique. Ces méthodes sont très prometteuses et gagneraient à être développées.

15. L'importance, pour l'économie mondiale, des métaux contenus dans les encroûtements se manifeste dans les schémas de consommation. Le manganèse, le cobalt et le nickel sont principalement utilisés dans la sidérurgie qui met à profit leurs caractéristiques uniques. Le cobalt sert également aux industries de l'énergie électrique, des communications, de l'aérospatiale, des moteurs et de l'outillage. Le nickel est également utilisé par les usines de produits chimiques, les raffineries de pétrole, pour les appareils électriques et les engins motorisés. Le cobalt est un produit dérivé de l'exploitation du cuivre et, partant, l'offre de cobalt est liée à la demande de cuivre. Il en va de même pour le tellurium, produit dérivé de l'exploitation du cuivre et de l'or. Le caractère aléatoire de l'offre a poussé l'industrie à chercher des substituts au cobalt et au tellurium. En conséquence, leurs marchés ont connu une croissance modeste ces 10 dernières années et des prix relativement bas. Le développement de substituts à ces métaux devrait s'accompagner d'un intérêt plus grand à les

réintroduire dans les produits ainsi que d'une expansion des marchés.

16. Il a récemment été établi que les encroûtements contiennent d'autres métaux que le manganèse, le cobalt, le nickel, le cuivre et le platine qui pourraient conférer un attrait supplémentaire à l'exploitation des gisements. Ainsi, la valeur du titane est supérieure à celle du cobalt, la valeur du cérium à celle du nickel, le zirconium est équivalent au nickel et la valeur du tellurium est près de deux fois supérieure à celle du cuivre. Cette analyse repose sur l'hypothèse qu'il est possible de développer une métallurgie extractive économiquement viable pour chacun de ces métaux.

17. Compte tenu de la teneur en minerai, du tonnage et des conditions océanographiques, la région du Pacifique centre-équatorial a les meilleures chances de succès en ce qui concerne l'exploitation des encroûtements, notamment la zone économique exclusive (ZEE) de Johnston Island (États-Unis), les îles Marshall et les eaux internationales des Mid-Pacific Mountains, bien que la ZEE de la Polynésie française, Kiribati et les États fédérés de Micronésie ne doivent pas être exclus.

18. L'offre des nombreux métaux contenus dans les encroûtements est essentielle à l'efficacité des sociétés industrielles modernes et à l'amélioration des conditions de vie au XXI^e siècle. On s'accorde de plus en plus à penser que les encroûtements riches en cobalt constituent une ressource potentielle importante. Partant, il est nécessaire de combler le déficit informationnel en ce qui concerne divers aspects de l'exploitation des encroûtements, grâce à la recherche, la prospection et le développement de technologies.

IV. L'exploitation des ressources en minerai de sulfure et la faune hydrothermale⁴

19. Depuis leur découverte en 1977, plus de 500 nouvelles espèces animales des événements hydrothermaux des fonds marins ont été décrites. Les événements des fonds marins ont une grande valeur scientifique car ils contiennent un grand nombre d'espèces endémiques et inhabituelles, et abritent les proches cousins de formes de vie anciennes. Du fait de leur caractère spectaculaire et de leurs conditions extrêmes, les écosystèmes des événements ont suscité l'intérêt d'un vaste public et peuvent donc servir à

informer les populations sur les processus terrestres et les méthodes de travail des scientifiques. À l'heure actuelle, il est impossible de prédire le temps qu'il faudra aux sites d'événements pour se reconstituer après les opérations d'exploitation minière. Certains organismes seront directement tués par les engins d'extraction, tandis que ceux qui se trouvent aux alentours risquent d'être étouffés par les rejets de matières. Les espèces qui survivront à ces perturbations subiront un changement d'habitat radical et la valeur scientifique et éducative des sites exploités diminuera d'autant. Les champs d'événements qui existent de longue date et abritent les gisements les plus importants devraient être les plus stables sur le plan écologique et accueillir la biodiversité la plus grande. La concentration des opérations minières sur ces sites pourrait avoir des incidences, à l'échelon régional, sur les processus biologiques et l'abondance des organismes, au point que la survie de certaines espèces pourrait être menacée.

20. Il est irréaliste de penser que l'on peut gérer et protéger tous les sites marins hydrothermaux du monde. Il serait préférable d'axer le débat sur les critères de recensement des sites d'importance critique ou particulièrement sensibles aux perturbations, en vue de leur protection, étant donné leur valeur scientifique et éducative ou leur importance pour la survie des espèces.

Notes

¹ Peter A. Rona, Institute of Marine and Coastal Sciences, Université du New Jersey (Rutgers) (États-Unis).

² Peter M. Herzig, Freiberg University of Mining and Technology (Allemagne).

³ James R. Hein, Président de la International Marine Minerals Society.

⁴ S. Kim Juniper, Université du Québec à Montréal (Canada).