

# Les mines terrestres, les ressources minérales des fonds marins... et notre soif de matières premières

Par François BERSANI  
Ingénieur général des Mines

Si, à la différence des hydrocarbures, et sauf pour certaines substances, et encore à proximité des côtes, les ressources minérales des fonds marins n'ont pas encore été exploitées et sont loin d'être toutes connues, leur intérêt est aujourd'hui certain. Au fur et à mesure des progrès technologiques en cours, elles pourraient contribuer à l'approvisionnement du monde en matières premières dans un avenir relativement proche, sous réserve des précautions à prendre pour assurer la protection de l'environnement... et de l'évolution des cours.

Depuis les premiers âges de l'humanité, la consommation de matières premières minérales (ou organiques, plus récemment) n'a fait que croître. De multiples études, de nombreux ouvrages – à commencer des articles des *Annales des Mines* – permettent de s'en persuader et d'apprécier l'évolution récente et prochaine. Et jusqu'à présent, l'exploitation de la nature, à commencer par celle des terres émergées, a permis de répondre à nos besoins. Jules Verne, dans son roman, *Vingt mille lieues sous les mers*, fait dire au Capitaine Nemo : « La mer est le vaste réservoir de la nature. C'est par la mer que le globe a pour ainsi dire commencé, et qui sait s'il ne finira pas par elle ». Nous allons voir combien cette formule, apparue dans la période 1865-1870, était prophétique, sachant en outre qu'il est évidemment utile (« économiquement parlant »), voire nécessaire pour répondre aux besoins futurs, d'éviter le gaspillage des ressources grâce aux économies de matières, aux substitutions et au recyclage...

Au-delà des « pierres » (on dirait aujourd'hui des « matériaux de carrière »), l'exploitation minière a pris son essor après la découverte de « premiers » métaux à l'état natif et de leurs propriétés (tout particulièrement leur malléabilité permettant leur travail par martelage), il y a de cela plus de 8 000 ans, suivie par celle de la métallurgie, et notamment la fusion, il a 4 000 ans ; des découvertes qui ont permis de passer de l'âge de pierre à celui des métaux (le cuivre natif (ou Chalcolithique), puis le bronze, le fer...) à des dates variant d'ailleurs selon les régions du monde.

Pour ce qui concerne les métaux, l'exploitation minière a commencé à partir des affleurements, dans les « filons » ou les « veines » de minerais, puis s'est enfoncée de plus en plus profondément, avec le progrès des techniques d'exploitation, puis en procédant de plus en plus systématiquement à la recherche d'indices en surface permettant

de conjecturer la présence de minerais dans le tréfonds.

À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, les exploitations terrestres les plus profondes atteignaient déjà 1 600 mètres (dans le « Pays du cuivre », dans l'État du Michigan). Ce sont aujourd'hui les mines d'or de l'Afrique du Sud qui sont les plus profondes (- 3 900 mètres), avec des projets encore plus profonds.

Les hydrocarbures (d'abord le pétrole, la « roche d'huile ») ont également été connus et exploités dès la plus haute Antiquité dans des affleurements tout d'abord, puis, progressivement, dans des gisements proches de la surface du sol, avant de s'enfoncer encore plus profondément : aujourd'hui à plus de 6 000 mètres de profondeur, pour l'extraction de gaz, d'ailleurs, en Mer du Nord sous juridiction britannique, un cas tout de même exceptionnel.

C'est dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle que les hydrocarbures ont été exploités dans les fonds marins : d'abord des gisements se prolongeant sous la mer, à partir d'une jetée, sur la côte californienne, puis, au début du XX<sup>e</sup> siècle, des gisements situés dans les marais de La Louisiane ou dans le lac Maracaïbo, au Venezuela, à partir de plates-formes (dans de faibles profondeurs d'eau), et plus tard dans le Golfe du Mexique, par des profondeurs d'eau croissantes, et, aujourd'hui, au large de nombreux pays et par des profondeurs d'eau pouvant atteindre 3 000 mètres : ainsi, cette année, un puits a été foré (par Total) au large de l'Uruguay, à plus de 100 milles marins de la côte, par 3 400 mètres sous le niveau de l'eau. Notons au passage que les entreprises pétrolières françaises ont très tôt participé au développement des activités pétrolières en mer et que diverses entreprises françaises, tant d'ingénierie que de construction ou de services, détiennent une part significative du marché mondial du « parapétrolier » qui est nécessaire à leur activité.

Cette évocation de l'histoire de la production des hydrocarbures permet de comprendre pourquoi, dans les années 1970, un certain nombre d'acteurs (États, organismes de recherche, compagnies minières...) ont commencé à s'intéresser véritablement aux ressources minérales des fonds marins, alors que le premier choc pétrolier venait d'avoir lieu et que les cours des matières premières s'envolaient et alors que le fameux rapport du Club de Rome de 1972 « *Limits to growth* » (également appelé Rapport Meadows, et traduit chez nous par « Halte à la croissance ? ») faisait planer la perspective d'une pénurie de matières premières tant énergétiques que minérales.

Jusqu'à ces ressources n'étaient exploitées qu'à de faibles profondeurs d'eau, souvent dans le prolongement de gisements terrestres. On peut ainsi citer l'exploitation de sables aurifères (en Alaska), de charbon à partir d'îles (au Japon), d'étain (en Malaisie, en Indonésie et en Thaïlande), de graviers diamantifères (en Namibie et en République Sud-Africaine) et de fer (en France, à Diélette (dans la Manche !)).

On a également connaissance de gisements de phosphates en mer (le long de la côte sud-est des États-Unis, sur le plateau continental du Pérou-Chili, au large de la Namibie, de la Nouvelle-Zélande, de la Basse-Californie (au Mexique) et au large du delta du Congo). Mais aucun de ces gisements présents sous la mer n'est encore exploité, et ne le sera probablement pas tant que des réserves suffisantes existeront sur terre.

C'est au moment même où est évoquée une possible pénurie de matières premières minérales que la question de l'exploitation des nodules sous-marins polymétalliques devint d'actualité, alors même que leur découverte scientifique remonte aux années 1870 – grâce à la fameuse campagne océanographique du *HMS Challenger* – et que l'on en parlait déjà depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle. En effet, les études réalisées avaient montré que certains champs de nodules progressivement mis en évidence à de grandes profondeurs d'eau recelaient non seulement du manganèse et du fer, mais aussi d'autres métaux, avec des teneurs comparables voire supérieures à celles constatées dans des gisements terrestres (une teneur plus élevée en nickel par rapport à des gisements latéritiques, en cuivre par rapport à certains grands gisements de porphyre cuprifère, ou en cobalt, ainsi qu'en autres éléments particulièrement recherchés, mais à des teneurs faibles (comme le molybdène, le tellure, le lithium, les terres rares...)).

Selon certaines évaluations communément admises aujourd'hui, les nodules de la zone la plus prometteuse du Pacifique recèleraient trois fois plus de cobalt et plus de manganèse ou de nickel que la totalité des ressources terrestres identifiées et évaluées.

De nombreuses recherches furent ainsi engagées par des organismes scientifiques et des entreprises minières, souvent grâce à des soutiens financiers publics importants, pour non seulement comprendre les mécanismes de formation de ces nodules, mais aussi mieux connaître les zones prometteuses et mieux évaluer leur intérêt, et ce tout en cherchant à mettre au point des techniques d'exploitation portant, d'une part, sur l'extraction ou plutôt la collecte des nodules au fond de la mer et leur remontée

à la surface et, d'autre part, sur leur minéralurgie, tout en tenant compte des contraintes de protection de la nature qui commençaient à devenir une très forte préoccupation partout dans le monde... et ce d'autant plus que le milieu marin restait largement inconnu.

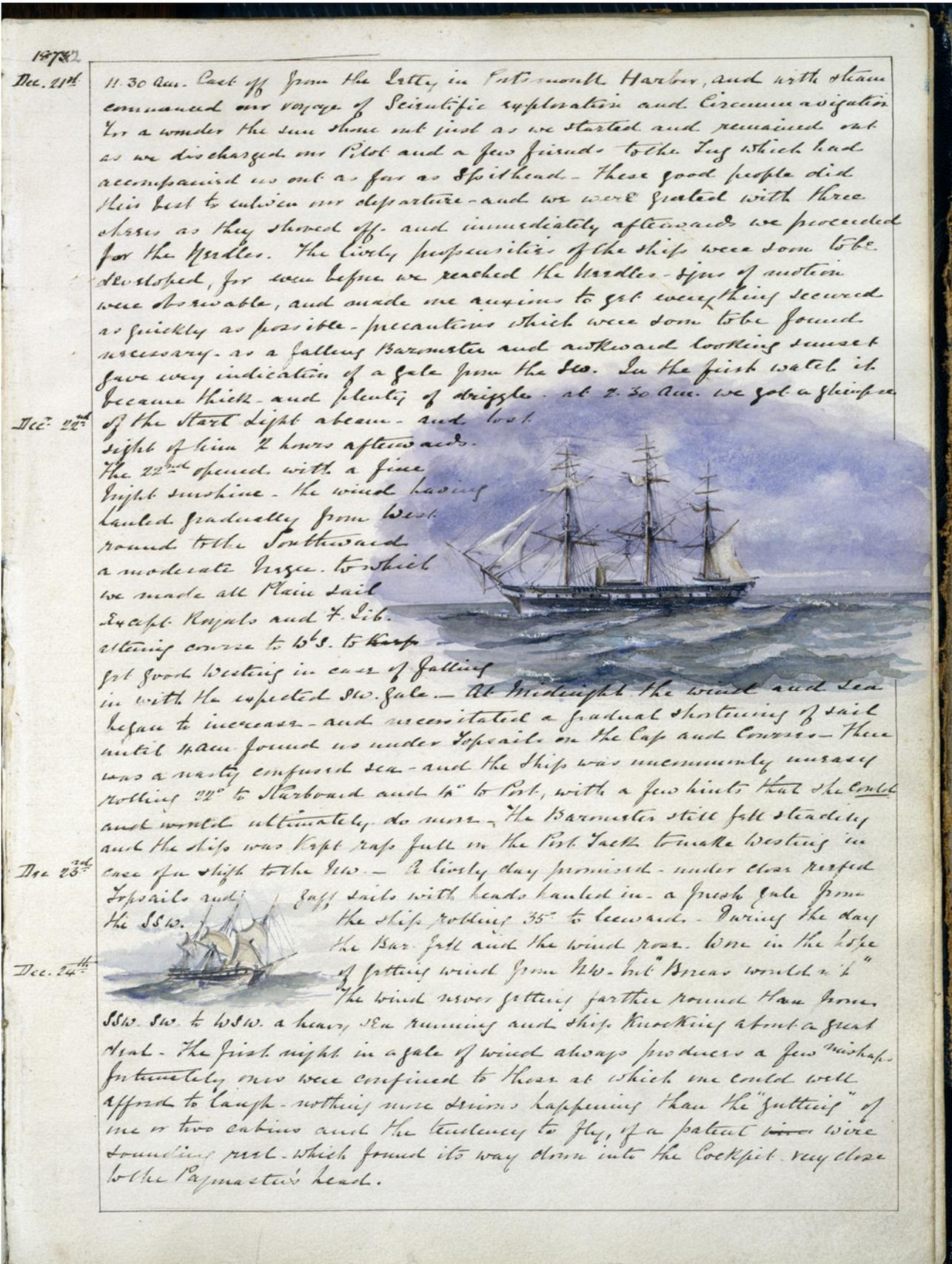
Le défi apparaissait alors gigantesque sur le plan technique, car ces nodules se trouvaient souvent à de grandes profondeurs d'eau (entre 3 000 et 5 000 mètres de fond), alors que les compagnies pétrolières, à cette époque, ne s'aventuraient qu'avec prudence, à des profondeurs de 500 mètres...

Pour la France, ce fut un groupement appelé Afernod (Association française pour l'étude et la recherche de nodules océaniques) et constitué autour du CNEXO (devenu depuis l'Ifremer), avec la Société Le Nickel (SLN) tout d'abord, puis, à partir de 1974, avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et les Chantiers France-Dunkerque, qui entama des travaux de recherche portant à la fois sur les gisements et sur les technologies utilisables. Ce dernier aspect fut ensuite traité jusqu'en 1988 par le groupement Gemonod, formé par l'Ifremer, le CEA et sa filiale Technicatome. Les dépenses effectuées jusqu'en 1992 ont été de plus de 130 millions d'euros, avant que les divers partenaires ne se retirent progressivement et que l'effort ne soit plus supporté que par le seul Ifremer...

C'est au début des années 1970, également, (et ce n'est bien évidemment pas une pure coïncidence) que le droit de la mer a progressé : il fallait assurer aux opérateurs tant publics que privés un cadre juridique que les conventions de Genève de 1958, dont celle portant sur le plateau continental, n'avaient pas suffisamment défini, tout en intégrant de nouveaux concepts, comme le patrimoine commun de l'humanité ou encore les zones économiques exclusives (ZEE), dans lesquelles les États côtiers peuvent exercer des droits souverains ; des concepts nés soit d'avancées jusque-là quelque peu unilatérales, soit de revendications émanant de pays en développement.

C'est après de laborieuses négociations que la Convention dite de Montego Bay vit le jour, le 10 décembre 1982. Toutefois, sa mise en application (à titre provisoire, dans un premier temps) n'est intervenue que le 16 novembre 1994, après diverses renégociations de certaines de ses dispositions à la demande de pays industrialisés (notamment des États-Unis, qui ne l'ont pas encore ratifiée...) ayant abouti à un accord, à New York, le 28 juillet 1993. Pour la France, son entrée en vigueur est intervenue le 11 mai 1996 (loi n°95-1311 du 21 décembre 1995 et décret n°96-774 du 30 août 1996).

En application de cette convention, l'Ifremer se vit d'abord reconnaître (le 17 décembre 1997), pour le compte du consortium Afernod, un statut d'« investisseur-pionnier ». Après l'adoption, le 13 juillet 2000, par l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM) de dispositions particulières pour l'exploration des nodules, l'Ifremer obtint de cette Autorité à compter du 20 juin 2001, et pour une durée de quinze ans, un contrat pour procéder à l'exploration d'une partie (sur laquelle ses travaux avaient porté) de la zone Clarion-Clipperton, dans l'Océan Pacifique. L'AIFM vient, lors de sa dernière session de juillet 2016, d'accorder une prorogation dudit contrat pour une période de cinq ans, en



Première page du journal de bord de la Corvette HMS Challenger, journal tenu par l'Amiral Pelham Aldrich (1844-1930) lors de sa participation à la campagne exploratoire en Arctique de 1872 à 1876.

« La découverte scientifique des nodules polymétalliques remontent aux années 1870 grâce à la fameuse campagne océanographique du HMS Challenger. »

notant, d'ailleurs, que « les circonstances économiques ne justifiaient pas le passage à une phase d'exploitation ».

Les autres intervenants dans la zone relevant de l'AIFM sont, et ce, depuis l'origine pour bon nombre d'entre eux (mais d'autres ont été acceptés tout récemment encore par l'AIFM) : l'Allemagne, la Belgique, le Royaume-Uni, la Chine, la Corée du Sud, l'Inde, le Japon, la Russie, les Îles Cook, Kiribati, Nauru, Singapour, Tonga et un consortium réunissant la Bulgarie, la Pologne, la République tchèque, la Slovaquie, mais aussi Cuba et la Russie (soit directement, soit par l'intermédiaire d'organismes publics de recherche, ou simplement par un parrainage d'opérateurs privés). Des entreprises minières nord-américaines sont également présentes, mais elles le sont aujourd'hui seulement au travers de filiales étrangères.

On voit clairement que les grands pays, tant producteurs que consommateurs, s'intéressent de près aux perspectives prometteuses que paraissent offrir ces ressources, même si, aujourd'hui, aucune exploitation ne paraît pouvoir être engagée à un terme rapproché, et ce parce que les technologies ne sont pas encore disponibles (même si elles ne semblent pas hors de portée) et aussi parce que les contraintes environnementales ne sont pas encore toutes évaluées (en lien, d'ailleurs, avec la question des technologies à mettre en œuvre, comme l'a encore montré une « expertise scientifique collective » conduite en France en 2014 sous l'égide du CNRS et de l'Ifremer...) et, enfin, comme le relève l'AIFM, parce que les « circonstances économiques ne justifient pas le passage à une phase d'exploitation »...

Cependant, si les nodules polymétalliques sont connus depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et si l'on dispose de travaux ayant porté depuis plus de quarante ans maintenant sur leur exploitation, ils ne constituent pas les seules ressources minérales que renferment les fonds marins.

C'est ainsi que l'on a découvert, lors d'une campagne océanographique menée en Mer Rouge en 1948, l'existence sur les fonds marins de gisements de sulfures métalliques liés à des systèmes hydrothermaux, dont la connaissance a été approfondie dans les années 1960, notamment pour ce qui concerne les seuls organismes français grâce à des travaux tant du BRGM que du CNEXO, à l'époque. Puis de tels dépôts (appelés « cheminées hydrothermales » ou « fumeurs ») ont été repérés à la fin des années 1970 à près de 3 000 mètres de profondeur, sur la dorsale est-Pacifique. Les travaux scientifiques ont alors été développés activement compte tenu de l'intérêt de tels gisements tant de par leurs teneurs en divers métaux (des teneurs particulières à chaque gîte...) que de par leur présumée relative facilité d'exploitation, au regard notamment de celle des gisements de nodules (la profondeur d'eau étant *a priori* plus faible) : ils sont en effet situés le long des 60 000 kilomètres de dorsales océaniques et au niveau de sites volcaniques sous-marins se situant entre 800 et parfois 5 000 mètres de profondeur.

En particulier, divers gisements ont pu être identifiés dans des ZEE, et pas seulement dans la zone relevant de l'AIFM. Plusieurs entreprises minières se sont impliquées activement, au point que non seulement de nombreux titres de recherche ont été accordés, mais encore qu'un

titre d'exploitation a déjà été attribué en janvier 2011 à l'une d'elles, Nautilus, au large de la Papouasie-Nouvelle-Guinée, pour extraire de l'or, de l'argent, du cuivre et du zinc (projet Solwara) : selon les prévisions actuelles, l'exploitation de ce gisement devrait commencer en 2019... et des entreprises, comme Technip, participent à la fourniture des équipements nécessaires.

En France, des travaux de reconnaissance ont été engagés en 2010/2011 dans la ZEE au large de Wallis-et-Futuna, réunissant l'Ifremer, Eramet et Technip. Eramet a déposé une demande de permis de recherches en 2013, ce qui suppose que le cadre juridique soit clarifié.

Devant l'intérêt suscité par ces gisements, l'AIFM a défini, dès le 7 mai 2010, les règles applicables à l'exploration de tels gisements. Six contrats ont déjà été accordés à la Chine, à la Russie, à la Corée du Sud, à l'Inde, à l'Allemagne et à la France (pour l'Ifremer : un contrat obtenu dès juillet 2012 et signé en novembre 2014, et portant sur l'exploration de la dorsale médio-atlantique).

Enfin, d'autres formations géologiques découvertes dans les fonds marins suscitent également un grand intérêt, bien qu'elles présentent des difficultés d'exploitation *a priori* plus importantes : il s'agit des encroûtements cobaltifères, riches en fer et en manganèse. Ils peuvent également renfermer du bismuth, du molybdène, du niobium, du platine, des terres rares, du titane, du tellure, du zirconium... Ce sont des « croûtes », dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres et qui sont localisées au niveau de monts sous-marins et d'élévations intra-plaques.

De nombreux pays s'intéressent à ces gîtes, qui restent encore assez mal connus, même dans les ZEE. Pour la France, une zone particulièrement intéressante serait la ZEE de la Polynésie. Pour sa part, l'AIFM a établi, le 27 juillet 2012, les règles applicables à leur exploration et a déjà attribué quatre contrats (à la Russie, au Japon, à la Chine et au Brésil).

Parvenus au terme de ce propos, nous avons vu que le fond des océans (avant même d'envisager, peut-être à l'avenir, leur tréfonds) recèle déjà, en l'état de nos médiocres connaissances, des ressources minérales importantes, capables de répondre significativement aux besoins futurs. Leur exploitation dépend des solutions techniques à mettre au point, de l'évolution des cours des matières premières... et de préoccupations stratégiques, les consommateurs ne voulant pas tomber sous la coupe de producteurs « dominants »... Comme le disait Ambrose Bierce, dans son Dictionnaire du Diable : « *Océan : masse d'eau occupant à peu près les deux tiers d'un monde destiné à l'homme – lequel est dépourvu de branchies* ». Ou bien encore Jules Verne : « *Ah ! Monsieur ! Vivez, vivez au sein des mers ! Là seulement est l'indépendance !* ».

Et l'on peut se féliciter que les organismes scientifiques et les entreprises français, avec ou sans l'appui de l'État selon les périodes, aient (heureusement) engagé très tôt des efforts qui les mettent aujourd'hui en bonne position au niveau mondial et en situation d'établir les coopérations, notamment européennes, qui paraîtraient utiles (voire indispensables) pour contribuer à l'approvisionnement de notre pays en métaux « stratégiques », par exemple.