

— ÉTUDES MARINES —

# ÉNERGIES

---

**N°16 – Juin 2019**  
Centre d'études stratégiques de la Marine

# SOMMAIRE

---

## **PRÉFACE**

Capitaine de vaisseau Yves Postec 6

## **« La transition énergétique suppose de prendre en compte l'ensemble des paramètres... »**

Entretien avec Arnaud Leroy 8

## **La mer, milieu clef du domaine énergétique**

Dr. Nicolas Mazzucchi 16

## **Le gaz naturel liquéfié, une composante maritime essentielle de la géopolitique des hydrocarbures**

Capitaine de vaisseau (RC) Jérôme Ferrier 30

## **Les énergies marines renouvelables, porteuses d'une ambition énergétique et industrielle pour la France**

Anne Georgelin 40

---

<b>« La demande en électricité ne cessera de croître... »</b> Entretien avec Philippe Sauquet	54
<b>Énergies renouvelables : l'enjeu des ressources minérales</b> Patrice Christmann	62
<b>Dépendance énergétique : développement et protection des flux stratégiques maritimes</b> Capitaine de frégate Franck Maire	80
<b>« Le bateau-atelier, un retour aux sources »</b> Entretien avec Titouan Lamazou	90

# Énergies renouvelables : l'enjeu des ressources minérales

Dr. Patrice CHRISTMANN

*Consultant en économie et politique des matières premières minérales -  
Krysmine*

L' être humain dépend depuis l'aube de son existence des ressources naturelles pour sa survie et, au-delà, pour son bien-être. Ces ressources peuvent être divisées en deux grandes catégories : les ressources vivantes (ressources biotiques) et les ressources minérales, matières premières extraites du sous-sol proche ou lointain (la mine la plus profonde du monde, la mine d'or de Mponeng, en Afrique du Sud, descend à 3,9 km sous terre).

Les matières premières minérales peuvent être des minéraux utilisés pour leurs propriétés intrinsèques (couleur, dureté, résistance aux hautes températures) ou en tant que sources d'éléments chimiques, essentiellement de métaux. Les minerais sont des assemblages de minéraux dont certains contiennent des métaux en quantités économiquement significatives. Cet article traite des matières premières minérales non énergétiques qui rendent possible une gamme énorme, sans cesse plus diversifiée, de services et fonctionnalités qui, sans leur usage, n'existeraient pas. Sans elles nos maisons (sauf celles entièrement en matières d'origine végétale), nos infrastructures, notre approvisionnement en eau, en énergies (y compris en énergies renouvelables!), nos médias, nos technologies de l'information et de la communication (dont nos ordinateurs et nos *smartphones*), nos moyens de transport, nos systèmes de sécurité et de défense, nos systèmes de santé et bien d'autres choses encore n'existeraient simplement pas.

Ce sont les grandes découvertes de la chimie, de la physique et de la science des matériaux survenues essentiellement à partir du XIX<sup>e</sup> siècle qui ont été à la base du développement économique mondial. Elles ont à la fois permis de produire des tonnages de plus en plus élevés de minéraux et de métaux et de développer une gamme d'usages et de services de plus en plus vastes grâce à de multiples innovations technologiques, au rythme toujours plus rapide.

### **Des défis majeurs pour le XXI<sup>e</sup> siècle**

Si, au début du XX<sup>e</sup> siècle, seules étaient utilisées les propriétés les plus évidentes des éléments (densité, malléabilité ou résistance mécanique, résistance à la corrosion, température de fusion ou de cristallisation), aujourd'hui ce sont les propriétés les plus « intimes » des éléments qui le sont, notamment la structure électronique de leurs atomes et leurs propriétés quantiques (expliquant notamment les propriétés optiques de certains éléments, par exemple la luminescence de divers éléments du groupe des terres rares).

Les technologies industrielles et des formes d'organisation permettant la production de masse sont apparues aux États-Unis au début du XX<sup>e</sup> siècle, avec les travaux de Frederick Winslow Taylor (1856-1915). Elles se sont considérablement développées en Europe, au Japon et aux États-Unis dans le cadre de la Seconde Guerre mondiale. Après la guerre, une conjugaison de facteurs, inédite dans l'histoire de l'humanité, a entraîné une croissance rapide de la demande et de la production de matières premières minérales stimulée par :

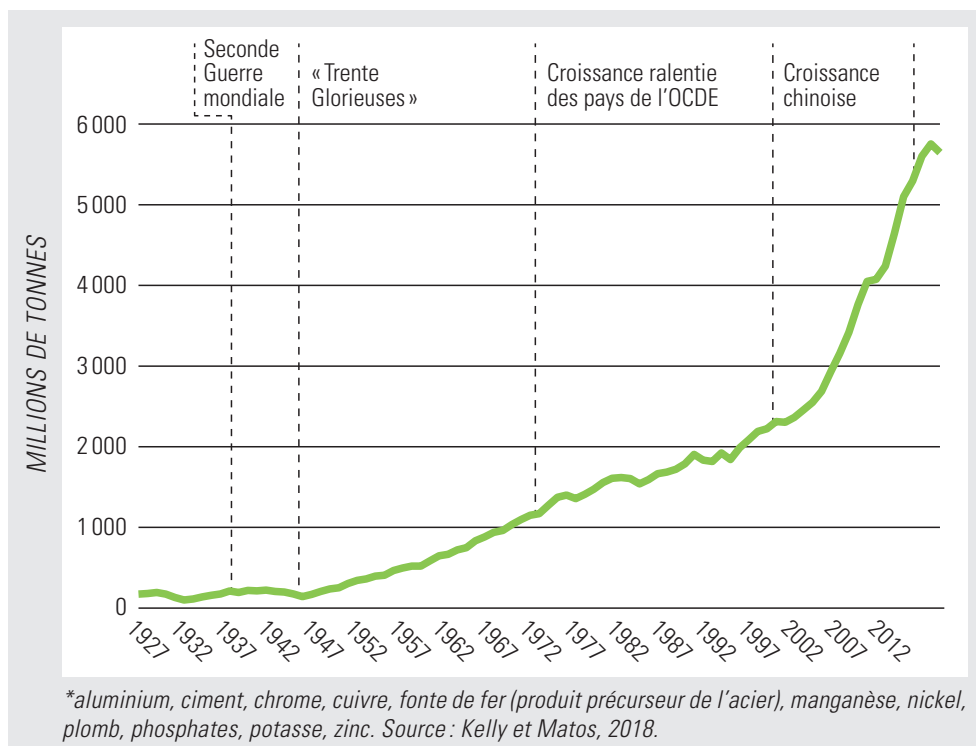
- la reconstruction dans les régions sinistrées après le conflit ;
- la maîtrise de processus de production industrielle toujours plus complexes permettant, du côté de la demande, la production de tonnages rapidement croissants de matières premières minérales, et du côté de l'offre, la mise sur le marché d'une gamme sans cesse plus large de biens de consommation innovants ;
- les innovations dans le domaine de la métallurgie et de la science des matériaux ;
- l'automatisation des procédés rendue sans cesse plus performante grâce aux technologies de l'information et de la communication ;
- la croissance rapide de la taille des navires vraquiers permettant le transport maritime des minéraux<sup>1</sup> et des minerais depuis les pays producteurs vers les pays où la disponibilité d'énergie bon marché permet d'implanter des fonderies et des raffineries de métaux à des conditions économiquement attractives.

Le dynamisme de la croissance d'après-guerre, qui a duré près de trente ans, de 1945 au premier choc pétrolier (1973), période souvent désignée, y compris en France, sous le nom de « Trente Glorieuses », est bien visible sur la figure 1. Celle-ci représente la croissance des matières premières minérales les plus utilisées, hors sables, graviers et enrochements, matériaux pour lesquels il n'existe pas de statistiques internationales de production. Cette croissance a été particulièrement élevée dans les pays développés, aujourd'hui membres de l'OCDE. Au cours de cette période, la production d'acier a crû en moyenne de 7,4 % par an, la consommation d'acier étant fortement corrélée à la croissance économique mondiale. À cette phase de croissance rapide de l'offre et de la demande a succédé

---

1. Les plus grands vraquiers actuels, utilisés par la société *Vale* pour le transport du minerai de fer brésilien vers la Chine, ont une capacité de 400 000 tonnes sèches. Selon une étude récente (UNCTAD, 2018), le transport de vrac (charbon, bauxite et alumine, minerai de fer, phosphates, céréales) a crû de 448 millions de tonnes en 1970 à 3 196 millions de tonnes en 2017, soit plus de 600 % en moins de cinquante ans.

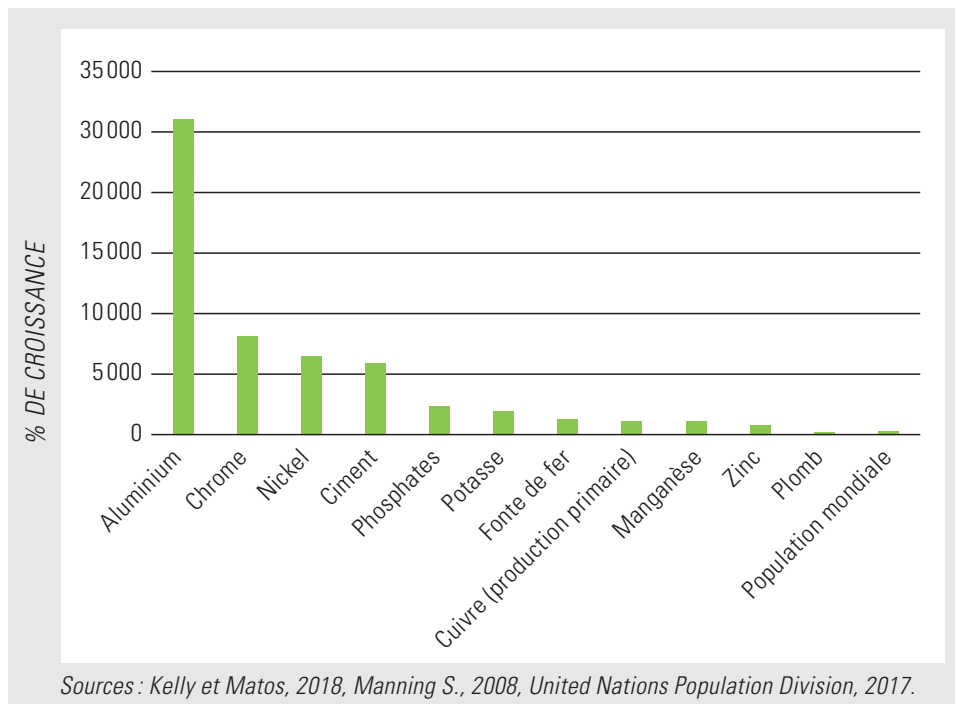
**Figure 1. Évolution de la production mondiale des matières premières minérales les plus largement utilisées\***



une phase de croissance plus molle, qui a duré jusqu'en 2001. Elle a été causée par la combinaison des coûts élevés du pétrole et du gaz, du ralentissement de la demande dans les pays développés et de l'effet du niveau élevé de développement des infrastructures et d'équipement en biens de consommation. Au cours de cette période 1974-2001, la production d'acier n'a crû que de 0,8 % par an, en moyenne. Une troisième phase apparaît très nettement sur ce diagramme à partir de 2002, liée à la croissance très rapide de l'économie chinoise, représentant environ 20% de la population mondiale. Cette croissance est le principal facteur de la forte demande mondiale en matières premières minérales observée depuis 2012. Au cours de cette période, la production mondiale d'acier a connu une forte accélération, avec une croissance de 4,8 %/an en moyenne.

La figure 2, ci-après, montre la progression de la production mondiale individuelle de ces matières premières minérales entre 1927 et 2015, exprimée sous forme de pourcentage par rapport à 1927, et la compare à l'évolution de la population humaine mondiale au cours de la même période. Cette figure montre qu'à l'exception du plomb, l'augmentation de la production, et donc de la demande, a été beaucoup plus rapide que celle de la population mondiale, soulignant la croissance spectaculaire de l'intensité de la consommation de matières premières minérales survenue, pour l'essentiel, depuis 1945.

**Figure 2. Pourcentage de croissance de la production annuelle mondiale des principales matières premières minérales et de la population mondiale (1927-2015)**



Les tendances notées ci-dessus devraient se poursuivre pendant la majeure partie du XXI<sup>e</sup> siècle, plusieurs facteurs soutenant une demande élevée en matières premières minérales :

- la poursuite de la croissance de la population mondiale. Selon le scénario démographique médian publié par les Nations unies, la population mondiale, estimée à près de 7,6 milliards de personnes en 2017, pourrait atteindre près de 9,8 milliards de personnes en 2050 (+2,2 milliards, soit une croissance de 29 %). L'Afrique devrait être la première région mondiale de croissance démographique. Si aujourd'hui encore la consommation de matières premières minérales y demeure faible par rapport à celle des pays riches, le continent pourrait dans les décennies à venir rattraper une grande partie de ce retard, ce qui aurait un impact important sur la demande ;
- le développement rapide de la classe moyenne, définie par un pouvoir d'achat compris entre 10 et 100 \$ *per capita* et par jour, corrigé des parités de pouvoir d'achat. Estimée à près de 2,3 milliards de personnes en 2015, la classe moyenne pourrait plus que doubler, à près de 4,7 milliards de personnes d'ici 2030, dont 60 % vivraient en Asie (notamment en Chine et en Inde, pays dont la classe moyenne comporterait alors 2,2 milliards de personnes) ;



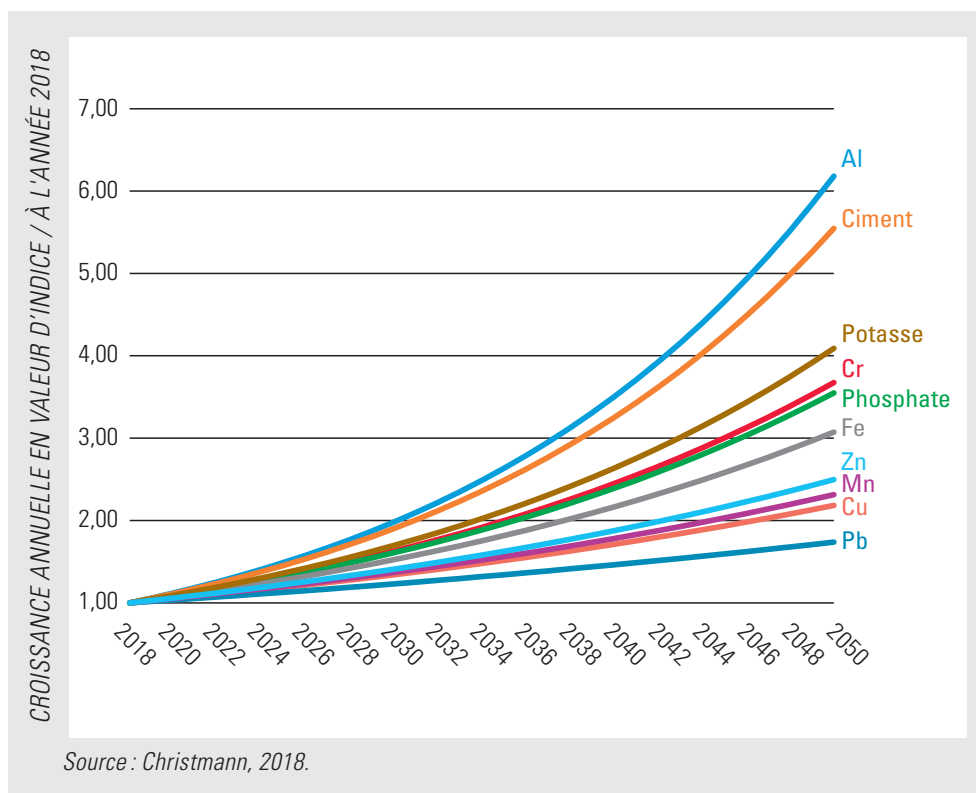
- l'urbanisation. Les Nations unies estiment qu'en 2015, près de 4 milliards de personnes vivaient en milieu urbain, soit 54% de la population mondiale. En 2050, ce total pourrait atteindre 6,7 milliards de personnes, soit 68% de la population mondiale;

- la transition écologique. Deux grandes composantes de l'indispensable transition vers des modes de production et de consommation plus durables, générant notamment moins d'émissions de gaz à effet de serre, y contribueront. Il s'agit de la production d'énergie à partir de sources renouvelables (soleil et vent) et de l'électromobilité. Le recours aux sources intermittentes d'énergie que sont le soleil ou le vent nécessitera, en plus des capacités de production, de construire d'importantes capacités de stockage ainsi que des réseaux intelligents permettant de gérer ces installations.

Ces déterminants auront pour effet, pendant plusieurs décennies encore, la poursuite de la croissance exponentielle de la demande en matières premières minérales.

Ci-après apparaît le scénario de croissance de la demande en matières premières minérales d'ici 2050 pour les matières premières les plus largement utilisées.

**Figure 3. Scénario de croissance de la demande mondiale en matières premières minérales usuelles (2018-2050)**



Ce scénario, s'il se vérifie par la réalité des prochaines décennies, se traduirait, par rapport au niveau observé en 2018<sup>2</sup>, par une croissance de plus de 600 % de la demande en aluminium, d'environ 550 % de celle en ciment et de plus de 300 % de celle en acier.

Il est beaucoup plus difficile d'établir des scénarios relatifs aux métaux plus rares tels que le cobalt, le gallium, l'indium, le lithium, le niobium, le tantale, le tungstène, le sélénium, le rhénium, le tellure ou le vanadium. Dans de nombreux cas, il s'agit de sous-produits qui ne sont disponibles que parce qu'il existe une production industrielle de leur métal porteur. Ainsi le sélénium, le rhénium ou le tellure sont des sous-produits existant dans certains minerais de cuivre, leur extraction ne pouvant se faire que lors du raffinage électrolytique du cuivre, par valorisation des boues qui s'accumulent au fond des cellules d'électrolyse.

La demande en tel ou tel métal rare est souvent très dépendante du développement du marché des technologies nécessitant son usage, celles-ci évoluant à un rythme de plus en plus rapide. Deux exemples illustrent ce propos : au cours de la décennie précédente (2000-2010) les ampoules fluorescentes compactes (AFC), dont la production nécessite deux terres particulièrement rares, l'euporium et le terbium, ont été produites en grandes quantités, car elles offraient la meilleure solution en termes de rapport coût/économies d'énergie. La forte demande en euporium et en terbium liée à leur production a conduit les experts des terres rares à les considérer comme des ressources particulièrement stratégiques. Aujourd'hui, le marché des AFC s'effondre car les diodes électroluminescentes (LED) offrent plusieurs avantages majeurs au consommateur : efficacité énergétique fortement accrue, grande flexibilité des solutions d'éclairage et meilleure longévité des équipements. Les LED ne nécessitant pas, ou très peu, d'euporium et de terbium, le débouché majeur de ces deux éléments est en train de se réduire considérablement, ceux-ci devenant moins stratégiques.

Le second exemple est celui des batteries au lithium ion dont la demande mondiale explose littéralement du fait du développement très rapide du marché des véhicules électriques et de celui des nombreux équipements électriques et électroniques portables qui bénéficient des performances de ces batteries. Selon la technologie choisie pour leur production, la composition de la batterie varie, mais les deux

---

2. Les estimations de l'offre et de la demande présentées dans cet article ne tiennent pas compte de l'existence de stocks, notamment au niveau des principales bourses de négoce et de marchés d'options relatives aux métaux que sont le *London Metal Exchange* (LME), le *New York Mercantile Exchange* (NYMEX) et le *Shanghai Futures Exchange* (SHFE). L'évolution de ces stocks ne modifie pas le scénario.

types aujourd'hui les plus largement répandus (batteries lithium-cobalt et lithium-nickel-manganèse-cobalt) ont nécessité environ 50 000 tonnes de cobalt en 2017, soit plus de la moitié de la production mondiale de cobalt raffiné la même année. Le cobalt est aujourd'hui l'un des métaux critiques pour l'économie de l'Union européenne, car sa production minière provient à 60 % de la République démocratique du Congo, où elle est de manière croissante contrôlée par des investissements chinois. Ce n'était pas le cas en 2010, lors de la première édition de l'étude de la Commission européenne relative aux métaux critiques pour l'Union. La demande en cobalt, de l'ordre de 10 000 t/an pour la production de batteries, ne représentait alors qu'une faible partie de la demande totale. Du fait du développement rapide de l'électromobilité, cette demande pourrait croître de l'ordre de 8 %/an au cours des prochaines années. Cependant, au-delà de 2025-2030, de nouvelles technologies de batteries, nécessitant beaucoup moins de cobalt, voire pas du tout, pourraient devenir disponibles à grande échelle. Ces deux exemples illustrent les limites des scénarios concernant les métaux rares et la nécessité d'une veille technologique pour anticiper le mieux possible les évolutions à venir du côté de la demande, une veille relative aux projets d'exploration et de développement miniers étant nécessaire en parallèle pour anticiper au mieux la tendance de l'offre. Ce type de veille est réalisé par des sociétés spécialisées, essentiellement anglo-saxonnes, et dans divers pays par les pouvoirs publics à travers leurs services géologiques. En France, en appui au Comité pour les métaux stratégiques (COMES), le site public [mineralinfo.fr](http://www.mineralinfo.fr), dépendant des ministères de l'Économie et des finances, de l'Enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation ainsi que du ministère de la Transition écologique et solidaire, publie des fiches de criticité et des rapports rédigés par les experts du BRGM documentant les enjeux liés aux matières premières minérales cruciales pour l'économie française<sup>3</sup>.

Le *Cyclope*, ouvrage annuel de référence analysant les marchés mondiaux de l'ensemble des matières premières sur environ 800 pages<sup>4</sup>, comporte un ensemble de chapitres dédiés aux matières premières permettant de comprendre l'évolution de la demande. Les présentations données chaque année par *CRU*, *McKinsey* et le BRGM à l'occasion du *World Materials Forum* organisé à Nancy proposent des analyses libres d'accès des grandes tendances sous-tendant l'offre et la demande en matières premières minérales usuelles ou rares réalisées par quelques-uns des meilleurs spécialistes internationaux.

---

3. Lien direct vers ces documents : <http://www.mineralinfo.fr/page/metaux-strategiques>

4. <http://www.cercle-cyclope.com/>

De telles perspectives de croissance posent de nombreuses questions. Les ressources minérales disponibles et accessibles permettront-elles de tels rythmes d'exploitation? Quel pourrait être le rôle des ressources minérales marines profondes dans ce contexte de forte croissance de la demande? Les investissements, essentiellement privés, nécessaires à l'exploration puis à la mise en production de toutes les nouvelles mines seront-ils au rendez-vous? Les impacts environnementaux et sociétaux de ces productions seront-ils gérables et compatibles avec les Objectifs de développement durable des Nations unies (ODD), publiés en 2015? Quels sont les défis auxquels se trouvent confrontées la France et l'Union européenne?

Les progrès de l'économie circulaire peuvent permettre de réduire la demande en matières premières minérales primaires, c'est-à-dire extraites du sous-sol, sans toutefois permettre d'espérer que cela modifie radicalement le scénario évoqué ici.

Il existe aujourd'hui une prise de conscience croissante relative aux limites planétaires, tant au niveau des acteurs économiques que politiques. Le réchauffement climatique n'est qu'un aspect de ces limites, d'autres facteurs comme l'effondrement de la biodiversité, la déforestation des forêts tropicales, la perte de sols fertiles faisant peser de graves menaces sur l'avenir de l'humanité. Le concept d'économie circulaire offre, de ce point de vue, de nombreux leviers d'action pour réduire cette demande:

- l'amélioration des processus industriels nécessaires à la production des biens et services, depuis l'exploration et l'exploitation minières, le traitement des minerais, la métallurgie et le raffinage des métaux;
- l'écoconception, pouvant permettre plusieurs bénéfices en termes d'utilisation durable des matières premières minérales (allègement du produit, réduction de la consommation en énergie au cours de sa phase d'utilisation, réduction du besoin en matières premières minérales nécessaires à la production, meilleures possibilités de maintenance et/ou de réutilisation de composants spécifiques du produit, meilleure recyclabilité);
- la réutilisation, après un processus de reconditionnement et de validation de composants spécifiques;
- le recyclage des métaux et minéraux contenus dans les produits en fin de vie.

Mais l'économie circulaire ne pourra apporter qu'une réponse très partielle à la demande en matières premières minérales tant que perdureront les facteurs de croissance de la demande évoqués ci-dessus.

## **Disponibilité des matières premières minérales pour le futur**

Le risque d'épuisement des ressources minérales ne paraît pas devoir être la principale menace à gérer dans les décennies à venir. L'industrie minérale dispose actuellement des technologies permettant l'exploitation souterraine de gisements jusqu'à une profondeur de 4 km dans les régions à gradient géothermique (élévation de la température avec la profondeur) faible. Les six mines les plus profondes du monde, des mines d'or sud-africaines, comportent toutes des zones exploitées entre 3 et 4 km de profondeur. Au Canada, les mines de Creighton (nickel) et de Kidd Creek (cuivre et zinc) descendent jusqu'à une profondeur comprise entre 2,5 et 3 km. En Europe, plusieurs mines en activité en Finlande, Pologne et Suède descendent à des profondeurs comprises entre 1 et 1,5 km.

De telles conditions demeurent exceptionnelles, la plupart des exploitations actuelles et passées n'ayant exploité que des gisements affleurant en surface, et ce sur des profondeurs n'excédant que rarement quelques centaines de mètres. En d'autres termes, seulement une toute petite partie des concentrations minérales d'intérêt économique potentiel contenues dans la partie économiquement accessible de la croûte terrestre (schématiquement, la tranche comprise entre la surface et 3 km de profondeur) a été identifiée à ce jour. Divers travaux scientifiques récents ont tenté d'évaluer les stocks de métaux potentiellement contenus dans cette tranche. Ainsi, le Service géologique des États-Unis (USGS) a conduit une évaluation internationale des stocks de cuivre potentiellement présents dans les zones géologiquement favorables à la présence de gisements de cuivre jusqu'à une profondeur d'1 km. Ce stock potentiel est estimé à près de 4 milliards de tonnes de cuivre métal, alors que les réserves<sup>5</sup> de cuivre connues à l'échelle mondiale sont estimées à 830 millions de tonnes. Il permettrait de répondre à la demande mondiale résultant du scénario suivant.

---

5. Les réserves sont la partie du stock géologique dont l'exploitabilité à des conditions économiques satisfaisantes est démontrée par une étude de faisabilité du projet d'exploitation. Ces conditions étant variables, ces réserves fluctuent en fonction, notamment, des variations des cours des métaux.

D'une manière générale le stock géologique restant à découvrir dans les trois premiers kilomètres de la croûte terrestre devrait largement suffire à pourvoir aux besoins de l'humanité au cours de ce siècle. Les problèmes à venir ne seront vraisemblablement pas des problèmes d'épuisement des ressources. Il existe d'ailleurs de nombreux gisements connus, définis par des études de faisabilité, attendant les investissements nécessaires à leur mise en production.

## **Rôle des ressources minérales marines profondes**

Dans ce contexte de forte croissance de la demande mondiale, les ressources minérales marines profondes<sup>6</sup> représentent un enjeu considérable par la magnitude du stock de métaux potentiellement accessibles dans divers types de gisements (amas sulfurés liés aux fumeurs noirs, encroûtements cobaltifères, nodules polymétalliques, terres rares des boues sédimentaires des grands fonds du Pacifique). Ces ressources ne sont pas encore exploitées, mais elles pourraient l'être dans les années à venir.

Un seul projet est proche de la production, l'amas sulfuré à cuivre, zinc et or de *Solwara-1*, situé en mer de Bismarck, dans les eaux territoriales de la Papouasie-Nouvelle-Guinée. Ce projet, conduit par la société *Nautilus Minerals*<sup>7</sup>, a fait l'objet du développement d'équipements robotisés pour l'exploitation minière à environ 1 500 m de profondeur, une première mondiale. *Nautilus Minerals* peine cependant à réunir les capitaux nécessaires pour assurer la mise en production de ce gisement. Initialement prévue en 2019, celle-ci pourrait se trouver retardée de nombreuses années.

Un projet (2011-2016) cofinancé par la Commission européenne et mis en œuvre par la Communauté du Pacifique a permis de faire le point sur les connaissances relatives au patrimoine minéral marin des États insulaires membres de cette communauté, d'identifier les enjeux et de proposer des éléments du cadre institutionnel et réglementaire nécessaire à leur éventuelle mise en valeur dans

---

6. L'épithète « profondes » est utilisée pour distinguer celles déjà partiellement exploitées du plateau continental et des zones littorales. Ces ressources, de natures très différentes, résultent d'accumulations de minéraux denses provenant de l'altération et de l'érosion d'affleurements continentaux. Il s'agit pour l'essentiel des diamants du plateau continental au large de la Namibie, de la cassitérite (minerai d'étain) indonésienne et des sables noirs, véritables concentrés de minéraux lourds contenant des proportions variables d'un gisement à l'autre de grenats, d'ilménite et de rutile (minerais de titane), de monazite (minerai de terres rares), de zircon (minerai de zirconium et d'hafnium). Des gisements de sables noirs sont exploités dans plusieurs pays dont l'Afrique du Sud, l'Australie, l'Inde, la Malaisie, le Sénégal et le Sierra Leone.

7. <http://www.nautilusminerals.com>



Nodule polymétallique. © Géry Parent.

le futur<sup>8</sup>. De même, le gouvernement de la Polynésie française a fait réaliser par l'Institut de recherche pour le développement (IRD) une expertise collégiale relative à son patrimoine minéral marin profond et aux conditions qui seraient à développer pour en permettre une éventuelle mise en valeur future. Le rapport souligne l'existence ponctuelle d'encroûtements cobaltifères qui pourraient, si leur extension était prouvée et des méthodes d'exploitation respectueuses développées, représenter un atout pour le développement de cette collectivité d'outre-mer qui possède une zone économique exclusive d'une surface comparable à l'Union européenne.

De nombreux projets d'exploration et de développement technologique sont en cours, soit dans les eaux de la zone économique exclusive de certains pays, par exemple le Japon, soit dans les eaux internationales, cette exploration étant particulièrement active dans la zone de Clarion-Clipperton (Pacifique Est). Dans les eaux internationales, la régulation et l'attribution de permis reviennent à l'Autorité des fonds marins (*International Seabed Authority*), un organisme

---

8. Site Internet du projet, donnant accès à une riche documentation : <http://dsm.gsd.spc.int/>

intergouvernemental établi en 1994. Son site Internet<sup>9</sup> permet d'accéder à une riche documentation scientifique et de suivre l'actualité de la recherche relative aux ressources des grands fonds marins située en dehors des zones économiques exclusives des différents pays.

Aujourd'hui, et peut-être pour longtemps encore, l'exploitation des ressources minérales marines profondes se heurte à deux grandes problématiques. La première, certainement la plus importante à l'heure où les grands équilibres écosystémiques se trouvent menacés, est celle des impacts environnementaux des exploitations. Personne n'a encore pu décrire les impacts sur l'écosystème océanique des bruits, des plumes sédimentaires et de la destruction de la faune benthique qui résulteraient d'une exploitation industrielle des ressources minérales marines profondes. Les connaissances relatives à la prévention de ces impacts sont encore embryonnaires. Sur le plan économique, la pertinence du recours à l'exploitation des matières premières minérales des grands fonds marins pose question, car il existe de nombreux gisements à terre attendant les investissements nécessaires à leur développement. Par ailleurs, il paraît plus facile de vérifier les performances environnementales d'une exploitation à terre et d'en corriger les éventuels impacts.

### **Les investissements nécessaires pour assurer les approvisionnements futurs seront-ils au rendez-vous ?**

L'atteinte des objectifs de production décrits par le scénario ci-dessus demandera des investissements considérables<sup>10</sup> dans l'exploration, pour identifier les gisements destinés à remplacer les réserves actuelles, mais aussi pour accroître fortement la production. Or, les investissements annuels en exploration minière sont en forte chute depuis 2012, année correspondant à un maximum historique de 21,5 milliards de dollars américains investis à l'échelle mondiale dans l'exploration des métaux non-ferreux (métaux précieux compris). En 2017, seulement 8,4 milliards de dollars furent investis (montants exprimés en monnaie courante), soit à peine 39 % du niveau atteint en 2012, 50 % de cet investissement allant à la recherche de gisements d'or. Il en résulte un sous-financement chronique de la recherche de gisements des matières premières minérales usuelles mentionnées ici. Et ceci alors même que l'exploration devient de plus en plus onéreuse, car la

---

9. <https://www.isa.org/jm/>

10. L'ordre de grandeur est de plusieurs centaines de milliards de dollars américains. La seule production de cuivre au Chili nécessitera, selon la Commission chilienne du cuivre, 65,4 milliards de dollars d'investissements au cours de la période 2018-2027 pour la maintenance des opérations actuelles et la mise en production de nouveaux gisements.



recherche de gisements profonds et cachés est nettement plus coûteuse, et risquée, que celle de gisements affleurants. Un autre facteur tirant les coûts à la hausse est la complexité croissante des études de faisabilité que les sociétés minières doivent produire en appui de leurs demandes de permis d'exploitation. Cette complexité croissante est liée à des exigences de plus en plus fortes de la part des autorités en matière d'identification des impacts environnementaux et sociaux des projets miniers et de définition de stratégies crédibles ayant pour objectif de les réduire autant que techniquement possible. Les deux ruptures catastrophiques de digues à stériles dans des mines brésiliennes de la société *Vale*, faisant de nombreuses victimes en 2015 et 2019, auront probablement comme conséquence une évolution des lois et codes miniers vers des pratiques environnementales encore plus rigoureuses. Cela devrait allonger le temps nécessaire entre la découverte de gisements et leur mise en production et augmenter les incertitudes inhérentes à tout projet minier. Il n'y a pas là pas de quoi attiser l'appétit d'investisseurs. Les marchés du cuivre et du zinc pourraient donc connaître de fortes tensions dans les années à venir.

### **Les impacts environnementaux et sociétaux de ces productions seront-ils gérables et compatibles avec les Objectifs de développement durable des Nations unies ?**

Dans un monde qui se trouve confronté à des défis environnementaux menaçant la pérennité de l'espèce humaine, les politiques visant à la seule atteinte d'objectifs financiers à court terme risquent d'accélérer l'issue d'une catastrophe dont les prémices sont connues depuis plusieurs décennies. Les contraintes relatives aux ressources en eau, en terres fertiles, en biomasse, le réchauffement climatique et le risque de son emballement brutal au-delà de ce qui pourrait être gérable, la disparition rapide de nombreuses espèces vivantes et des services écosystémiques qu'elles rendent, les grandes tendances décrites ci-dessus rendent nécessaire de repenser en profondeur l'économie et la pensée politique mondiale, et cela paraît urgent. Ni les entreprises, ni les politiques ne peuvent continuer de générer les externalités de plus en plus massives actuellement observables, laissant au citoyen-contribuable la responsabilité de se débrouiller avec, alors qu'il a souvent contribué à les générer par ses choix de consommation.

Il y a urgence à redéfinir le terme de compétitivité. Fondée sur la seule dimension économique, elle conduit au moins-disant environnemental et social, c'est-à-dire à la catastrophe dont les sinistres contours sont de plus en plus précis au fur et

à mesure que passe le temps. Ce nécessaire travail peut et doit se faire dans le cadre des Nations unies. Il est indispensable si les États et les entreprises, qui se sont engagés en 2015 sur les ODD des Nations unies, veulent éviter au monde les pires convulsions.

Une gouvernance internationale des ressources naturelles impliquant les États, les entreprises et la société est indispensable, l'urgence appelle à son développement.

Dans ce contexte, le Groupe international sur les ressources des Nations unies a publié son rapport sur la gouvernance des matières premières minérales au XXI<sup>e</sup> siècle en avril 2019. Il comporte de nombreuses recommandations relatives au développement d'une nécessaire gouvernance des matières premières minérales dont la production des plus usuelles représente de nos jours 16 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Elles forment un référentiel économique, environnemental et social constituant un permis d'exploitation « développement durable » (*Sustainable Development Licence to Operate*) intégrant les dimensions économiques, environnementales et sociales nécessaires pour permettre à l'industrie minérale mondiale de maximiser ses contributions aux ODD.

## **Défis pour la France et l'Union européenne**

Aujourd'hui, la France ne produit aucun des métaux qu'elle consomme et les importe bien souvent de pays situés à l'extérieur de l'Union européenne. La situation de l'UE est très variable selon les matières premières, comme le montrent les exemples du tableau ci-contre.

Alors qu'elle représentait 21,7 % du PIB mondial en 2016, elle n'a produit qu'entre 10 % (cas de l'acier, cependant largement produit à partir de minerai de fer importé, la production européenne ne représentant que 1 % de la production mondiale) et 0 % de métaux. Sa situation est celle d'une très forte dépendance aux importations. Même lorsqu'elle produit certains métaux au stade de la métallurgie, cette production est largement fondée sur l'importation des minerais nécessaires (voir le tableau sur le cas de l'aluminium et de l'acier), sans pour autant contrôler l'amont minier dont elle dépend.

La situation de dépendance de l'Europe et de la France contraste fortement avec celle de la Chine. Ce pays est devenu de manière très volontariste, en l'espace de trois décennies, le premier producteur mondial de plus de trente matières premières

**Part de l'UE dans la production mondiale 2016 (sauf ciment, production 2015), exprimée en tonnes d'une sélection de matières premières minérales**

Matières premières	Production minière (PM)	Source	UE-28	Monde	Part de l'UE
Bauxite	PM	WMD	1 944 190	284 933 806	0,7 %
Aluminium	Production métallurgique	WMD	2 249 935	58 804 268	3,8 %
Minerai de fer	PM	WMD	18 179 223	1 575 123 716	1,2 %
Acier	Production métallurgique	SSY	162 024	1 626 954	10,0 %
Chrome (Cr2O3)	PM	WMD	469 140	13 092 060	3,6 %
Ciment (2015)	Production industrielle	USGS	169 953 000	4 100 000 000	4,1 %
Cobalt	PM	WMD	2 308	126 234	1,8 %
Cuivre	PM	WMD	931 386	20 417 159	4,6 %
Germanium	Production métallurgique	WMD	–	122	0,0 %
Lithium (Li2O)	PM	WMD	314	78 549	0,4 %
Manganèse	PM	WMD	18 440	15 414 509	0,1 %
Molybdène	PM	WMD	–	279 309	0,0 %
Nickel	PM	WMD	43 454	1 953 503	2,2 %
Niobium	PM	WMD	–	91 827	0,0 %
Phosphates	PM	WMD	338 230	83 983 506	0,4 %
Zinc	PM	WMD	698 141	12 524 698	5,6 %

Source : WMD, Reich *et al.*, 2018 ; WSA, World Steel Association, 2018 ; USGS, Van Oss H. G., 2017 - Cement - Chapter on cement in vol. 1 on Minerals and Metals of the Minerals Yearbook - USGS - <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cement/myb1-2015-cemen.pdf>

minérales essentielles à l'économie mondiale, développant des filières verticalement intégrées, de la mine à la production industrielle d'une gamme sans cesse plus large de biens inondant les marchés mondiaux. L'État joue un rôle central dans le développement de ces filières industrielles par le biais des financements qu'il accorde aux entreprises en direct ou *via* ses déclinaisons régionales.

La stratégie industrielle de l'Union européenne et de la France est quasiment inexistante, le rôle de la puissance publique se limitant à essayer d'organiser un libre échange mondial sans distorsions de concurrence, laissant aux entreprises le soin d'organiser leurs chaînes de valeur à l'échelle mondiale au mieux de leurs intérêts financiers. La notion de politique industrielle est quasiment absente du langage politique français et européen, dominé par la mystique de la libre concurrence. Le traité sur l'Union européenne (Traité de Lisbonne) ne conférant aucune compétence à l'Union dans le domaine des matières premières minérales, celle-ci ne peut développer de stratégies industrielles nécessitant la maîtrise des sources d'approvisionnement.

En ce qui concerne les matières premières minérales, l'Union européenne ne peut agir que dans les domaines de l'environnement, de la libre concurrence et du marché unique, du commerce, de l'énergie et de l'enseignement supérieur et de la recherche. Elle n'a pas les bases juridiques, ni les moyens matériels, pour pouvoir consolider ses actions dans ces différents domaines – par ailleurs de tailles modestes vu la faiblesse de son budget – en une politique industrielle visant à se positionner de manière équilibrée face aux grands blocs économiques du début du XXI<sup>e</sup> siècle que sont les États-Unis et la Chine. L'entrée en lice progressive de l'Inde comme nouvelle superpuissance mondiale élargira encore le risque de l'émergence d'un ensemble de nouveaux empires économiques et politiques, alors que plus que jamais le monde a besoin d'approches multilatérales pour gérer intelligemment les défis auxquels l'ensemble de l'humanité se trouve confrontée.

La politique européenne telle qu'elle est à ce jour contraste fortement avec la stratégie économique et politique chinoise, élaborée avec constance depuis l'ère de Deng Xiao Ping, dirigeant de 1978 à 1992 et véritable fondateur de la Chine moderne. Le gouvernement chinois a clairement affiché ses ambitions industrielles à long-terme dans nombres des industries innovantes qui structureront l'économie de ce siècle : énergies renouvelables, électromobilité, technologies de l'information et de la communication. Aujourd'hui ce pays produit plus de 50 % du cobalt, du gallium, du tantale, du tungstène, du vanadium, des terres rares et détient des participations financières importantes dans des producteurs australiens et chiliens de lithium ou dans le capital d'un des trois producteurs mondiaux de niobium. Ceci renforce non seulement son industrie avale, soutenue par un effort massif dans l'enseignement et la recherche, mais aussi sa capacité à peser sur les cours de nombreuses matières premières et ainsi limiter la concurrence. Malheureusement, à ce jour, la Chine n'a officiellement rejoint aucune des initiatives existantes visant

à améliorer la transparence ainsi que la responsabilité environnementale et sociale de l'industrie minière mondiale.

Cette situation est une menace pour l'avenir de l'Union européenne et de ses États membres, menace face à laquelle nos institutions et notre société sont dans une situation de faiblesse, très bien illustrée par le cas des terres rares décrit par Guillaume Pitron dans son livre *La guerre des métaux rares* paru en 2018. Il ne reste qu'à espérer que la prise de conscience des énormes défis de développement durable auxquels l'humanité entière se trouve confrontée permettra d'esquisser une gouvernance mondiale dont le besoin se fait pressant.

Les numéros publiés :

N°1 - *L'action de l'État en mer et la sécurité des espaces maritimes. La place de l'autorité judiciaire.* Octobre 2011

N°2 - *Planète Mer. Les richesses des océans.* Juillet 2012

N°3 - *Mer agitée. La maritimisation des tensions régionales.* Janvier 2013

N°4 - *L'histoire d'une révolution. La Marine depuis 1870.* Mars 2013

N°5 - *La Terre est bleue.* Novembre 2013

N°6 - *Les larmes de nos souverains. La pensée stratégique navale française...* Mai 2014

N°7 - *Union européenne: le défi maritime.* Décembre 2014

N°8 - *Abysses.* Juin 2015

N°9 - *Outre-mer.* Décembre 2015

N°10 - *Marines d'ailleurs.* Juin 2016

Hors série - *Ambition navale au XXI<sup>e</sup> siècle.* Octobre 2016

N°11 - *Littoral.* Décembre 2016

Hors série - *La mer dans l'Histoire.* Mars 2017

N°12 - *Ruptures.* Juin 2017

N°13 - *Marins.* Décembre 2017

N°14 - *Liberté.* Juin 2018

Hors série - *La Marine dans la Grande Guerre.* Novembre 2018

N°15 - *Nourrir.* Janvier 2019

## LES PUBLICATIONS DU CESM

---

Centre de réflexion stratégique, le CESM diffuse quatre publications régulières sur la stratégie navale et les principaux enjeux maritimes.

### *Études marines*

Chaque semestre, des regards croisés sur un sujet maritime, de géopolitique, d'économie, d'histoire...

### *Cargo Marine*

Des études apportant une connaissance approfondie d'une problématique navale ou maritime.

### *Brèves Marines*

Diffusée par mail, cette publication offre chaque mois un point de vue à la fois concis et argumenté sur une thématique maritime d'actualité.

### *Les @mers du CESM*

Cette revue de veille bihebdomadaire, également diffusée par mail, compile les dernières actualités concernant le domaine naval et maritime.

Ces publications sont disponibles en ligne à l'adresse suivante :

[cesm.marine.defense.gouv.fr](http://cesm.marine.defense.gouv.fr)

Vous pouvez également vous abonner sur simple demande à :

[cesm.editions.fct@intradef.gouv.fr](mailto:cesm.editions.fct@intradef.gouv.fr)

# ÉNERGIES

---

*« Réfléchissez au mouvement des vagues, au flux et reflux, au va-et-vient des marées. Qu'est-ce que l'océan ? Une énorme force perdue. Comme la terre est bête ! Ne pas employer l'océan ! »*

Si Victor Hugo pestait dans *Quatre-vingt-treize* face à l'incapacité des hommes à exploiter l'énergie des océans, on peut gager que son regard ne serait pas le même de nos jours. La mer est désormais parsemée de plates-formes *offshore* allant puiser gaz et pétrole à plus de 3 000 mètres de profondeur... Sillonnée de méthaniers qui transportent d'un point à l'autre de la planète du gaz naturel liquéfié. Elle voit fleurir enfin des champs d'éoliennes sur les littoraux des continents européens, américains ou asiatiques.

Ressources, production, flux : si les océans sont un nouvel eldorado énergétique, ils deviennent également une source de tensions géopolitiques et géostratégiques nouvelles...



N°16 – Juin 2019  
Centre d'études stratégiques de la Marine

