



HAL
open science

Les “ terres rares ”, au coeur des conflits économico-politiques de demain

Jacques Fontanel

► **To cite this version:**

Jacques Fontanel. Les “ terres rares ”, au coeur des conflits économique-politiques de demain. 2021.
hal-03092621

HAL Id: hal-03092621

<https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-03092621v1>

Preprint submitted on 2 Jan 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les « terres rares », au cœur des conflits économique-politiques de demain

Jacques Fontanel

Conflits et guerres économiques

ILERI, Paris

Janvier 2021

Les terres rares sont essentielles au développement des technologies modernes. Elles présentent des qualités naturelles exceptionnelles pour fabriquer une électricité propre et pour produire les nouvelles technologies de l'information et de la communication. Ces productions nécessitent l'utilisation de métaux rares qui présentent trois inconvénients : d'abord, ils sont disponibles ou répertoriés en quantité limitée au regard de la demande potentielle ; ils sont donc aujourd'hui supposés rapidement épuisables ; ensuite leur extraction est à la fois onéreuse et très polluante. Enfin, la plupart de ces métaux sont mal répartis dans le monde, au grand avantage actuel de la Chine qui profite largement de cette forme de monopole pour attirer sur son territoire de nombreuses activités à fortes valeurs ajoutées dépendantes des métaux rares. Les conflits économiques, politiques, militaires peuvent surgir de cette rareté et des rapports de force entre les Etats.

Rare-earth are essential for the development of modern technologies. They have exceptional natural qualities for making clean electricity and for producing new information and communication technologies. These productions require the use of rare metals, which have three drawbacks: firstly, they are available or listed in limited quantities in relation to potential demand; they are therefore today assumed to be rapidly exhaustible; secondly, their extraction is both expensive and highly polluting. Finally, most of these metals are poorly distributed throughout the world, to the great advantage of China, which is currently taking advantage of this form of monopoly to attract numerous high value-added activities dependent on rare metals to its territory. Economic, political and military conflicts can arise from this scarcity and the balance of power between states.

Terres rares, Conflits, pollution, environnement, rareté, nouvelles technologies

Rare-earth, conflicts, pollution, environment, scarcity, new technologies

Le fer, le cuivre, le plomb, l'aluminium ou le zinc sont des métaux utiles et très connus, mais ils n'ont pas (encore ?) le privilège (pour leurs producteurs) d'être rares. D'autres métaux sont jugés d'approvisionnement critique, alors même que les géologues les considèrent comme abondants, car leur distribution n'est pas aisée compte tenu de tensions entre l'offre et la demande immédiate, due à la carence des infrastructures d'extraction et de raffinage. Les terres rares sont caractérisées par¹ :

- l'existence de propriétés exceptionnelles nécessaires à la « green Tech » ; ils permettent notamment de produire une électricité propre et ils sont indispensables aux nouvelles technologies de l'information et de la communication ;
- une disponibilité d'extraction difficile et très faible, dans le cadre d'une opération de séparation avec les matériaux abondants de l'écorce terrestre qui les recouvrent ;
- de faibles quantités disponibles produites chaque année, sur des territoires à la fois peu nombreux et peu urbanisés ;
- des coûts très élevés. Un kilo de germanium coûte ainsi près de 100.000 fois plus que celui du fer.
- des modalités actuelles d'exploitation très polluantes, réalisées dans des conditions humaines discutables, avec l'existence d'un fort marché noir, notamment en Chine, pays dans lequel ce type d'industrie œuvre en toute discrétion, dans des territoires dans lesquels les habitants sont souvent livrés au triste sort de la pollution et de salaires faibles. Normalement, il s'agit de séparer les métaux rares de la roche, laquelle est alors souvent rejetée comme un rebut. Ensuite, le raffinage utilise des réactifs chimiques (acide sulfurique, acide nitrique) et des quantités considérables d'eau, lesquelles, de ce fait, polluent les nappes phréatiques. Or, la Chine est le producteur des deux tiers des ressources minérales indispensables à l'économie moderne. Elle en paie le prix, mais le développement économique prime tous les effets externes négatifs. Ainsi, du fait des conditions de production, aujourd'hui 80% des puits souterrains de « l'Empire du Milieu » sont impropres à la consommation selon les normes sanitaires européennes. Les mêmes conditions et les mêmes excès peuvent être relevés en République populaire du Congo pour le cobalt, au Kazakhstan pour le chrome, en Argentine pour le lithium. A chaque fois, tous les cours d'eau régionaux sont concernés et polluent

¹ Sur le thème des Terres rares, il est important de poursuivre la lecture de cet article avec celle de l'ouvrage de Guillaume Pitron (2019), *La guerre des métaux*, LLL, Les liens qui Libèrent.
Les terres rares

l'ensemble du système hydrologique. La soif de puissance et la course au rattrapage économique conduit la Chine aux plus grands excès, notamment dans les régions les moins touristiques. La pression des constructeurs automobiles est telle que les procédures nécessaires au respect de l'environnement ne sont pas respectées.

- La demande va s'accélérer dans les années à venir, avec respectivement une multiplication par 2, 4, 5, 9 et 24 de la demande de germanium, tantale, palladium, scandium et cobalt².

Une demande exponentiellement croissante de ces « terres rares » pose un problème important sur l'avenir du développement « vert » et elle soulève même la question de la puissance économique et militaire. La violence de l'essor de la « high tech », conjuguée à la rareté des métaux qui l'accompagne, soulève la question de la « soutenabilité » du développement « vert » et des rapports de force entre les superpuissances.

Une demande croissante de métaux rares

Les terres rares ne représentent rien en termes de volume physique et même en termes de chiffre d'affaires. Elles concernent des marchés plutôt opaques de négociations de gré à gré, avec peu d'offreurs et de demandeurs, ce qui favorise la spéculation et l'instabilité. En outre, le poids politique et stratégique de ces métaux est considérable, notamment pour l'essor de la haute technologie et les instruments militaires et civils de la sécurité nationale des pays.

Un risque de pénurie de métaux peut intervenir, car au rythme actuel, les besoins seront trois fois supérieurs à ceux d'aujourd'hui dans 20 ans³. L'éolien demande plus de béton, d'aluminium, de fer, de cuivre que les combustibles d'aujourd'hui et, dans des proportions moindres, il en est de même pour le solaire et l'hydrogène. La consommation des principaux métaux croît au rythme de 3% par an, ce qui conduira vite à une rareté accrue, une augmentation des prix, une réduction des contraintes environnementales et des conflits croisés entre les firmes et les Etats. Certains métaux pourraient rapidement être en voie de disparition, notamment le vanadium, le terbium, l'euporium, le néodyme, le titane, l'indium, le dysprosium ou le cobalt. La pénurie de métaux est un obstacle à la fameuse « révolution » verte. En 2018, United States Geological Survey a présenté les principales « terres rares » (Tableau 1).

² Marscheider-Weidemann, F., Langkau, S., Hummen, T., Erdmann, L., Tercero Espinoza, L. (2016), Raw materials for Emerging Technologies 2016, German Mineral Resources Agency (DERA), March.

³ Vidal, M. (2015), Ressources minérales et énergie : rapport du groupe Sol et sous-sol de l'Alliance, Alliance nationale de coordination de la recherche scientifique, ANCRE, Juin.

Tableau 1 – Métaux rares critiques⁴

Métaux	Utilisation
Aluminium	Utile presque dans tous les secteurs
Antimoine	Piles et les retardateurs de flamme
Arsenic	Conservation du bois, les pesticides et les semi-conducteurs
Barytine	Industries du ciment et pétrole
Béryllium	Alliage aérospatiale et défense
Bismuth	Recherche médicale et atomique
Césium	Recherche et développement
Chrome	Acier inoxydable et autres alliages
Cobalt	Piles rechargeables et les superalliages
Étain	Revêtement de protection et alliages
Fluor Spath	Fabrications de l'aluminium, essence et combustible à base d'uranium
Gallium	Circuits intégrés et les dispositifs optiques comme les LED
Germanium	Fibres optiques et applications de vision nocturne
Graphite (naturel),	Lubrifiants, les batteries et les piles à combustible
Hafnium	Barres de contrôle nucléaire, alliages, céramiques haute température
Hélium	IRM, les agents de levage et la recherche
Indium	Ecrans LCD
Lithium	Piles
Magnésium	Revêtements de four (fabrication de l'acier et de la céramique)
Manganèse	Sidérurgie
Niobium	Alliages aciers
Platine	Agents catalytiques
Potasse	Engrais
Rhénium	Essence sans plomb et superalliages
Rubidium	R&D électronique
Scandium	Alliages et piles à combustible
Strontium	Pyrotechnie et aimants céramiques
Tantale	Composants électroniques, condensateurs principalement
Tellure	Aciers et cellules solaires
Terres rares	Piles et électronique
Titane	Pigment blanc et alliages métalliques
Tungstène	Métaux résistant à l'usure
Uranium	Combustible nucléaire
Vanadium	Alliage de titane
Zirconium	Industries céramiques à haute température

⁴ USGS (2018), Interior Releases 2018's Final List of 35 Minerals Deemed Critical to National Security and the Economy., United States Geological Survey, June 2018

Tableau 2 - Principaux producteurs de minerais rares (Commission européenne, Septembre 2017. (* les minerais rares qui font partie de la liste précédente)⁵

Métaux précieux	Principal producteur	Autres
Antimoine*	Chine, 87%	Russie, Afrique du Sud, Bolivie, Mexique
Baryte*	Chine 44 %	Inde, Etats-Unis, Maroc
Arsenic	USA 90 %	Etats-Unis
Borate	Turquie 38%	Etats-Unis, Chili, Chine
Bismuth*	Chine 82%	Afrique du Sud, Mozambique, Argentine
Caoutchouc	Thaïlande 32%	Indonésie, Inde, Vietnam
Cobalt*	RDC 64%	Nouvelle Calédonie, Chine, Canada
Gallium*	Chine 73%	Japon, Australie, Kazakhstan
Germanium*	Chine 67%	Etats-Unis, Russie
Graphite naturel*	Chine 69%	Inde, Brésil, Sri Lanka, Suède
Hafnium*	France 43%	Etats-Unis, Chine
Hélium	USA 73%	Canada, Pologne, Russie
Indium*	Chine 57%	Canada, Pérou, Russie
Iridium	Afrique du Sud 85%	Zimbabwe, Russie, Etats-Unis
Magnésium*	Chine 87 %	Turquie, Russie
Niobium*	Brésil 90%	Canada, Australie, Rwanda
Palladium	Russie 46%	Afrique du Sud, Canada
Phosphore	Chine 58%	Maroc, Algérie, Syrie
Phosphorite	Chine 44%	Etats-Unis, Russie
Platine*	Afrique du Sud 70%	Russie, Zimbabwe, Canada
Rhodium	Afrique du Sud 83%	Russie, Zimbabwe
Ruthénium	Afrique du Sud 93%	Zimbabwe, Russie
Scandium*	Chine 66%	Etats-Unis, Australie, Birmanie
Silicium métal	Chine 61%	Brésil, Norvège, Etats-Unis, France
Spath Fluor*	Chine 64%	Mexique, Mongolie, Russie, Afrique du Sud
Tantale*	Rwanda 31%	Australie, Brésil, Canada, RD Congo
Tungstène*	Chine 84%	Russie, Canada
Vanadium*	Chine 53%	Russie, Afrique du Sud, Etats-Unis
Terre rare légère*	Chine 93%	Australie, Etats-Unis, Russie
Terre rare lourde	Chine 95%	Australie, Etats-Unis, Russie

La Chine, du fait même de ses réserves, de sa politique de protection et de sa capacité à attirer les entreprises du secteur, peut devenir maître du jeu géoéconomique, avec tous les dangers qu'une telle position pourrait avoir pour la paix mondiale et le maintien des institutions internationales d'aujourd'hui. Il faut prendre en compte cette nouvelle rareté potentielle dans les calculs de rentabilité et de valeur ajoutée. Il faut ouvrir de nouvelles mines (ce qui prend du temps) et analyser le taux de retour

⁵ Commission européenne (2017) Principaux producteurs de minerais rares Commission européenne, Bruxelles, Septembre.

énergétique (TRE), le ratio entre l'énergie nécessaire à la production des métaux et celle de leur utilisation. Il faut broyer parfois mille fois plus de roches pour obtenir quelques grammes de ces métaux. La Commission européenne a mis en évidence les principaux producteurs de métaux rares nécessaires au développement économique à venir (Tableau 2).

Comme pour le pétrole⁶, il y a fort à parier que les métaux rares seront de plus en plus difficiles à extraire dans de nouvelles mines aujourd'hui non rentables, ce qui en réduira singulièrement l'avantage énergétique. Les gisements les plus faciles sont épuisés. La production de métaux représente une consommation de 7 à 8 % de l'énergie mondiale. La théorie de la rente de Ricardo s'applique. Les limites de l'extraction minière ne sont pas quantitatives, elles sont énergétiques⁷.

Une véritable diplomatie des terres rares se met en place, l'Allemagne prospecte en Mongolie, la France au Kazakhstan ; face au nationalisme minier croissant notamment en Amérique latine (Chili, Pérou, Bolivie pour leurs réserves de lithium et de cuivre ; Brésil pour la bauxite et le fer, ou Nouvelle Calédonie pour le nickel), les pays consommateurs cherchent à obtenir des garanties d'approvisionnement. La Chine elle-même fait la chasse aux métaux rares dans le monde entier, aussi bien au Canada qu'au Pérou, mais surtout en Afrique. Elle conduit une guerre des prix qui rendent les mines concurrentes moins exploitables à court terme, ce qui conduit souvent les entreprises minières étrangères à la faillite. Ensuite, elle les rachète à bas prix, souvent grâce à des combinaisons financières difficiles à déceler. Enfin, elle s'invite dans le capital de sociétés concurrentes, notamment au Groenland, au Kirghizstan et même aux Etats-Unis. Il s'agit d'une stratégie d'entrisme, de dumping et de contrôle des terres rares peu conforme aux règles de l'Organisation Mondiale du Commerce, dont on ne verra les résultats de contrôle des « terres rares » que dans une décennie, si les autres Etats ne réagissent pas à temps.

Le développement vert, otage des métaux rares

Les perspectives de croissance des technologies vertes sont considérables. Grâce à ces matériaux, il est possible d'imaginer que la totalité des besoins énergétiques d'un pays comme la France pourrait être couverte par des sources renouvelables. Mais il y a un mais. Ces technologies ont un besoin crucial des terres rares, ce qui rend l'hypothèse de plus en plus difficile à soutenir au regard des connaissances géologiques actuelles. Or, tous leurs effets n'ont pas été mis en évidence. L'impact des

⁶ Aujourd'hui, 35 barils de pétrole en production ont besoin d'un baril pour le produire (contre 100 pour un baril il y a un siècle).

⁷ Bardi, U. (2015), La grand pillage, comment nous épuisons les ressources de la planète. Les Petits Matins.

panneaux photovoltaïques (émanation de 70 kilos de CO₂ à l'unité) et de l'énergie solaire thermique (3500 litres d'eau par mégawattheure) n'a pas toujours été bien pris en compte. Il en va de même pour les voitures électriques dont la fabrication requiert plus d'énergie qu'une voiture classique (notamment pour la batterie au lithium). Selon les chercheurs de UCLA (2012), la fabrication d'une voiture électrique respectivement d'autonomie 120 kilomètres ou 360 kilomètres consomme trois fois ou 7 à 8 fois plus d'énergie qu'un véhicule conventionnel. En revanche, en utilisation, elle dégage deux fois moins de CO₂ sur un cycle de vie. Pour l'ADEME⁸, sur l'ensemble de son cycle de vie, un véhicule électrique a une consommation énergétique proche de celle d'un véhicule diesel, avec un impact environnemental similaire et même pire si l'électricité est fabriquée à partir de centrales à charbon, comme c'est le cas encore dans de nombreux pays (Chine, Inde ou Australie). Il faut tenir compte aussi du prix de remplacement de la batterie, des coûts écologiques de l'électronique embarquée et des potentiels de recyclage. La batterie est le point crucial de la voiture électrique, le plus coûteux, produit en Chine, ce qui facilite les partenariats stratégiques (Volkswagen et CATL, le spécialiste chinois). Cette dépendance est due aux métaux rares, comme le lithium, le cobalt, le nickel ou le manganèse. L'extraction minière est très polluante, avec d'importantes conséquences sanitaires sur les populations environnantes. La dépendance au cobalt, produit d'abord en RDC (Congo), ne garantit pas non plus une quelconque indépendance énergétique. La pollution est simplement déterritorialisée. Ces analyses des coûts monétaires et de pollution manquent⁹.

Les déchets commencent à devenir des mines d'or. Les stocks de matières mises au rebut augmentent chaque année. Chaque Français produit chaque année plus de 23 kilos de déchets électroniques. Les industriels ont parfois cherché à recycler les grands métaux (or, argent, aluminium ou cuivre), mais rarement les petits métaux. Le Japon cherche à le faire en considérant qu'il y a sans doute 300.000 tonnes de métaux rares dans les 200 millions de Smartphones usagés. Une économie circulaire est envisagée et développée. La recherche de substituts est aussi engagée, ainsi que l'utilisation optimale des métaux. Les armes hors d'usage disposent aussi de nombreux composants qui pourraient être recyclés. Mais cela suppose aussi qu'un pays s'engage au moins partiellement dans une

⁸ ADEME (2016), Les potentiels du véhicule électrique, Avril.

⁹ Par définition, la voiture électrique n'émet rien au niveau local. Cependant, sa production se révèle nettement plus énergivore, et donc émettrice de gaz à effet de serre, que celle d'une voiture thermique. La batterie compte pour moitié dans les besoins énergétiques liés à la fabrication d'une voiture électrique. Or, il faut environ 70.000 MJ pour fabriquer une voiture essence ou Diesel, 120.000 MJ pour construire une électrique. La pollution aux particules fines n'est pas non plus réduite par l'utilisation de l'énergie électrique si l'on se situe au niveau mondial

économie circulaire qui remet en cause les chaînes d'approvisionnement traditionnelles.

Le problème, c'est que les métaux rares n'entrent pas à l'état pur dans la composition des technologies vertes, avec la fabrication de ces fameux matériaux composites qui améliorent les qualités d'un composant par rapport à celui fabriqué sur la base de métaux simples. Il faut être capable de "désallier", ce qui est souvent long et coûteux, avec des produits chimiques et une consommation d'énergie non négligeable. Les industriels préfèrent encore le marché direct, le recyclage ne dépasse pas 10 % en moyenne de la production (18 métaux sont recyclés à plus de 50 %, 3 à plus de 25 % ; 3 à plus de 10%, tous les autres bien en deçà). Il faut accumuler les déchets pour bénéficier des économies d'échelle. Selon la Convention de Bâle, les déchets électroniques doivent être traités dans les pays où ils ont été collectés. Les Etats-Unis n'ont pas signé cette convention et envoient 80% de leurs déchets en Asie, ainsi que le Japon. De facto, sous le label Occasion, l'Europe procède de même. La Chine est acheteuse. La transition écologique est inégalitaire, favorable pour les classes aisées des centres villes, défavorable pour les zones minières. La radioactivité de certaines zones de thorium ou d'uranium est au moins aussi forte qu'à Tchernobyl.

L'idée selon laquelle le numérique est capable de nous aider à réduire les dépenses énergétiques est un postulat. Certes, l'économie digitale permet a priori de concevoir des réseaux électriques intelligents capables d'optimiser les dépenses, en fonction de la permanence et de l'intermittence des sources d'énergie. Il réduit aussi l'impact carbone des activités humaines, avec la troisième révolution industrielle proposée par Rifkin¹⁰. La dématérialisation conduit au télétravail, aux télé-procédures, au stockage des données, ce qui réduit les dépenses énergétiques.

Pourtant, cette image reste incomplète. Cette réflexion fonctionne « ceteris paribus », toutes choses égales par ailleurs. En amont, de nouvelles raretés apparaissent, susceptibles de créer des « goulots d'étranglement », lesquels ne manqueront pas de conduire à une augmentation des prix des matières premières et à un freinage, voire à un arrêt, au moins partiel, de l'application généralisée des nouvelles technologies. Les « terres rares » sont les premiers approvisionnements concernés. L'industrie digitale utilise des métaux (22% de mercure, mais aussi de l'argent, de l'or, du plomb, etc.) Les ordinateurs et téléphones portables utilisent 1/5 de la production des métaux rares. Une seule puce de deux grammes suppose le rejet de 1000

¹⁰ Rifkin, Jeremy (2019), Le New Deal Vert Mondial. Pourquoi la civilisation fossile va s'effondrer d'ici 2028. Le plan économique pour sauver la vie sur Terre, Editions « Les Liens qui libèrent ».
Fontanel, J. (2020), Le New Deal Vert, la troisième révolution industrielle ? Une analyse de la pensée de Jeremy Rifkin, Pax Economica, Grenoble

fois plus de matériaux¹¹. En outre, le coût électrique des opérations digitales est considérable avec ces dizaines de milliards d'emails envoyés dans le monde, avec des systèmes de refroidissement idoines et des data center très gourmands en électricité. Les TIC consomment au moins 12% de l'électricité mondiale et elles polluent plus que les transports aériens à leur acmé. Les « clouds » s'installeraient au 5^e rang mondial des pays consommateurs d'électricité. La dématérialisation consomme beaucoup de matière, notamment des terres rares, et de ce fait elle n'échappe pas aux critiques de pollutions environnementales « délocalisées ».

Les réserves de métaux sont faibles eu égard à une demande croissante. Elles sont encore plus rares lorsqu'elles sont monopolisées par un ou deux Etats désireux d'en obtenir des avantages économiques ou politiques importants. Elles sont moins « critiques » si elles sont réparties sur plusieurs pays qui ne cherchent pas à s'entendre pour créer une nouvelle rareté. La question est plutôt celle de l'exploitation des métaux, laquelle s'avère plutôt polluante¹². De 1965 à 1985, le principal producteur de terres rares était américain, le groupe minier Molycorp, à deux heures de route de Las Vegas. Le niveau de pollution était alors élevé, dans un désert que les citoyens avaient oublié de protéger. Dans le désert, les nappes phréatiques ont absorbé les écoulements 4 millions de litres d'eaux contaminées de résidus d'uranium, manganèse, strontium, cérium, baryum, thallium, arsenic ou plomb. Devant ces excès, des actions judiciaires ont été engagées pour violation des réglementations environnementales, ce qui a eu pour conséquence, en 2002, la fin de l'exploitation des activités à Mountain Park.

L'idée, souvent évoquée, d'exporter les industries polluantes vers les pays pauvres, s'est alors matérialisée en Chine, sous la direction d'un Etat autoritaire, peu soucieux alors des contraintes environnementales, et en reconquête d'un pouvoir économique. Le règlement européen REACH protège aussi les citoyens européens en exigeant le développement de bonnes pratiques écologiques. Dans ces conditions, les industriels sont dans la connivence, acheter moins cher, disposer d'une main d'œuvre peu onéreuse et peu regardante sur les conditions de travail. Les consommateurs n'ont engagé aucune procédure pour décourager ce mouvement dangereux pour leur sécurité. Tant que la pollution ne les concerne pas, les importateurs pollueurs de territoires lointains peuvent aisément dominer les marchés.

¹¹ Flipo, F., Dobré, Lichot, M. (2013), La face cachée du numérique. L'impact environnemental des nouvelles technologies, L'Echappée.

¹² USGS (2018), Mineral Resources On-Line Spatial Data, USGS <http://mradata.usg.gov/ree/> , United States

Aujourd'hui, les mines de Baotou représentent 40% des réserves mondiales de terres rares. La Chine utilise à la fois le dumping économique avec des coûts de production réduits et le dumping écologique puisque les dommages environnementaux causés ne sont pas intégrés dans les coûts de production. Elle attire ainsi les grandes entreprises à forte compétence technologique, attirées par l'appât d'un gain facile, sans contrainte ou contrôle des dégâts occasionnés sur les ressources humaines et naturelles des lieux de production. Ainsi, Rhône-Poulenc, une entreprise française des métaux rares, qui disposait d'un grand savoir-faire dans le secteur chimique, est devenue une firme sino-française (Solvay), apportant de larges dividendes à ses actionnaires¹³.

Dans ce contexte de profit à tout prix, l'obsolescence s'impose à la réparation et au recyclage. L'injonction « Make your planet clean again » de la COP-21 n'a pas résolu cette question. Les opérations spécifiques de désarmement d'équipements militaires, très gourmands en terres rares, ont parfois entraîné des formes de recyclage des métaux donnant alors l'impression illusoire d'une certaine abondance de ces matériaux. Durant cette période, la Chine a beaucoup acheté ces stocks d'armes périmées pour se constituer des réserves de terres rares. Les dogmes du « just in time » et de « zero stocks » enseignés dans les MBA se sont avérées des politiques très court-termistes qui ont eu des conséquences économiques et sociales graves, comme il a été loisible de le constater avec l'épidémie de Covid-19¹⁴.

En 2020, la Chine produit 4 batteries électriques sur 5 vendues dans le monde. Elle souhaite monter dans la chaîne des valeurs et se réserver les productions les plus rentables, notamment en ce qui concerne les voitures électriques. Certes Bruxelles et la France ont déclaré engager une production de plus en plus indépendante à terme, en utilisant principalement les gisements qui existent à plus hauts coûts en Finlande, au Portugal ou en Autriche. Cependant, comme cela a été indiqué plus haut, la voiture électrique elle-même n'est pas sans inconvénient au niveau de la

¹³ Rhône-Poulenc était très critiqué pour la pollution radioactive (uranium, thorium, radon) qu'engendraient ses productions à la Rochelle. Les effluents liquides passaient dans une station d'épuration, mais laissaient passer trop d'impuretés. Le durcissement des réglementations préfectorales a mis en évidence une radioactivité 1000 fois supérieures à la moyenne locale. Des mouvements sociaux se sont mis en place. Dès 1986, Rhône-Poulenc sous-traita à plusieurs pays des produits non radioactifs pour La Rochelle. Rapidement, les Chinois se sont imposés, plus compétitifs que les Indiens ou les Norvégiens. Ils ont alors obtenu un partenariat de long terme, surtout avec des terres rares sur place à moindres coûts. Rhône-Poulenc a fait de même pour sa branche pharmaceutique, une fois privatisée. Il s'agissait à l'origine d'une simple aide technique. Les usines de raffinage se sont alors considérablement développées en Chine, et les Français pensaient avoir 20 ans d'avance sur les technologies chinoise, mais dès 2000 la Chine avait le même niveau de technologie. Les unités de séparation y opèrent sans procédures contraignantes de sécurité en Chine. Toutes les activités ont été transférées en Chine, et Solvay (la nouvelle dénomination de Rhône-Poulenc) est aujourd'hui une entreprise sino-française. C'est un des pans de la désindustrialisation de la France, convaincue que les services allaient supplanter les industries, notamment polluantes.

¹⁴ Fontanel, J. (2020), La globalisation atteinte du coronavirus. Inégalités, égoïsmes, ploutocratie, insécurité, Thucy afri-ct.prg, n°30.

production de carbone, sauf si la production d'électricité est nucléaire, ce qui pose d'autres problèmes pour les combats des écologistes. Pour la Revue Nature Energy, une voiture électrique (sur base de centrales thermique) peut produire plus de CO₂ qu'une voiture conventionnelle sur l'ensemble de son cycle de vie.

La question qui nous concerne porte sur l'accès aux métaux rares qui émettent un champ magnétique comparable à celui des polluants que sont le pétrole et le charbon. La « green tech » et l'informatique doivent-ils participer aux efforts pour réduire la demande globale des métaux rares ?

- Pour les uns, ce n'est pas un problème, ils préfèrent dépendre du vent, du soleil de l'eau plutôt que des exportateurs de pétrole. Cependant, les matériaux qui entrent dans la composition des technologies « soutenables » font partie des terres rares. Les NTIC permettent de créer sa propre énergie abondamment et bon marché. Aujourd'hui, les énergies renouvelables représentent 20 % de l'énergie consommée dans le monde. Or, ceux-ci constituent un instrument géoéconomique décisif en faveur de la Chine, qui pourra rapatrier chez elle la production de la plupart des « emplois verts ». Par quoi remplacer le pétrole et le charbon ? Les technologies vertes nous engagent vers une nouvelle révolution énergétique à base d'éoliennes, de panneaux solaires ou de batteries électriques. Il faut rappeler et insister sur le fait que ces productions nécessitent l'utilisation de métaux rares qui présentent trois inconvénients : d'abord, ils sont disponibles ou répertoriés en quantité limitée au regard de la demande potentielle ; ils sont donc aujourd'hui supposés rapidement épuisables ; ensuite leur extraction est à la fois onéreuse et très polluante¹⁵. Enfin, la plupart de ces métaux sont mal répartis dans le monde, au grand avantage actuel de la Chine qui profite largement de cette forme de monopole pour attirer sur son territoire de nombreuses activités à fortes valeurs ajoutées dépendantes des métaux rares.
- Pour les autres, il s'agit de se lancer dans la recherche et l'exploitation des terres rares, avec la volonté d'une relance minière. Ainsi la production de niobium est accélérée au Brésil et les groupes miniers chinois, australiens, canadiens, américains se lancent dans l'aventure. Le Japon a trouvé de grandes quantités de terres rares au large de l'archipel d'Ogasawara. Cependant, l'exploitation des matériaux rares est souvent très polluante et leur recyclage n'est pas facile. Aujourd'hui, les technologies de l'information et de la communication

¹⁵« Il faut purifier huit tonnes et demie de roche pour produire un kilo de vanadium, seize tonnes pour un kilo de cérium, 50 tonnes pour le gallium et 1200 tonnes pour le lucétium ». Cf. Piron, G. ((2019), La guerre des métaux rares, Les liens qui libèrent, Paris.

produisent plus de la moitié de gaz à effet de serre que ce que génère le transport aérien. Il faut certes relancer les exploitations, mais trouver des technologies qui ne soient pas aussi dangereuses pour le réchauffement de la planète.

- La science des matériaux doit tendre à améliorer l'intensité matérielle et énergétique des nouvelles technologies. Les procédés de recyclage sont recherchés avec de plus en plus d'intérêt, ainsi que les possibilités de substitution des matériaux rares, pour des matériaux plus légers.
- La sobriété et la décroissance sont toujours évoquées, mais le « capitalisme vert » n'existe pas. La diminution de la consommation passe aussi par le développement des réparateurs, des recycleurs et des partageurs. L'extraction des mines est rentable, mais la valeur ajoutée la plus importante se trouve dans les hautes technologies. La course au moindre poids et à l'efficacité énergétique est décisive. Or, les aimants des terres rares sont essentiels. Quand le Japon a obtenu les brevets d'application des aimants nouveaux, il en a interdit l'exportation vers la Chine, ce qui a conduit ce pays à vouloir aussi tirer profit de la valeur ajoutée potentielle des terres rares. Cependant, pour être encore plus rentables, les Japonais ont commencé à délocaliser leurs applications en Chine, laissant à cette dernière la « low tech » moins rentable, tout en s'assurant d'une matière première toujours disponible sur place. Il a suffi pour le Parti Communiste chinois de limiter ses quotas à l'exportation pour inciter les entreprises à venir s'installer dans l'Empire du Milieu. En 1990, le Japon et les Etats-Unis représentaient 90 % du marché des aimants, aujourd'hui, la Chine en contrôle au moins 70%. La robotique a besoin de tungstène et les Chinois ont fait baisser les prix pour que les mines concurrentes ferment. Dans ce cadre, toute la robotique aurait pu être monopolisée par la Chine, contestant ainsi la technologie allemande. Les entreprises allemandes ont alors décidé de trouver d'autres sources d'approvisionnement plus chères pour ne pas tomber dans le piège. Une stratégie comparable a été engagée sur le graphite par la Chine, ce qui a valu une plainte de Washington en 2016 concernant des prix à l'exportation hors de proportion avec les prix intérieurs ; ce qui faussait la concurrence. Toutes les autres terres rares font aujourd'hui l'objet de cette politique industrielle nationaliste, avec des moyens quand même très inférieurs à ceux employés par Pékin.

L'Indonésie commence à emboîter le pas à son voisin asiatique, sur le marché de l'étain, métal indispensable aux technologies vertes et à l'électronique. Le pays ne veut plus exporter à l'état brut, il veut produire

les biens finis. Il a même créé une bourse aux métaux à Jakarta. Cependant, les résultats ont été un peu moins concluants, car la crise économique a modifié les rapports de force entre acheteurs et vendeurs. Les excès des exploiters étrangers de mines sont quand même à considérer et il est normal que les richesses d'un pays servent d'abord les intérêts de ses citoyens. Le nationalisme minier et les différends entre Etats s'étendent¹⁶, notamment dans les pays émergents, reprenant ainsi une revendication ancienne du Nouvel Ordre Economique International défendu alors par la CNUCED (Tableau 2)¹⁷.

De manière plus générale, la rareté de ces métaux permet à ses producteurs de gérer l'offre selon leurs intérêts économiques, mais aussi stratégiques et politiques¹⁸. Cependant, si leur rôle n'est plus aussi fort qu'avant, les firmes multinationales minières interviennent dans des pays instables, en augmentant leurs profits par des procédures qui s'apparentent à de la corruption ou qui utilisent clairement une main d'œuvre faiblement rémunérée, malgré les risques sanitaires toujours présents.

Tableau 3 – Le nationalisme croissant dans l'exportation des Terres rares

Pays	Objet	Différend
Mongolie	Oyu Tolgoï	Blocage de Rio Tinto
Canada (Saskatchewan)	Rachat PotashCorp	Rachat contesté de BHP Billiton (anglo australien)
Indonésie	Barrières à l'exportation	Nationalisme
Argentine	Barrières à l'exportation	Nationalisme
Afrique du Sud	Barrières à l'exportation	Nationalisme
Inde	Barrières à l'exportation	Nationalisme
Kazakhstan	Barrières à l'exportation	Nationalisme
Russie	Barrières à l'exportation	Nationalisme
Chine	Barrières à l'exportation	Nationalisme

Les pays occidentaux développés se sont dirigés vers un abandon des politiques publiques de souveraineté minérale et de santé. La France n'a plus de politique minière intéressante, alors qu'elle avait été plutôt efficace dans la période gaullienne. La défense nationale n'a plus de stratégie de long terme, le capitalisme est passé par là. Elle n'aborde plus la question des approvisionnements en métaux rares, pourtant si utiles aux entreprises d'armement. Washington s'est entendu avec l'Arabie Saoudite pour l'approvisionnement national des USA en pétrole en échange d'un soutien militaire. L'Europe reste insuffisamment active dans ce domaine. La crise de

¹⁶ OECD (2014), Export Restrictions in Raw Materials Trade : Facts, Fallacies and Better Practices, OECD, Paris.

¹⁷ Fontanel, J. (1995), Organisations Economiques Internationales, Masson, Paris.

¹⁸ Guillaume Pitron (Op. Cit.) donne l'exemple des Bafokengs, une tribu d'Afrique du Sud, qui a obtenu des droits sur la production de platine sur leur territoire.

la Covid-19 et du Brexit devrait l'inciter à redevenir décisionnaire concernant la qualité de son développement et de son indépendance.

La Chine, vers un futur leadership mondial ?

La stratégie industrielle des métaux rares a été lancée, avec un grand succès. Dans le plan chinois, plusieurs types d'entreprises ont été considérées comme prioritaires, la biotechnologie, l'efficacité et les nouvelles sources énergétiques, les technologies de l'information, les nouveaux matériaux, les véhicules propres et les équipements industriels à haute technologie. Elle bénéficie d'une main d'œuvre bon marché, d'un faible coût du capital (dévaluation du yuan) et d'une grande taille du marché national. Elle a su utiliser les « joint ventures », en bénéficiant des savoir-faire étrangers, ce qui a permis l'internalisation des technologies étrangères, puis leur utilisation chinoise. C'est une forme de vol technologique par la coopération bienveillante entre les peuples. Aujourd'hui la Chine passe à l'offensive, la co-innovation devenant une innovation chinoise, les entreprises étrangères étant invitées à travailler de plus en plus sur le sol chinois.

La Chine est en avance dans plusieurs activités industrielles, comme la biologie, l'énergie, les matériaux, l'automatisation, l'océanographie ou les technologies de l'information. Elle n'a toutefois pas la toute-puissance, du fait d'une formation insuffisante, de chercheurs en nombre limité au regard de sa population, de l'inertie des entreprises publiques dans les secteurs de l'énergie, des télécommunications et de la finance et d'un autoritarisme politique susceptible de freiner l'innovation économique et sociale. La survie du Parti communiste constitue sans doute une autre limite. En revanche, les progrès technologiques sont importants dans de nombreux domaines de prestige comme le spatial, les calculateurs, les équipements photovoltaïques, l'hydroélectricité, l'éolien. La Chine siphonne les emplois verts car la question écologique est très fortement posée par la population. Des manifestations du type NIMBY (not in my Backyard) ont été organisées par des citoyens, poussant Pékin à devenir un chef de file de la transition énergétique.

En attirant les entreprises étrangères et en les installant sur son sol, la Chine a capté une partie des richesses développées antérieurement par les pays occidentaux. D'une certaine manière, il s'agit d'une politique revendiquée de Beggar-thy-neighbour (« chacun pour soi, même au détriment direct du voisin »). La plupart des producteurs d'aimants américains ont disparu en 30 ans. La politique de dumping fait son effet et les concurrents sont amenés progressivement à coopérer avant de rendre

les armes. « Le capitaliste vendra la corde qui le pendra », disait Lénine. Le Parti Communiste chinois a bien appris cette leçon.

Les métaux rares vont transformer les relations internationales, vers une perte de confiance dans la globalisation, une modification des stratégies militaires de moins en moins concernées par les questions du Golfe et de plus en plus tournées vers les pays disposant de métaux rares disponibles. Militairement, la production de la plupart des armes les plus sophistiquées dépend de l'achat des terres rares à la Chine. Cette dépendance est sans doute une occasion de conflit militaire, car toute la technologie moderne repose sur ces matériaux rares, lesquels mettent la sécurité et les équilibres économiques en grand danger. La Chine s'impose comme la grande puissance de l'avenir, grâce aux métaux de substitution aux énergies polluantes et à un monopole de nombreux métaux rares indispensables (dans certains cas non substituables), aux énergies bas-carbone et au numérique. L'impact écologique de ces exploitations est considérable et la pénurie de minerais pourrait vite s'installer écologiquement, géologiquement mais surtout politiquement.

Plus grave, le conflit pour les îles Senkaku avec le Japon, fondé sur l'histoire mais surtout sur les réserves d'hydrocarbure, a mis en évidence les embargos discrets (pour éviter d'avoir à y répondre auprès de l'ORD de l'OMC) que Pékin peut faire subir à un adversaire¹⁹. Les ressources naturelles de la Chine deviennent un moyen de pression sur la politique des Etats importateurs²⁰. Dans le cas d'espèce, cet embargo sans nom a été abandonné, car, en retour, les biens de consommations « high tech » du Japon n'étaient plus exportés vers la Chine. Chaque Etat avance ses pions dans une stratégie géoéconomique de plus en plus complexe du fait même de la globalisation et des interdépendances économiques.

Lorsque Donald Trump a décidé d'interdire l'accès du marché américain à Huawei, les relations commerciales entre les deux grandes puissances se sont dégradées, de nouveau. Pourtant, toutes les compagnies informatiques de la Silicon Valley n'ont pas réagi, malgré cet avantage important que la décision du gouvernement américain leur offrait sur un plateau d'argent. Il faut dire que ce sont des entreprises qui ont un besoin important des matériaux des terres rares et que celles-ci se situent principalement en Chine. La crainte de représailles entre les deux pays pourrait conduire la Chine à arrêter les approvisionnements en matériaux vitaux pour la « high tech ». La plupart des industries stratégiques modernes et à venir sont dépendantes de matières premières produites par l'Empire du Milieu. La « guerre des métaux rares » n'est pas encore engagée, mais elle pourrait l'être dans un délai relativement court d'une décennie,

¹⁹ Pitron, G. (2019), Op. Cit.

²⁰ Tension, A. (2010), China Blocks Vital Exports to Japan, New York Time, 22 September.

sauf si des accords internationaux solides venaient à être signés par les principaux pays intéressés.

La Chine dispose d'un leadership dans la production de minerais essentiels, ces terres rares souvent très polluantes. Elle peut limiter les exportations et conserver cette faculté à produire nationalement. Les entreprises étrangères seraient alors conduites à venir s'installer en Chine, si les approvisionnements venaient à manquer. Dans ces conditions, la Chine attire les emplois des pays industrialisés. Cependant, la Chine considère que la production et l'exportation des métaux rares constituent des sujets sensibles et décisifs de sa défense nationale, elle pourrait refuser certaines exportations sous prétexte qu'elles entrent dans la fabrication de l'arsenal américain (comme c'est le cas pour ses chars Abrams et les F-35 avions furtifs).

Pour les besoins militaires, il est nécessaire de constituer des réserves d'énergie et de métaux rares. Il s'agit de s'approvisionner et de faire des stocks en cas de conflits, qu'ils soient armés ou économiques, comme pourrait l'être un embargo des producteurs. Ces stocks n'ont pas besoin d'être conséquents eu égard à la faible quantité d'aimants nécessaires pour les armes elles-mêmes. Il n'en va pas de même pour l'économie nationale, laquelle supporte les besoins nationaux au sens large. Magnequench, qui fabriquait les meilleurs aimants du monde pour les armées, s'est installé aujourd'hui à Tianjin, près de Pékin. Pendant la présidence de Clinton, General Motors accepta ce deal, à condition de pouvoir installer une usine de production de véhicules à Shanghai. Pékin a pu ainsi récupérer les secrets militaires américains²¹. La technique était de racheter les technologies duales (civiles et militaires) afin de les fournir à l'Armée rouge, évitant ainsi les embargos contre les armées décrétés par les USA à l'encontre de son adversaire chinois. Les techniques les plus éprouvées de la guerre moderne, comme les systèmes d'information et les bombes intelligentes, ont été des cibles prioritaires de Pékin. La Chine a pu ainsi partager leurs technologies de missiles avec les Etats-Unis²²

Aujourd'hui, les relations sino-américaines connaissent une période délicate de méfiance réciproque. Sauf que la Chine a plus progressé technologiquement et économiquement en 20 ans que ne l'ont fait les Etats-

²¹ Les proches de Deng Xiaoping étaient impliqués dans l'opération.

²² Bien avant l'affaire de l'intervention de la Russie dans la campagne électorale opposant Donald Trump et Hillary Clinton, des soupçons électoralistes ont été mis en évidence dans cette opération. Ce « Chinagate » n'a pas directement concerné Bob Clinton, mais il a directement visé le Parti démocrate qui aurait des subventions occultes contre la livraison de secrets technologiques à la Chine. Les Chinois ont pu ainsi acquérir la technologie des missiles longue portée. L'hypothèse de ces transactions n'a pas été vérifiée par une enquête judiciaire.

Unis. La sécurité d'un pays ne repose pas seulement sur les armes militaires, elle dépend aussi de sa puissance économique²³.

En 2020, le conflit avec Huawei met en évidence la violence des relations pour le pouvoir technologique mondial. Les Etats-Unis prennent le risque de perdre l'approvisionnement chinois en terres rares. Washington va-t-il annoncer la réouverture des mines pour limiter les importations chinoises, notamment celle de Mountain Pass? Il lui faut renforcer la résistance des chaînes logistiques des produits de base nécessaires à l'armée américaine, mais aussi aux productions duales²⁴. Les Américains pensent introduire une clause « Buy American Clause » dans les contrats militaires. Face aux menaces d'embargo chinois, il a été prévu éventuellement de relancer la production des matériaux vitaux, sans aucune réalisation significative en 2020. Le Pentagone s'interroge sur le point de savoir si, sur les importations chinoises, des virus malveillants seraient implantés en vue d'empêcher le bon fonctionnement des matériels. Aujourd'hui encore, le F-35 embarque dans son cockpit des terres rares de Chine. La guerre économique peut alors bientôt prendre une allure inquiétante en cas de conflit entre les deux grandes puissances²⁵.

Les pays occidentaux subissent ainsi une vulnérabilité stratégique qui pourrait conduire aussi bien à une guerre économique que militaire. Dès 2010, la question a été posée à l'armée américaine de ne plus dépendre des énergies fossiles et d'utiliser des armes télécommandées employant des énergies renouvelables et des robots alimentés à l'électricité. Dans ce cadre, l'acheminement du carburant sur les fronts ne serait plus utile. Cependant, six années plus tard, cette présentation commence à être discutée. Le Ministère de l'Intérieur des Etats-Unis considère alors qu'il existe 35 métaux critiques, appartenant à la mouvance « green tech », susceptibles de mettre en danger la sécurité économique et militaire des Etats-Unis. Les cyber armées peuvent remporter les conflits de demain. Un fort engagement a été réclamé par Donald Trump en vue de supprimer cette dépendance. Il a même proposé de racheter le Groenland, riche en ressources minières et si peu peuplé. Il s'agit de vulnérabilités qui ne peuvent plus être acceptables. Cette liste devra être revue périodiquement en fonction des évolutions des marchés, des actions gouvernementales, des nouvelles recherches sur les matériaux et de nouvelles découvertes scientifiques, la concentration de la production (entreprise et Etat) et les priorités politiques du moment. Il est donc demandé :

²³ Fontanel, J., 2016. La sécurité économique et sociétale : pour une conceptualisation humaniste multidimensionnelle. *PSEI, Paix et Sécurité Européenne et Internationale*,

²⁴ President USA (2017), Presidential Executive Order on Assessing and Strengthening the manufacturing and defense industrial base and supply chain resiliency of the United States, White House, 21 July.

²⁵ Fontanel, J., Bensahel, L. (1993), La guerre économique, Arès, Défense et Sécurité.

- d'engager un processus de réduction des vulnérabilités des minéraux « critiques »,
- de considérer les technologies de recyclage,
- d'analyser les possibilités alternatives (et leurs coûts),
- de prioriser l'accès à ces métaux par un échange avec les alliés et les partenaires,
- de faire des analyses de prospection pour analyser les ressources nationales disponibles,
- de proposer des recommandations visant à rationaliser les processus d'autorisation et de révision des baux,
- de développer les moyens d'accroître la découverte, la production et le raffinage domestique de minéraux essentiels.

Il faut donc engager des stratégies pour renforcer et soutenir les « supply chains » de ces matériaux, afin d'éviter la vulnérabilité des disruptions. Il sera même possible de modifier les lois et règles en fonction de l'urgence de la demande spécifique²⁶.

La France est un géant minier en sommeil. Il faut arriver à rendre compatibles les activités minières avec le développement durable. Il n'y aura plus de production minière significative d'ici à 10 ans. La délocalisation a évité aux consommateurs français les coûts écologiques en laissant les pollutions se réaliser gravement à l'étranger, dans les pays plus pauvres, ou plus rapaces. Relancer les mines présente deux intérêts, d'abord produire proprement ces métaux, ensuite de venir plus autarcique pour de nombreuses productions. Il existe des mines à Wallis et Futuna, où l'ancien volcan Kulolasi abrite de belles réserves de terres rares. Les océans en recèlent aussi un potentiel intéressant. La question de l'extension du plateau continental est alors posée, tout comme le potentiel spatial.

La France a disposé d'entreprises de raffinage performantes, mais elles n'ont pas été soutenues par les gouvernements convaincus du bien-fondé de la concurrence dans le cadre d'une globalisation non maîtrisable. La survie de la démocratie est pourtant en cause. La globalisation économique, dominée par les idées libérales, laissait à penser que l'interdépendance des Etats était un facteur de paix. Cependant, les rapports de force s'expriment davantage quand un pays devient dépendant de produits nécessaires à son propre développement. Le raisonnement mercantiliste revient rappeler que l'avenir d'un pays dépend aussi de sa capacité à résister aux rapports de force que des Etats, ne partageant pas ses valeurs, veulent lui imposer par la force de l'approvisionnement de biens et services essentiels à sa survie²⁷. Le choc des civilisations n'est pas

²⁶ USGS (2018), Interior Releases 2018's Final List of 35 Minerals Deemed Critical to National Security and the Economy., USGS (Ministère de l'Intérieur), mai 2018

²⁷ Fontanel, J., 2005. La globalisation en analyse. *Géoéconomie et stratégie des acteurs*, L'Harmattan, Paris

toujours une fable, quand un pays se recommandant du communisme demande l'ouverture à la compétition internationale²⁸.

Bibliographie

- ADEME (2016), *Les potentiels du véhicule électrique*, ADEME, Avril
- Bardi, U. (2015), *Le grand pillage. Comment nous épuisons les ressources de la planète*. Les Petits Matins.
- Commission européenne (2017) *Principaux producteurs de minerais rares Commission européenne*, Bruxelles, Septembre.
- Flipo, F., Dobré, M., Michot, M. (2013), *La face cachée du numérique. L'impact environnemental des nouvelles technologies*, L'Echappée.
- Fontanel, J. (1984), *L'économie des armes*, La Découverte, Paris.
- Fontanel, J., Bensahel, L. (1993), *La guerre économique, Arès, Défense et Sécurité*.
- Fontanel, J. (1995), *Organisations économiques internationales*, Masson, Paris.
- Fontanel, J., Arrow, K., Klein, L. and Sen, A., (2003). *Civilisations, globalisation et guerre*. PUG, Presses Universitaires de Grenoble, PUG, Grenoble.
- Fontanel, J., (2005) *La globalisation en analyse. Géoeconomie et stratégie des acteurs*, L'Harmattan, Paris.
- Fontanel, J. (2016) *La sécurité économique et sociétale: pour une conceptualisation humaniste multidimensionnelle. PSEI, Paix et Sécurité Européenne et Internationale*,
- Fontanel, J. (2020), *Le New Deal Vert, la troisième révolution industrielle ? Une analyse de la pensée de Jeremy Rifkin, Pax Economica*, Grenoble
- Fontanel, J. (2020), *La globalisation atteinte du coronavirus. Inégalités, égoïsmes, ploutocratie, insécurité, Thucy afri-ct.prg, n°30*.
- Marscheider-Weidemeian, F., Langkau, S., Hummen, T., Erdmann, L., Tercero Espinoza, L. (2016), *Raw materials for Emerging Technologies 2016*, German Mineral Resources Agency (DERA), March.
- OECD (2014), *Export Restrictions in Raw Materials Trade : Facts, Fallacies and Better Practices*, OECD, Paris.
- Pitron, G. (2019), *La guerre des métaux*, LLL, Les liens qui libèrent
- President USA (2017), *Presidential Executive Order on Assessing and Strengthening the manufacturing and defense industrial base and supply chain resiliency of the United States*, White House, 21 July.
- Rifkin, Jeremy (2019), *Le New Deal Vert Mondial. Pourquoi la civilisation fossile va s'effondrer d'ici 2028. Le plan économique pour sauver la vie sur Terre*, Editions « Les Liens qui libèrent ».
- Tension, A. (2010), *China Blocks Vital Exports to Japan*, *New York Time*, 22 September.
- USGS (2018), *Interior Releases 2018's Final List of 35 Minerals Deemed Critical to National Security and the Economy*, United States Geological Survey, June 2018.
- USGS (2018), *Mineral Resources On-Line Spatial Data*, USGS <http://mradata.usg.gov/ree/>, United States
- Vidal, M. (2015), *Ressources minérales et énergie : rapport du groupe Sol et sous-sol de l'Alliance*, Alliance nationale de coordination de la recherche scientifique, ANCRE, Juin.

²⁸ Fontanel, J., Arrow, K., Klein, L. and Sen, A., 2003. *Civilisations, globalisation et guerre*. PUG, Presses Universitaires de Grenoble, PUG, Grenoble.