

La guerre des métaux rares

La face cachée de la transition
énergétique et numérique

Guillaume PITRON

La guerre des métaux rares

La face cachée de la transition
énergétique et numérique

Guillaume PITRON

MARS 2021

Sommaire

Avant-propos p. 5
André Comte-Sponville

Introduction p. 9

I - Des ressources indispensables à la transition énergétique p. 11

II - Les coûts environnementaux et stratégiques des énergies vertes p. 12

III - Les paradoxes de la transition énergétique p. 15

IV - Des ressources en tension p. 18

V - Connaître et maîtriser nos approvisionnements stratégiques p. 24

1 - Une approche normative

2 - Une approche technologique

3 - Une approche stratégique

VI - Basculer dans un monde circulaire p. 29

VII - Réinventer des leviers de valorisation de la ressource p. 30

1 - Conférer, par la loi, une valeur artificielle aux matières secondaires

2 - Déceler, au sein des entreprises, de la valeur là où le marché n'en confère pas

Questions de la salle p. 35

Les publications de l'Institut Diderot p. 59

Avant-propos

Qu'est-ce que l'économie ? La gestion des ressources en situation de rareté. Cette dernière notion est évidemment relative. Aucune ressource n'est rare en soi, mais seulement en fonction des besoins ou désirs qui la visent. C'est pourquoi l'économie est notre destin, auquel nous n'échapperons pas : parce que les ressources, même croissantes, restent limitées, alors que nos désirs ne le sont pas (sont-ils satisfaits, on désire aussitôt autre chose). La société d'abondance n'est qu'un leurre. Il y faudrait une richesse infinie ou une société de sages, double impossibilité, à quoi on n'a su remédier qu'en rêve (les diverses utopies, qui ne se réalisèrent, lorsqu'elles le firent, qu'en tournant au cauchemar). L'infini, vers quoi nous tendons (« toujours plus », pour une humanité de plus en plus nombreuse), est hors d'atteinte. La rareté est notre lot, définitivement, donc aussi l'insatisfaction.

Tel est l'horizon anthropologique qui donne au propos de Guillaume Pitron sa portée, sa gravité, son urgence. On doit à cet auteur un livre remarquable et remarqué : « La Guerre des métaux rares (La face cachée de la transition énergétique et numérique) », paru en 2018 aux éditions Les liens qui libèrent. Il en présente ici, en les

actualisant, les principaux enseignements, qui sont rudes. Parce que la pénurie menace ? En partie. Les métaux rares (dont les fameuses « terres rares »), ou même simplement les « métaux critiques » (ceux qui présentent un risque de rupture d'approvisionnement), méritent bien leur nom. Les réserves rentables actuellement connues ne garantissent que quelques années ou décennies d'exploitation. Toutefois, note Guillaume Pitron, ce ne sont que des estimations provisoires : « *Après tout, cela fait quarante ans qu'il n'y a plus de pétrole que pour quarante ans... Il en va de même pour les métaux. Si cela se trouve, les chiffres seront les mêmes dans quelques années, parce qu'on aura repoussé les limites. Car si notre consommation augmente, la technologie évolue également.* » Guillaume Pitron ne fait pas partie des « effondristes » ou « collapsologues », et c'est tant mieux. Il reste que nos besoins, s'agissant de ces métaux rares, croissent beaucoup plus vite que les ressources connues, lesquelles sont d'ailleurs presque toujours concentrées ailleurs qu'en Europe (notamment en Chine, qui « domine très largement le marché des terres rares », et en Afghanistan), ce qui n'est pas sans nous poser d'inquiétants problèmes d'indépendance économique, donc aussi, à terme, de souveraineté. Le XIX^e siècle fut le siècle du charbon. Le XX^e, celui du pétrole et de l'électricité. Le XXI^e sera celui des métaux, y compris s'ils sont abondants (le fer, le cuivre), a fortiori s'ils sont rares ou critiques, ce qu'ils tendent tous à devenir. Et c'est une mauvaise nouvelle – une de plus – pour l'environnement.

C'est où le propos de Guillaume Pitron est le plus neuf : il montre que les transitions énergétique et numérique, l'une et l'autre écologiquement nécessaires et d'ailleurs indissociables, augmentent considérablement nos besoins en métaux rares, lesquels ne peuvent être extraits qu'au prix... de lourdes retombées écologiques ! « *Les conséquences environnementales et sanitaires de l'extraction de ces matières premières critiques sont désastreuses* », écrit l'auteur. L'écologie semble se retourner contre elle-même : « *les technologies propres nécessitent des métaux sales* », qui polluent en amont et en aval. On s'en rend peu compte, dans nos pays, parce que nous « *délocalisons la part de pollution des énergies vertes* », si bien que « *la transition énergétique nous fait aussi perdre notre souveraineté écologique* ». Sauver la planète ? Cela dépend de moins en moins de nous, de plus en plus de nos fournisseurs ! C'est bien commode (pour notre bonne conscience) et bien dangereux (pour le monde).

Faut-il alors renoncer à la transition énergétique ? Surtout pas ! Cette transition ne durera qu'un temps (c'est une « transition transitoire »), mais n'en est pas moins indispensable. Encore faut-il se donner les moyens d'inclure en elle le coût écologique qu'elle suppose, et de le réduire. L'économie circulaire, qui serait la solution, atteint vite ses limites : « *plus une énergie est verte, moins il y a d'économie circulaire* », car ces énergies vertes « *sont faites de matériaux complexes, avec des alliages nouveaux* », qu'il est plus difficile de recycler et de « *réinjecter dans le circuit économique*

après usage ». C'est pourtant ce vers quoi il faut tendre, malgré la difficulté du processus, et ce ne sera possible qu'avec l'intervention incitative, voire contraignante, de la puissance publique. « *Le sens de l'histoire va vers plus de recyclage, plus d'économie circulaire* », ce qui revient à « *créer plus de valeur avec moins, défi en fin de compte plus complexe que celui du passage à un monde vert* », si l'on entend par là un monde décarboné. Car « un monde bas carbone » ne sera pas immédiatement « un monde bas ressource », qui vouerait l'humanité (à commencer par les plus pauvres) à la misère. Reste alors à se donner les moyens d'une croissance écologiquement *soutenable*, comme disent les Anglo-saxons, ce qu'on appelle en français le « développement durable ». Aucune solution derrière nous, dans la nostalgie d'un passé idéalisé ! Pour résoudre les redoutables problèmes auxquels nous sommes confrontés, à commencer par une population de bientôt dix milliards d'êtres humains, nous avons besoin de plus de sciences, de plus de technologies, de plus de progrès, et non pas moins. « *On peut croire au génie humain* », conclut Guillaume Pitron, autrement dit à nos capacités d'invention. Oui. Mais à condition que nous affrontions lucidement les difficultés, et c'est à quoi cette brochure veut contribuer.

André Comte-Sponville
Directeur général de l'Institut Diderot

La guerre des des métaux rares

La face cachée de la transition énergétique et numérique

Introduction

Les métaux rares, parmi lesquels les terres rares, sont des métaux dont l'une des caractéristiques est d'être très dilués dans l'écorce terrestre. Ils ne sont donc pas rares au sens où il y en aurait peu. Il y en a partout sur Terre, jusque dans les océans ; il y en a même dans les astéroïdes. Mais leur dilution les rend bien plus difficiles à extraire. En proportion, une mine permettant d'extraire fer et néodyme donnera en moyenne 1 000 fois moins du second.

Ces métaux appartiennent à un ensemble plus vaste de métaux stratégiques, défini en France par le COMES (Comité pour les métaux stratégiques) institué par Thierry Borloo en 2011 et dépendant de Bercy. Les métaux stratégiques sont les métaux indispensables à la défense et à l'économie d'une nation, dont la liste varie par conséquent selon les pays.

Une troisième notion est celle de «métal critique». La Commission européenne met à jour tous les trois ans, dernièrement en septembre 2020, une liste des métaux et plus généralement de matières premières qu'elle qualifie de critiques, car présentant des risques de rupture d'approvisionnement, en raison d'une rareté relative et parce que la production est tenue par quelques pays dominants. Ces matières premières sont souvent rares, mais pas seulement. Le silicium, par exemple, est très abondant. On y trouve aussi des matières premières agricoles, par exemple le caoutchouc. Ce sont néanmoins les métaux qui sont les plus présents dans cette liste, parmi lesquels les terres rares. Le nombre de ces matières premières critiques augmente à chaque fois : en 2011, il y en avait quatorze ; en 2014, vingt ; en 2017, vingt-six et, en 2020, trente.

Liste 2020 des matières premières critiques

(les matières nouvelles par rapport à 2017 apparaissent en gras)

Antimoine	Hafnium	Phosphore
Baryte	Terres rares lourdes	Scandium
Béryllium	Terres rares légères	Silicium métal
Bismuth	Indium	Tantale
Borate	Magnésium	Tungstène
Cobalt	Graphite naturel	Vanadium
Charbon à coke	Caoutchouc naturel	Bauxite
Spath fluor	Niobium	Lithium
Gallium	Platinoïdes	Titane
Germanium	Phosphate naturel	Strontium

Source : Commission européenne, 2020

I – DES RESSOURCES INDISPENSABLES À LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Ces matières premières sont incontournables pour la transition énergétique. Le silicium métal est nécessaire pour fabriquer des panneaux solaires. Il faut jusqu'à une tonne de néodyme pour fabriquer les aimants d'une éolienne *offshore*. Il y a aussi besoin de cuivre (ni rare, ni critique, mais un métal éminemment vital pour la transition énergétique) pour raccorder ces éoliennes au réseau. Presque toutes les voitures électriques contiennent du néodyme dans le moteur, ce qui permet de le rendre plus léger qu'avec du cuivre et par conséquent d'améliorer l'autonomie de la batterie. À part la Zoé et quelques-unes, toutes les voitures contiennent donc du néodyme. Enfin, les batteries de voiture nécessitent des métaux et minerais rares, stratégiques ou critiques comme le lithium, le cobalt, le graphite.

La transition énergétique sera aussi une transition numérique. Les éoliennes ne tournant pas quand il n'y a pas de vent, et les panneaux photovoltaïques ne produisant pas d'électricité sans soleil, il faut piloter les réseaux avec des réseaux informatisés permettant d'optimiser la rencontre de l'offre et de la demande et d'éviter les pertes d'électricité. Car on ne sait pas bien stocker l'électricité. Le stockage de l'électricité va s'améliorant, mais en attendant il faut donc un pilotage automatique des réseaux, ce qui demande une puissance de calcul et des outils numériques de pointe. C'est tout l'enjeu des *smart networks* et *smart cities*.

À mesure que nous avançons dans la transition, nous avons ainsi de plus en plus besoin d'outils numériques très gourmands en métaux stratégiques comme le béryllium, le gallium, le germanium, l'indium.

Dernier exemple, le graphite. Celui-ci facilite la conductivité de l'électricité. C'est la raison pour laquelle, même sans le savoir, nous portons tous du graphite sur nous, à hauteur d'un ou deux grammes, dans la batterie de notre téléphone. Et c'est la raison pour laquelle les voitures électriques en ont plusieurs kilos dans leur batterie.

II – LES COÛTS ENVIRONNEMENTAUX ET STRATÉGIQUES DES ÉNERGIES VERTES

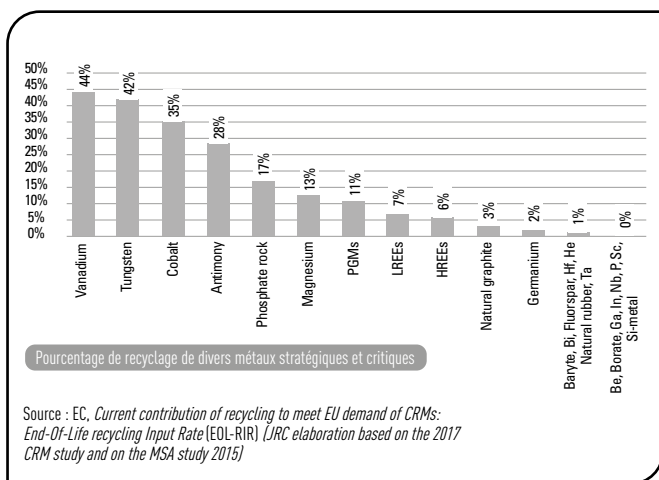
Les conséquences environnementales et sanitaires de l'extraction de ces matières premières critiques sont désastreuses. J'en donne à voir plusieurs exemples dans le documentaire que j'ai récemment fait pour ARTE ¹. Dans le Heilongjiang, au nord de la Chine, où l'on extrait une grande partie du graphite mondial, dont 69 % viennent de Chine, les rebuts de l'industrie du raffinage de graphite sont rejetés directement dans les campagnes alentour. La poussière de graphite fait qu'on doit se protéger le visage pour ne pas la respirer et

1. *La face cachée des énergies vertes*. Diffusé le 24 novembre 2020 et désormais disponible sur : <https://boutique.arte.tv/detail/la-face-cachee-des-energies-vertes>.

éviter toutes sortes de maladies, la silicose notamment. À quelques milliers de kilomètres de là, à Baotou, en Mongolie-Intérieure, ce sont les usines de raffinage de terres rares qui non seulement consomment beaucoup d'eau, mais déversent leurs rejets dans un lac de rejet artificiel dont on dit, mais je précise que je n'ai pu le vérifier, qu'il n'est pas imperméabilisé et donc contamine la nappe phréatique du fleuve Jaune à proximité. Les villageois sont partis. Leurs terres sont devenues infertiles. Ils sont victimes de la maladie des os de verre. Un officiel, le vice-secrétaire de la société chinoise des terres rares, en parle même face caméra, de cancers et de radioactivité. Je ne sais d'ailleurs pas comment il a osé, j'espère qu'il ne lui est rien arrivé depuis que le film a été diffusé. Une industrielle chinoise m'a un jour résumé la situation en disant que la Chine a sacrifié son environnement afin d'extraire des terres rares pour le reste de la planète. C'était il y a dix ans. Je suis retourné sur le terrain huit ans plus tard, la situation n'a pas changé.

Une solution serait naturellement de recycler les terres rares. Toutefois, comme le montre le graphique suivant, on voit que si certains métaux stratégiques comme le vanadium ou le tungstène peuvent être recyclés correctement, le graphite et les terres rares ne le sont quasiment pas.

Le difficile recyclage des métaux stratégiques



Il est en effet compliqué de recycler des aimants de la taille d'un ongle qui ne font même pas un gramme, mais qui contiennent du néodyme, du fer et du bore. Séparer le fer, le néodyme, le bore dans ces conditions n'est pas possible. Ça coûte trop cher. Le résultat est qu'on préfère retourner à la mine que de se servir chez le recycleur. Autrement dit, l'industrie des terres rares est une industrie où, paradoxalement, l'occasion vaut plus cher que le neuf, où la matière secondaire vaut plus cher que la matière primaire. Tant qu'on n'améliorera pas les procédés de recyclage, tant que le recyclage ne sera pas compétitif par rapport à la mine, personne ne sera motivé pour recycler ces matières premières et les réutiliser.

III – LES PARADOXES DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Ces constats corroborés par ce que j'ai vu et entendu sur le terrain m'amènent à énoncer un certain nombre de paradoxes concernant la transition énergétique.

Tout d'abord, un monde bas carbone ne sera pas un monde bas ressource. Il est très positif que nous diminuions notre consommation de pétrole et de charbon et que nous diminuions nos émissions de CO². Mais remplacer les hydrocarbures par des panneaux solaires ne signifie pas pour autant un monde bas ressource. Il va falloir plus de matériaux critiques, stratégiques, rares ou abondants, pour accompagner les nouvelles technologies de l'énergie.

Autre paradoxe : les technologies propres nécessitent des métaux sales. Certes, quand on utilise ces technologies, quand on roule en voiture électrique, on n'émet pas de CO². Mais il faut considérer l'ensemble du cycle de vie d'une technologie pour évaluer son impact. Depuis la mine jusqu'à la décharge. Or, force est de constater que les matériaux nécessaires aux énergies vertes polluent en amont et même en aval parce que même le recyclage, si tant est qu'il y en ait, est polluant. On n'a pas spontanément conscience de cela, car on ne le voit pas. Les mines sont loin et on a ainsi l'illusion du propre alors qu'en réalité il y a de la pollution. C'est bien entendu une bonne nouvelle que nous puissions dépolluer les centres-villes grâce aux voitures électriques. Cela permet de traiter localement des problèmes de pollution dans

des agglomérations surpeuplées, alors que 50 % de la planète, 70 % en 2050, occupe 2 % du globe. Mais la pollution n'est pas supprimée pour autant. Elle est déportée. Nous délocalisons la part de pollution des énergies vertes.

Un troisième paradoxe est que plus une énergie est verte, moins il y a d'économie circulaire. Car les énergies vertes sont faites de matériaux complexes, avec des alliages nouveaux. Il est donc plus difficile de les réinjecter dans le circuit économique après usage.

Enfin, la transition énergétique nous fait aussi perdre notre souveraineté écologique. Car si l'essentiel de la pollution d'une technologie verte vient de l'extraction du minerai et de la fabrication de produits finis, et que nous dépendons de l'extérieur pour celles-ci, alors nos performances environnementales nous échappent et sont indexées sur les performances environnementales de ceux dont nous dépendons. Dans les faits, puisque tous nos panneaux solaires viennent maintenant de Chine, nous dépendons du bon vouloir de Pékin quand il s'agit de verdir leur production.

Cette situation est le résultat de choix qui ont été faits dans les années 1980 et 1990. Il y avait à cette époque une filière de production de terres rares en Australie et une de raffinage en France, à La Rochelle, par Rhône-Poulenc devenu depuis Rhodia, puis Solvay. Nous raffinions ainsi, jusque dans les années 1990, 50 % des terres rares de la planète. Cette activité engendrait de la

pollution. De la même façon, aux États-Unis, Molycorp qui extrayait les terres rares de la mine de Mountain Pass avait de sérieux problèmes avec les autorités fédérales en raison de la pollution. Cette pollution est notamment due à la présence d'émissions radioactives (les terres rares étant associées au thorium et à l'uranium). Cette radioactivité est très faible, il n'y a jamais eu un mort, il ne s'agit pas de déchets durant plusieurs milliers d'années. Néanmoins, à La Rochelle, Rhône-Poulenc n'a finalement gardé que la partie la plus en aval du raffinage, très minime, le reste se faisant en Chine. Autrement dit, nous avons délocalisé la pollution. Nous avons organisé le monde entre ceux qui se salissent pour produire les minerais et ceux qui rachètent les minerais propres pour les mettre dans leur technologie tout en se disant propres.

La logique qui préside à la production des énergies vertes n'est ainsi pas vraiment différente de celle qui dirige la production de n'importe quelle autre technologie : les mêmes processus industriels sont à l'œuvre, les mêmes logiques de délocalisation, de sous-traitance, d'absence de stock, de *leaning*, les mêmes marges financières. Les énergies vertes ne nous prémunissent donc pas par nature des mêmes paradoxes et des mêmes problèmes que rencontrent les autres technologies.

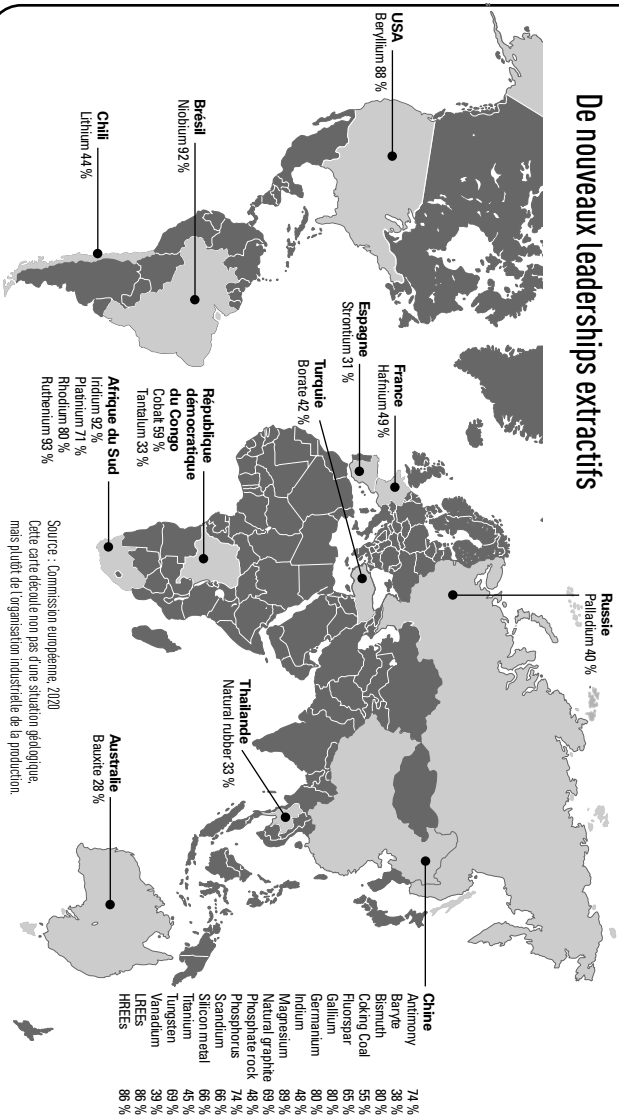
IV – DES RESSOURCES EN TENSION

Une grande partie des problèmes qui viennent d'être soulevés tiennent au fait que la Chine domine très largement le marché des terres rares. 30 à 40 % des gisements se situent en Chine, qui s'est appuyée sur cet avantage naturel pour capter très largement la production des métaux rares, critiques et stratégiques.

En plus de ses avantages naturels, la Chine a en effet accueilli dans les années 1980 et 1990 l'ensemble de l'extraction et de la production de minerais dont les pays occidentaux voulaient à ce moment se débarrasser pour des raisons de pollution, de sous-traitance de l'industrie et de recherche du moindre coût. Cela pouvait paraître une bonne affaire, puisque la Chine prenait sur elles les conséquences environnementales et pouvait produire à moindre coût grâce au *dumping* social, environnemental et sanitaire non intégré dans les coûts. Nous en voyons désormais les conséquences – de même que les Chinois, qui commencent à mesurer les dégâts de cette politique sur leur environnement.

En conséquence, cette logique de spécialisation minière induit un fort déséquilibre de la production de ces matières critiques, comme le montre la carte qui suit.

De nouveaux leaderships extractifs



On constatera sur la carte précédente la quasi-absence de l'Union européenne, si ce n'est la France et l'Espagne pour le hafnium et le strontium. L'Europe représente 3 % de la production minière mondiale alors que nous consommons 25 % des métaux produit dans le monde. La différence doit donc être trouvée quelque part, c'est-à-dire, pour la très grande majorité, en Chine. Or celle-ci, à partir des années 2000, afin de développer ses propres filières et de marquer sa puissance, a commencé à diminuer ses ventes de métaux critiques en disant qu'elle en avait besoin pour sa propre industrie. Les nations développées se sont alors trouvées devant le choix suivant : faire tourner leurs usines au ralenti, ou installer leurs usines et leurs laboratoires en Chine, par l'intermédiaire de coentreprises, avec à terme des transferts de technologie. L'opération présentait, par ailleurs, l'intérêt de pouvoir accéder au gigantesque marché intérieur chinois. Les Chinois ont alors très vite appris, ce que nous avons peut-être sous-estimé. Ils font désormais de l'innovation endogène et non plus exogène, développent leurs propres brevets et produisent 30 % des éoliennes et 70 % des panneaux solaires dans le monde.

La guerre commerciale sino-américaine peut-être analysée à l'aune de ces matières premières. Elle émerge à la suite d'une formidable stratégie agencée par la Chine qui, sur trente ans, a organisé une remontée de la chaîne de valeur de façon à ne plus vendre du métal à trois euros le kilo, mais des voitures électriques à 20 000. C'est pour cela qu'une guerre commerciale a été enclenchée par Trump voyant que la Chine taille des croupières aux

États-Unis et que la balance commerciale leur est de plus en plus défavorable. Il a ainsi demandé, dès son arrivée à la Maison-Blanche, une revue de toutes les matières premières stratégiques, notamment les terres rares, vitales pour la Défense américaine : un F-35 nécessite, par exemple, 400 kilos de terres rares. Sous cet angle, l'administration Biden ne se démarque pas de celle de Trump. À peine arrivé au pouvoir, Biden a également demandé une revue stratégique des approvisionnements en terres rares en vue de développer d'autres sources d'approvisionnement, notamment en Australie, pour ces matières qui conditionnent une partie de la sécurité nationale américaine.

Les terres rares sont donc un enjeu géopolitique majeur, qui se cristallise à mesure que la Chine menace de ne plus exporter les siennes. La question est d'autant plus sensible que notre demande de métaux va s'accroître considérablement.

Pour les seuls besoins de la voiture électrique, il faudra 14 fois plus de nickel et d'aluminium en 2030 par rapport à 2019, 13 fois plus de phosphore et de fer, 10 fois plus de cuivre et de graphite, 9 fois plus de lithium. Il faut bien comprendre que l'industrie de la voiture électrique consommera X fois plus (et non pas l'ensemble de la planète).

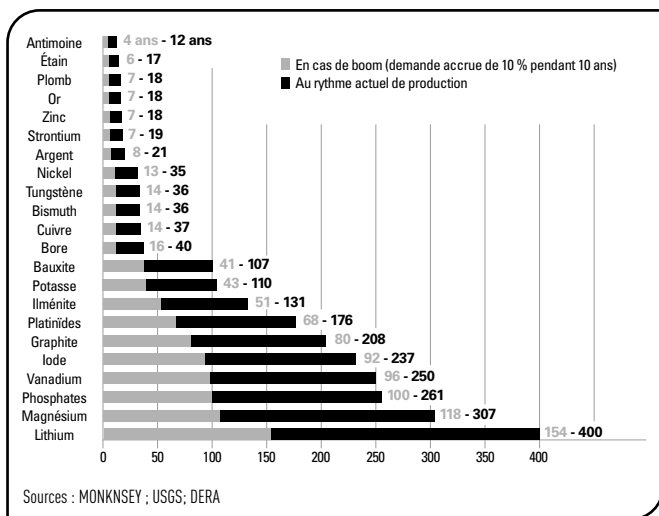
De même, l'OCDE, dans une étude de 2019, nous rappelle qu'au rythme de progression actuel, nos besoins en métaux seront deux fois et demie plus élevés en 2060

par rapport à 2011. Tous ces métaux, bien entendu, ne seront pas affectés à la transition énergétique. On n'a pas attendu la transition énergétique pour extraire du cuivre. Mais il est important de souligner que celle-ci ne freinera par l'extractivisme ; elle l'accélère. Olivier Vidal, de l'Université de Grenoble, a ainsi montré qu'entre 2015 et 2050, l'humanité consommera autant de métaux qu'elle en a consommé depuis que l'homme est homme, depuis 60 000 ans.

La question se pose alors inévitablement : va-t-on manquer de matières premières ? Quels sont les risques de pénurie ?

Le tableau suivant propose un état des réserves rentables :

Durée de vie des réserves rentables (en années d'exploitation)



Les chiffres semblent particulièrement inquiétants : plus d'antimoine dans douze ans, d'étain dans dix-sept, d'or et de plomb dans dix-huit.

Il faut cependant nuancer ce tableau. Après tout, cela fait quarante ans qu'il n'y a plus de pétrole que pour quarante ans... Il en va de même pour les métaux. Si cela se trouve, les chiffres seront les mêmes dans quelques années, parce qu'on aura repoussé les limites. Car si notre consommation augmente, la technologie évolue également. Pas un jour ne passe sans qu'on découvre un nouveau gisement et notamment des nodules polymétalliques sous les eaux. Il y aura toujours un gramme de métal à aller chercher quelque part.

La question n'est donc pas tant de savoir s'il y aura pénurie sur le plan géologique. La vraie question est de savoir quel est le coût pour aller chercher des nodules polymétalliques au fin fond du Pacifique, à 6 000 mètres de profondeur. À quel coût énergétique, économique, écologique aussi, parce que les gisements les plus accessibles étant déjà exploités, il faut creuser plus profondément avec un impact accru sur l'environnement. Coût écologique et donc coût social et coût politique. De fabuleux gisements sont ainsi inexploités pour ces raisons. Après des années de lutte judiciaire acharnée, les Diaguitas ont obtenu que la justice interdise à Barrick Gold d'ouvrir la mine de Pascua Lama, à cheval entre le Chili et l'Argentine. De même, la justice s'est opposée à l'ouverture de la mine de Peeble en Alaska, qui aurait été située juste à côté d'un fleuve à saumons et d'un fabuleux réservoir de biodiversité.

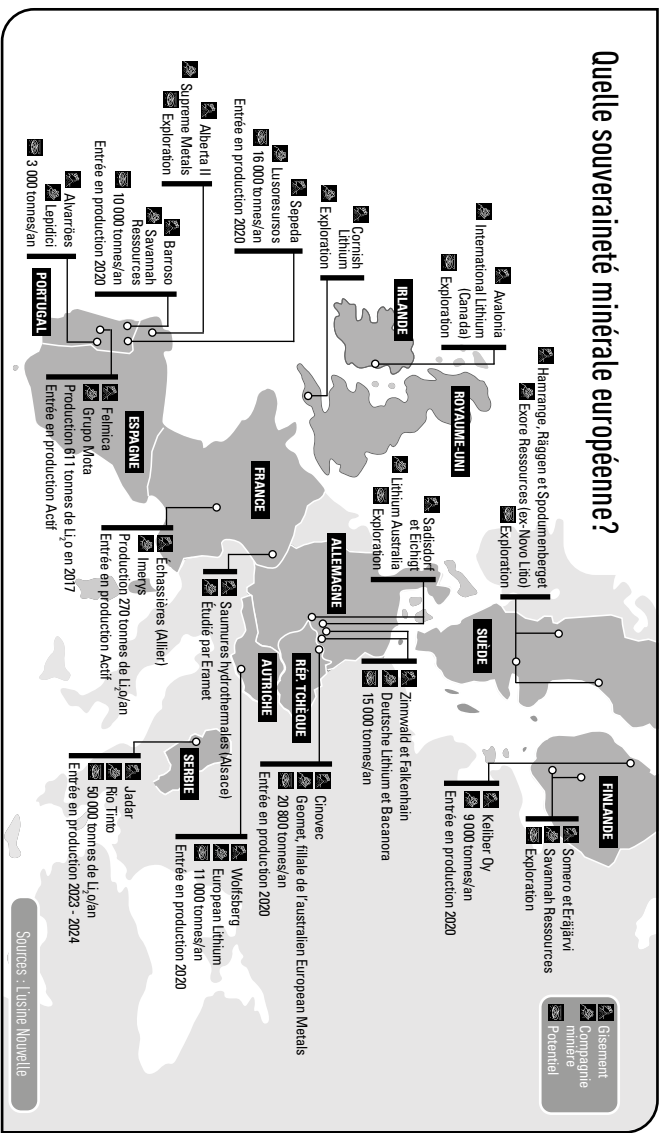
Il faut insister sur ce point : les limites ne sont pas géologiques, mais sociales et politiques.

De même que nous essayons de nous débarrasser du charbon et du pétrole de façon à basculer dans l'âge vert, non pour la raison qu'il n'y en aurait plus, mais parce que nous pensons qu'ils apportent plus de maux que de bienfaits, je pense que, dans quelques années, quelques décennies, nous prendrons conscience du coût réel de ces métaux, notamment de leur coût écologique, et que nous voudrions nous passer de la transition énergétique des technologies vertes. En ce sens, la transition énergétique, à mon avis, est une transition transitoire. On verra quand nous aurons mis des voitures électriques partout et qu'on pourra évaluer alors ce que cela nous coûte réellement.

V – CONNAÎTRE ET MAÎTRISER NOS APPROVISIONNEMENTS STRATÉGIQUES

Ces problèmes nous amènent à prendre conscience de nos besoins propres. L'Europe se demande ainsi comment, pour échapper au joug chinois, aller chercher ailleurs les métaux rares, critiques et stratégiques qui lui sont nécessaires. La carte jointe montre que de nombreux projets de production de lithium, commencent à voir le jour en Europe.

Quelle souveraineté minérale européenne?



Sources : L'usine Nouvelle

L'Europe pourrait ainsi produire ses minerais pour elle-même. Cependant, bien que Thierry Breton affirme que nous pourrions être autosuffisants en 2025 pour nos besoins en lithium, il ajoute que l'Europe ne pourra pas couvrir tous ses besoins. Nos ressources sont importantes et diversifiées, mais elles ne seront pas suffisantes, d'où la nécessité de recourir à d'autres approches.

1. Une approche normative

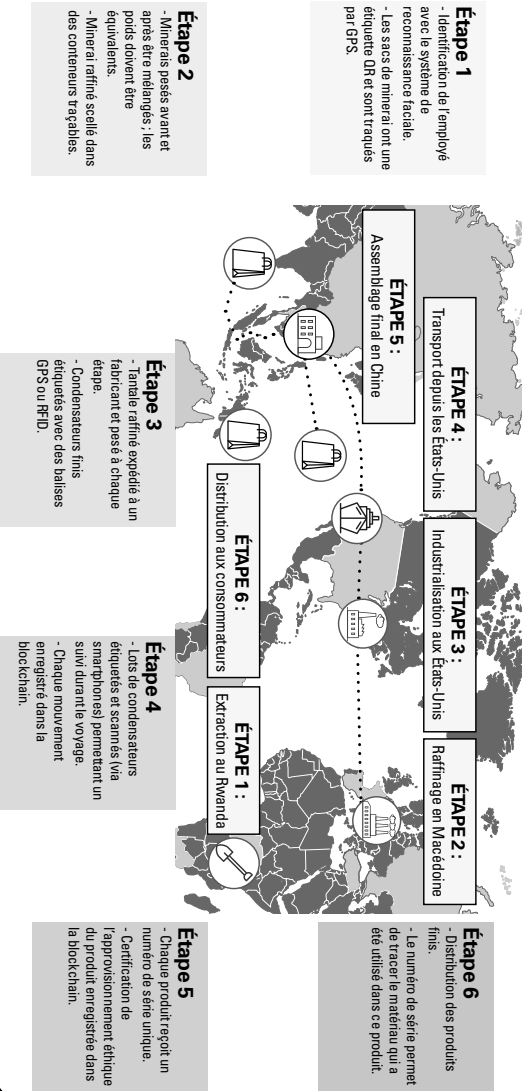
La transition énergétique est une nécessité. Mais la réaliser demande de ne pas reproduire les erreurs du passé et d'accompagner les changements technologiques d'une révolution mentale. La première approche à adopter concernant nos approvisionnements en métaux rares doit donc être une approche normative. C'est ce qu'a fait l'Union européenne en adoptant un règlement relatif aux minerais provenant de zones de conflit, entré en vigueur en janvier 2021. Sur quatre métaux, l'étain, le tantale, l'or et le tungstène, les entreprises doivent désormais s'assurer que leur approvisionnement ne finance pas de conflit armé ou le travail forcé. Le problème, bien entendu, est que pour l'instant ce règlement ne porte que sur quatre métaux sur les 80 de la table de Mendeleïev. Des institutions, comme l'OCDE et le London Metal Exchange, poussent ainsi pour que des dispositions de ce type soient étendues à plus de métaux ; ce qui est d'ailleurs train de se faire : nous sommes sur ce point dans une dynamique positive.

2. Une approche technologique

La *blockchain* est un outil très intéressant en vue de connaître et maîtriser nos approvisionnements en métaux rares. Il est possible de « pucer » et d'adjoindre des QR codes à chaque sac de minerai depuis la mine jusqu'à l'usine de fabrication, et d'enregistrer le parcours numérique dans la *blockchain* de manière à vérifier entre quelles mains, si possible bien intentionnées, le minerai est passé. C'est ce qu'essaie de faire Volvo, par exemple, de manière à s'assurer que l'origine du minerai est éthique.

Voir schéma page suivante.

Approche technologique : Circular, un outil de blockchain



3. Une approche stratégique

Cette dernière approche se décline en trois axes.

1. La relocalisation minière. C'est une question à poser : continuons-nous à laisser les pays pauvres creuser pour nous ou assumons-nous une partie de la tâche ? Cela pourrait avoir un intérêt non seulement en matière géopolitique, de souveraineté, mais aussi écologique, pour les raisons que j'ai énoncées plus haut.

2. La taxe carbone. J'y suis pour ma part favorable, comme à la proposition d'Ursula von der Leyen de mettre une taxe carbone aux frontières du territoire européen, avec pour conséquence d'améliorer la compétitivité des entreprises européennes et de relocaliser une partie des processus.

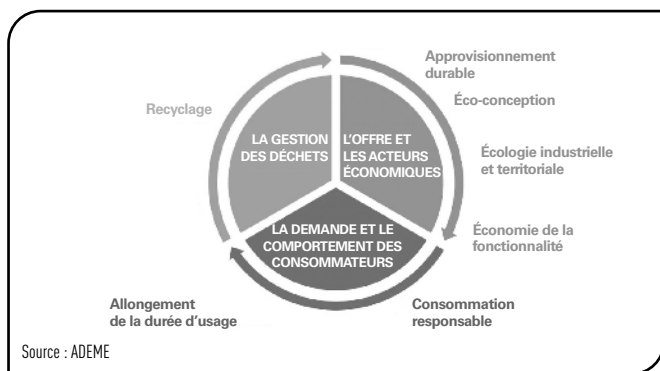
3. Relocaliser l'ensemble de la filière. Relocaliser et taxer n'est cependant pas très utile, si ce que nous produisons poursuit ensuite la chaîne de valeur à l'étranger. Les Américains, par exemple, extraient de nouveau des terres rares. Mais ils n'ont pas d'usine de raffinage. La production doit alors partir en Chine pour y être raffinée. Il n'y a pas dans ce cadre de souveraineté minière. Être souverain signifie rouvrir l'usine de raffinage, et l'usine d'aimant. Il faut remonter toute la chaîne de valeur. Autrement dit, faire l'inverse de ce qui s'est fait depuis trente ans : ne plus sous-traiter et délocaliser, mais inverser ce processus, relocaliser le processus minier et tout l'aval de la chaîne de valeur. Il ne faut, par ailleurs, pas se faire d'illusions : la souveraineté dans le secteur des terres rares est, à court terme, illusoire ; nous arriverons peut-être dans quinze ans, pour un métal, à avoir une

filrière complètement réintégrée pour certains besoins, la défense par exemple, mais nous ne pourrions pas relocaliser l'ensemble du processus minier tous métaux confondus. C'est pour cela qu'il nous faut non seulement relocaliser, mais développer l'économie circulaire.

VI – BASCULER DANS UN MONDE CIRCULAIRE

C'est le grand enjeu de demain. Un kilo de métal produit rapporte aujourd'hui 93 centimes de dollar. Il faut que dans quarante ans, grâce à l'amélioration des procédés, il en rapporte le double. Autrement dit, il s'agit de créer plus de valeur avec moins, défi en fin de compte plus complexe que celui du passage à un monde vert. Le schéma suivant de l'ADEME présente sept piliers de l'économie circulaire.

Les sept piliers de l'économie circulaire



Chacune de ces étapes permettrait d'économiser un peu de matière et de faire en sorte que le monde bas carbone soit également un monde bas ressource.

VII – RÉINVENTER DES LEVIERS DE VALORISATION DE LA RESSOURCE

1. Conférer, par la loi, une valeur artificielle aux matières secondaires

Comment arriver à basculer dans un monde «circulaire»? Le premier moyen est d'utiliser la législation pour donner une valeur artificielle aux matières secondaires. On ne pourra pas se passer de la puissance publique pour inciter, voire contraindre les industriels à acheter de la matière secondaire plutôt que de la matière primaire.

Si la matière secondaire, recyclée, est compétitive par rapport à la matière primaire, il devient intéressant de la racheter, mais si nous sommes complètement dépendants des cours en bourse des métaux, et que demain les cours s'effondrent, le recycleur n'a pas de modèle économique. Pour ne pas dépendre de ces incertitudes, la loi doit donc taxer davantage le produit fait de matière primaire et valoriser le produit à base de matière secondaire. Il faudra, je crois, passer par une valorisation artificielle par la loi des ressources recyclées pour que les industriels y voient leur intérêt et se tournent davantage vers les produits à base de ces ressources.

2. Déceler, au sein des entreprises, de la valeur là où le marché n'en confère pas

Il va falloir enfin que nous fassions preuve d'une grande imagination pour déceler au sein des entreprises de la valeur que le marché ne reconnaît pas.

J'en vois principalement trois : la réputation, les données, la visibilité stratégique et l'autonomie.

1. La réputation. Un industriel peut se dire qu'il est préférable d'investir dans le recyclage que de voir ses ventes ou le cours de son action baisser si une ONG montre que le métal de ses batteries est extrait par des enfants dans les mines de la RDC. Inclure les coûts qu'engendre une baisse de réputation serait une façon intéressante d'inciter les entreprises à modifier leurs pratiques en matière sociale et environnementale.

2. Les données. À l'occasion d'un déplacement aux Pays-Bas pour mon prochain livre, un recycleur de serveurs de *datacenter* me disait qu'aujourd'hui les entreprises viennent parce qu'elles essaient d'effacer leurs données, mais n'y arrivent pas complètement, et qu'elles ne voudraient pas, en jetant les serveurs à la poubelle, que ceux-ci se retrouvent dans la nature et que des gens mal intentionnés mettent la main dessus pour faire du chantage en disant qu'ils ont les données de leurs clients. Les *datacenters* sont donc prêts à payer pour se prémunir avec certitude de ce risque, pour que les serveurs soient détruits sous leurs yeux avec une trace filmée, de manière à prouver la sûreté de leur processus d'effacement des données.

Intégrer le respect des données personnelles dans le calcul économique est une façon de valoriser le recyclage.

3. La visibilité stratégique et l'autonomie. Les Japonais ne veulent pas dépendre des Chinois pour leur approvisionnement de terres rares. C'est pour cette raison qu'ils soutiennent à bout de bras Lynas, l'entreprise australienne productrice de terres rares. Celle-ci satisfait un tiers de leurs besoins et, en échange, les Japonais mettent la main au pot. Cela leur coûte cher, mais l'autonomie que cela leur procure par rapport à la Chine n'a pas de prix. Ainsi, en permettant de compter sur la disponibilité d'une ressource indépendamment d'une source extérieure, le recyclage donne à un pays la maîtrise sur ses choix politiques et économiques. Il devient plus facile d'investir dans une nouvelle technologie quand le recyclage vous assure que lorsqu'elle sera prête dans dix ans, vous aurez accès aux ressources nécessaires sans dépendre de l'extérieur.

* *
*

S'interroger sur ce qui présente de la valeur, c'est aussi s'interroger sur nos valeurs. Après des années à m'intéresser au sujet, j'ai le sentiment que la transition énergétique est certes une transition technologique, mais que la réduire à cela risque de nous faire rencontrer autant de problèmes que ceux qu'elle permet de régler. Il faut accompagner la transition énergétique d'autres modes d'action, qui ne sont pas d'ordre technologique. Les défis sont organisationnels, managériaux, humains, éthiques, moraux. Einstein disait qu'on ne règle pas un problème avec les modes de pensée qui l'ont engendré. C'est exactement l'enjeu : comment ne pas mener la transition énergétique avec le mode de pensée qui a mené aux problèmes qu'elle doit résoudre ? Au risque, sinon, d'avoir simplement déplacé les difficultés. Je suis absolument convaincu que cette transition énergétique pose foncièrement la question de nos valeurs.

Questions da

Questions dans la salle

Dominique Leglu ² : *Qu'est-ce que c'est qui risque de vraiment mettre le feu aux poudres? Une histoire de missiles? Aux États-Unis, ou en Europe?*

Une deuxième question que je me pose concerne l'hydrogène : qu'est-ce que cette source d'énergie implique en matière d'utilisation de métaux critiques ou rares?

Enfin, vous n'avez pas du tout abordé la question des substituts. S'agit-il d'une chimère? La Chine prévoit dans son plan quinquennal de consacrer 10,6 % de son PIB tous les ans à la recherche fondamentale. Si ça se trouve, cela leur permettra de trouver avant nous des substituts aux métaux rares.

Guillaume Pitron : Trois questions passionnantes. D'abord, la première : je pense effectivement que si une crise doit intervenir, cela se fera pour des raisons stratégiques comme les missiles. Nous prenons conscience de notre dépendance à ces matières premières; nous prenons conscience de la montée en puissance de

2. Directrice des rédactions de *Sciences et Avenir* et *La Recherche*.

la Chine; nous prenons conscience de notre besoin de développer une souveraineté minérale, et même s'il ne s'agit pour l'instant que de mots, ceux-ci appartiennent désormais à notre vocabulaire courant; mais tout cela n'est abordé que sous l'angle géostratégique. Pas sous l'angle écologique. Les considérations stratégiques et géopolitiques prévalent sur les questions écologiques. Les industriels se sont réveillés en 2010 sur cette question des métaux stratégiques parce qu'il y a eu cette année un embargo informel de six mois de la Chine contre le Japon. C'est cela qui les a fait réagir, pas un problème de pollution et de risque pour leur réputation. Le sujet, c'était nos approvisionnements stables et réguliers en matières premières à un prix défini à l'avance. Je ne dis pas que la question écologique ne joue pas du tout, mais elle intervient bien après ces enjeux géostratégiques. Aux États-Unis, la question se pose avant tout en termes d'armement et de défense. Les États-Unis sont dépendants de la Chine pour leurs missiles et les F-35. Trump, il faut le reconnaître, a mis en avant ce problème d'indépendance bien avant 2020 et les masques ou les médicaments. En Europe, le sujet monte aussi, mais sous un autre angle, celui des batteries et des emplois de la filière automobile. Au Japon, le débat, là encore, se pose uniquement sous l'angle des approvisionnements par rapport à la Chine.

En ce qui concerne l'hydrogène, la première chose est que l'énergie à l'hydrogène a besoin de platine. De façon générale, nos besoins en platine vont exploser. Or, le platine n'est pas substituable. Il n'y a pas aujourd'hui

de solution de substitution au platine en vue de faciliter la production des piles à hydrogène. Cependant, les réserves de platine sont vastes. Autrement dit, aucune pénurie d'approvisionnement n'est en vue. Je ne crois pourtant pas que la voiture à hydrogène est pour demain : les investissements dans la voiture électrique, dans le stockage lithium-ion, sont tels que les industriels, à moins d'y être contraints et forcés par une nouvelle réglementation, ne se lanceront pas maintenant dans une nouvelle technologie. Ils ont d'abord envie de rentabiliser leurs investissements dans le stockage lithium-ion, qui se comptent en centaine de milliards de dollars et qui vont encore être de plusieurs centaines de milliards de dollars dans les prochaines années. Il y aura probablement bientôt quelques véhicules à hydrogène, en particulier dans les transports en commun, qui font toujours les mêmes trajets et pour lesquels il peut être intéressant de placer des bornes qui sont extrêmement coûteuses. Mais pour le consommateur lambda, je ne pense pas qu'il y aura quelque chose de significatif dans les dix ou quinze prochaines années.

Sur la dernière question, celle des substituts, je précise qu'il y a dans l'annexe 13 de « La Guerre des métaux rares » un tableau présentant les taux de recyclabilité et les substituts pour les matières critiques. On y voit que le taux de substitution est, souvent, de 1 % pour les métaux rares. Autrement dit, nous n'avons pas de solution de substitution. Les Japonais arrivent à certains résultats, par exemple à remplacer le néodyme par du cérium dans les aimants, mais avec une perte d'efficacité.

Face à cela, la politique adoptée par Elon Musk est particulièrement intéressante : ne voulant plus de cobalt dans ses batteries, Musk a décidé de le remplacer par du nickel (d'où son intérêt pour l'usine de nickel de Goro en Nouvelle-Calédonie). Et comme le nickel risque aussi de manquer, Musk envisage de passer à la batterie lithium-fer-phosphate. Donc, remplacer le nickel par du fer. On arrive donc à des substituts qui sont l'exact inverse de ce qu'on pourrait s'imaginer : on remplace le cobalt par du nickel, le nickel par du fer, autrement dit, on substitue par du plus simple.

Une autre solution est de faire ce qu'on appelle une substitution matière par système. Par exemple, plus besoin de catalyse pour la voiture électrique. Le problème des platinoïdes nécessaires à la catalyse a dans ce cas été réglé à la racine.

Pour finir, je précise que les Américains ont lancé sous l'administration Obama le MGI (pour *Material Genome Initiative*) en vue de trouver des substituts aux nouveaux matériaux, grâce notamment aux technologies numériques. De même, les Européens ont tout un ensemble de projets dans le cadre de H2020, Horizon 2020. Cependant, de manière générale, il est, à l'heure actuelle, très compliqué de substituer, et en ce qui concerne les terres rares, c'est même pour l'instant complètement hors de question. Évidemment, il ne s'agit là que d'une réponse globale, il faudrait ensuite étudier la question métal par métal.

Ardavan Amir-Aslani³ : *Ce n'est qu'aujourd'hui que je comprends le maintien de la politique antichinoise de l'administration Biden... Concernant les États-Unis, j'ai cru comprendre qu'a été retrouvé un rapport sur l'Afghanistan datant de l'époque de l'Union soviétique, disant que l'Afghanistan recèle des réserves extraordinaires de terres rares. Est-ce vrai et dans quelle mesure cette réalité éventuelle permet de comprendre la place de ce pays sur l'échiquier géostratégique?*

Guillaume Pitron : Oui, l'Afghanistan est un pays extraordinairement bien doté en minerais en tous genres. Il y a des terres rares, beaucoup de lithium également. Je ne sais pas si cela joue pour les Américains. Mais en ce qui concerne les Chinois, je peux vous dire qu'ils se positionnent par rapport à cela. Ils soutiennent un certain nombre de factions talibanes en vue de faciliter leur accès à certains gisements particulièrement prometteurs. Pour revenir aux Américains, je vous rappelle qu'un journal espagnol a révélé qu'Erik Prince, le fondateur de Blackwater, avait proposé à Trump de se voir confier la sécurité de l'Afghanistan, contre la promesse de créer un environnement sécuritaire propice à l'extraction de minerais stratégiques. Cela n'a jamais vu le jour, mais cela prouve que la question est sur la table. Je vous renvoie aussi à l'idée soulevée par Trump d'acheter le Groenland. Je n'en sais pas plus, je n'ai pas connaissance d'un engagement américain concret en matière d'exploration

3. Avocat au Barreau de Paris, co-fondateur du cabinet Cohen Amir-Aslani, auteur d'essais et d'ouvrages traitant de relations internationales et de géopolitique du Moyen-Orient.

ou d'exploitation minière en Afghanistan, mais ce qui est certain, c'est que l'Afghanistan regorge de ressources indispensables pour les technologies de l'énergie.

Jean-Michel Vernochet⁴ : *Que pensez-vous de la filière thorium, très explorée par l'Inde actuellement ? Pensez-vous qu'il y aurait une solution à l'approvisionnement énergétique de ce côté-là ?*

Guillaume Pitron : Je n'ai pas malheureusement pas plus d'information que vous sur ce point, je ne suis pas spécialisé en matière d'énergie nucléaire. Ce que je peux dire est que le thorium n'est pas un métal critique et qu'il est stocké aussi parce que les terres rares sont un sous-produit du thorium. Mais je n'en sais pas plus concernant les perspectives du thorium comme substitut à l'uranium.

Nathalie Croisé⁵ : *Les acteurs dans les métaux s'investissent-ils dans l'économie circulaire ?*

Guillaume Pitron : L'économie circulaire oblige les différents acteurs d'un circuit à se parler. Dans l'économie linéaire, personne ne se parlait. Or, mettre en place une économie circulaire implique que le recycleur échange avec l'éco-designer et que le collecteur trouve le recycleur. L'économie circulaire est une économie réticulaire, une économie de réseaux où chacun a besoin

4. Écrivain, journaliste, politologue et géopoliticien, fondateur de l'association « Terre Future ».

5. Journaliste spécialiste de la transition écologique, consultante éditoriale de NCC IJIN.

de se parler en permanence. Et on se rend compte que c'est en fait particulièrement compliqué. Il existe, à l'échelle européenne, des boucles d'économie circulaire qui sont très attentivement analysées, notamment une au nord du Danemark, la boucle de Kalundborg. Mais justement : celle-ci concerne un tout petit territoire de quelques kilomètres carrés, où tous les acteurs se fréquentent depuis une trentaine d'années. Étendre ce modèle ne peut se faire en un tour de main. Cependant, je ne vois pas d'autre solution que l'économie circulaire pour arriver à produire en étant économe en ressources.

Bruna Abasini ⁶ : *A-t-il été compliqué d'accéder à la mine chinoise dont vous nous avez parlé tout à l'heure ? Les mines chinoises sont-elles des zones difficiles d'accès, en particulier pour les étrangers ? Par ailleurs, puisque vous avez cité la Russie comme un des pays disposant de réserves importantes de terres rares, quels sont alors les liens de la Russie avec la Chine ? Coopèrent-ils sur ce sujet, ou pas du tout ?*

Guillaume Pitron : Je suis rentré en Chine avec un visa business, grâce à ma fonction officielle de « *think tanker* ». En aucun cas avec un visa de journalisme. Et si j'avais voulu rentrer en Chine avec un visa de journalisme, j'aurais prétexté d'un événement complètement anodin pour arriver sur place et faire ensuite autre chose. On n'annonce pas aux douaniers en arrivant à l'aéroport de Pékin qu'on va enquêter sur les mines de graphite. Pour

6. Rédactrice en chef adjointe du *Journal du Dimanche*.

ce qui est du documentaire diffusé sur ARTE, les images ont toutes été filmées clandestinement. Nous avons été plusieurs fois contrôlés par des policiers, mais ce qui m'a étonné, c'est que nous n'avons ensuite jamais été suivis. Quant à la séquence prise par drone au-dessus d'un lac de rejet artificiel, c'est un miracle que nous soyons passés entre les gouttes. Je ne me l'explique pas et je ne veux pas savoir ce qu'il se serait passé si nous avions été arrêtés. Donc nous avons tourné de façon clandestine et, à l'arrivée, nous avons eu la chance d'avoir moins de problèmes que nous craignons.

Pour ce qui est de la deuxième question, la Russie a des stocks de palladium et de nickel. Il y a Norilsk pour le nickel. Et en ce qui concerne le palladium : il s'agissait d'un composant de la technologie nucléaire soviétique, et après la chute du Mur, les Russes ont commencé à écouler leur stock. Ils continuent encore. Mais la Russie n'a pas, n'a jamais eu de grande stratégie en matière de métaux. Les Russes sont plutôt axés sur les hydrocarbures. Et j'ai n'ai jamais entendu d'échanges sino-russes sur ces questions-là.

Les Russes ont certes récemment annoncé qu'ils pourraient ouvrir plusieurs gisements de terres rares. Mais entre l'annonce et la réalité, j'attends de voir. Le temps minier, c'est dix ou quinze ans entre l'annonce d'un gisement et le moment où vous creusez. Beaucoup de choses peuvent se passer, beaucoup de complications et de tracasseries administratives.

Surtout, et c'est un point sur lequel je voudrais insister : qu'est-ce qui garantit que dans quinze ans nous aurons besoin de lithium, de cobalt ou de graphite? C'est une question essentielle. On peut demander aux recycleurs de mettre le paquet sur le recyclage du graphite. Mais qu'est-ce qui lui permet de savoir ce que seront demain les besoins et les emplois du graphite? Philippe Chalmin disait récemment, à une émission de radio à laquelle je participais, qu'il y a un peu plus de cent ans le métal stratégique, en France, c'était l'étain pour fabriquer des boîtes de conserve. Autant vous dire que l'étain n'est plus stratégique à ce titre. Il l'est, en revanche, pour fabriquer des puces électroniques. Dans un monde de disruption permanente, où une technologie chasse l'autre, où un besoin pour tel métal peut être remplacé par un besoin pour un autre, qu'est-ce qui garantit qu'ouvrir aujourd'hui une mine de ce métal est un investissement pérenne? Même problème pour les recycleurs : on leur demande d'investir plusieurs dizaines de millions d'euros pour tel métal, mais qu'est-ce qui les assure qu'une fois qu'ils auront investi là-dedans et lancé leurs usines, ils trouveront une demande?

Paradoxalement, l'innovation disruptive freine le progrès technologique. On n'a plus assez de visibilité, compte tenu de la lenteur des processus minier, métallurgique, de recyclage, pour s'engager sérieusement dans telle ou telle direction. L'innovation disruptive est ici un frein au progrès technologique.

Bruno Durieux ⁷ : *Vous développez trois niveaux d'analyse, qui sont tous les trois fondamentaux. Le premier, c'est de savoir si l'on peut craindre un épuisement des matières premières. Le deuxième est de demander si les exigences écologiques ne vont pas nous obliger à repenser notre modèle d'une manière qui risque de mettre en péril notre souveraineté écologique, économique et politique. Enfin, vous proposez une analyse géopolitique et vous montrez que c'est l'équation géopolitique qui dominera dans les prochaines décennies. Sur ce point, j'aimerais que vous nous disiez votre point de vue sur l'Europe, qui semble bien vulnérable.*

Guillaume Pitron : Comme je le racontais à Mme Dominique Leglu, c'est une lecture dans *Sciences et Avenir* en 2009 qui m'a mis sur la piste des métaux rares. Cela fait donc douze ans, et ce qui me frappe est que, quelques détails mis à part, j'aurais pu faire la même conférence il y a douze ans. Tout ce que je vous dis aujourd'hui était déjà connu, et rien n'a changé. Il y a eu une inaction générale, aux États-Unis, au Japon et en Europe, sans parler de la France où je n'ai jamais vu la question soulevée au niveau politique jusque tout récemment.

Certes, des nuances peuvent être apportées au tableau. Les Européens ont commencé à se réveiller à partir de 2011 en développant une diplomatie minérale avec les pays d'Amérique latine. Ils ont commencé à avancer un

7. Maire de Grignan (Drôme), ancien ministre, auteur de *Contre l'écologisme, pour une croissance au service de l'environnement* (2019, éd. de Fallois).

certain nombre de solutions et de directions d'action. Thierry Breton commence à évoquer ce sujet. Mais toutes les fois où j'ai moi-même été rapporteur pour la Commission européenne sur ces questions-là, à chaque fois qu'il y a une grande conférence pour la «Semaine des matières premières» qui se tient en novembre à Bruxelles, il n'a pas été possible d'avoir un décideur de premier plan comme *keynote speaker*.

J'ai, cependant, envie d'être optimiste. Il y a un réveil. Mais c'est plutôt en amont qu'en aval que des choses se passent, avec par exemple une accélération de l'ouverture de mines de lithium et de *gigafactories* de batteries. L'idée que nous couvrirons tous nos besoins en 2025 est complètement illusoire, mais nous allons pouvoir produire une partie de nos besoins à diverses étapes de la chaîne.

Martine Le Bec⁸ : *Il existe depuis longtemps une diplomatie de l'eau. Aux Nations Unies, dix-sept agences ou programmes s'occupent de ce sujet. En revanche, j'y ai rarement vu quelque chose concernant les terres rares, notamment sous l'angle de l'environnement. Vous avez parlé de l'OCDE. Peut-être sont-ce des instances de nature économique plutôt que diplomatiques qui vont s'emparer du sujet? J'aimerais aussi savoir s'il y a une réaction de la société civile en Chine face aux dégâts considérables et aux maladies que provoque l'extraction des terres rares.*

8. Directrice de la rédaction du magazine H2o.net.

Guillaume Pitron : L'ONU ne s'est pas intéressée à ces questions des terres rares, sinon qu'elle a produit un document qui faisait référence sur la question du recyclage de l'ensemble des métaux de la table de Mendeleïev, dont je me servais jusqu'à ce nouveau tableau de la Commission européenne que je vous ai montré dans l'exposé. L'ONU a poursuivi son travail pour être capable d'identifier quels métaux sont recyclés, en montrant que les métaux rares, critiques, stratégiques ne sont pas ou peu recyclés. Mais à part ça, je n'ai aucune autre source de l'ONU sur ces questions-là. Il y aurait, certes, les 17 objectifs de développement durable, mais ceux-ci sont généraux que leur applicabilité concrète en matière minière n'a jamais été, il me semble, un sujet de travail pour l'ONU. Qui s'est vraiment occupé de ces questions-là? La Banque mondiale, qui a publié un rapport en 2017 complètement fascinant sur cet immense paradoxe des énergies renouvelables et le besoin de produire davantage de matières minérales pour réaliser la transition énergétique. L'OCDE, évidemment, qui publie des guides de bonne pratique pour le sourcing éthique des métaux et des minerais. Cela reste des recommandations non contraignantes juridiquement. Mais cela a une forte incidence sur les acteurs économiques, qui adaptent leur réglementation interne. Le LME, le London Metal Exchange, applique lui-aussi ses propres standards non contraignants pour les sociétés qui y vendent leurs métaux.

L'eau, puisque vous en avez parlé, est aussi un sujet crucial pour la mine. Il faut beaucoup d'eau pour les mines. Au Chili, dans le désert d'Atacama, vous vous

trouvez dans l'une des zones les plus arides du monde, donc pour produire le cuivre, il faut aller la chercher dans l'océan Pacifique. Cela n'est, évidemment, pas sans conséquence sur le coût réel de cette production. Nous avons fait un scope 3 d'un kilo de cuivre au Chili – c'est-à-dire un calcul de ses émissions indirectes de gaz à effet de serre. Pour produire du cuivre au Chili, il faut de l'eau, pour l'eau, il faut de l'électricité, et pour l'électricité, il faut du charbon, et celui-ci vient de Colombie ou de Nouvelle-Zélande. Il faut ainsi sans cesse remonter la chaîne des matières à produire et transporter pour arriver au produit final.

Concernant les réactions de la société chinoise face à la pollution, c'est un vrai sujet. Les Chinois sont de plus en plus une classe moyenne, urbaine, plus éduquée, qui ne veut pas seulement une plus grande espérance de vie, mais une meilleure qualité de vie. La prise de conscience de la pollution en Chine date de 2008 avec le premier indicateur posé sur le toit du Consulat américain à Pékin enregistrant les PM2.5, les nanoparticules. En 2015, une journaliste chinoise a sorti un documentaire, *Under the Dome*, le dôme étant la couche nuageuse de pollution au-dessus des villes. Ce documentaire a rencontré un succès phénoménal, avant d'être très vite censuré par le PCC (Parti communiste chinois). La prise de conscience s'est ainsi faite en Chine sous l'angle de la qualité de l'air dans les villes, et ensuite de qualité de l'eau et des sols. Ainsi, la première raison pour laquelle on manifeste aujourd'hui en Chine, c'est l'environnement, même si les manifestations sont interdites.

La première cause de troubles sociaux, en Chine, c'est l'environnement et cela fait vraiment peur au PCC. Le PCC comprend que sa légitimité est en jeu et que celle-ci ne repose plus seulement sur la croissance brute, mais aussi sur sa capacité à assurer une meilleure qualité de vie avec un environnement viable. C'est pour cela, notamment, que la Chine a freiné sur sa croissance ces dernières années, à 6 % par an au lieu de 10 % auparavant. La Chine essaie de s'éloigner du pétrole, du charbon, de l'industrie lourde pour aller vers des technologies dites plus légères, ce qui se fait au prix de la croissance, mais en vue d'une meilleure qualité de l'environnement.

Cependant, dans le secteur des mines, je n'ai rien vu, globalement, là où je me suis rendu, ils s'en fichent. Il y a une grande expression en Chine, citée d'ailleurs au fin fond de l'Heilongjiang, à des années-lumière de Pékin : *«Les montagnes sont hautes et l'Empereur est loin»*. Façon de dire, les réglementations existent, mais en pratique il ne se passe rien. Ce que j'ai vu là-bas est bien évidemment inacceptable sur le papier relativement aux réglementations en vigueur, mais l'application de celles-ci est complètement défectueuse.

Dominique Leglu⁹ : *Nous entrons dans la décennie des océans. Il y a beaucoup de renégociations en cours en matière de droit des mers. J'aimerais connaître l'ampleur de ce qu'il y aurait à récupérer sous les mers et par la même occasion sous les pôles.*

9. Directrice des rédactions de *Sciences et Avenir* et *La Recherche*.

Guillaume Pitron : Les Russes s'intéressent à l'Arctique, mais de là à ce que ce soit formalisé sous l'angle d'une stratégie d'exploitation minière sur le point d'être engagée, je n'ai rien vu. Le Groenland est très riche en ressources, notamment de certains métaux rares et précieux. Les Chinois sont d'ailleurs déjà présents. L'idée de Trump d'acheter le Groenland, c'était du Trump, mais au fond, c'était intelligent. Les Américains comprennent bien que la Chine est en train de prendre position sur un certain nombre de secteurs, de territoires riches en ressources, et que s'ils s'installent aujourd'hui on ne pourra plus les en déloger. Donc, au-delà de l'aspect guignolesque de l'annonce de Trump, il y a de vrais enjeux derrière. Quant au pôle Sud, je ne suis pas au courant de quoi que ce soit pour l'instant, il faudra du temps avant de creuser le pergélisol.

Concernant les océans, il y a de la prospection et un tout petit peu d'extraction, notamment une entreprise qui s'appelle Nautilus et qui a, un temps, extrait quelques métaux obscurs au large de la Papouasie-Nouvelle-Guinée, mais pas grand-chose. Une autre entreprise vient de faire une annonce pour aller extraire des minerais près de Clipperton, donc ça nous importe bien évidemment. Cette entreprise s'appelle DeepGreen. Son activité consiste à produire les métaux des batteries de voiture électrique en allant les chercher les nodules polymétalliques au fond de l'océan. On voit là tout le paradoxe : c'est compliqué de s'appeler «*green*» tout en allant creuser «*deep*». C'est pour ça que parler de voiture propre, de batterie propre est suspect : difficile

de dire que c'est propre si pour cela il faut des mines et aller chercher des nodules à 6 000 mètres de profondeur. Alors DeepGreen a tout un argumentaire pour dire que cela sera beaucoup plus propre : ils ont des chiffres apparemment sérieux, des études montrant que ces nodules sont déjà très concentrés que s'il y a un effort à faire pour aller les extraire, celui-ci sera limité parce que ces nodules sont en fait littéralement posés sur le plancher océanique. Il y a juste à aller les prendre et ils sont tellement concentrés que le raffinage sera beaucoup plus simple qu'avec un minerai issu d'une mine terrestre. Pourquoi pas, mais on peut, au minimum, en conclure que la transition énergétique ne revient pas à limiter l'impact de l'homme sur l'environnement; elle pousse au contraire à étendre la maîtrise de l'homme sur l'environnement, à étendre ses capacités d'extraction.

C'est surtout en matière juridique que l'on voit les choses bouger. Car s'il n'y a pour l'instant pas vraiment d'extraction, tout le monde s'y prépare sur le plan du droit. La France réclame un peu plus de milles marins au large de son territoire avec le projet Extraplac chargé de délimiter son plateau continental. Et tout le monde fait ça. Il y a quelques décennies, les mers appartenaient à tout le monde. Aujourd'hui, la moitié des mers du monde appartient à un État. Et cela va continuer, en raison de l'économie bleue, de la pêche, peut-être demain parce que plus de poisson, plus de ressources, plus d'hydrocarbure et puis demain peut-être plus de métaux, par exemple dans le Pacifique, au large de Wallis-et-Futuna. On ira peut-être extraire des ressources là-bas

dans dix-quinze ans, il y a un potentiel sur lequel il ne faut pas fermer les yeux, et donc il faut déjà préparer le terrain juridiquement.

Il en va de même pour l'espace. Ce n'est pas demain qu'on ira chercher des minerais sur des astéroïdes, mais les Américains s'en sont donné les moyens juridiques : avant de quitter la Maison-Blanche, Barack Obama a fait passer un *Space Act* dans lequel il est dit que les ressources extraterrestres extra-atmosphériques appartiennent bien à tout le monde, comme prévu par le Traité de 1967 sur l'espace comme bien commun, mais que si un *space miner* va chercher du métal sur un astéroïde, le produit de l'extraction sera à lui. C'est donc en réalité une entaille dans le Traité de 1967. Il y a une remise en cause sur le plan juridique de la notion de bien commun dans l'espace avec, potentiellement, la possibilité demain de créer des conditions d'accès à la propriété privée afin de rendre rentable ces opérations-là, ce qu'on appelle le *New Space*. On assiste ainsi pour les mers et l'espace à la mise en place d'un environnement juridique qui pose les jalons d'une appropriation future.

André Comte-Sponville ¹⁰ : *Vous avez dit que la transition énergétique est une transition transitoire. Au-delà de la beauté de la formule, transitoire en quoi? Est-ce parce qu'un jour cette transition sera terminée, qu'on en aura vu le bout, ou au contraire parce qu'on n'en verra pas la fin, qu'on n'arrivera jamais à la terminer?*

10. Philosophe, Directeur général de l'Institut Diderot.

Ce qui m'amène à une deuxième question qui porte non pas sur votre exposé, mais sur votre livre. Il y a dans celui-ci une phrase que j'ai trouvée abyssale : « Combien d'énergie faut-il pour produire de l'énergie? » Vous prenez l'exemple du pétrole. Au début du XX^e siècle, si je me souviens bien, il fallait un baril de pétrole pour en produire 100. Aujourd'hui, en moyenne, c'est plutôt un baril pour 35. Mais dans le cas des schistes bitumineux, cela descend jusqu'à un baril de pétrole pour 5. Comme vous l'écrivez, le jour où il faudra un baril de pétrole pour en produire un seul, ce sera la fin du pétrole, non pas parce qu'il n'y aurait plus de pétrole, mais parce que celui-ci sera devenu économiquement inutilisable. Je voudrais savoir si l'on peut généraliser ce modèle. Peut-on dire que, quelles que soient les sources d'énergies, il faut tendanciellement de plus en plus d'énergie pour produire de l'énergie? Peut-on énoncer une telle loi? Ou le nucléaire, par exemple, fait-il exception – quoique j'aie des doutes dans ce dernier cas, quand on voit l'augmentation des coûts depuis Fukushima? Une telle loi, même à un degré moindre que pour le pétrole, fait penser au second principe de la thermodynamique. Il y aurait une limite objective à la production d'énergie. J'aimerais avoir votre avis sur la réalité d'une telle limite.

Guillaume Pitron : Je pense que la transition énergétique est doublement transitoire. Elle l'est technologiquement. Les technologies employées actuellement ne sont pas matures et évoluent rapidement. La densité énergétique dans les batteries des voitures va ainsi considérablement s'améliorer dans les dix-quinze prochaines années. Elles

gagneront en autonomie, on pourra produire des batteries plus puissantes avec moins de matériau. Pareil pour les éoliennes : on pourra diminuer le besoin de terres rares pour les éoliennes *offshore* et les remplacer par d'autres matériaux, du cuivre par exemple. Un panneau solaire de taille standard produit déjà deux fois plus d'électricité qu'il y a dix ans. Et de nouveaux types de panneaux apparaissent, les vitrages solaires, par exemple, autrement dit des fenêtres d'immeubles productrices d'électricité à base de biomatériaux. La transition énergétique est donc transitoire déjà en ce sens qu'il y a une transition dans la transition, une transition technologique. Ce qui est une bonne chose : il ne s'agit pas d'être technophobe, bien au contraire, il faut accélérer dans ce sens.

Mais la transition énergétique est aussi transitoire pour une autre raison. Le cheikh Yamani disait que l'âge de pierre ne s'est pas arrêté faute de pierre et que l'âge du pétrole ne s'arrêtera pas faute de pétrole. Et en effet, je suis sûr qu'on n'a jamais eu autant de pétrole qu'aujourd'hui. Même si une partie de celui-ci est moins conventionnelle, il y a toujours beaucoup de pétrole. Si nous essayons de nous sevrer de pétrole, ce n'est pas pour des raisons géologiques. C'est parce qu'il y a une dynamique politique qui nous porte dans une autre direction. Or, je pense que nous n'avons pas conscience du coût réel de cette transition énergétique. Tout d'abord, parce qu'on ne paie pas le minerai au vrai prix. Il faudrait prendre en compte ce que coûtent la pollution et les maladies engendrées par cette transition énergétique, ce que nous ne faisons pas puisque celles-ci sont délocalisées et invisibilisées.

On ne voit pas les dégâts, tout cela nous paraît éthéré, parce que nous sommes hors-sol, mais nous n'allons pas le rester très longtemps. À un moment, il faudra bien regarder les coûts. Il y aura davantage d'analyses du cycle de vie, davantage d'ONG parleront du sujet. Et je pense que nous allons nous réveiller avec la facture réelle, qui ne manquera pas de tomber à un moment.

Je pense alors que, comme pour le pétrole, cela va nous coûter très cher de produire cette énergie-là. Cher dans toutes les dimensions : économique, sociale, écologique, politique. On constatera le coût très important et on passera à autre chose. Peut-être aurons-nous dans quelques décennies imaginé une façon de se passer de ces matériaux rares et donc des technologies qui les utilisent à la faveur d'une nouvelle génération de technologies d'énergie, peut-être du thorium, peut-être la fusion nucléaire, peut-être quelque chose d'autre encore. Évidemment, ce que j'énonce ici est hautement spéculatif, mais cela permet de comprendre ce que je veux dire quand je parle de transition transitoire. De toute façon, on ne se passera pas du reste. L'avenir sera à des mix énergétiques, il y aura toujours besoin de charbon, de pétrole, du nucléaire, d'hydro-électricité.

Sur votre deuxième question, beaucoup disent que la vraie limite est là. La limite qui nous empêche de réaliser le monde 100 % vert que proposent négaWatt ou Alexandria Ocasio-Cortez dans son « *Green Deal* » n'est pas minière ou géologique. Il ne s'agit pas d'une question de disponibilité de matière. Mais nous n'aurons pas assez

d'énergie pour réaliser la transition énergétique. Le coût énergétique est tel pour aller extraire ces minerais que nous n'y arriverons pas. Ensuite, vous me demandez si effectivement nous allons atteindre une telle limite énergétique. La question de savoir si la transition énergétique manquera d'énergie est en effet fondamentale. Mais je n'ai pas la réponse. Je constate simplement deux dynamiques. La première pousse à une production accrue de ressources. La seconde à l'optimisation des processus de production : le sens de l'histoire va vers plus de recyclage, plus d'économie circulaire – la question étant de savoir dans quelle proportion –, le développement des technologies d'extraction et de production d'énergie, par exemple les smart mines qui permettront d'utiliser moins d'électricité pour l'extraction, qui représente tout de même 10 % de la production d'électricité mondiale. Il y a deux dynamiques qui se font concurrence, je ne peux pas dire si l'une l'emportera.

Je rappellerai, néanmoins, que l'histoire des technologies de l'énergie montre qu'on n'a jusqu'à maintenant jamais manqué d'énergie. Quand l'huile de baleine a commencé à manquer, on a inventé la lampe à pétrole, puis l'électricité est venue. L'expérience nous prouve qu'il n'y a jamais eu de mur énergétique. Il y aura peut-être des pénuries localisées dans le temps et dans l'espace. Mais on peut croire au génie humain.

On peut répondre qu'un monde de 10 milliards d'habitants qui veulent consommer et se déplacer comme des Américains change complètement la donne. C'est

en effet à prendre en considération. Mais le génie humain a toujours été capable d'être plus fort que son inconséquence.

Bruno Durieux¹¹ : *Je voulais rebondir sur la question de M. Comte-Sponville. Il y a un paradoxe sur l'affaire du pétrole que je ne m'explique pas bien. Comme cela a été dit, la production de celui-ci demande de plus en plus d'énergie : il faut, en moyenne, 1 baril pour en produire 35 aujourd'hui contre 1 baril pour en produire 100 il y a un siècle. Or, le prix réel du pétrole est inférieur à ce qu'il était il y a quarante ans. Alors qu'on a bien dû multiplier par trois ou quatre la consommation mondiale de pétrole. Et cela est vrai pour la plupart des autres matières premières. Normalement, la rareté, la pénurie, donc le risque d'épuisement dont on parle souvent, devraient se traduire par une augmentation des prix réels, or ce n'est pas le cas. Aujourd'hui, le pétrole vaut moins qu'au lendemain du deuxième choc pétrolier. Comment expliquer ce phénomène?*

Guillaume Pitron : Une première réponse serait de dire que les marchés pétroliers ne sont pas des marchés parfaits. Votre raisonnement se tiendrait dans un marché parfaitement ouvert et transparent, mais les marchés ne sont pas ouverts et transparents, et celui du pétrole moins que les autres. Il en va de même pour les métaux stratégiques : le prix de ces matières n'est pas simplement

11. Maire de Grignan (Drôme), ancien ministre, auteur de *Contre l'écologisme, pour une croissance au service de l'environnement* (2019, éd. de Fallois).

corrélé à la rareté ou aux capacités d'extraction. Ce sont des marchés opaques, pas tous côtés, avec des prix qui ne sont pas connus, des stocks stratégiques, de la rétention d'information. Tout un passage de « La Guerre des métaux rares » est consacré justement au fait qu'on ne voit pas clair dans ces marchés.

Par ailleurs, la logistique s'est considérablement améliorée. On ne transporte plus quelques barils par camions comme il y a 150 ans, mais par *supertankers*. Les gains dus à l'optimisation du transport sont extrêmement importants. Cela joue sur les prix. Ainsi, si cela se trouve, nous aurons dans dix ans bien plus de métaux rares, beaucoup moins chers que, mais pas parce qu'ils sont moins rares.

Retrouvez l'intégralité du débat en vidéo sur
www.institutdiderot.fr

Les publications de l'Institut Diderot

Dans la même collection

- La Prospective, de demain à aujourd'hui - Nathalie Kosciusko-Morizet
- Politique de santé : répondre aux défis de demain - Claude Evin
- La réforme de la santé aux États-Unis : quels enseignements pour l'assurance maladie française ? - Victor Rodwin
- La question du médicament - Philippe Even
- La décision en droit de santé - Didier Truchet
- Le corps ce grand oublié de la parité - Claudine Junien
- Des guerres à venir ? - Philippe Fabry
- Les traitements de la maladie de Parkinson - Alim-Louis Benabib
- La souveraineté numérique - Pierre Bellanger
- Le Brexit et maintenant - Pierre Sellal
- Les Jeux paralympiques de Paris 2024 : une opportunité de santé publique ?
Pr. François Genet & Jean Minier - Texte écrit en collaboration avec Philippe Fourny
- L'intelligence artificielle n'existe pas - Luc Julia
- Cyber : quelle(s) stratégie(s) face à l'explosion des menaces ?
Jean-Louis Gergorin & Léo Issac-Dognin
- La puissance publique face aux risques - François Vilnet & Patrick Thourot

Les Carnets des Dialogues du Matin

- L'avenir des villes - Thierry Paquot
- L'avenir du droit international - Monique Chemillier-Gendreau
- L'avenir de la famille - Boris Cyrulnik
- L'avenir du populisme - Dominique Reynié
- L'avenir de la puissance chinoise - Jean-Luc Domenach
- L'avenir de l'économie sociale - Jean-Claude Seys
- L'avenir de la vie privée dans la société numérique - Alex Türk
- L'avenir de l'hôpital public - Bernard Granger
- L'avenir de la guerre - Henri Bentégeat & Rony Brauman
- L'avenir de la politique industrielle française - Louis Gallois
- L'avenir de la politique énergétique française - Pierre Papon
- L'avenir du pétrole - Claude Mandil
- L'avenir de l'euro et de la BCE - Henri Guaino & Denis Kessler

-
- **L'avenir de la propriété intellectuelle** - Denis Olivennes
 - **L'avenir du travail** - Dominique Méda
 - **L'avenir de l'anti-science** - Alexandre Moatti
 - **L'avenir du logement** - Olivier Mitterand
 - **L'avenir de la mondialisation** - Jean-Pierre Chevènement
 - **L'avenir de la lutte contre la pauvreté** - François Chérèque
 - **L'avenir du climat** - Jean Jouzel
 - **L'avenir de la nouvelle Russie** - Alexandre Adler
 - **L'avenir de la politique** - Alain Juppé
 - **L'avenir des Big-Data** - Kenneth Cukier & Dominique Leglu
 - **L'avenir de l'organisation des Entreprises** - Guillaume Poitrinal
 - **L'avenir de l'enseignement du fait religieux dans l'École laïque** - Régis Debray
 - **L'avenir des inégalités** - Hervé Le Bras
 - **L'avenir de la diplomatie** - Pierre Grosser
 - **L'avenir des relations Franco-Russes** - S.E Alexandre Orlov
 - **L'avenir du Parlement** - François Cornut-Gentille
 - **L'avenir du terrorisme** - Alain Bauer
 - **L'avenir du politiquement correct** - André Comte-Sponville & Dominique Lecourt
 - **L'avenir de la zone euro** - Michel Aglietta & Jacques Sapir
 - **L'avenir du conflit entre chiite et sunnites** - Anne-Clémentine Larroque
 - **L'Iran et son avenir** - S.E Ali Ahani
 - **L'avenir de l'enseignement** - François-Xavier Bellamy
 - **L'avenir du travail à l'âge du numérique** - Bruno Mettling
 - **L'avenir de la géopolitique** - Hubert Védrine
 - **L'avenir des armées françaises** - Vincent Desportes
 - **L'avenir de la paix** - Dominique de Villepin
 - **L'avenir des relations franco-chinoises** - S.E. Zhai Jun
 - **Le défi de l'islam de France** - Jean-Pierre Chevènement
 - **L'avenir de l'humanitaire** - Olivier Berthe - Rony Brauman - Xavier Emmanuelli
 - **L'avenir de la crise du Golfe entre le Qatar et ses voisins** - Georges Malbrunot
 - **L'avenir du Grand Paris** - Philippe Yvin
 - **Entre autonomie et Interdit : comment lutter contre l'obésité ?**
Nicolas Bouzou & Alain Coulomb
 - **L'avenir de la Corée du Nord** - Juliette Morillot & Antoine Bondaz
 - **L'avenir de la justice sociale** - Laurent Berger
 - **Quelles menaces numériques dans un monde hyperconnecté ?**
Nicolas Arpagian
 - **L'avenir de la Bioéthique** - Jean Leonetti
 - **Données personnelles : pour un droit de propriété ?**
Pierre Bellanger et Gaspard Koenig
 - **Quels défis pour l'Algérie d'aujourd'hui ?** - Pierre Vermeren
 - **Turquie : perspectives européennes et régionales** - S.E. Ismail Hakki Musa
 - **Burn-out - le mal du siècle ?** - Philippe Fossati & François Marchand
 - **L'avenir de la loi de 1905 sur la séparation des Églises et de l'État.**
Jean-Philippe Hubsch

-
- **L'avenir du bitcoin et du blockchain** - Georges Gonthier & Ivan Odonnat
 - **Le Royaume-Uni après le Brexit**
Annabelle Mourougane - Frédéric de Brouwer & Pierre Beynet
 - **L'avenir de la communication politique** - Gaspard Gantzer
 - **L'avenir du transhumanisme** - Olivier Rey
 - **L'économie de demain : sociale, solidaire et circulaire ?**
Géraldine Lacroix & Romain Slitine
 - **La transformation numérique de la défense française**
Vice-amiral Arnaud Coustillière
 - **L'avenir de l'indépendance scientifique et technologique française**
Gérard Longuet
 - **L'avenir du Pakistan** - Ardavan Amir-Aslnai
 - **Le corps humain et sa propriété face aux marchés** - Sylviane Agacinski
 - **L'avenir de la guerre économique américaine** - Ali Laïdi

Les Notes de l'Institut Diderot

- **L'euthanasie, à travers le cas de Vincent Humbert** - Emmanuel Halais
- **Le futur de la procréation** - Pascal Nouvel
- **La République à l'épreuve du communautarisme** - Eric Keslassy
- **Proposition pour la Chine** - Pierre-Louis Ménard
- **L'habitat en utopie** - Thierry Paquot
- **Une Assemblée nationale plus représentative** - Eric Keslassy
- **Où va l'Égypte ?** - Ismaïl Serageldin
- **Sur le service civique** - Jean-Pierre Gualazzi
- **La recherche en France et en Allemagne** - Michèle Vallenthini
- **Le fanatisme** - Texte d'Alexandre Deleyre présenté par Dominique Lecourt
- **De l'antisémitisme en France** - Eric Keslassy
- **Je suis Charlie. Un an après...** - Patrick Autréaux
- **Attachement, trauma et résilience** - Boris Cyrulnik
- **La droite est-elle prête pour 2017 ?** - Alexis Feertchak
- **Réinventer le travail sans l'emploi** - Ariel Kyrrou
- **Crise de l'École française** - Jean-Hugues Barthélémy
- **À propos du revenu universel** - Alexis Feertchak & Gaspard Koenig
- **Une Assemblée nationale plus représentative - Mandature 2017-2022**
Eric Keslassy
- **L'avenir de notre modèle social français** - Jacky Bontems & Aude de Castet
- **Handicap et République** - Pierre Gallix
- **Réflexions sur la recherche française...** - Raymond Piccoli
- **Le système de santé privé en Espagne : quels enseignements pour la France ?** - Didier Bazzocchi & Arnaud Chneiweiss
- **Le maquis des aides sociales** - Jean-Pierre Gualazzi
- **Réformer les retraites, c'est transformer la société**
Jacky Bontems & Aude de Castet

-
- Vers un droit du travail 3.0 - Nicolas Dulac
 - L'assurance santé privée en Allemagne : quels enseignements pour la France ? - Arnaud Chneiweiss & Nadia Desmaris
 - Repenser l'habitat. Quelles solidarités pour relever le défi du logement dans une société de la longévité ? - Jacky Bontems & Aude de Castet
 - De la nation universelle au territoire-monde - L'avenir de la République dans une crise globale et totale - Marc Soléry
 - L'intelligence économique - Colonel (H) Dominique Fonvielle

Les Déjeuners / Dîners de l'Institut Diderot

- La Prospective, de demain à aujourd'hui - Nathalie Kosciusko-Morizet
- Politique de santé : répondre aux défis de demain - Claude Evin
- La réforme de la santé aux États-Unis : quels enseignements pour l'assurance maladie française ? - Victor Rodwin
- La question du médicament - Philippe Even
- La décision en droit de santé - Didier Truchet
- Le corps ce grand oublié de la parité - Claudine Junien
- Des guerres à venir ? - Philippe Fabry
- Les traitements de la maladie de Parkinson - Alim-Louis Benabib
- La souveraineté numérique - Pierre Bellanger
- Le Brexit et maintenant - Pierre Sellal
- Les Jeux paralympiques de Paris 2024 : une opportunité de santé publique ?
Pr François Genet & Jean Minier - Texte écrit en collaboration avec Philippe Fourny
- L'intelligence artificielle n'existe pas - Luc Julia
- Cyber : quelle(s) stratégie(s) face à l'explosion des menaces ?
Jean-Louis Gergorin & Léo Issac-Dognin

Les Colloques de l'Institut Diderot

- L'avenir du progrès (actes des Entretiens 2011)
- Les 18-24 ans et l'avenir de la politique
- L'avenir de l'Afrique

La guerre des métaux rares

La face cachée de la transition énergétique et numérique

En nous émancipant des énergies fossiles, nous nous créons une nouvelle dépendance, une dépendance aux métaux rares, indispensables au développement des technologies vertes.

Guillaume Pitron a enquêté pendant six ans sur ces éléments devenus stratégiques, ces ressources aux extraordinaires propriétés dont dépend le succès de la transition énergétique et technologique.

Aujourd'hui, il nous met en garde contre les impacts environnementaux et sociaux de cette nouvelle dépendance qui pourraient être plus dévastateurs encore que ceux causés par l'industrie du carbone.

Nous nous refusons encore à l'admettre, et pourtant ce nouveau saut technologique implique une réalité qui nous met face à un désagréable paradoxe : pour faire du propre, il faut faire du sale.



Guillaume PITRON

Journaliste et réalisateur, spécialiste de la géopolitique des matières premières, lauréat de 14 prix français et étrangers, dont le prix Erik Izraelewicz de l'enquête économique, il collabore notamment avec *Le Monde diplomatique*, *Geo* et *National Geographic*. En 2018, il publie « La Guerre des métaux rares (La face cachée de la transition énergétique et numérique) » aux éditions Les liens qui libèrent et, en 2020, co-réalise avec Jean-Louis Pérez le film documentaire « La face cachée des énergies vertes » co-produit par les chaînes Arte et la RTBF.

