# La transition numérique, une dématérialisation « hors sol » ?

**Raphael Danino Perraud**

Chercheur associé au
Laboratoire d'économie d'Orléans (LEO) et au
Bureau des Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

La place du numérique dans nos sociétés s'est accrue depuis de nombreuses années. Symbole d'une modernité technologique, d'une productivité supérieure et d'un bouleversement sociétal, ce phénomène avait jusqu'ici été plébiscité jusque dans les plus hautes sphères politiques. Cette communion des pensées est pourtant de plus en plus remise en cause. En effet, alors que le numérique et la dématérialisation sont fréquemment mis en avant notamment dans la lutte contre le réchauffement climatique, il semble que cette conviction ait été affirmée un peu rapidement.

De plus en plus d'études signalent deux points auxquels il faudra porter attention. Le premier d'entre eux est la consommation énergétique toujours croissante du numérique, entre augmentation du nombre d'appareils connectés par personnes et augmentation du nombre de données consommées ainsi que leur stockage. Le second point concerne l'intensité matière de la transition numérique, comprendre les matériaux utilisés pour leur fabrication. Pris en considération, les métaux ainsi que l'eau et l'énergie utilisées pour les extraire et les transformer accroissent sensiblement la facture environnementale de ces outils.

De nombreux exemples de l'actualité récente laissent à penser que les problématiques technologiques sont en train de devenir des enjeux de puissance comme c'est le cas de l'ordre exécutif de Donald Trump concernant Huawei. Cette évolution des enjeux est également observable pour les matières premières ou la maîtrise des processus de fabrication est devenue presque plus importante que la matière première elle-même.

***Technologie du numérique et consommation énergétique***

La part du numérique dans la consommation finale d'énergie (elle-même en augmentation de 1,5 % par an) est passée de 1,9 % à 2,7 % par an entre 2013 et 2017. Elle devrait atteindre 3,3 % en 2020 et 4,5 % en 2025. Dans le même temps, la part du numérique dans les rejets de gaz à effet de serre a augmenté, passant de 2,5 % à 3,7 % par an depuis 2013. Environ 45 % de cette énergie a été utilisée pour la production d'outils connectés (Smartphones, écran TV, ordinateurs…) et 55 % pour leur utilisation (19% pour les data centers, 16 % pour le réseau et 20 % pour les terminaux)[1].

Vendu à 4 milliards d'exemplaire en 2017 (5,5 milliards en 2020) et avec une croissance de 11 % par an[2], le smartphone est le symbole de cette transition numérique très technologique utilisant une combinaison de métaux toujours plus grand et plus complexe. On estime que pour un smartphone de 140 grammes, 700 Mégajoules d'électricité sont nécessaires alors que 85 Gigajoules sont utilisés pour la fabrication d'une voiture de 1400 kilogrammes. Ainsi, il faudrait 80 fois plus d'énergie pour produire un « gramme » de smartphone qu'un « gramme » de voiture[3]. Par ailleurs, plusieurs tonnes de terre doivent être excavées pour produire les quelques grammes de métaux qu'il consomme.

***L'utilisation des métaux dans les technologies du numérique***

Ce sont d'ailleurs les métaux qui vont faire l'objet de notre attention. Alors que seuls quelques-uns d'entre eux étaient nécessaires pour la fabrication d'un moulin à vent, une dizaine étaient utilisés pour la production d'une machine à vapeur, une vingtaine pour une voiture et plus d'une quarantaine pour les objets de la transition énergétique et numérique (Voir image). Cette utilisation croissante et toujours plus complexe nous oblige à en détailler les principales caractéristiques. Ainsi, on peut distinguer :

- les métaux de base utilisés en grande quantité (cuivre, zinc, fer, aluminium et plomb) ;
- les métaux précieux (or, argent, platinoïdes);
- les métaux rares (cobalt, lithium...), ces derniers étant notamment caractérisés par un faible volume de production mais une utilisation primordiale dans l'industrie

Si les grands métaux sont largement utilisés dans les infrastructures, les petits métaux tels que l'indium (écrans plats), les terres rares (disques durs), le tantale (condensateur) le gallium et le germanium (semi-conducteurs) sont utilisés en très petite quantité dans des produits technologiques.

1 Françoise Berthoud, Philippe Bihouix, Pierre Fabre, Daniel Kaplan, Alain Ducasse, Laurent Lefèvre, Alexandre Monnin, Olivier Ridoux, Samuli Vaija, Marc Vautier, Xavier Verne, Maxime Efoui-Hess, Zeynep Kahraman, Hugues Ferreboeuf, Lean ICT : pour une sobriété numérique, The Shift Project, Rapport final, octobre 2018, p 6

2 Idem, p 20

3 Idem, p 29

Surtout, tous ces métaux sont utilisés dans les technologies du digital. A travers quelques exemples (cuivre, gallium, germanium et tantale), les différentes problématiques que doit surmonter leur production seront plus explicitement abordées.

### *Cuivre, gallium, germanium, tantale… Exemple de métaux consommés dans l'électronique, et ailleurs*

Alors que 24 millions de tonnes de cuivre ont été produites en 2017, 12,5 % ont été utilisées pour le secteur électronique et 45 % pour la production et la distribution d'électricité (câbles et réseaux électriques). Une tonne de cuivre servira par exemple à la fabrication de 2 milliards de cartes à puce, 300 000 caméras, 250 000 smartphones et tablettes ainsi que 3 000 équipements électroniques[4]. En France, près de 170 000 tonnes de cuivre sont utilisées sur le réseau électrique (30 000 s'y ajouteront d'ici 2026), ainsi que d'ailleurs 66 000 tonnes de zinc, 2,28 millions de tonnes d'acier et 1,29 millions de tonnes d'aluminium[5].

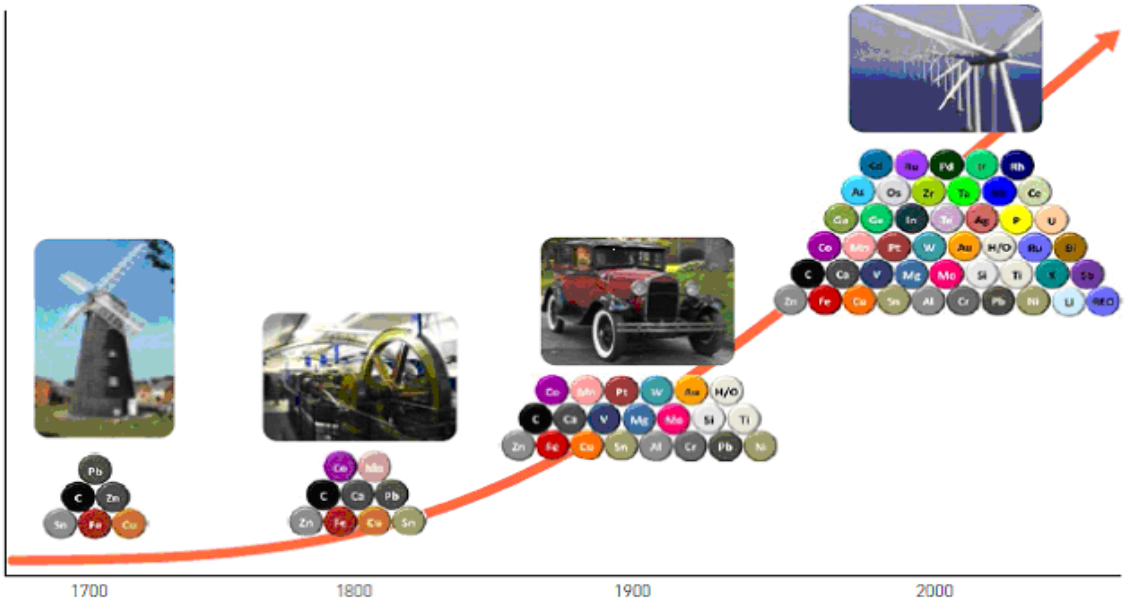
Le tantale représente de son côté un marché de 2000 tonnes par an. Son utilisation est primordiale dans les condensateurs de smartphone (environ 1000 condensateurs/smartphones) qui permettent de stocker des charges électriques importantes dans des volumes très faibles. Environ 34 % de sa production est destinée à ce segment même s'il est aussi utilisé dans les superalliages (18%), les produits chimiques (17%) ainsi que les produits métallurgiques (15%)[6].

300 tonnes et 150 tonnes de gallium et de germanium sont respectivement produites par an. Ils sont essentiels dans les systèmes de communication sans fil (fibre optique, capteurs, amplificateurs de puissance) sous forme de semi-conducteurs.

4 International copper study group, The world copper factbook 2018, 2018, à consulter sur https://www.icsg.org/index.php/component/jdownloads/finish/170/2876

5 Gaëtan Lefèbvre, La place des métaux dans la transition numérique, présentation au colloque France Stratégie, Bureau des recherches géologiques et minières (BRGM), 21/01/2019

6 Fiche de synthèse sur la criticité des métaux, Le tantale, éléments de criticité, Mineralinfos.fr, Août2015, http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/documents/Fiches_criticite/fichecriticitetantale-publique150831_0.pdf




(Van Schaik et Reuter, Ressources minérales - Contribution au Sommet de la Terre 2012 revue géosciences n°15, 2012)

***Pour chaque métal, des problématiques différentes et communes à la fois***

Chacun de ces métaux fait face à des enjeux différents. Ainsi, la consommation de cuivre est appelée à augmenter significativement pendant les prochaines années en raison des différents projets liés à la transition énergétique. Près de 70 millions de tonnes devraient être consommées en 2050, ce qui représente une croissance de 2,84 % par an. D'ici là l'humanité produirait autant de cuivre qu'entre le début de son extraction et 2013[7]. La multiplication des conflits sociaux en Amérique latine, la baisse de teneur du minerai extrait dans les mines chiliennes (principales productrices de cuivre) ainsi que le manque d'investissement dans l'exploration sont autant de dangers susceptibles de mettre le marché du cuivre sous tensions dans les prochaines années.

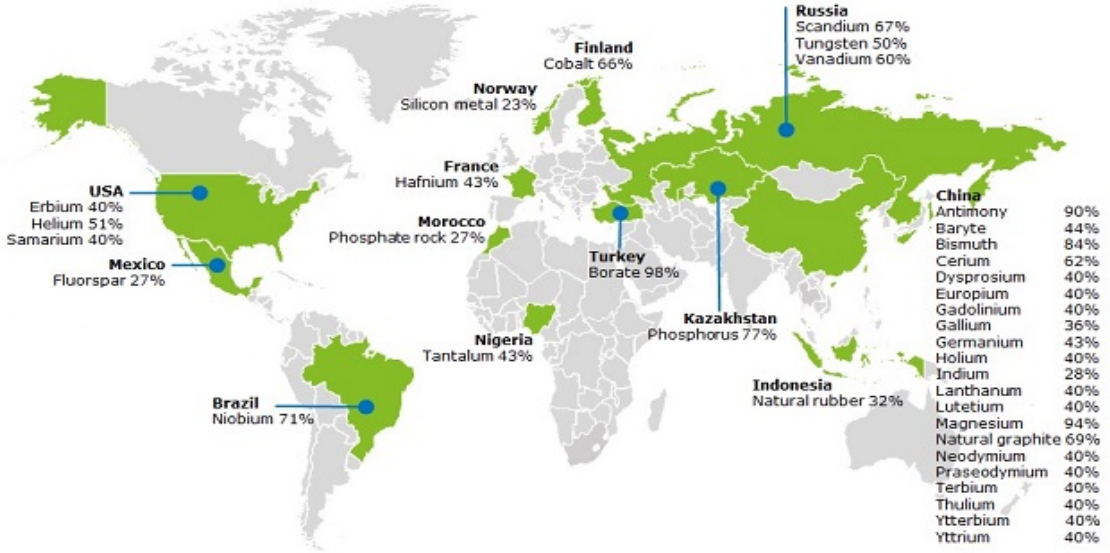
Le gallium, le germanium et le tantale sont tous les trois extraits en tant que co-produits, c'est à dire « *récupérés conjointement à un autre métal dans un procédé industriel d'extraction* ». Ainsi, le gallium est un sous-produit de la bauxite (95%) et du zinc (5%), la production du germanium provient à 75% de concentrés de minerai de zinc et à 25% de l'exploitation des cendres de charbon tandis que le tantale est un co-produit du lithium et de l'étain. La production de gallium et de germanium est issue de processus technologiques complexes qui ont un coût élevé et dont la maîtrise n'est pas l'apanage d'un grand nombre d'acteur. De son côté, le tantale, dont plus de 50 % de la production provient du Rwanda et de République démocratique du Congo (RDC), est considéré par l'OCDE et

7 Olivier Vidal, Bruno Goffé, Nicholas Arndt, Metals for a low-carbon society, Nature Géosciences n°6, 2013

l'Union européenne comme un minerai de conflit, dont la production souvent artisanale alimente les conflits locaux. Sa chaîne de production est de ce fait très complexe et manque de transparence. [8]

***L'Union européenne, une vulnérabilité assumée ?***

Il n'y a pas ou plus de production de tantale, de germanium et de gallium dans l'Union européenne. A titre d'exemple, environ 85% des capacités de production de gallium se situent en Chine (400-500 tonnes). Jusque récemment, l'Europe disposait de capacité de raffinage en Hongrie et en Allemagne, toutefois ces dernières ont arrêté la production en 2015 et 2016[9]. En France, la production a cessé en 2003 et 2006, même s'il existe encore quelques producteurs de composants. Le germanium possède des similarités avec le gallium. La Chine produit 56% du germanium « primaire » et 67% du germanium raffiné. La Finlande a stoppé sa production de germanium (en provenance de RDC) en 2016 et la France a fermé ses mines en 1971 et 1992[10]. Concernant le cuivre, près de 911 000 de tonnes ont été extraites en Europe en 2018. 2,69 millions de tonnes ont été raffinées pour une consommation totale de cuivre raffiné de 3,29 millions de tonnes, ce qui signifie que le rapport production/consommation de cuivre y est nettement déficitaire[11].




(Fournisseurs de l'Union européenne en minerais critiques : Critical Raw Materials, http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_fr)

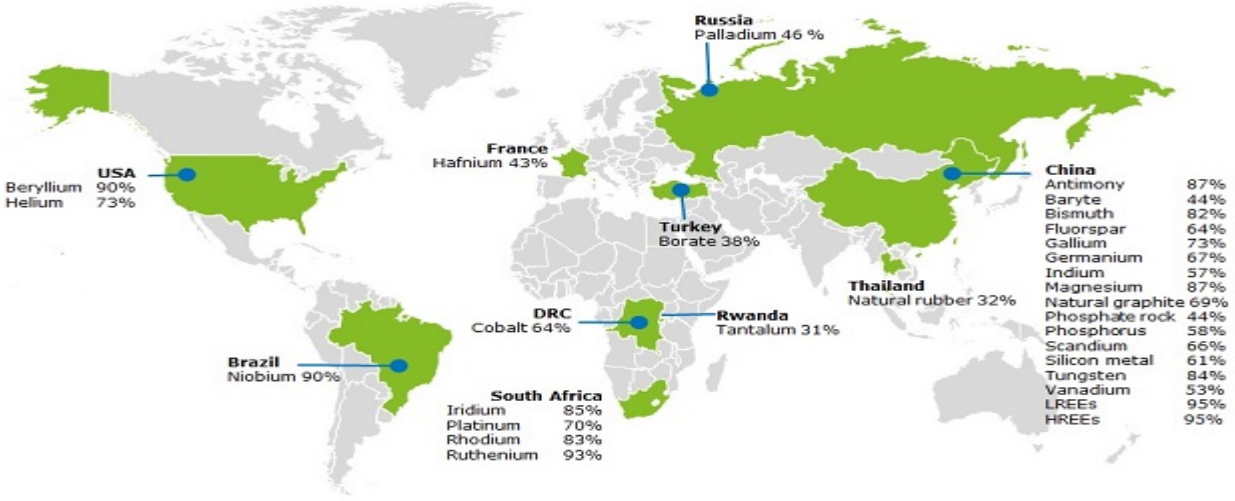
8 Voir notes de bas de page 7, 8 et 9

9 European Commission, Study on the review of the list of critical raw materials, Critical raw materials Factsheets, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Directorate Industrial Transformation and Advanced Value Chains, 2017

10 European Commission, Study on the review of the list of critical raw materials, Critical raw materials Factsheets, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Directorate Industrial Transformation and Advanced Value Chains, 2017

11 International copper study group, Tableau 2 : Copper mine, smelter, refinery production and refined copper usage by geographical area, 2018, https://www.icsg.org/index.php/component/jdownloads/finish/165/872

Ces exemples illustrent la vulnérabilité de l'UE concernant ses approvisionnements en métaux. En effet, ses pays membres ne produisent que 2 % des métaux qu'elle a qualifié de critiques en 2017[12] et plus de 50 % sont importés de Chine[13]. Malgré cette constatation, malgré l'initiative pour les métaux critiques en 2008[14], malgré la publication de plusieurs listes de métaux critiques en 2011, 2014 et donc 2017, l'UE continue de s'affaiblir sur le segment de la production de métaux. Non seulement la mise en place de nouvelles capacités d'extraction n'avance pas, mais la fermeture de capacités de raffinage (symbolisée par le gallium et le germanium) met en danger des filières entières et fait peser un poids sur la souveraineté économique de l'UE.




(La production de minerais critiques au niveau mondial : Critical Raw Materials, http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_fr)

***Un bouleversement sur la chaîne de valeur des métaux : l'exemple de la Chine***

Cette frilosité doit être mise en parallèle avec un phénomène symbolisé par la Chine, mais que l'on retrouve dans de nombreux pays : les politiques de montées en puissance sur la chaîne de valeur des métaux. Conscients que l'extraction de minerais n'apporte pas de revenus suffisants pour développer l'économie et la base technologique d'un pays, on observe une volonté de nombreux dirigeants d'encourager les investissements dans les capacités de transformation des métaux extraits sur place. On retrouve cette volonté en Indonésie, grande productrice de cuivre et de nickel, potentiellement de cobalt, qui négocie avec les entreprises chinoises pour installer des capacités de

12 Antimoine, béryllium, cobalt, spath fluor, gallium, germanium, graphite, indium, magnésium, niobium, tantale, tungstène, platinoïdes, terres rares (lourdes et légères), baryte, bismuth, borate, charbon à coke, hafnium, hélium, caoutchouc, phosphate, phosphore, scandium, silicium métal et vanadium

13 Critical Raw Materials, http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_fr

14 Basée sur trois piliers que sont : la production soutenable et légale de matières premières minérales, la maîtrise des routes d'approvisionnement de l'UE et une stratégie d'utilisation efficiente des ressources à travers le recyclage

transformation de nickel ainsi que des usines de production de précurseurs de batteries[15]. De la même manière, la Bolivie a durement négocié l'exploitation du salar d'Uyuni pour la transformation du lithium sur place. Quant à la RDC elle a interdit avec plus ou moins de succès l'exportation de minerais et concentrés de cobalt à partir de 2013 afin de pouvoir exporter une production ayant une valeur ajoutée supérieure.

Le cas chinois est encore différent par l'échelle de ces initiatives. Depuis 2010, le monde a pris conscience que la Chine produit entre 80 et 95 % des minerais de terres rares. Les terres rares sont un groupe de 15 éléments faisant partie d'un ensemble plus large de métaux qualifiés de « critiques » [16].

Toutefois, pour être utilisée dans un produit fini, une terre rare doit être concentrée, séparée, raffinée ou encore transformée, différents processus qui nécessitent une maîtrise technologique et des coûts importants. Or à l'heure actuelle, la Chine produit environ 95 % des oxydes de terres rares, 89% des alliages à base de terres rares et 75 % des aimants permanents, disposant par là même non seulement d'un monopole industriel, mais également d'un monopole technologique[17]. De la même manière, elle produit 65 % du cobalt raffiné alors qu'elle n'en extrait qu'à peine 1 %. Alors que la RDC produit environ 70 % du minerai de cobalt, les entreprises chinoises à l'image de China Molybdnenum ou Huayou Cobalt sont devenues des productrices majoritaires alors qu'elles y étaient encore peu présentes en 2010[18]. De façon similaire, après le rachat du producteur SQM par Tianqui lithium, les entreprises chinoises contrôlent environ deux tiers des capacités industrielles de production de lithium au niveau mondial[19]. La Chine est également leader de la production de batteries et de véhicules électriques à travers des entreprises comme CATL ou BYD et des entreprises verticalement intégrées, de la mine à la fabrication de précurseur de batteries et à leur recyclage comme GEM.

Cette prééminence sur la filière minière ne doit pas faire oublier la domination des pays asiatiques (Chine comprise) sur le segment de l'électronique et du micro-électronique dont la transition numérique est friande. Comme le reconnaissait le CSIS en 2016, la production de microprocesseurs a basculé en Asie ou le coût de fabrication est moins important et la matière première principalement produite par la Chine, est plus proche. Ainsi, 76% de leur production est

15 Anaëlle Renou, le secteur minier indonésien sous la présidence Jokowi, Institut des relations internationales et stratégiques (IRIS), Asia Focus n°92, Novembre 2018

16 Lanthane ; cérium ; praséodyme ; néodyme ; prométhium ; samarium; europium ; gadolinium ; terbium ; dysprosium ; holmium ; erbium ; thulium; ytterbium ; lutécium.

17 Guillaume Pitron, La guerre des métaux rares : la face cachée de la transition énergétique, Ed. Les liens qui libèrent, Janvier 2018
Valérie Bailey Grosso, Rare earths elements in nationale defense: background, oversight issues and options for Congress, Congressional Reseach Service (CRS), 2013

18 Darton Commodities Limited, Cobalt Market Review 2018-2019, Darton Commodities Ltd, Février 2019

19 Clément Bonnet, Samuel Carcanague, Emmanuel Hache, Gondia Sokhna Seck, Marine Simoën, Critical raw materials and transportation sector electrification : A detailed bottom-up analysis in world transport, Working Paper 2019-3, Institut Français du pétrole et des énergies nouvelles (IFPEN) et Institut des relations internationales et stratégiques (IRIS), 2019

réalisée en Asie (8% en Chine et 23% en Thaïlande), 16% aux États-Unis et seulement 3% en Europe malgré la présence de trois fabricants de semi-conducteurs majeurs : ST Microelectronics, Infineon Technologies et NXT Semiconductors[20].

***Transition numérique et économie circulaire, la boucle n'est pas bouclée***

Alors que les projets de dématérialisation fleurissent en Europe, l'aspect « solide » de la transition numérique est toujours mal appréhendé. Pourtant ce questionnement est essentiel tant pour des raisons environnementales que de sécurité. Malgré un impact environnemental non mesuré, malgré la pollution liée à la production de terres rares ou de batteries, la partie solide de la digitalisation ne sera pas produite en Europe, mais en Asie ou en Afrique. Tant d'un point de vue industriel que technologique, l'Europe se trouve à la marge du processus. Cette externalisation pose également des problèmes de sécurité mis en lumière par l'affaire Huawei, entreprise chinoise, en lien avec le gouvernement chinois. La prégnance de ces questions se retrouve plus encore pour l'industrie de défense, particulièrement consommatrice de produits électroniques de pointe.

La transition numérique et la digitalisation posent également certaines questions liées à l'économie circulaire. En effet, la performance de cette industrie vient de ses capacités toujours croissantes due notamment à des équipements de plus en plus miniaturisés. Sans dénigrer cette performance technologique, le principe d'économie durable n'est pas respecté. Avant même d'aborder le sujet de la miniaturisation, rappelons que seuls 5 à 10 % des smartphones et autres objets électroniques sont collectés et recyclés, ce qui induit des pertes de matières importantes. Sont en causes, des difficultés de collecte, des technologies de recyclage ne permettant pas de récupérer plus d'une certaine quantité sans augmenter mécaniquement la consommation énergétique ainsi que l'absence d'une masse critique nécessaire à toute industrie pour bien fonctionner. Pourtant, le recyclage est beaucoup moins consommateur en ressource. Dans le cas de l'aluminium du cuivre ou encore du fer, il permet d'économiser 95%, 85% et 74% de l'énergie qui aurait été utilisée si la même quantité avait été extraite[21]. Néanmoins, la complexité des alliages et des matériaux utilisés dans l'industrie électronique, la miniaturisation des équipements et leur dispersion ne permettent pas de récupérer les matériaux à des coûts qui soient intéressants pour que l'opération soit rentable. Ainsi, moins de 1 % du gallium, du germanium et du tantale sont recyclés. Quant au cuivre dont le recyclage est un des plus efficace, seuls 33 % des déchets en fin de vie sont recyclés.

***Conclusion et pistes de réflexion***

20 Michaela D. Platzer, JR John F. Sargent, U.S. Semiconductor Manufacturing: Industry Trends, Global Competition, Federal Policy, Congressional Research Service (CRS), 2016

21 Jirang Cui, Eric Forssberg, "Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review", Journal *of Hazardous Materials*, Mai 2003, pp. 243–263.

En 2010, la Chine mettait en place des quotas d'exportation drastiques et le début d'un embargo sur les terres rares à destination du Japon. 9 ans plus tard, de nouvelles tensions apparaissent à l'horizon, alimentées par le conflit commercial entre la Chine et les Etats-Unis. En 2010, la bulle des terres rares avait gonflé pour crever très rapidement condamnant ainsi tous les projets de production hors Chine. A l'heure actuelle, cette dernière est toujours l'acteur ultra-dominant sur la chaîne de valeur de ces minerais, même si sa part dans l'extraction a diminué (autour de 80%). L'entreprise australienne Lynas et sino-américaine Molycorp envoient leurs productions minières en Chine pour y être traitées. Si la problématique des approvisionnements en matières premières existe toujours, nous devons prendre conscience que la criticité s'est déplacée sur les capacités technico-industrielles de leur traitement et de leur transformation, comme le montre le cas des terres rares.

L'Initiative pour les matériaux critiques lancée en 2008 devait permettre à l'UE de diminuer sa vulnérabilité vis-à-vis des métaux critiques. Or, nous avons vu qu'elle rencontrait des difficultés dans sa mise en œuvre, et notamment dans la création et la sauvegarde de nouvelles capacités de production qu'elles se situent sur le segment de la mine ou sur celui du raffinage. L'industrie du recyclage, priorité du troisième pilier de l'initiative, a également devant elle de nombreux obstacles à surmonter, tant sur le plan organisationnel que technique. Malgré ces freins politico-économiques, l'UE et les Etats membres disposent de plusieurs atouts, notamment législatifs et normatifs.

- ***L'éco-design***

Des solutions existent pour ces problèmes mais semblent, pour certaines, complexes à mettre en œuvre. L'éco-design permettrait la standardisation des produits ainsi que leur fabrication en vue de faciliter leur recyclage, tout comme la fin de l'obsolescence programmée permettrait d'augmenter leur durée de vie. Toutefois, l'eco-design pose certaine question de sécurité (hardware) tandis que l'obsolescence programmée est difficile à évaluer et à mettre en œuvre. Cela pourrait en effet remettre en cause les paradigmes économiques sur lesquels repose notre société. Une législation plus en faveur du recyclage serait également souhaitable mais ferait face aux incertitudes des prix liés au marché très spécifique des matières premières minérales ainsi qu'à la nécessité de développer et mettre en place de nouveaux processus et infrastructures de recyclage.

- ***Prendre en compte l'impact carbone de la production numérique***

On peut également questionner la pertinence écologique d'importer des produits par avion et fabriqués grâce des processus impactant l'environnement. L'exploitation des terres rares en Chine est très polluante tandis que la principale énergie utilisée dans ce pays est encore le charbon, énergie fossile émettant le plus de dioxyde de carbone. Cela signifie que les produits, batteries, semi-conducteurs, smartphones ou autres équipements électroniques sont produits à moindre coût économique, mais à un coût environnemental supérieur. Ce n'est pas non plus une solution durable.

- ***Les traités de libre échange, une « arme commerciale » à disposition de l'UE***

Il appartient à l'UE et à ses états membres de trouver des solutions pour calculer le coût environnemental d'une telle politique économique et de trouver les solutions pour y remédier. Les traités de libre échange pourraient par exemple prendre en compte ce genre de problèmes en exigeant une production écologique et durable des produits importés.