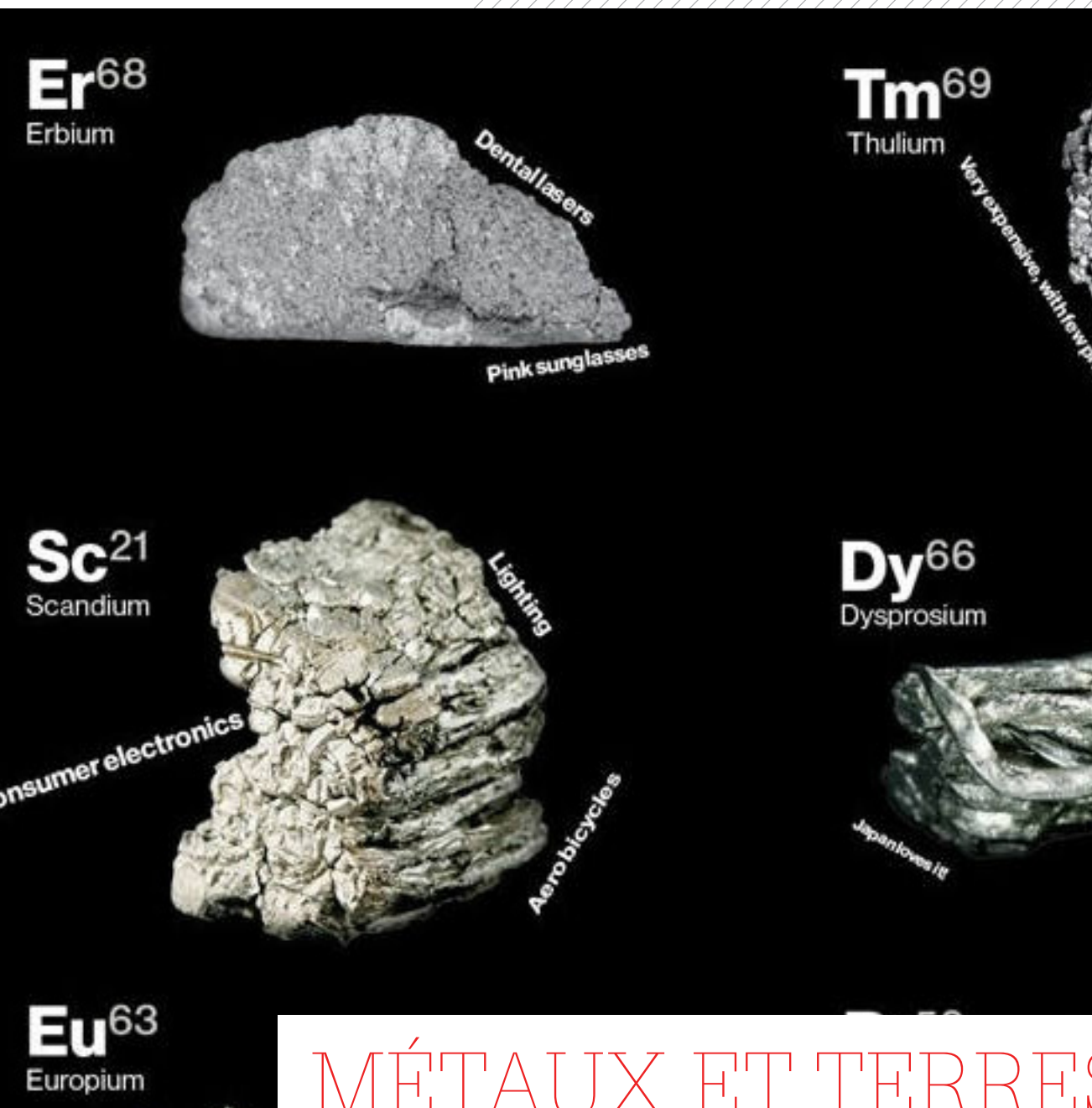


LES FOCUS
TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR



MÉTAUX ET TERRES RARES

LA FACE CACHÉE DE LA
TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

janvier / 2018

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION	3
LA FACE CACHÉE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE	4
▪ GUILLAUME PITRON LIVRE SA GUERRE AUX MÉTAUX RARES	4
▪ LA CHINE, UN QUASI-MONOPOLE SUR LA PRODUCTION DE TERRES RARES	6
▪ QUELS MÉTAUX POUR LES PANNEAUX SOLAIRES ?	8
▪ LE DÉVELOPPEMENT DES ÉOLIENNES, MENACÉ PAR LES MÉTAUX ?	10
▪ « ELECTRICGATE » : LA VOITURE ÉLECTRIQUE EST-ELLE VRAIMENT UN LEURRE ÉNERGÉTIQUE ?	11
▪ LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DEMANDE-T-ELLE TROP DE MÉTAUX ?	14
POUR ALLER PLUS LOIN	16
▪ LES TERRES RARES SONT-ELLES INDISPENSABLES POUR LES MOTEURS ÉLECTRIQUES, LES ÉOLIENNES ET LES PANNEAUX SOLAIRES ?	16
▪ MINÉRAIS DE CONFLIT UTILISÉS DANS L'INDUSTRIE ÉLECTRONIQUE EN INFOGRAPHIE	18
▪ UN MONDE BAS CARBONE NÉCESSITERA BEAUCOUP DE RESSOURCES	19
▪ TERRES RARES : LE GROENLAND EST À ACHETER	21

INTRODUCTION

Les énergies "propres" le sont-elles vraiment ? Les terres et métaux rares, souvent indispensables à la fabrication des éoliennes, des panneaux solaires ou encore des batteries, constituent l'enjeu énergétique et géopolitique de demain. Leur extraction très énergivore et leur localisation géographique dessinent un visage peu connu de la transition énergétique.

LA FACE CACHÉE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

GUILLAUME PITRON LIVRE SA GUERRE AUX MÉTAUX RARES

Dans son livre « La guerre des métaux rares. La face cachée de la transition énergétique et numérique », Guillaume Pitron présente les coulisses de la transition énergétique. Et selon lui, elle ne serait pas si durable que cela. Entretien.

Techniques de l'ingénieur : Les technologies vertes ne seraient pas si propres. Pouvez-vous nous expliquer votre thèse ?

Guillaume Pitron : Pour la même production d'énergie, les technologies utilisées aujourd'hui consomment davantage de ressources que les technologies précédentes. Plus nous irons vers les technologies vertes, plus nous aurons besoin de ressources. La transition énergétique veut prôner la sobriété, mais nécessite l'inverse pour être rendue possible. En clair : elle nécessite davantage de ressources et c'est un paradoxe.

Nous sommes dans un système de gaspillage, il faut rationaliser les ressources. On sait [recycler les métaux](#) rares, mais cela coûte trop cher, car ils sont souvent sous forme d'alliages, des « composites », donc on ne le fait pas. On préfère les jeter lorsqu'ils sont usagés, plutôt que de payer un peu plus cher nos biens technologiques. Aujourd'hui, on ne recycle que 1 % des [terres rares](#), mais c'est bien 100 % de tous les métaux rares qu'il faut recycler. Toutefois, même si l'on recyclait l'ensemble des métaux utilisés aujourd'hui, il faudrait toujours aller en chercher plus, c'est inévitable. Nos besoins augmentent de 5 % par an, la production est multipliée par deux tous les 15 ans. Il faut également lutter contre l'obsolescence programmée, substituer les métaux énergivores et faire de l'[éco-conception](#).

ETI : La Chine produit 95% des terres rares et a le quasi-monopole sur d'autres métaux rares. Elle impose des quotas et des embargos. Aura-t-on assez de métaux pour assurer la transition énergétique ?

G.P : C'est vraiment une question qu'il faut se poser. Il faut souligner un véritable paradoxe : nous sommes dans un monde d'énergies renouvelables qui nécessite des matières premières non renouvelables pour être exploitées. D'un côté, certains observateurs disent que nous aurons toujours assez de métaux. Selon eux, le progrès technologique est une course permanente entre l'épuisement des ressources et le fait que l'on utilise les ressources de manière toujours plus efficiente. Après tout, cela fait 40 ans que la fin des réserves de pétrole est repoussée. Pour retarder ces échéances, nous développons de nouvelles technologies qui permettent d'aller chercher le pétrole toujours plus profondément. C'est la même chose pour les métaux.

Certains disent que ces métaux sont présents partout dans les océans et dans l'espace et qu'il suffit d'aller les chercher. Une autre école dit que le problème n'est pas tant géologique que technologique. À force d'aller toujours plus loin, nous arrivons à un plafond. Sans compter les impacts sur les écosystèmes que cela peut provoquer. Compte-tenu de notre rythme de consommation, il y a des pénuries de métaux annoncées à court ou moyen terme. De nouvelles technologies vont bien sûr apparaître et de nouveaux gisements vont être découverts. Mais il faudra toujours utiliser davantage d'énergie pour aller les chercher. Les limites de l'extraction minière ne sont pas quantitatives, mais énergétiques. Entre les deux positions, il faut savoir jusqu'où nous sommes prêts à aller pour un modèle dit durable et à base d'énergies renouvelables, mais reposant sur l'extraction de minerais non renouvelables. Personnellement, je suis inquiet.

ETI : Vous qualifiez de la France de « géant minier en sommeil », prônez-vous le retour de mines en France ?

G.P : Quelle part assumons-nous sur le plan écologique

dans cette violence faite aux écosystèmes et aux hommes pour aller chercher les métaux rares ? Pas grand chose. Je pense qu'il faut assumer une part de ce fardeau. Il est trop facile de délocaliser la pollution et laisser d'autres pays extraire des minerais sans lesquels nous ne pourrions pas parler de transition énergétique en France. Il faut que nous assumions une partie de ce fardeau, à parts égales de notre PIB par exemple. Ce serait une position juste.

Il faut que le grand public prenne réellement conscience du coût réel de la transition énergétique en termes d'extraction minière. Nous pourrions alors accepter de dépenser un peu plus d'argent pour un téléphone propre avec des minerais exploités dans une mine un peu plus responsable qu'une autre. Cela permettrait à ce type de marché d'émerger, et permettrait de modifier le reste du marché. Dans ces conditions, on peut imaginer que si la Chine voulait continuer à vendre des métaux à l'Occident, elle devrait davantage prendre en compte cette nouvelle exigence.

ETI : Beaucoup d'entreprises ne semblent pas se soucier de leur approvisionnement en métaux rares. Comment l'expliquez-vous ?

G.P : En 2010, la Chine a mené un embargo sur les terres rares contre le Japon. De grands groupes français ne savaient pas ce qu'étaient les terres rares à l'époque, car ils achètent des composants qui sont assemblés pour faire des produits finis. La chaîne logistique entre le minerai et l'industriel final comprend au moins une quinzaine d'intermédiaires. Celle-ci peut donner l'illusion d'une abondance. L'industriel est déresponsabilisé et le risque de manquer de métaux est transféré à ses fournisseurs. Mais il est tout le temps exposé en réalité.

ETI : Les véhicules du futur demanderont-ils moins de métaux ?

G.P : Il y aura toujours des métaux dans les véhicules. Les technologies qui permettent de propulser les véhicules utiliseront toutes des métaux rares. En plus, il y a de plus en plus de technologies embarquées. Les voitures autonomes qui arrivent bientôt sur le marché sont bourrées de radars et produisent une multitude de données numé-

riques. Demain, la voiture sera un cocktail de technologies vertes et numériques. Même si l'on change la propulsion, il y aura toujours des caméras à l'avant et à l'arrière, des ordinateurs de bord. Derrière, les infrastructures pour traiter les données vont se multiplier, nécessitant notamment des supercalculateurs et des data centers.

De nombreux problèmes environnementaux se posent en Chine pour l'extraction des terres rares. Des problèmes similaires se posent d'ores et déjà en Amérique latine, en particulier du fait de l'extraction du lithium, dans les sous-sols des déserts de sel boliviens, chiliens et argentins. Le lithium n'est pas considéré comme rare, mais sa production mondiale, dopée par la forte croissance du marché des voitures électriques, va exploser dans les prochaines années. La pollution concerne tous les pays producteurs, à l'image, par exemple, de la République démocratique du Congo, qui satisfait plus de la moitié des besoins de la planète en cobalt. L'extraction de cette ressource, indispensable à la fabrication de nombreux types de batteries lithium-ion utilisées dans les véhicules électriques, s'opère dans des conditions moyenâgeuses. Cent mille mineurs équipés de pelles et de pioches transpercent la terre toute l'année pour se procurer le minerai.

Propos recueillis par Matthieu Combe, journaliste scientifique

24/01/2018

LA CHINE, UN QUASI-MONOPOLE SUR LA PRODUCTION DE TERRES RARES

Si les métaux rares sont une trentaine, les « terres rares » en regroupent 17 des plus stratégiques pour les nouvelles technologies. La Chine assure 95 % de la production de ces terres convoitées. Un quasi-monopole qui profite largement à l'Empire du Milieu.

Les **métaux rares** sont une grande famille. Ils contiennent les 17 terres rares, le graphite, le cobalt, l'antimoine, le tungstène, le tantale, le platine, l'iridium, le ruthénium, le niobium et **quelques autres**. Ils ne sont pas forcément rares autour du globe. Cependant, leurs gisements assez vastes pour que l'exploitation soit commercialement rentables avec les technologies actuelles le sont.

Une stratégie chinoise bien pensée

Pendant six ans, le journaliste Guillaume Pitron a mené l'enquête sur les terres et métaux rares dans une douzaine de pays, sur quatre continents. Il en livre un témoignage poignant dans son livre *La guerre des métaux rares*. Son constat est sans appel : la Chine domine désormais celle des métaux rares. Il est le fournisseur quasiment unique des plus stratégiques d'entre eux, les terres rares. Si leur production annuelle limitée à 130.000 tonnes, contre 2 milliards de tonnes de fer, peut sembler anecdotique, elle est capitale et indispensable à nombre de nouvelles technologies. LED, écrans plats, voitures électriques, **éoliennes** à aimants permanents, téléphones portables, ordinateurs demandent leur pesant de terres rares.

Au début des années 1990, la Chine a commencé à vendre des terres rares à prix cassé. Les mines californiennes qui fournissaient la majorité du marché, ont dû fermer leurs portes dans les années 2000, les mineurs ont dû ranger leurs pioches. Les autres pays qui disposent des

ressources, notamment la Russie, le Groenland, le Canada, le Vietnam, les Etats-Unis, et même la France en ont abandonné ou négligé l'exploitation. Seule maîtresse à bord, la Chine fait désormais sa loi sur le marché. Résultat : elle concentre aujourd'hui 95 % de la production mondiale de terres rares, alors qu'en n'en détiendrait que 36 % des réserves. La situation pourrait changer d'ici une décennie, car la Chine pourrait décider de réserver l'ensemble de sa production de terres rares à ses seules entreprises, tant la demande de son industrie est importante. Les mines d'autres pays pourraient rouvrir.

Des impacts environnementaux majeurs

Durant son enquête, Guillaume Pitron a découvert que l'extraction de ces métaux rares génère d'importants impacts environnementaux. Les processus d'extraction et de séparation nécessitent beaucoup d'énergie, de produits chimiques et d'eau. En Chine, les acides sulfuriques et chlorhydriques polluent les cours d'eau aux alentours des mines. Les médias se sont fait l'écho de la pollution de différents fleuves et de la formation de montagnes de déchets. Ces extractions se sont accompagnées d'une hausse de maladies et de cancers considérables chez les riverains. Malgré l'interdiction des activités sauvages sous l'impulsion de l'opinion publique chinoise, le marché noir à l'exportation y resterait florissant. Quelque dix mille mines seraient éparpillées à travers le territoire chinois.

La question à Guillaume Pitron : **Le monde se désoccidentalise. Avec ses barrières aux exportations de minerais, que cherche la Chine ?**

Depuis une quinzaine d'années, la Chine a mis en place une politique où elle restreint ses exportations de minerais

bruts pour garder la valeur ajoutée. Elle ne veut plus de la ligne colonialiste où les occidentaux n'iraient chercher que la matière et la transformer chez eux. La Chine met des quotas à l'exportation, mais donne un accès illimité aux entreprises qui viennent s'installer dans le pays. Elle convoite l'aval de la filière, c'est-à-dire les industries des hautes technologies utilisatrices de terres rares. Elle demande à ces entreprises d'apporter les structures industrielles, les emplois, le savoir-faire, les laboratoires de recherche et développement. Et elle utilise ces connaissances pour son développement. Alors qu'à la fin de la décennie 1990 le Japon, les États-Unis et l'Europe concentraient 90 % du marché des aimants, la Chine contrôle désormais les trois quarts de la production mondiale ! Les Chinois ont bien l'intention de gagner la bataille sur l'aval de toutes les technologies du futur et cela fonctionne. Le pays est déjà le leader des technologies vertes dans le monde. Il s'agit du premier producteur d'énergies vertes au monde, du premier fabricant d'équipements photovoltaïques, de la première puissance hydroélectrique, du premier investisseur dans l'éolien et du premier marché mondial des voitures à nouvelles énergies.

Cette situation chinoise sur les terres rares est reproduite dans d'autres pays qui connaissent des positions majoritaires. En Asie, en Afrique, en Amérique latine, un puissant phénomène de nationalisme des ressources minières fragilise de plus en plus les positions occidentales. Les ressources exploitées localement doivent alimenter la consommation intérieure plutôt que satisfaire les appétits de pays client.

Par Matthieu Combe, journaliste scientifique

24/01/2018

QUELS MÉTAUX POUR LES PANNEAUX SOLAIRES ?

Les panneaux photovoltaïques ont le vent en poupe. Mais ils subissent de nombreuses critiques concernant leur utilisation de métaux, leur faible recyclabilité supposée et on entend parfois dire que leur fabrication consomme plus d'énergie qu'ils n'en produisent au cours de leur vie. Qu'en est-il réellement ?

Selon l'ADEME, un panneau **photovoltaïque** installé en France émet en moyenne 55 grammes de CO₂ équivalent par kilowattheure produit (gCO₂-éq/kWh). Ce bilan diffère évidemment selon le type de système, la technologie de modules et l'ensoleillement du site. Il dépend notamment en grande partie du mix électrique du pays dans lequel les cellules et modules sont produits. Dans le cycle de vie d'un panneau, la partie la plus énergivore est l'extraction et la purification du silicium. Si cette opération est menée à base de charbon, le bilan sera forcément plus mauvais. Dans les appels d'offres français, un **bilan carbone** est demandé pour prendre en compte cette question dans l'évaluation des différents projets.

Un bilan carbone favorable

Le bilan des émissions serait bien toujours inférieur aux émissions moyennes des mix électriques nationaux : 79 gCO₂-éq/kWh en France métropolitaine, et 430 gCO₂-éq/kWh au niveau mondial. En moyenne, un panneau solaire produira en trois ans l'énergie qui aura été nécessaire à sa fabrication, selon l'Ademe. Alexandre Roesch, délégué général du Syndicat des Énergies Renouvelables (SER), est encore plus optimiste. « Cela dépend des endroits et des technologies, mais sur les technologies cristallines, le temps de retour énergétique se situe déjà autour d'un an », estime-t-il.

L'enjeu pour améliorer encore le bilan carbone porte avant tout sur la diminution de la consommation énergétique des

techniques de purification du silicium. Par ailleurs, l'Ademe souligne que l'industrie du photovoltaïque requiert l'utilisation de gaz et de produits chimiques pour la fabrication des cellules. L'étape de purification du silicium engendre notamment nombre de rejets chimiques. Alexandre Roesch fait savoir que des réflexions sont en cours au niveau européen pour développer un schéma d'**éco-conception** sur le photovoltaïque. Il y aura bientôt des exigences minimales pour la mise sur le marché des produits, comme l'utilisation des substances dangereuses, des métaux rares, de la recyclabilité des produits et de l'analyse du cycle de vie.

Peu de métaux rares dans les panneaux

Les projections sont au beau fixe pour le développement du photovoltaïque. Au niveau mondial, 74 gigawatts (GW) de nouvelles capacités photovoltaïques ont été installés en 2016, contre 56 GW en 2015. L'AIE prévoit que la puissance installée atteigne 740 GW en 2022 contre près de 300 GW à fin 2016. Ne parlons même pas des projections d'ici 2050 qui vont faire exploser la demande en silicium.

Alexandre Roesch, se veut rassurant. Dans le domaine du solaire photovoltaïque, très peu de métaux rares sont utilisés. « 94 % du marché mondial est assuré par des technologies à base de silicium cristallin, du sable purifié, assure-t-il. Le silicium est la deuxième matière la plus présente dans la couche terrestre. » Seule la technologie photovoltaïque dite de CIGS utilise deux terres rares : l'indium et le gallium.

Des réserves de métaux suffisantes

Aura-t-on assez de silicium pour répondre à la nouvelle demande ? Ce métal n'est pas géologiquement rare, mais la Commission européenne l'a classé en tant que matériau critique. Son approvisionnement est en effet stratégique. « L'un des deux plus gros producteurs de silicium multicris-

tallin est l'entreprise allemande Wacker Chemie, rappelle Alexandre Roesch. Il y a des producteurs un peu partout dans le monde, il n'y a pas de limite physique ou industrielle en Europe et il n'y a pas de stress sur l'accès de la ressource silicium à ce stade ». Ainsi, les capacités de production suivent la demande et les prix des équipements continuent de baisser. L'Ademe est également optimiste. Elle note que chaque technologie engendre des impacts très différents. Elle veut y voir une bonne nouvelle : le solaire pourra se développer sans craindre « une contrainte particulière d'approvisionnement en matériaux ».

La chaîne de production du silicium est partagée entre l'Europe, la Chine et les États-Unis. Si la plus grande part de la production et de la découpe des lingots de silicium se fait en Asie, des acteurs sont présents en Europe. En revanche, l'assemblage des panneaux se fait en grande partie en Chine. L'enjeu pour la filière européenne est de regagner une présence forte sur les différents segments de la chaîne de valeur. « Il y a des signaux d'espoir pour ramener une capacité des productions en Europe », prévient Alexandre Roesch.

Un recyclage prévu par les industriels

Pour le recyclage, la Directive européenne D3E impose aux fabricants de panneaux photovoltaïques de pré-financer la collecte et le recyclage des produits en fin de vie dans les 28 pays européens. « Dans les panneaux solaires, il y a une grande part de verre, de l'aluminium et une fraction de petits éléments pas forcément recyclables », prévient Alexandre Roesch. Cette dernière fraction comprend notamment les deux terres rares utilisées dans les technologies CIGS.

Selon l'Ademe, plus de 85 % des matériaux constituant les systèmes photovoltaïques peuvent dès à présent être recyclés. Et ces taux devraient augmenter dans les prochaines années. Les procédés de recyclage existent déjà pour la plupart d'entre eux. Dès 2020, les premiers panneaux qui ont été installés dans les années 1990 arriveront en fin de vie. Le recyclage devra donc se faire à grande échelle. Les industriels se préparent. La première usine de recyclage

de PVCycle sera inaugurée au Printemps dans le sud de la France. Elle sera dédiée au recyclage des panneaux photovoltaïques.

Par Matthieu Combe, journaliste scientifique

24/01/2018

LE DÉVELOPPEMENT DES ÉOLIENNES, MENACÉ PAR LES MÉTAUX ?

Les éoliennes nécessitent beaucoup de métaux, notamment de l'acier. Quelques métaux rares sont parfois utilisés, mais ne posent pas de problèmes d'approvisionnement particulier. Le bilan carbone reste bénéfique par rapport aux autres solutions.

L'ADEME a dressé une analyse du cycle de vie de l'éolien français en 2015, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à leur fin de vie. Selon l'agence, le bilan est largement positif en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Les émissions de CO₂ équivalent sont de 12,7 grammes par kilowattheure produit (CO₂eq/kWh) pour une éolienne terrestre et 14,8 g CO₂eq/kWh pour une éolienne marine. Ces valeurs sont faibles comparées à celles du mix électrique français, estimé à 79 g CO₂eq/kWh. Une éolienne terrestre produirait en un an et une éolienne marine en 14 mois, assez d'énergie pour compenser celle qui a été nécessaire à sa fabrication.

Des impacts avant tout liés à la fabrication

Les deux solutions ont un impact plus faible en terme d'acidification que le reste du mix. « L'éolien est remarquablement économe en eau », ajoute l'étude de l'Ademe. Les émissions de particules fines sont quant à elles sensiblement plus faibles que celles liées au mix global.

Les principaux impacts environnementaux se situent au niveau de l'utilisation des ressources fossiles nécessaires à la fabrication des composants. Le matériau le plus énergivore est l'acier, présent en grande quantité dans les nacelles et les mâts. Viennent ensuite les différents plastiques présents dans les pales et les nacelles. L'approvisionnement en deux terres rares, le néodyme et le dysprosium, reste à surveiller. Elles sont utilisées pour leurs propriétés magnétiques dans les éoliennes à aimants permanents. Cependant, « cette technologie représente moins de 10 % du marché en France, assure Alexandre Roesch,

délégué général du Syndicat des Énergies Renouvelables (SER). Il n'y a pas de crainte particulière à avoir sur la rareté de la ressource ».

Un recyclage provisionné

« Le développeur d'un projet éolien doit provisionner 50.000 euros par éolienne en vue de son démantèlement », précise Alexandre Roesch. Les retours d'expérience sur le recyclage des éoliennes sont encore faibles, mais les premiers démantèlements se feront entre 2020 et 2030, avec le renouvellement de 5 gigawatts en France.

Dans les calculs de son analyse de cycle de vie, l'Ademe fait l'hypothèse que le béton des fondations sera intégralement recyclé. L'acier, la fonte, le cuivre et l'aluminium, présents dans la nacelle et le mât seront recyclés à hauteur de 90 %. Par ailleurs, l'intégralité des plastiques et matériaux composites utilisés dans les pales seront incinérés. Enfin, les aimants utilisés dans les éoliennes à aimants permanents seront intégralement enfouis.

Pat Matthieu Combe, journaliste scientifique

24/01/2018

« ELECTRICGATE » : LA VOITURE ÉLECTRIQUE EST-ELLE VRAIMENT UN LEURRE ÉNERGÉTIQUE ?

La voiture électrique à batterie est trois fois plus efficace qu'une voiture thermique. Elle consomme trois fois moins d'énergie. Mais si l'on raisonne au niveau de l'intégralité du cycle de vie, en intégrant l'énergie nécessaire à la construction des voitures, alors l'avantage de la première deviendrait nul. C'est ce qu'affirme le journaliste Guillaume Pitron sur la base d'un rapport de l'ADEME, dénonçant un « ElectricGate », manifestement en réaction face au « DieselGate ». Est-ce exact ?

Les Inrocks.com annoncent la couleur sans ambages : « [Un livre révèle "la plus fantastique opération de greenwashing de l'histoire"](#) ». Le quotidien économique des Echos, dans [un article](#) intitulé « Ce monde plus vert tributaire de métaux « sales » et publié le 19 janvier 2018, cite Guillaume Pitron :

« Un 'électrigate' éclatera peut-être et donnera lieu, comme pour le scandale du 'dieslegate', à des actions judiciaires d'ampleur mondiale. Nous nous demanderons comment nous avons pu nous aveugler aussi longtemps face à la multiplication des évidences. Nous admettrons que le consensus qui s'était cristallisé entre les milieux économiques et politiques, soutenus de surcroît par de nombreuses associations environnementales, rendait toute contradiction inaudible. »

Et [France-Culture](#), le 16 janvier 2018, ajoute :

« Si vous faites le calcul sur l'ensemble du cycle de vie des voitures électriques et de leurs batteries, depuis les mines dans lesquelles sont extraits les métaux jusqu'aux décharges, elles consomment autant d'énergie primaire (fossile, nucléaire etc.) qu'un véhicule diesel », résume Guillaume Pitron en citant un rapport de l'Agence de l'Envi-

ronnement et de la Maîtrise de l'Energie. »

Nous sommes en 2018. Pas en 2012

Il s'agit d'une [étude](#) de l'ADEME qui a deux ans (publiée en avril 2016) et qui repose elle-même sur des données datant de 2012. Le coût des batteries lithium s'est effondré ces 8 dernières années. En 2010 le kWh de stockage avec une batterie Lithium coûtait 1000 dollars. Puis 650 dollars en 2012, un peu plus de 500 dollars en 2014, un peu moins de 300 dollars en 2016 et un peu moins de 200 dollars aujourd'hui. Il tombera à 100 dollars en 2026 et à 73 dollars en 2030 d'après les experts de l'agence Bloomberg.

Or ce coût économique est proportionnel au coût énergétique, le premier est un excellent proxy du second. C'est ce que souligne l'ingénieur du corps des Mines qui a réalisé [le rapport](#) de la Fondation Nicolas Hulot sur le solaire PV + stockage batterie : « Le passage des coûts de fabrication de 400- 500 \$/kWh, pour un coût énergétique de 350-400 kWh/kWh de stockage, à 100 \$/kWh, correspond à une baisse équivalente de la consommation énergétique par kWh de stockage » (page 51). La division par 4 du coût économique traduit une division par 4 du coût énergétique.

Le rapport de l'ADEME utilise des données de 2012, c'est-à-dire quand le kWh de stockage batterie coûtait 650 dollars, soit environ 4 fois plus cher qu'aujourd'hui, et correspondait à un coût énergétique également 4 fois plus élevé. Cela change de manière très significative le bilan comparatif global entre voiture électrique à batterie et voiture thermique

Les usines de batteries sud-coréennes (comme par exemple de LG Chem), chinoises (Byd) et japonaises (Panasonic) sont de plus en plus efficaces : pour produire

un kWh de capacité de stockage batterie il est nécessaire de consommer de moins en moins d'énergie.

[caption id="" align="aligncenter" width="832"]

Etude de l'ADEME publiée en 2016 et reposant sur des données de... 2012.[/caption]

Autrement dit il faudrait mettre à jour le rapport de l'ADEME pour pouvoir s'en servir en tant que référence pour le bilan actuel, et a fortiori pour réaliser une prospective. Utiliser des données anciennes fait au final, que ce soit volontaire ou involontaire, un peu le jeu de l'industrie Oil&Gas et de son prolongement, l'industrie des voitures thermiques. L'émergence de la voiture électrique à batterie menace d'énormes intérêts économiques. A fortiori en contexte de DieselGate qui nuit fortement à l'image de l'industrie des voitures diesel et renforce celle des voitures électrique.

L'ADEME affirmait dans son étude que «sur l'ensemble de son cycle de vie, la consommation énergétique d'un VE [vehicule électrique] est globalement proche de celle d'un véhicule diesel.»

Et Libération expliquait dans [un article](#) publié au second semestre 2017 que « cela s'explique par le fait qu'une voiture électrique nécessite deux fois plus d'énergie pour sa fabrication qu'une voiture thermique. Un des pôles les plus énergivores est l'assemblage des batteries. »

Une chute rapide du coût économique (et donc énergétique) des batteries

Comme le montre [un rapport](#) de l'agence Bloomberg (juillet 2017) les batteries représentent aujourd'hui 42% du coût économique d'une voiture électrique. Ce chiffre tombera à 27% en 2024 et à 18% en 2030. C'est précisément en 2024 que le coût global (à l'achat) d'une voiture électrique à batterie sera égal à celui d'une voiture thermique. Aujourd'hui une voiture électrique (batterie comprise) coûte environ un tiers plus cher qu'une voiture thermique équivalente.

L'écart de coût énergétique au niveau de la voiture est donc probablement également proche d'un tiers aujourd'hui, et

deviendra nul vers 2024. Après 2024 la balance penchera en défaveur de la voiture équipée d'un moteur à combustion interne.

L'électro-mobilité photovoltaïque est 180 fois plus efficace que la thermo-mobilité

La voiture électrique, pour son fonctionnement au quotidien, consomme environ trois fois moins d'énergie qu'une voiture thermique équivalente et cet écart ne changera que très marginalement dans les années futures. Mais l'avantage de l'électromobilité est en réalité bien supérieur à ce facteur trois.

En effet l'énergie primaire fondamentale c'est celle rayonnée par le Soleil, tout autant pour le pétrole que pour l'éolien et bien sûr le photovoltaïque. Le disque terrestre intercepte une puissance solaire de 175.000 TW.

Dans le cadre d' [une étude](#) dite Sun-to-Wheel (« du soleil à la roue », et non pas Well-to-Wheel, « du puits à la roue ») publiée dans la revue Environmental Science & Technology, les chercheurs Williams et al ont montré qu'une voiture thermique alimentée avec de l'éthanol de maïs consomme 180 fois plus d'énergie primaire qu'une voiture électrique équivalente alimentée par de l'électricité photovoltaïque.

Le pétrole et le gaz, eux aussi, sont des agrocarburants. Ces combustibles sont obtenus par la fossilisation de la biomasse planctonique, biomasse obtenue par photosynthèse. L'efficacité Sun-to-Biomass (« du Soleil à la Biomasse ») n'est que de 0,20% pour le maïs et de l'ordre de 1% pour les micro-algues les plus performantes.

Utopie électrique ? La perspective d'une civilisation écologique chinoise fait de l'ombre aux européens

Les moteurs électriques Tesla (tout comme les éoliennes d'Enercon) ne contiennent pas un seul gramme de néodyme et nombreux sont les fabricants qui construisent des batteries lithium sans consommer un seul gramme de cobalt.

Pour ce qui concerne les panneaux photovoltaïques, aucun

élément ne sera limitant selon une étude réalisée par le MIT et intitulée « [The Future of Solar Energy](#) ». Même si le monde passait au 100% solaire + stockage batterie.

La Chine, qui veut construire une « civilisation écologique », est en situation de monopole sur les métaux dits « rares » et domine le marché du solaire et de l'éolien. Cela inquiète les stratégies européens. Aujourd'hui, parmi les 6 leaders mondiaux des modules photovoltaïques, 5 sont chinois. Parmi les leaders mondiaux de la fabrication d'éoliennes, 5 sont chinois. Et la Chine est également très bien positionnée dans le domaine de la mobilité électrique.

« Les terres rares sont à la Chine ce que le pétrole est au Moyen-Orient » affirmait Deng Xiaoping dès 1992. En attaquant les « CleanTechs », en les faisant passer pour « sales », n'est-ce pas la Chine qui, au fond, est visée ? Victor Hugo, dans sa [lettre au capitaine Butler](#) (Le Monde Diplomatique d'octobre 2004) écrivait :

« Nous, Européens, nous sommes les civilisés, et pour nous, les Chinois sont les barbares. Voilà ce que la civilisation a fait à la barbarie. Devant l'histoire, l'un des deux bandits s'appellera la France, l'autre s'appellera l'Angleterre. »

Jean-Gabriel Marie

24/01/2018

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DEMANDE-T-ELLE TROP DE MÉTAUX ?

Selon Guillaume Pitron, auteur de « La guerre des métaux rares », la réussite de la transition énergétique est menacée par son besoin en métaux rares. La Banque mondiale met également les pays en garde. Alors, que faire ?

En juillet 2017, la Banque mondiale alertait sur le fait qu'un **monde bas carbone nécessitera beaucoup de ressources**. La transition énergétique demandera bien son lot de minéraux et de **métaux** pour construire toujours plus d'**éoliennes**, de panneaux solaires et stocker l'énergie dans des batteries. « Il faut s'attendre à une augmentation de la demande d'acier, d'aluminium, d'argent, de cuivre, de plomb, de lithium, de manganèse, de nickel et de zinc, ainsi que de certaines terres rares, telles que l'indium, le molybdène et le néodyme », prévenait la Banque mondiale. Pour respecter la trajectoire des 2°C, l'augmentation de la demande de métaux - aluminium, cobalt, fer, plomb, lithium, manganèse et nickel - pourrait notamment être multipliée par plus de 1.000 %. Elle invitait les pays disposant de ces réserves stratégiques à mettre en place des mines durables.

Des nombreux métaux dans les technologies du futur

Ces nouvelles technologies incorporent significativement plus de ressources dans leur fabrication que les centrales à énergie fossile traditionnelles. C'est-à-dire qu'il faut plus, voire parfois beaucoup plus, de métaux pour produire la même quantité d'électricité d'origine renouvelable qu'avec la combustion de produits fossiles. « Soutenir le changement de notre modèle énergétique exige déjà un doublement de la production de métaux rares tous les quinze ans environ, et nécessitera au cours des trente prochaines années d'extraire davantage de minerais que ce que l'humanité a prélevé depuis 70 000 ans », calcule Guillaume

Pitron.

L'évolution de la demande en différents matériaux dépendra des choix technologiques qui seront retenus au niveau mondial. Et ainsi du nombre d'éoliennes, de panneaux solaires et de véhicules électriques fabriqués. Par exemple, les trois principales catégories de véhicules alternatifs ont des impacts différents sur la demande de métaux, note la Banque mondiale. Si les véhicules électriques ont besoin de lithium, les véhicules hybrides préfèrent le plomb et les véhicules à hydrogène le platine.

Le lien capital entre transition énergétique et numérique

L'électricité produite par les panneaux solaires et les éoliennes est intermittente. Les gestionnaires de réseaux misent ainsi sur le développement des réseaux intelligents pour assurer l'équilibre de l'offre et de la demande en continu. Pour ce faire, ils font appel au big data et, nécessairement, à des infrastructures de gestion des données de plus en plus importantes.

Le numérique promet de nous aider à faire cette transition énergétique et décarboner notre économie. La troisième révolution industrielle prévue par Jeremy Rifkin nous promet de tout dématérialiser grâce au « cloud ». Il appelle de ses vœux la création d'un Internet de l'énergie. Il oublie simplement de dire ouvertement que cette révolution nécessiterait des réseaux complexes, des téléphones portables, tablettes et ordinateurs, câbles sous-marins, serveurs, ordinateurs, supercalculateurs, data centers, satellites et fusées pour les lancer. « Est-ce vraiment immatériel ? » questionne Guillaume Pitron. En réalité, cette révolution repose sur l'exploitation de métaux, rares ou non, dont

l'impact environnemental est à améliorer. Pour le moment, nous délocalisons la pollution vers les pays extracteurs de matières premières, chinois, africains ou latino-américains et devenons dépendants des importations. La pollution est externalisée.

24/01/2018

La question à Guillaume Pitron : **Vous peignez un tableau très noir de la transition énergétique actuelle. Faut-il abandonner les éoliennes, les panneaux solaires, les véhicules électriques et le numérique ?**

G.P : Non, bien évidemment. Mon livre peint une photographie actuelle de ces technologies qui utilisent un certain nombre de ressources, des métaux abondants et des métaux rares. Il ne faut surtout pas les abandonner, la question n'est pas de revenir à un monde du tout pétrole ! Il faut bien évidemment changer de modèle énergétique. La transition énergétique contient des avancées qu'il faut pousser davantage. J'ai tendance à dire qu'il y a une transition dans la transition. Sur un certain nombre de technologies, nous avons des problématiques qui se posent sur terrain. Nous allons bientôt remplacer un certain nombre de composants des panneaux solaires qui sont très polluants par d'autres qui permettront un meilleur rendement. C'est notamment le remplacement des technologies silicium par les pérovskites. Cela sera également le cas pour les éoliennes et les voitures électriques. Il y a un immense enjeu d'innovation pour repousser plus loin les capacités de ces technologies dans un monde où nous serons bientôt 10 milliards d'humains.

J'ai voyagé pendant 10 ans et je suis frappé par la dégradation environnementale dans tous les pays où je suis allé. Je suis frappé par les tensions sur les ressources, notamment en Algérie, en Indonésie, et en Chine. Si l'on ne travaille pas à davantage de sobriété dans la façon dont nous consommons nos ressources, si nous ne rationalisons pas davantage l'utilisation de ces matières premières, je crains que cette transition ne soit ni durable ni soutenable.

Par Matthieu Combe, journaliste scientifique

POUR ALLER PLUS LOIN

LES TERRES RARES SONT-ELLES INDISPENSABLES POUR LES MOTEURS ÉLECTRIQUES, LES ÉOLIENNES ET LES PANNEAUX SOLAIRES ?

Eoliennes, voitures électriques et panneaux solaires seraient-ils une vitrine de propreté verte pour naïfs ? Celle-ci cacherait-elle en arrière-boutique une exploitation forcément dégoutante et polluante des terres rares vouées à l'épuisement ?

Contrairement au moteur à aimants permanents de la célèbre Toyota Prius japonaise, le moteur à induction triphasé à courant alternatif breveté pour la première en 1888 par Nikola Tesla ne contient pas d'aimants. Zéro consommation de terres rares. [Tesla Motors l'explique \(en français\) sur son site](#) : « Certains moteurs utilisent des aimants permanents, mais pas le moteur du Roadster (et de la Tesla S nldr) : le champ magnétique est exclusivement produit par de l'électricité. »

Ce qui est valable pour les moteurs électriques l'est aussi pour les génératrices éoliennes. [Comme l'explique \(en français\) le groupe ENERCON](#), leader Allemand de la production d'éoliennes qui détient 40% des brevets mondiaux du domaine, « les éoliennes ENERCON produisent de l'électricité verte sans l'élément controversé, le néodyme. Le concept d'éolienne sans boîte de vitesse servant de base à tous les types d'éoliennes – de l'E-33/ 330 kW à l'E-126/ 7,5 MW fonctionne avec un générateur annulaire à excitation indépendante. Les champs magnétiques requis pour la production d'électricité dans le générateur sont pour ce faire produits électriquement. Les aimants permanents avec lesquels la plupart des concurrents travaillent et pour laquelle la fabrication nécessite le néodyme, ne sont pas

utilisés pour les éoliennes ENERCON pour des raisons d'ingénierie. » D'autres entreprises qu'ENERCON ont adopté cette technologie.

Une partie des éoliennes actuelles utilise du néodyme, mais l'on peut s'en affranchir complètement. Tenter de faire croire que cet élément serait indispensable aux éoliennes, ceci en réalité dans l'unique objectif de freiner le développement des énergies renouvelables et ainsi de continuer à vendre le plus longtemps possible l'électricité obtenue en brûlant des combustibles fossiles, est pour le moins stérile.

Et les panneaux solaires ?

Certains panneaux solaires à couche mince, qui ne représentent qu'une petite part du marché PV global, utilisent des terres rares. Mais les panneaux de la start-up Silevo, achetée il y a quelques mois par le groupe SolarCity fondé par Elon Musk qui est également le PDG de Tesla Motors, sont à base de silicium. Logique pour un enfant de la Silicon Valley. Le silicium est le deuxième élément le plus abondant de la croûte terrestre après l'oxygène.

De plus les panneaux Silevo ne contiennent pas d'argent (qui est un métal rare mais qui n'est pas une « terre rare »). Or comme l'ont montré les scientifiques Andrea Feltrin et Alex Freundlich dans un article ([Material considerations for terawatt level deployment of photovoltaics](#)) publié dans la revue à comité de lecture Renewable Energy dès 2008, « si l'usage de l'argent peut dans le futur être réduit alors il n'y a pas d'autre obstacle pour les cellules à base de silicium

» dans la perspective de produire des panneaux photovoltaïques à l'échelle des térawatts (millions de mégawatts).

Elon Musk et son associé Lyndon Rive sont en train de construire dans l'état de New-York une gigantesque usine capable de produire 1 GW par an de panneaux solaires de technologie Silevo. L'usine, installée non loin des chutes du Niagara, sera alimentée à 100% par les énergies renouvelables, une belle illustration du miracle de la multiplication des pains (solaires). En moins de 2 ans un panneau solaire délivre autant d'énergie qu'il en a été nécessaire pour le produire. C'est ce que l'on appelle l'energy payback time, le temps de retour énergétique. Et la durée de vie des panneaux est supérieure à 20 ans. Autrement dit avec l'énergie produite par un panneau (par ailleurs recyclables), on peut en obtenir plus de 10. Miraculeux.

Les terres rares ne sont indispensables ni pour l'éolien, ni pour les panneaux photovoltaïques, ni pour le moteur de voiture électrique.

La véritable rareté, et la véritable problématique environnementale, climatique, sanitaire et géopolitique, ce sont les énergies fossiles. Des milliards de dollars sont aujourd'hui gaspillés pour contrôler militairement les régions de la planète qui en sont riches ou par lesquelles elles transitent, notamment au Moyen-Orient et en Ukraine. Les voitures à pétrole posent d'énormes et très coûteux problèmes sanitaires dans les grandes villes du monde. Les marées noires dévastent les écosystèmes littoraux et maritimes. L'extraction du pétrole issu des sables bitumineux constitue une aberration sur le plan de l'efficacité énergétique. L'extraction des gaz et pétrole de schiste consomme massivement de l'eau douce. L'obtention des agrocarburants de première génération requiert des surfaces de deux ordres de grandeur supérieurs à celles nécessaires au photovoltaïque.

D'où l'intérêt des écotecnologies qui permettent de s'affranchir des technologies reposant sur la combustion, a fortiori dans un contexte de croissance de la démographie et de la demande énergétique mondiale.

- Sur le même sujet : Quelques vérités sur l'exploitation des terres rares

Par Olivier Danielo

07/09/2014

MINÉRAIS DE CONFLIT UTILISÉS DANS L'INDUSTRIE ÉLECTRONIQUE EN INFOGRAPHIE

L'industrie électronique utilise beaucoup de minerais issus de pays où l'extraction participe au financement de groupes armés. La réglementation peut-elle aider à tracer et à limiter ce trafic ?

De nombreux secteurs, dont l'industrie électronique, utilisent des métaux stratégiques tels que le [tantale](#), l'[étain](#), le [tungstène](#) ou l'or. Les sources d'approvisionnement se trouvent en République démocratique du Congo et dans les pays voisins où l'extraction illégale participe au financement des groupes armés qui sévissent depuis près de deux décennies dans cette région, provoquant violations des droits humains et dégâts écologiques considérables. Les chaînes d'approvisionnement de l'industrie électronique sont soumises à des exigences de contrôles accrues en raison de ces risques. Cette infographie, synthèse graphique de l'[article AG105](#) des bases documentaires, reprend en images et graphiques les points essentiels du sujet.

14/02/2017

UN MONDE BAS CARBONE NÉCESSITERA BEAUCOUP DE RESSOURCES

Selon un nouveau rapport de la Banque Mondiale, limiter le réchauffement climatique à 2°C demanderait beaucoup de métaux et minerais. Car l'éolien, le solaire et les batteries en raffolent. Les pays riches en ressources doivent donc s'y préparer.

Signer et ratifier l'accord de Paris pour limiter le [réchauffement climatique](#) à 2°C d'ici 2100 était une très bonne chose. Désormais, la transition énergétique va nécessiter d'extraire une quantité record de minerais et de métaux. La Banque Mondiale s'est intéressée aux ressources nécessaires pour répondre à trois scénarios : un réchauffement limité à + 2°C, un autre s'envolant à + 4°C et un dernier à + 6°C. Évidemment, plus l'objectif est ambitieux, plus le besoin en métaux et minerais sera important.

Le [rapport](#) explore les ressources nécessaires pour répondre à l'explosion de trois technologies qui seront au cœur de la transition énergétique : l'[éolien](#), le solaire et les batteries. Ainsi, les métaux et minerais concernés sont nombreux. Aluminium, cobalt, cuivre, fer, plomb, lithium, nickel, manganèse, terres rares (notamment molybdène, néodyme, indium), argent, acier, titane et zinc... tous sont concernés. Leur demande pourrait doubler. « L'exemple le plus significatif sont les batteries pour le [stockage](#) de l'électricité, pour lesquelles l'augmentation de la demande en métaux – aluminium, cobalt, fer, plomb, lithium, manganèse et nickel – est relativement modeste dans le scénario +4°C, mais prend plus de 1.000 % dans le scénario +2°C », préviennent les auteurs.

Ce constat s'applique aussi aux autres technologies. « Les technologies supposées alimenter le passage à une énergie propre - éolien, solaire, hydrogène et systèmes électriques - sont en fait significativement PLUS intensifs en

matériaux dans leur composition que les centrales à énergie fossile traditionnelles », observe le rapport.

Des opportunités pour les pays riches en ressources ?

Pour tirer profit de cette hausse de la demande sans saccager la planète, la Banque Mondiale incite les pays riches en ressources à l'anticiper. Notamment, elle les invite à adopter des stratégies de long terme pour investir judicieusement. Et définir des mécanismes appropriés pour préserver les populations locales et l'environnement.

« S'ils développent leur secteur minier de façon durable, les pays qui disposent des capacités et des infrastructures pour fournir les minéraux et les métaux nécessaires aux technologies propres auront une occasion unique de dynamiser leur économie », prévient Riccardo Puliti, directeur du pôle mondial d'expertise en énergie et industries extractives de la Banque mondiale. Pour se positionner, ces pays devront parfaitement connaître le marché, et utiliser ces données pour élaborer des plans de développement, planifier des investissements et concevoir des activités durables. Pour que l'intensification des activités d'extraction et de production aient le moins d'impacts sur l'eau, les écosystèmes et les populations.

Quelle région pour quels métaux ?

Selon les auteurs, l'Amérique Latine pourrait jouer un rôle essentiel pour fournir le cuivre, le fer, l'argent, le [lithium](#), l'aluminium, le nickel, le manganèse et le zinc nécessaires. L'Afrique australe et la Guinée joueraient leur rôle pour le platine, le manganèse, la bauxite et le chrome.

Les sols de la Chine sont riches pour l'ensemble de ces métaux essentiels. Le pays restera un acteur de premier plan. L'Inde jouerait un rôle majeur pour le fer, l'acier et le

titane. De leurs côtés, l'Indonésie, la Malaisie et les Philippines auraient des opportunités pour la bauxite et le nickel. Les réserves découvertes en Nouvelle-Calédonie pourraient aussi fournir du nickel en quantité.

Des évolutions avant tout liées aux technologies

L'évolution de la demande en différents matériaux dépendra des politiques menées. Et ainsi du nombre d'éoliennes, de panneaux solaires et de véhicules électriques fabriqués. Mais elle sera avant tout menée par les choix technologiques qui seront retenus au niveau mondial. Ces derniers définiront le marché des matières premières sur les cinquante prochaines années, prévient l'étude. Par exemple, les trois principales catégories de véhicules alternatifs ont des impacts différents sur la demande de métaux. Si les véhicules électriques ont besoin de lithium, les véhicules hybrides préfèrent le plomb et les véhicules à hydrogène le platine.

Les auteurs notent que cette étude est un premier pas pour sensibiliser les différents acteurs à travailler ensemble. Ils évoquent bien évidemment d'autres secteurs à prendre en compte pour de futures études, notamment les transports, les bâtiments, l'industrie et l'usage des sols.

Par **Matthieu Combe**, journaliste scientifique

27/07/2017

TERRES RARES : LE GROENLAND EST À ACHETER

Le Groenland était déjà connu pour ses réserves d'hydrocarbures et de minerais ; voilà que les grandes puissances lorgnent sur ses terres rares. Le sous-sol de l'île renferme neuf des quatorze terres rares les plus stratégiques. Indispensables à bon nombre de produits de haute technologie, les terres rares sont extraites en 2012 à 97 % par la Chine.

« Au moins 25% de la demande mondiale durant 50 ans peut être fournie via le Groenland », révèle Damien Degeorges, auteur de *Terres rares : enjeu géopolitique du XXI^e siècle* (Ed. L'Harmattan, 2012). On assiste dès lors à une « véritable course à ces terres rares du Groenland entre Etats-Unis, Union Européenne, Chine et Corée du Sud », témoigne-t-il.

Les représentants défilent sur l'île pour négocier des contrats d'extraction. Les Groenlandais ont pu voir Antonio Tajani, commissaire européen en charge de l'Industrie, puis le président chinois Hu Jintao en juin dernier. En septembre, le Président Sud-Coréen s'est même rendu directement au Groenland sans passer par Copenhague ! Début novembre, c'était au tour du ministre groenlandais des ressources naturelles de se rendre en Chine.

L'enjeu stratégique est important. Si le Groenland est actuellement un territoire autonome rattaché au Danemark, son indépendance à terme est quasiment inévitable. L'île gère déjà en indépendance ses ressources depuis 2010. Elle, qui ne compte que 57.000 habitants pour un territoire grand comme quatre fois la France, y voit l'opportunité de mettre fin à sa dépendance économique vis-à-vis du Danemark. « L'indépendance est une quasi-certitude à moyen terme », estime Damien Degeorges. Tout dépendra du niveau d'indépendance et des alliances qui seront nouées par le Groenland. L'enjeu pour le Groenland est de « choisir les bons investissements aux bons endroits », analyse-t-il.

Un uranium bien gênant

Au Groenland, les dépôts de terres rares sont souvent en lien avec des dépôts d'uranium radioactif. Or, l'île a adopté une tolérance zéro sur l'extraction d'éléments radioactifs depuis les années 1980. Pour l'instant, certains projets sont donc en stand-by. C'est le cas du projet d'extraction mixte terres rares-uranium de Kvanefjeld au sud de l'île. Il prévoit l'extraction de 40.000 tonnes de minerais par an.

« La question est en débat très intense puisque c'est la clé pour déclencher certains projets, notamment ceux liés aux terres rares », témoigne Damien Degeorges. À l'occasion des prochaines élections qui auront lieu en juin 2013, un changement de politique est peut-être en vue. Dans tous les cas, « on prévoit le début de l'exploitation très rapidement, en 2014 à peu près », révèle l'auteur. Et pour cela, la politique sur l'uranium aura nécessairement évolué.

Le Groenland, nouveau carrefour des échanges

La banquise Arctique ne s'arrête plus de fondre en été. Cet été encore, un nouveau record de fonte des glaces a été atteint. La banquise ne recouvrait plus que 3,4 millions de kilomètres carrés au 16 septembre 2012. Du fait du réchauffement climatique, traverser l'océan Arctique en bateau en été devrait donc être possible dans quelques décennies à en croire différents experts. « Le changement climatique fait que le Groenland et l'Arctique passent d'un statut de régions périphériques à région centrale », estime quant à lui Damien Degeorges.

De fait, le Groenland constitue un carrefour des intérêts américains, européens et à présent asiatiques dans la région arctique. Du fait du changement climatique, une nouvelle route maritime est possible à terme. Ceci signifie une réduction des distances d'environ 40% entre Asie et Europe et un accès à des ressources jusqu'ici difficilement

accessibles.

Par Matthieu Combe, journaliste scientifique

01/01/2013

GAGNEZ DU TEMPS ET SÉCURISEZ VOS PROJETS EN UTILISANT UNE SOURCE ACTUALISÉE ET FIABLE

Techniques de l'Ingénieur propose la plus importante collection documentaire technique et scientifique en français !

Grâce à vos droits d'accès, retrouvez l'ensemble des **articles et fiches pratiques de votre offre**, **leurs compléments et mises à jour**, et bénéficiez des **services inclus**.



RÉDIGÉE ET VALIDÉE
PAR DES EXPERTS



MISE À JOUR
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE
SUR TOUS SUPPORTS
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS
DANS CHAQUE OFFRE

- + de 350 000 utilisateurs
- + de 10 000 articles de référence
- + de 80 offres
- 15 domaines d'expertise

- | | |
|---|---|
| ☐ Automatique - Robotique | ☐ Innovation |
| ☐ Biomédical - Pharma | ☐ Matériaux |
| ☐ Construction et travaux publics | ☐ Mécanique |
| ☐ Électronique - Photonique | ☐ Mesures - Analyses |
| ☐ Énergies | ☐ Procédés chimie - Bio - Agro |
| ☐ Environnement - Sécurité | ☐ Sciences fondamentales |
| ☐ Génie industriel | ☐ Technologies de l'information |
| ☐ Ingénierie des transports | |

**Pour des offres toujours plus adaptées à votre métier,
découvrez les offres dédiées à votre secteur d'activité**

Depuis plus de 70 ans, Techniques de l'Ingénieur est la source d'informations de référence des bureaux d'études, de la R&D et de l'innovation.

www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com

LES AVANTAGES ET SERVICES compris dans les offres Techniques de l'Ingénieur

ACCÈS



Accès illimité aux articles en HTML

Enrichis et mis à jour pendant toute la durée de la souscription



Téléchargement des articles au format PDF

Pour un usage en toute liberté



Consultation sur tous les supports numériques

Des contenus optimisés pour ordinateurs, tablettes et mobiles

SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



Questions aux experts*

Les meilleurs experts techniques et scientifiques vous répondent



Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles en dehors de votre offre



Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais, espagnol et allemand



Archives

Technologies anciennes et versions antérieures des articles



Impression à la demande

Commandez les éditions papier de vos ressources documentaires



Alertes actualisations

Recevez par email toutes les nouveautés de vos ressources documentaires

*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

ILS NOUS FONT CONFIANCE



www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com

PRODUIT PACK



Ressources énergétiques et stockage

Un panorama complet des sources d'énergie fossiles ou renouvelables et des nouvelles technologies disponibles

Ref : TIP202WEB

PRÉSENTATION

Les combustibles fossiles et ressources énergétiques traditionnelles : pétrole, gaz naturel, charbon...
Les moyens de transporter et convertir l'énergie (hors électricité)
Les développements récents et prometteurs dans le domaine des énergies renouvelables et du stockage de l'énergie

VOTRE COMMANDE :

Référence	Titre de l'ouvrage	Prix unitaire H.T	Qté	Prix total H.T
TIP202WEB	Ressources énergétiques et stockage	1 140 €	1	1 140 €
Total H.T en €				1 140 €
T.V.A : 5,5%				62,70 €
Total TTC en €				1 202,70 €

VOS COORDONNÉES :

Civilité ☐ M. ☐ Mme

Prénom

Nom

Fonction

E-mail

Raison sociale

Adresse

Code postal

Ville

Pays

Date :

Signature et cachet obligatoire

CONDITIONS GÉNÉRALES DE VENTE

Conditions générales de vente détaillées sur simple demande ou sur www.technique-ingenieur.fr

Si vous n'êtes pas totalement satisfait, vous disposeriez d'un délai de 15 jours à compter de la réception de l'ouvrage pour le retourner à vos frais par voie postale. Livraison sous 30 jours maximum.