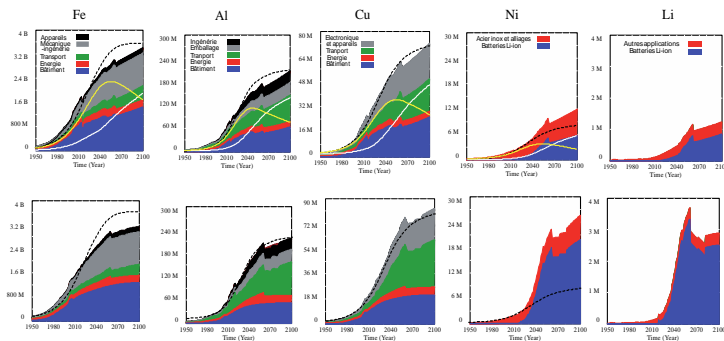


## Position Paper : « Ressources Minérales et Transition Énergétique »

Rédacteur : Olivier Vidal (CNRS, ISTERRE)

Relecteurs : Les membres du GP2 de l'ANCRE

En 2015, l'Ancre à travers son rapport « Ressources minérales et énergie » insistait sur le lien étroit qui existe entre matières premières et énergie. Ce lien est à double sens : i) le respect des engagements pris lors des accords de Paris nous contraint à modifier en profondeur notre infrastructure énergétique, ce qui demande beaucoup de matières premières minérales à la fois en quantité et en diversité, et ii) la production des matières premières minérales est une source importante de consommation d'énergie (à l'heure actuelle, 35% de l'énergie utilisée par le secteur industriel et 12% de l'énergie totale est consommée pour la production de ressources minérales). Il est donc attendu que la modification de notre système énergétique aura un coût matière, énergétique, financier et environnemental qu'il convient de quantifier. A l'époque, nous insistions sur la nécessité d'une estimation globale de ces coûts pour les différents scénarios d'évolution de la chaîne de l'énergie proposés aux niveaux nationaux et mondiaux (Figure 1), ainsi que sur la nécessité de mettre en place une action spécifique de programmation de la recherche en ce sens. Cette stratégie a d'ailleurs été adoptée dans plusieurs pays (dont certains pays européens comme l'Allemagne ou le Royaume Uni), et à travers différentes actions incitatives au niveau Européen comme l'EIT Raw Materials.



**Figure 1** : Besoins annuels au niveau mondial estimés par secteurs (champs de couleur) ou à partir d'évolutions supposées de PIB et population (courbe pointillée : total, continue jaune : production primaire et blanche : recyclage). Les figures de la première ligne correspondent à un scénario tendanciel (RTS de l'Agence Internationale de l'Énergie), la deuxième ligne à un scénario visant à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> pour rester sous 2°C de réchauffement global (B2DS de l'AIE).

Au niveau Français, plusieurs équipes académiques et dans les principaux EPIC BRGM, CEA et IFPEN sont mobilisées par la question des ressources minérales pour l'énergie. Le lien ressources minérales-énergie a également été traité dans différents documents, notamment dans celui commun des académies des sciences et des technologies (Stratégie d'utilisation des ressources du sous-sol pour la transition énergétique française : les métaux rares)<sup>1</sup>, ou à travers différentes tribunes dans les médias ou des livres de journalistes comme celui de G. Pitron « la guerre des métaux rares : la face cachée de la transition énergétique et numérique ».

<sup>1</sup> [https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/rc\\_transition\\_energie\\_0718.pdf](https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/rc_transition_energie_0718.pdf)

Les travaux du COMES<sup>2,3</sup> et d'autres initiatives ministérielles comme le « plan de programmation des ressources minérales de la transition bas carbone », la mise en place d'un « portail français des ressources minérales énergétiques (mineralinfo)<sup>4</sup> », les nombreux séminaires ministériels (e.g. Transition énergétique et ressources minérales, les défis à relever)<sup>5</sup>, ainsi que des projets de recherche financés par l'ADEME montrent la prise de conscience du lien étroit entre ressources minérales et énergie. Pour autant, il semble que les travaux de recherche soient encore très disséminés et cloisonnés entre les différentes disciplines sciences de la Terre, physique-chimie, sciences des matériaux et ingénierie, environnement, économie, géopolitique et sociologie. Malgré la prise de conscience des enjeux futurs et les interrogations récurrentes des décideurs politiques, du public et des industriels, la stratégie de pilotage de la recherche sur le sujet des matières premières et de l'énergie reste à préciser en France. Pourtant, une recherche dédiée est une condition fondamentale pour disposer d'éléments de réponse objectifs.

La majorité des études disponibles et en cours sur les besoins en substances rares et jugées « critiques » pour la transition énergétique, et restent focalisées sur 1) la production d'électricité en utilisant des sources décarbonées et en particulier des sources renouvelables ou 2) le transport, en particulier les besoins de ressources pour les accumulateurs et batteries. Il est généralement admis que le problème principal concerne la possible pénurie des métaux utilisés dans les hautes

technologies, de type Terres Rares, Lithium, Cobalt, Ga, In, Ge, etc. Les métaux de base sont quant à eux considérés comme n'étant pas problématiques car les réserves disponibles sont assez bien estimées et semblent couvrir la demande future jusqu'à la fin du siècle.

Cette vision classique est loin d'être complète. En effet, la chaîne de l'énergie ne se limite pas à la production d'électricité. Elle va de la production d'énergie primaire à sa consommation par les trois secteurs principaux que sont le transport, mais également l'industrie et le bâtiment, en passant par la transformation de l'énergie primaire en énergie utilisable (raffineries, stations de production d'énergie). N'importe quelle modification d'une partie de la chaîne aura des impacts sur le reste. S'il est évident qu'une diminution de l'utilisation des sources carbonées fossiles nécessitera par exemple de bâtir une nouvelle infrastructure de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable et/ou nucléaire, il est également vrai qu'une partie des matières pourra être fournie par le recyclage (principalement d'acier) des équipements utilisés pour la production et la transformation des combustibles fossiles devenus obsolètes. Le démantèlement et le recyclage de l'ancienne infrastructure demandera de l'énergie mais il permettra aussi d'économiser de l'énergie, car le recyclage est beaucoup moins énergivore que la production primaire. Une incorporation massive de véhicules hybrides et électriques demandera elle aussi de nouvelles matières premières. Mais au-delà de la contrainte matière pour fabriquer les nouveaux véhicules, il faut aussi considérer la contrainte

<sup>2</sup> <http://www.mineralinfo.fr/page/comite-metaux-strategiques>

<sup>3</sup> <http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/comes - note de position - metaux de la transition energetique.pdf>

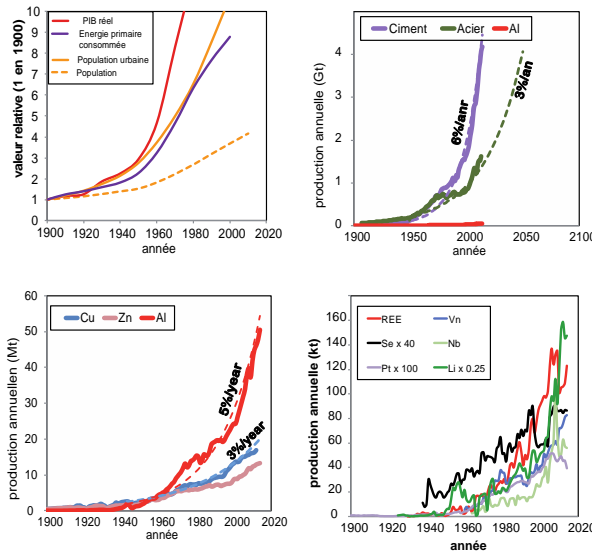
<sup>4</sup> <http://www.mineralinfo.fr>

<sup>5</sup> <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Théma%20-%20Transition%20énergétique%20et%20ressources%20minérales.pdf>

énergie, car la production électrique, sa distribution et son stockage doivent être dimensionnés aux nouveaux besoins du secteur transport. La même observation est faite pour les autres secteurs consommateurs d'énergie, au premier rang desquels le numérique. En conséquence, les bilans de la transition énergétique doivent non seulement être fait en énergie (cas des scénarios) mais également en matières, et ils doivent embrasser toute la chaîne de l'énergie en prenant en compte les temps de séjour des métaux dans la « technosphère », les possibilités et modalités de démantèlement, les sources disponibles pour le recyclage, les impacts associés aux transformations. Au-delà des aspects comptables des quantités disponibles, il est important de disposer d'autres indicateurs concernant les impacts environnementaux globaux, les conditions économiques et sociales et les risques industriels liés à l'approvisionnement des matières. Notamment, l'acceptation sociale de la transition énergétique (et donc de cet approvisionnement) passera aussi par la démonstration de la Qualité, Sécurité et Hygiène des transformations industrielles induites. Les réserves de matières premières ou les potentiels de recyclage sont en partie contrôlés par les coûts de leur production, qui lui-même amène une contrainte sur le niveau de prix et de rentabilité des activités de production. Les coûts de production sont eux-mêmes fonction du prix de l'énergie, de la qualité décroissante des gisements exploités, des avancées technologiques, de la prise en compte (ou pas) des impacts environnementaux, des exigences sociales et des effets de compétition au sein ou entre différents secteurs économiques consommateurs. Le développement économique de pays peuplés comme la Chine a bouleversé le marché des matières premières dans les

années 2000 jusqu'à aujourd'hui. Cela s'est traduit par une modification importante des opérateurs industriels et commerciaux dans un périmètre allant bien au-delà de la Chine. D'autres pays comme l'Inde, l'Asie ou l'Afrique sont susceptibles de suivre le développement Chinois dans les prochaines décennies. La demande en matières premières et en énergie est donc loin d'être stabilisée au niveau mondial et il est essentiel d'anticiper les évolutions pour estimer les besoins futurs et évaluer leur disponibilité, en particulier dans l'optique de la transition énergétique. Ce bref survol indique que le futur de l'énergie et des matières premières ne saurait se résumer à la seule estimation des ressources et réserves disponibles aujourd'hui pour une croissance de la consommation fixée. Il existe des relations de premier ordre entre potentiels géologiques, demande (dépend de la population et du PIB moyen, mais aussi du développement de nouvelles technologies), capacité de production nécessitant des investissements lourds et risqués pour s'adapter, conditions économiques, sociales et environnementales de la production, potentiel de recyclage (Figure 2). Pour comprendre ces interactions, il est nécessaire d'agréger des domaines de connaissance très variés afin de bâtir un modèle dynamique non empirique, ce qui n'est pas fait au niveau national actuellement. C'est pourtant la condition d'une analyse dépassant les inquiétudes des acteurs économiques sur le court terme et les visions irrémédiablement catastrophiques long terme. C'est aussi une condition pour réaliser au mieux la transition obligée d'un monde carboné à un monde bas-carbone, c'est à dire de définir au mieux la trajectoire qui offrira les meilleures chances de réussite. S'il est indiscutable que cette transition doit se faire rapidement pour éviter une

catastrophe planétaire, il est également important d'évaluer nos besoins et de garder à l'esprit que toute révolution technologique à un coût énergétique, en matières premières mais également environnemental et social. A ce même titre elle peut pour les années à venir largement bousculer les équilibres financiers et politiques du Monde et profondément modeler les modes d'usage des matières minérales.



**Figure 2 :** Evolution historique des différents indicateurs de prospérité et activité humaine : a) évolution normalisée de la population mondiale, de la population urbaine, du PIB et de la quantité d'énergie primaire consommée ; b) à d) évolution de la production annuelle de ciment et divers métaux.

Les différentes pistes de recherche que nous listions en 2015 étaient les suivantes :

- 1 L'estimation à 30 ans des besoins en ressources minérales pour les différents secteurs de l'énergie en fonction des scénarios énergétiques disponibles.
- 2 L'estimation à 30 ans des besoins en énergie pour la production de ces matières premières, en tenant compte des améliorations d'efficacité énergétiques.
- 3 Les potentiels d'approvisionnement primaire et secondaire au niveau mondial, des potentiels de substitution, et la définition des conditions optimales de l'utilisation des ressources en fonction des contraintes énergétiques, environnementales, économiques et sociétales.
- 4 L'analyse des évolutions sociétales et économiques, de l'impact des dispositions réglementaires, de l'acceptabilité sociale et des conditions-cadre de l'approvisionnement en matières premières minérales primaires et secondaires
- 5 La modélisation dynamique des interactions industrie-matières premières-énergie-économie-société-environnement et la définition de scénarios optimaux de transition énergétique et de leur cadence de réalisation en fonction des contraintes techno-économiques, mais aussi du coût matériel et énergétique.
- 6 Les aspects technologiques du traitement des minerais et des déchets, de la purification, de la métallurgie, de la conception, de l'usinage et de la production de composants, des technologies de production, de stockage et de transport de l'énergie, des technologies de réduction de consommation d'énergie, etc...

Ces pistes de recherche restent d'actualité. L'estimation des besoins est encore entachée de grandes incertitudes, d'une part car il est difficile d'avoir une vision claire des développements technologiques, mais aussi car

l'innovation technologique est un domaine hautement concurrentiel où les travaux et leurs résultats sont généralement maintenus confidentiels jusqu'au moment de l'obtention de brevets. Pour cette raison, il reste extrêmement difficile d'obtenir des données industrielles complètes et fiables, même pour les technologies actuelles. Le partage des données considérées comme confidentielles par les industriels reste pourtant la clef. D'autre part, une estimation des possibilités d'approvisionnement nécessite d'avoir une estimation des coûts de production et des prix, donc des évolutions technologiques des secteurs miniers et du recyclage en prenant en compte les évolutions liées à la minimisation/substitution des matières, du prix de l'énergie, et des évolutions réglementaires, sociales et géopolitiques mondiales. S'il n'est pas possible de lire le futur dans une boule de cristal, il reste néanmoins crucial de bâtir des outils d'analyse et de prospective dynamique qui permettent d'intégrer les différentes dimensions géologiques, technologiques, économiques, sociales et environnementales aux niveaux national et mondial. Cela est la condition pour comprendre et anticiper les conséquences de notre dépendance à l'importation des ressources minérales que nous ne produisons pas, et de notre capacité à modifier notre infrastructure énergétique dans les meilleures conditions en n'en comprenant les impacts.

Les bouleversements actuels et à venir liés à la contraction de l'offre en ressources fossiles, à la prise de conscience de l'urgence climatique renforcent l'importance de l'analyse proposée ci-dessus en rapprochant l'horizon temporel à 2030 et 2050.