

## Les matériaux de l'énergie du futur

### De la dépendance aux fossiles à la dépendance aux métaux

L'Université d'été a permis de caractériser et de quantifier les éléments clés liés aux matériaux de l'énergie du futur<sup>1</sup>. *Sauvons le Climat* en retient les points clés suivants (qui ne constituent pas un résumé des travaux, mais en constituent les enseignements principaux) :

#### L'explosion des besoins en ressources

- De nombreux secteurs en développement rapide dans le cadre de la transition énergétique utilisent des matériaux dont la production va devenir critique : métaux pour les jonctions des cellules photovoltaïques (ex argent), pour les batteries (ex cobalt, nickel, lithium), pour les aimants permanents des moteurs et générateurs électriques (ex néodyme), pour les électrolyseurs et piles à combustible (ex iridium et platinoïdes). Les prévisions de besoins sont difficiles car dépendent fortement des scénarios et des substitutions possibles
- L'intensité matière des énergies renouvelables est très largement supérieure (dans des facteurs de 5 à 10) à celle des moyens de production historiques (thermiques ou hydrauliques)
- La transition numérique sollicite les mêmes ressources que la transition énergétique (pour les batteries et les composants électroniques)
- Les besoins sont de plus en plus diversifiés et couvrent la quasi-totalité du tableau de Mendeleïev
- La substitution des fossiles par l'électricité décarbonée conduit à une très forte croissance des besoins en cuivre (autant dans les 30 ans à venir que depuis le début de l'industrie)

---

<sup>1</sup> Les vidéos des différentes interventions peuvent être visionnées sur le site de *Sauvons le Climat*

- Les besoins concernent les matériaux dits « de base » (Aluminium, cuivre, ...) mais aussi les matériaux dits « technologiques » (terres rares,...)
- Le renouvellement des infrastructures (par exemple le repowering des éoliennes en fin de vie à 20 ou 30 ans) ajoute encore des contraintes à celle des installations nouvelles à construire
- Beaucoup des matériaux qui répondent aux nouveaux besoins ne sont pas aujourd'hui extraits pour eux-mêmes : ce sont des sous-produits de l'extraction de matériaux « historiques ». Si la demande venait à dépasser les volumes produits comme sous-produits, les coûts exploseraient
- Les trajectoires de transition impliquent des risques importants de rupture dans l'approvisionnement de certains matériaux dans les années à venir
- Les scénarios très « EnR » dépassent les capacités de production mondiales actuelles sur la plupart des matériaux.

### L'absence de souveraineté française et européenne

- La France et l'Europe ont perdu leur souveraineté minérale et sont devenus dépendants, en particulier de la Chine
- Le phénomène est particulièrement aigu en France avec l'absence quasi-totale d'activité minière
- La perte de cette souveraineté est liée au processus global de désindustrialisation
- Un retour à la souveraineté passe par la réouverture de mines (le potentiel existe à l'échelle européenne comme à l'échelle française) mais aussi par la maîtrise des étapes de transformation des minerais. Ces étapes sont sous contrôle de la Chine, bien plus encore que les mines elles-mêmes
- L'Europe a déjà intégré dans ses Directives (Critical Raw Material Act) la recherche d'un taux d'autonomie minimum dans chaque filière
- La France vient d'engager un inventaire de son potentiel minier
- Le processus de réouverture d'une mine est long dans tous les cas : 17 ans en moyenne dans le monde (y compris procédures et concertation publique), probablement plus en France
- L'acceptation sociétale d'une politique minière passe obligatoirement par le concept de mine durable
- Les pays scandinaves ont déjà su réunir les conditions d'acceptation sociétale de l'exploitation des mines

- Les politiques de retour à l'activité minière devront s'accompagner de partenariats stratégiques avec certains pays qui disposent de ressources importantes (Australie, Canada, ...)

### L'importance et les limites du recyclage

- Le recyclage des matériaux (en particulier sensibles ou critiques) est impératif, mais sera, dans tous les cas, insuffisant pour répondre aux besoins (perte en cours de processus et croissance des besoins)
- Le recyclage présente un bilan carbone de 2 à 3 fois inférieur à celui de l'extraction et de la production primaire
- Le coût de la ressource secondaire issue du recyclage est supérieur à celui de la ressource primaire issue de la mine
- On ne recycle pas, actuellement, les matériaux les plus critiques pour la transition ; c'est un peu trop tôt, mais les processus techniques existent
- L'Europe a fixé par la norme un taux de recyclage minimum
- Au niveau mondial, l'indice de circularité des matériaux est de 9% et il est en baisse
- La Chine cherche à maintenir son monopole sur les aimants permanents des éoliennes en organisant le recyclage des moteurs en fin de vie sur son sol
- Les alliages de Haute Entropie (réseaux cristallins formés d'une diversité d'atomes aux propriétés proches) sont une piste potentielle de remplacement de certains matériaux critiques
- La recherche sur la substitution des matériaux et sur la diminution des besoins en volume est engagée pour réduire les besoins sur certains matériaux

### Le boom de la mobilité électrique

- Les prévisions de développement des VE en 2018 ont été largement dépassées (30% des véhicules légers vendus sont électriques -VE ou VHR- en septembre 2023)
- La première gigafactory (TESLA) a démarré en 2018 ; on en prévoyait 45 maxi avant 2030 ! On prévoit aujourd'hui qu'il en faudra 100 ! En 2030 il y aura 50 gigafactories en Europe, 12 en Allemagne, 4 en France

- Un PL sur 5 sera électrifié en France en 2035. Les bus urbains le seront en quasi-totalité (c'est déjà le cas à Shenzhen)
- La filière LFP (LiFePO<sub>4</sub>) se développe, ce qui soulage la contrainte sur le cobalt et le nickel. Les substitutions actuelles vont dans ce sens au prix d'une moindre densité énergétique
- On est plus optimiste aujourd'hui sur la durée de vie des batteries
- On assiste à la course effrénée à l'autonomie des véhicules qui embarquent des capacités et donc des poids de batteries de plus en plus importants.

### Un approvisionnement en Uranium maîtrisé par la France mais des montants financiers énormes à engager

- Les scénarios de croissance du parc nucléaire mondial vont de 486 à 931 GW en 2040 et jusqu'à 1200 vers 2050
- La ressource en uranium pourrait commencer à manquer avant 2070 si on n'ouvre pas de nouvelles mines (le parc minier est à renouveler à 100% avant 2040)
- L'utilisation d'uranium de retraitement a été reprise cette année en France (après quelques premières utilisations dans le passé sur le seul site de Cruas). Le stock actuel d'URT en France est équivalent à 3 années de production. Des stocks plus importants sont entreposés en Russie, prestataire pour le ré-enrichissement (et bientôt les Pays-Bas). Cette filière est compétitive par rapport à l'Uranium naturel suite aux hausses de prix et elle émet 30 % de CO<sub>2</sub> en moins du fait de l'absence d'activités minières.
- Des moyens financiers très importants (dizaines de milliards d'euros) devront être consacrés au cycle du combustible (La Hague, Mélox, mines, remplacement des centrifugeuses)

**L'Université d'été a aussi permis d'aborder quelques sujets importants qui ne sont pas directement liés au thème de l'UE**

Quoi de neuf sur le changement climatique et la prise de conscience (cf communiqué spécifique de Sauvons le Climat sur ce sujet)

Les climatologues assistent à certains phénomènes qui sortent des modèles habituels de prévision et qui pourraient être des signes d'une accélération globale (réchauffement de l'Atlantique nord, réduction de surface de la banquise Antarctique, violence des précipitations, ...).

Le consensus progresse dans l'opinion mais il faut rester prudent sur ses fondements et sur sa durabilité. De même l'importance de l'électrification des usages semble intégrée.

Certains discours relativistes persistent cependant : la France n'émet que 1% des émissions mondiales, le transport aérien ne fait que 2%, ...

### L'engagement des entreprises sur les processus de fabrication émetteurs de GES

- La décarbonation de certains processus de fabrication (verre, ...) est particulièrement complexe et il y a souvent un step important entre la faisabilité technique et la faisabilité industrielle
- Le besoin en acier a doublé dans le monde depuis 20 ans, tiré par la Chine qui utilise les modes de production les plus charbonnés
- Le recyclage de l'acier, réalisé dans des fours électriques (donc potentiellement bas carbone) est 3 fois moins émetteur que la fabrication de base en haut fourneau (à partir de minerai) qui ne peut pas être électrifiée (mais Arcelor travaille sur la réduction directe de l'oxyde de fer par l'hydrogène).

La conclusion politique de Raphaël Schellenberger, impossible à résumer, a montré que certains responsables politiques maîtrisent bien les différentes composantes et les données de la transition énergétique. On peut citer son analyse des 3 risques liés à toute politique énergétique :

- un risque technique : ne pas disposer à temps des technologies dont on a besoin dans les différentes filières
- un risque sociétal : tous les scénarios énergétiques intègrent une part de changement de société dont l'acceptabilité n'est pas garantie
- un risque géopolitique : quand les situations sont tendues, la défense du climat passe au second plan.