

## Matières premières, criticités et axes stratégiques des industriels de l'automobile

Gildas BUREAU

Pilote du groupe de travail PFA Filière Automobile et Mobilité, sur les matériaux stratégiques pour l'automobile

### Résumé :

La filière automobile forte de 400.000 emplois en France fait partie des industries stratégiques nationales. Cette industrie utilise de nombreux équipements technologiques de plus en plus complexes qu'elle a su rendre fiable et abordables. L'intégration de ces fonctions technologiques sont nécessaires pour la sécurité, le confort, le respect des normes environnementales ou pour la connectivité des véhicules.

Ces performances techniques, économiques, durables et sûres sont le fruit d'évolution et de ruptures technologiques qui ont été rendu possible grâce à l'utilisation industrielle de matières premières présentant des propriétés exceptionnelles qu'elles soient, électronique, électrique, magnétique, optique, ...

Si nous remontons la chaîne logistique de ces composants automobiles, se trouvent des matériaux et des matières premières. Même à l'heure de la digitalisation, une automobile reste un ensemble de plus d'une tonne de matériaux.

Comme nous le verrons ces matières premières sont au cœur d'un écosystème complexe, international et interdépendant, à forts enjeux. Dans ce contexte, différents leviers sont possibles pour établir une, ou devrais-je dire, des stratégies pour la gestion des matières premières stratégiques.

### Summary:

The automotive sector with 400,000 jobs in France is one of the national strategic industries. This industry uses many increasingly complex technological equipment that it has managed to make reliable and affordable. The integration of these technological functions is necessary for active and passive safety, passenger compartment comfort, compliance with environmental standards and for on-board connectivity.

These technical, economic, sustainable and safe performances are the fruit of technological developments and breakthroughs that have been made possible thanks to the industrial use of raw materials with exceptional properties, whatever they can be electronic, electrical, magnetic, optical, etc...

If we go up the supply chain of these automotive components, there are materials and raw materials. Even at the time of digitalization, an automobile remains a collection of more than a ton of materials.

As we will see, these raw materials are at the heart of a complex, international and interdependent ecosystem with high stakes. In this context, different levers can be used to establish one - or should I say several strategies - for the management of strategic raw materials.

## 1. INTRODUCTION

Afin de réaliser des biens d'équipement, électriques, électroniques, de communication les matériaux sont essentiels à toutes activités manufacturières. L'industrie automobile embarque de nombreuses révolutions technologiques, et se trouve à la croisée des chemins technologiques, économiques, sociaux, sociétaux voire géopolitiques.

L'année dernière, l'industrie automobile mondiale a produit plus de 90 millions de véhicules (particuliers et utilitaires) et plus de 15 millions en Europe. Elle emploie plus de 13 millions de travailleurs européens et son chiffre d'affaire représente 7% de l'économie européenne. La filière française représente plus de 4000 entreprises innovantes et investi plus de 6 milliards d'euros en R&D.

Cette innovation constante s'attache à établir les futurs modes de conception, les futures technologies, les process de fabrication et de commercialisation différenciant et performants.

Le secteur automobile vit une transition profonde et a vu sa relation aux besoins de mobilité, aux usages et aux déplacements urbains fortement évoluée.

Ces mutations se traduisent par un mouvement durable vers des véhicules à faible empreinte environnementale, connectés, électriques, où l'impérieux besoin de mobilité individuelle (et collective) a souvent été remis en cause. Tout ceci dans un contexte industriel et politique de sortie du Royaume Uni de l'Union Européenne (Brexit).

Puis le corona virus (covid-19) localisé à Wuhan, berceau de l'industrie automobile chinoise<sup>1</sup> et qui s'est transformée en pandémie au 1<sup>er</sup> trimestre 2020.

Avec plus de 3 Milliards de dollars de produits automobiles exportés de la Chine vers la France, l'Allemagne et l'Angleterre, cette pandémie a soulevé de façon violente et profonde les flux mondiaux et l'interdépendance des industries aux approvisionnements stratégiques, bien au-delà du secteur automobile.

## 2. CONTEXTE INTERNATIONAL

Comme souligné et largement documenté dans les publications des annales des mines, la mondialisation et la montée en puissance de la Chine et de l'Inde a engendré différentes tensions sur les marchés des matières premières, avec un positionnement durable, profond et systématique de la Chine dans la maîtrise de certaines ressources critiques. La Chine est ainsi le principal fournisseur mondial de matériaux considérés comme critiques avec plus de 70% de ces exportations<sup>2</sup>. L'approvisionnement en matière critique de l'Union Européenne dépend à plus de 80% des pays hors union notamment : l'Asie, les Etats-Unis, la Russie, l'Afrique du sud, l'Amérique du sud.

---

<sup>1</sup> L'industrie automobile représente plus de 48% des industries implantées à Wuhan [source Statistica], sont implantés : Dongfeng Passenger Car, Dongfeng Motors Co, Dongfeng-Renault Motor Co, Dongfeng-Peugeot Citroen Automobile Co, Dongfeng-Nissan Passenger Vehicle Co, Zhejiang Geely Automobile, SAIC General Motors Co, Nanjing Golden Dragon Bus...

<sup>2</sup> <http://www.annales.org/>

**Global Supply of EU Critical Minerals and Metals**

The pie charts show the percent distribution of the production of critical metals and minerals. In total, it is 100% for each raw material. The area of the pies are proportional. SGU 2017.

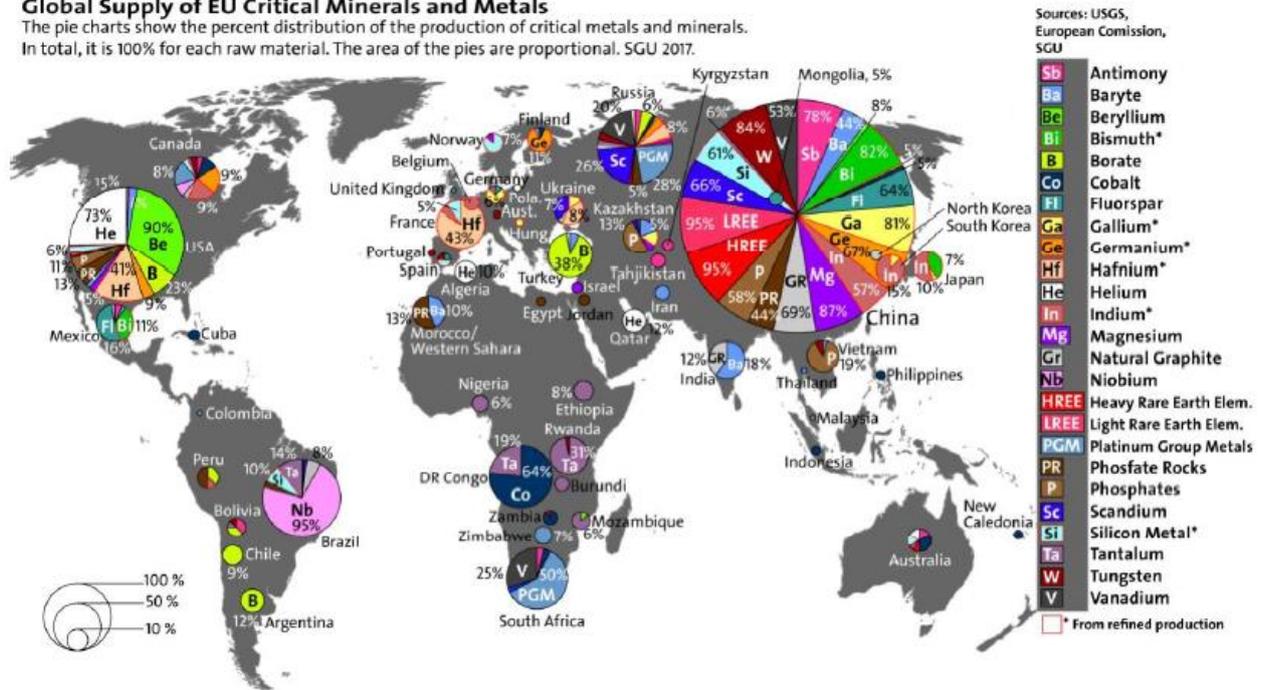


Figure 1: carte des approvisionnements de l'UE en matériaux critiques<sup>3</sup>

Dans un contexte de hausse mondiale de la demande de certaines substances qui sont stratégiques pour la production automobile en pleine transition, certaines tensions progressent ou de nouvelles apparaissent. A cela s'ajoute la nécessité pour l'industrie automobile de couvrir les enjeux liés aux conditions d'extraction, de transformation et de traçabilité des matières premières.

Ainsi, au travers des récentes crises sur les marchés des matières premières de 2008 (crise économique mondiale), 2011 (crise des quotas sur les TR chinoises), les grands acteurs des mondes politique, économique mais aussi la société civile avec la crise liée au covid-19, ont (re)pris conscience du caractère stratégique des flux de matières premières dans leur économie et dans leurs industries stratégiques. Différentes initiatives ont depuis été créées soit à titre privé (Allemagne,...) ou étatique (France, Etats-Unis, Corée, Japon<sup>4</sup>,...).

Face à ces enjeux le chapitre IV de ce numéro 99 Responsabilité & Environnement de Juillet 2020, décrit la réponse des états et de la commission européenne.

Ces questions de dépendances et de souveraineté nationale s'inscrivent dans des débats d'actualité connexe à l'industrie automobile comme l'hébergement des serveurs informatiques, la maîtrise des futures générations de réseau téléphoniques ou plus récemment avec la crise du covid-19 de certaines productions de médicaments, de dispositifs médicaux nécessaire aux plans de crise et de reprise d'activité.

<sup>3</sup> <http://screen.eu/>

<sup>4</sup> <http://www.annales.org/re/2016/resumes/avril/05-re-resum-FR-AN-AL-ES-avril-2016.html>

Il est évident que la capacité de la France ou de l'Europe sur l'ensemble de ces sujets stratégiques reste limité, mais la souveraineté nationale fait débat et c'est une opportunité pour reconsidérer certaines opportunités pour l'Europe qui s'est doté dès 2008 de la question est à mis en place différents outils dont certains dédiés aux gisements et ressources<sup>5</sup>, alimentés par des outils nationaux<sup>6</sup>.

Ces questions font débat régulièrement, mais la crise actuelle mondiale que nous vivons permettra peut-être de cristalliser des orientations durables et pérennes pour l'industrie automobile.

### 3. CONTEXTE DE L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

#### 3.1. PERIMETRE ET DEFINITION TECHNIQUES

Nous pouvons estimer dans le coût des composants d'un véhicule technique que la part matière représente entre 45 et 55% du prix d'un véhicule à moteur à combustion interne.

Figure 4-5: Automotive cost components of a conventional vehicle

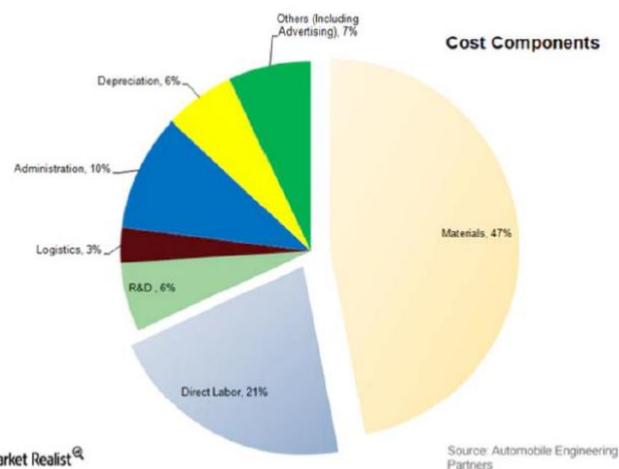


Figure 2: décomposition des coûts des composants d'un véhicule thermique

Parmi ces composants, nombreux sont ceux qui ont recours à des matériaux critiques. Je parlerai de matériaux critiques plutôt que de minerais critiques, car pour l'industrie automobile certains matériaux stratégiques peuvent être des substances, des minerais, de métaux ou des matières naturelles.

Conventionnellement un matériau est dit stratégique quand son usage est essentiel au développement ou au maintien compétitif de la filière considérée. La criticité s'apprécie selon deux axes principaux : les risques liés à la disponibilité (ressource, production, approvisionnement, marché...) et un axe lié à l'importance économique.

<sup>5</sup> <http://screen.eu/results/>

<sup>6</sup> <http://www.mineralinfo.fr/>

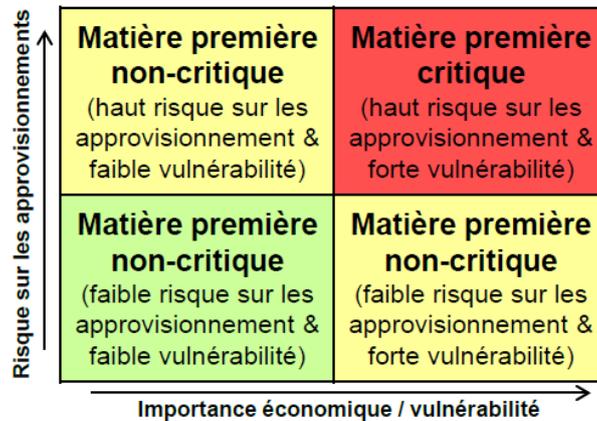


Figure 3: cartographie des matières premières<sup>7</sup>

La Filière Automobile et Mobilité dispose d'un conseil de recherche automobile (CRA) dédié, qui aidé par des communautés d'experts de l'automobile, va définir des recommandations, les points d'alerte sur les approvisionnements des matériaux stratégiques pour l'industrie automobile.

Les risques pour la filière peuvent être selon les matériaux : politiques (insécurité, gouvernance, quotas ...), économiques (concentration des acteurs, stratégie et type d'investissements ...), géographique (concentration des ressources, des productions, ...) et/ou géologiques (localisation des ressources minérales, réserves limitées...) sociétales (conditions d'extraction, impacts environnementaux, risques de corruption, prise en compte du bien-être animal...).

En complément, de la description des critères stratégiques présentés par le Groupe Renault<sup>8</sup>, les matériaux stratégiques de la filière sont liées aux évolutions des nouvelles architectures véhicules qui accompagnent la transition énergétique des véhicules à faible empreinte environnementale.

En regroupant les besoins au sein de la filière automobile et l'évolution de l'importance à venir, les principaux matériaux stratégiques sont :

- Les métaux pour l'électronique et l'information et la connectivité : Ga, In, La, Ce, Be, In, Sb
- Les matériaux pour l'électrification : Li, Co, Ni, Cu, Nd, Pr, Sm, Tb, Dy
- Les métaux issus de zones de conflit : Sn, Ta, W, Au
- Les matériaux pour la dépollution des moteurs à combustion interne : Pd, Pt, Rh
- Les matériaux d'origine naturelle : caoutchouc, mica, graphite
- Les matériaux d'origine animale : le cuir

L'évolution de leur consommation a été estimée comme suit :

<sup>7</sup> <http://www.mineralinfo.fr/page/matieres-premier-critiques>

<sup>8</sup> <http://www.anales.org/re/2016/re82/RE-82-Article-SCHULZ.pdf>

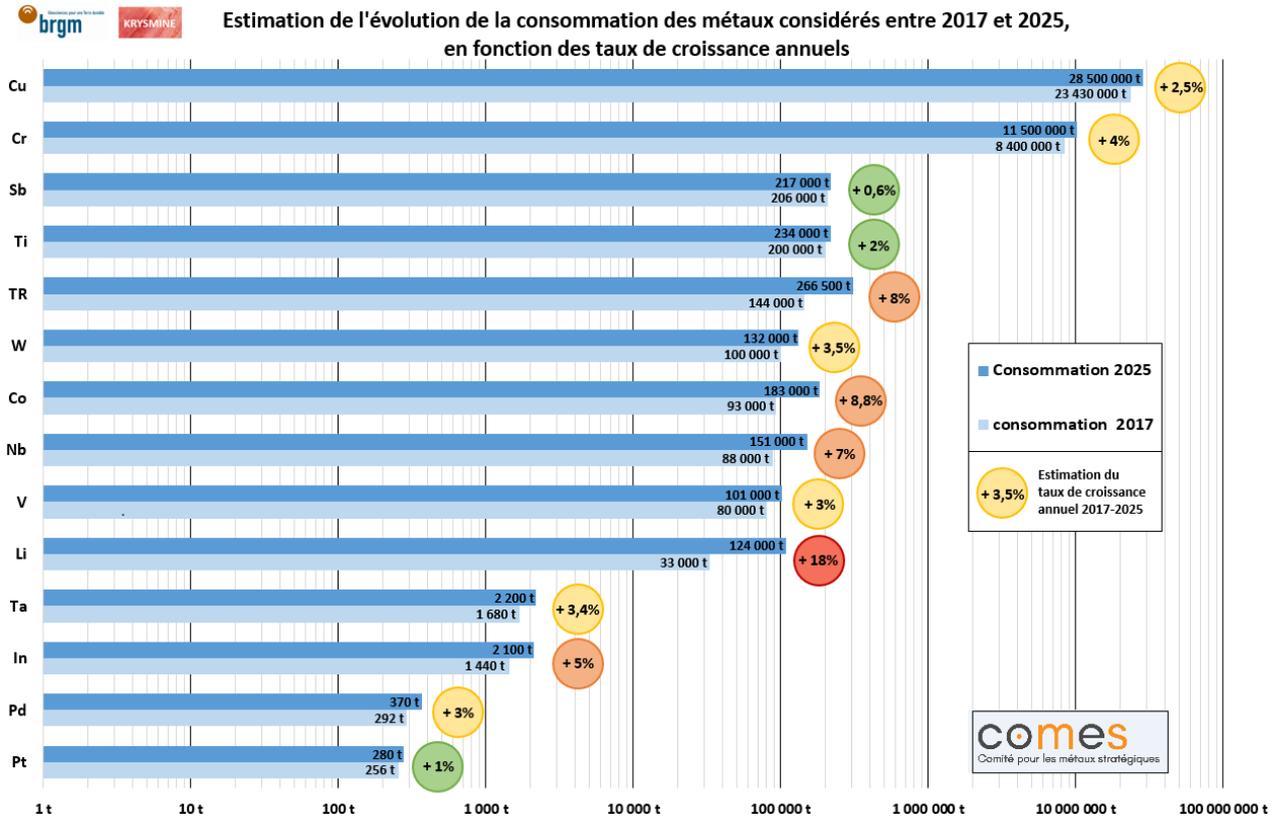


Figure 4: estimation de l'évolution de la consommation des matériaux critiques<sup>9</sup>

### 3.2. ARCHITECTURES AUTOMOBILES ET CHAINES DE TRACTION

Le cœur d'un véhicule se structure autour de 3 architectures principales : électrique/électroniques, structurelle (« la caisse »), la chaîne cinématique adaptée (« du moteur à l'échappement »). Elles font appel à de nombreux organes et composants techniques représentant entre 20000 à 30000 pièces selon les véhicules. Ces composants complexes doivent satisfaire les fonctions nécessaires aux évolutions techniques et sociétales et embarquent les technologies nécessaires pour rendre chaque modèle différenciant sur son marché. Ces technologies doivent être performantes, fiables, abordables et durables.

Cette notion de durabilité dépasse, la seule notion de durabilité liée à l'usage du véhicule. Cette notion englobe également la gestion des ressources amont, des matières premières et des activités humaines associées. Par exemple, la loi française<sup>10</sup> sur le devoir de vigilance au travers de la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE) impose, notamment aux entreprises de plus de 5000 salariés, l'obligation de création d'un plan de vigilance afin de prévenir les risques sociaux (droits humains...), environnementaux, légaux (anti-corruption...), liées à ses activités ou celles de ses filiales et partenaires (sous-traitants et fournisseurs).

<sup>9</sup> <http://www.mineralinfo.fr/page/comite-metiaux-strategiques>

<sup>10</sup> Loi n° 2017-399 du 27 mars 2017 relative au devoir de vigilance des sociétés mères et des entreprises donneuses d'ordre

Les innovations technologiques développées pour accompagner la transition énergétique sociales et sociétales, font appel à des matériaux stratégiques servant à satisfaire les normes d'émissions de CO<sub>2</sub>, de sécurité ou de connectivité : leur importance stratégique diffère selon les architectures de plateforme.

▪ Contexte des véhicules électriques :



Figure 5: architecture électrique de la plateforme e-CMP du Groupe PSA<sup>11</sup>

Les véhicules électriques à batterie (BEV : battery electric vehicle) se caractérisent par une chaîne de traction complètement électrifiée composée d'une (ou 2,3) machines de traction, d'une électronique de puissance, d'un système de recharge embarqué et d'une batterie qui se recharge par branchement sur le réseau électrique.

Ces architectures vont recourir à plusieurs éléments stratégiques que sont le Lithium, Cobalt, Nickel, Graphite, Cuivre, Galium, Niobium, Silicium...

- ❖ Les nouveaux matériaux stratégiques sont principalement liés aux matériaux pour les batteries lithium-ion : Li, Co, Ni, Cu. Les batteries sont en évolution technologique constante (Nickel Metal hybride, Lithium-Ion, haut-nickel, sans cobalt...) et varient selon les autonomies, les usages et les marchés visés (forte autonomie, véhicule urbain, véhicule orienté puissance, ...).

Ainsi pour le Lithium : les prévisions actuelles et les évolutions futures des chimies alternatives des cathodes (magnésium, métal-air, tout solide...), et les programmes d'approvisionnement Européens tendent à maintenir une certaine retenue de la spéculation. Cependant une inquiétude demeure sur les produits transformés : hydroxydes, carbonates.

Pour le Cobalt : les perspectives de marché font apparaître un déficit à moyen terme (~2025) lié aux marchés des cathodes des batteries lithium-ion. Un autre point de surveillance est la criticité associée à la gouvernance et à l'extraction de ce minerai : principalement issue de la République Démocratique du Congo (RDC). En effet,

<sup>11</sup> <https://www.groupe-psa.com/fr/actualites/corporate/cmp-la-plateforme-modulaire/>

l'intégration à moyen court terme, à la liste des 4 minerais de conflit actuel (Tungstène, Etain, Tantale et Or) est probable.

Pour le Nickel : le secteur présente un déficit des investissements lié aux prix actuels qui laissent penser à un fort risque de décalage entre l'offre et une demande grandissante. Demande qui sera accélérée par les futures chimies des cathodes à haut nickel. De plus, les cathodes actuelles des batteries lithium-ion nécessitent des sulfates de Nickel issus de minerai de nickel de haute pureté, dont la filière de transformation est principalement localisée en Asie.

Pour le Cuivre : ce matériau reste incontournable des architectures électriques (400V, 800V), hybrides (48V) et des composants électrique/électronique embarqués. Sa masse totale peut augmenter de plus de 30% dans un véhicule électrique comparé à son équivalent thermique. Ce marché en croissance constante pour l'automobile est également stratégique pour les infrastructures et réseaux connectés auxquelles le secteur automobile fait appel, d'où une certaine concurrence industrielle. Actuellement le marché de la demande est supérieur à l'offre, avec des tensions fortes en cas de retard dans les investissements liés aux nouvelles exploitations minières.

- Contexte des architectures hybrides :



Figure 6: groupe moto propulseur hybride du Renault Captur E-TECH Plug-in<sup>12</sup>

Ces véhicules disposent d'une chaîne de traction avec un moteur à combustion interne (très majoritairement à essence), d'une batterie et d'un système de recharge embarqués et d'une (ou plusieurs) machines électriques implantées à différents endroits: train arrière, boîte de vitesses, transmission, dans les roues ou sur l'adaptation moteur (pour les hybridations légères dite MHEV/mild-hybride). La batterie est rechargeable par branchement au réseau (technologie PHEV : plug-in hybrid electric vehicle) ou uniquement via le moteur thermique servant de génératrice dans le cas de la technologie HEV : hybride

<sup>12</sup> <https://group.renault.com/news-onair/actualites/nouveau-captur-e-tech-plug-in-est-le-premier-hybride-rechargeable-du-groupe-renault/>

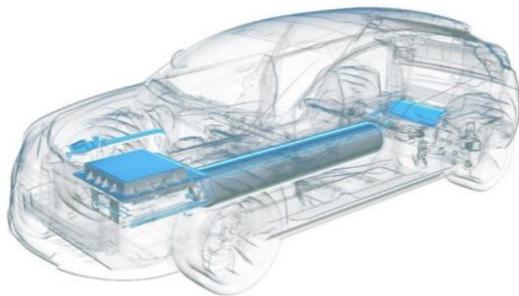
electric vehicle. Dans les deux cas, la récupération aux freinages/décélérations alimente la batterie.

Les composants clés restent liés à i) la chaîne de traction thermique et son système de dépollution (nécessitant l'usage de platinoïdes et terres rares légères), ii) les couplages électriques associés aux organes mécaniques.

Du fait, des faibles encombrements pour insérer les composants électriques/électroniques la majeure partie des systèmes embarquent des machines électriques compacts, à aimants permanents, et des batteries à forte densité volumique et de moindre capacité que les véhicules électriques (BEV).

❖ Les matériaux stratégiques pour ces motorisations seront principalement liés aux aimants permanents de la machine électrique (Nd, Pr, Dy, Tb), au stockage d'énergie (Li, Ni, Co, Graphite), à l'électronique de puissance (transistors GaN ou SiC), à certains platinoïdes (Pt, Pd, Rh) et aux terres rares légères (La, Ce, Y, Nd) pour la catalyse embarquée.

- Contexte des piles à combustibles



a) chaîne de traction d'un véhicule léger<sup>13</sup>



b) Kangoo ZE avec prolongateur d'autonomie<sup>14</sup>

*Figure 7: exemples d'implantation de pile à combustible sur véhicules légers*

Certains véhicules électriques embarquent soit des piles à combustibles à hydrogène en tant que chaîne de traction (selon différentes technologies : full-power, mid-power<sup>15</sup>) ou des prolongateurs d'autonomie (range-extender) à hydrogène qui recharge la batterie (cf. figure 8b). Cette technologie de pile à combustible (ou pile à hydrogène) utilise des électrodes revêtues avec des platinoïdes dont le Platine. Selon les technologies une pile à combustible nécessite entre 0,2-0,4 gramme de Platine au kW. L'impact de ces technologies sur le marché du platine n'est pas attendu avant 2025, sachant que des efforts de R&D sont réalisés pour substituer partiellement<sup>16</sup> voire totalement ce platinoïde.

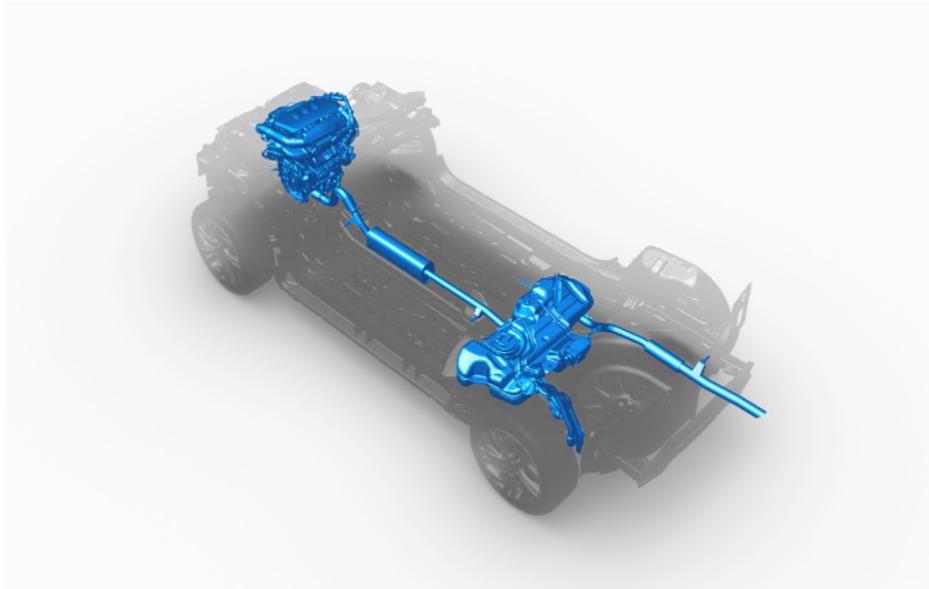
- Contexte des véhicules thermiques :

<sup>13</sup> <https://www.faurecia.com/newsroom/la-technologie-de-la-pile-combustible-est-elle-le-nouveau-graal>

<sup>14</sup> <https://www.symbio.one/la-technologie-benefices/>

<sup>15</sup> <https://pfa-auto.fr/wp-content/uploads/2020/02/CRA1-PTF-HYDROGENE-ET-PILES-A-COMBUSTIBLE-VF2.pdf>

<sup>16</sup> <https://www.afhypac.org/documents/Fiche%20Platine%20V2.pdf>



*Figure 8 : architecture type d'un véhicule thermique*

Ces architectures restent le cœur du marché automobile mondial qui est composé de motorisations à combustion interne (essence, Diesel, agro-carburants...), où la connectivité, le confort, l'économie de carburant et l'agrément de conduite n'ont cessé de progresser.

- ❖ Les enjeux stratégiques pour les motorisations thermiques sont toujours ceux liés aux systèmes de catalyse principalement Platine pour les motorisations Diesel, et Paladium Rhodium pour les motorisations essence. Avec des mixtes et des demandes en platinoïdes de plus en plus importants, pour répondre aux normes d'émission de plus en plus sévères au niveau mondial. De plus, les véhicules autonomes et communicants embarqueront de très nombreux capteurs (caméras, radar, lidar..) et électronique associée, ainsi que de nombreux composants communicant avec les infrastructures. Tous ces éléments contribueront à une augmentation des matières critiques de l'électronique : Ta, Sn, Sb, In, Ga, Au, Si, Be...

#### **4. LES LEVIERS STRATEGIQUES**

Face à ces enjeux, quels sont les leviers possibles pour établir une stratégie au sein des filières ou des petites, moyennes ou grandes entreprises?

Une orientation réaliste n'est pas de disposer d'une indépendance sur l'ensemble des matériaux stratégiques, mais de diminuer systématiquement la dépendance face aux différents critères menant à la criticité. De plus dans un marché mondialisé, il est essentiel de ne pas chercher une indépendance, mais de sécuriser les approvisionnements des matières les plus critiques en combinant différents axes stratégiques.

Il appartiendra à chaque entreprise d'établir un plan de mise en œuvre des différents leviers, afin d'établir la stratégie, la mieux adaptée à ses propres enjeux. Ainsi, cette

stratégie doit montrer les avantages concurrentiels liés à la gestion des matériaux critiques.

Par exemple, le plan d'implémentation stratégique de l'union européenne (SIP), liste 24 actions, 7 grandes priorités et cible au moins 3 applications de matériaux critique à substituer<sup>17</sup>.

La synthèse des différentes études et observatoires des secteurs industriels permet de dégager 6 grands leviers applicables dont l'industrie automobile :

- a) La substitution
- b) La diversification des approvisionnements
- c) La sécurisation des approvisionnements
- d) L'économie circulaire, le recyclage et l'écoconception
- e) L'intelligence économique
- f) La R&D

#### 4.1. La substitution

Dans le cadre d'une analyse détaillée du critère stratégique d'une substance, ce levier est le premier à utiliser car il permet rapidement de diminuer la dépendance à cette matière ou à son approvisionnement.

La notion même de substitution rentre dans le critère stratégique ou non. Pour cela une analyse fonctionnelle précise doit être mise en place, pour connaître l'influence de la substitution sur la performance technique, économique et les coûts associés d'un tel changement. Cela relève d'un choix d'entreprise, si techniquement cela est possible mais peut revenir plus cher. Malheureusement, cela n'est pas toujours possible et certains matériaux critiques sont peu substituables par d'autres matériaux.

Ainsi, par exemple dans l'électronique les quelques milligrammes de terres rares légères sont difficilement substituables, car essentielles aux propriétés électroniques.

Un exemple d'indice de non-substitution de terres rares est présenté ci-dessous :

---

<sup>17</sup> [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/eip/strategic-implementation-plan\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/eip/strategic-implementation-plan_en)

Usage	Commentaires	Indice de non-substituabilité
Aimants	Il existe des options pour remplacer les métaux rares des aimants, parmi lesquelles des matériaux magnétiques alternatifs et des technologies alternatives de moteurs	0.7
Piles	Transition de plus en plus fortes vers les piles à l'ion Lithium	0.3
Autres usages métallurgiques	L'utilisation des métaux rares dans ces autres usages n'est pas essentielle	0.3
Catalyse de cracking	Substitution difficile	1.0
Catalyse automobile	Substitution possible dans une certaine mesure	0.7
Autre catalyse	Substitution difficile	1.0
Poudres abrasives	Substitution possible dans une certaine mesure	0.7
Additifs verriers	Substitution difficile	1.0
Lampes fluorescentes	Les diodes électroluminescentes sont de plus en plus compétitives face aux lampes fluorescentes	0.7
Céramiques	Substitution difficile	1.0
Autres usages chimiques	Substitution difficile	1.0
Autres	On trouve des substituts sur certains marchés mineurs	0.5

Figure 5 : Substitutions aux métaux rares dans leurs différents usages (l'indice de non-substituabilité est compris entre 0 (valeur où la substitution est très aisée) et 1 (valeur où elle est très difficile)).

Source : Union européenne, Report on critical raw materials for the EU, 2014.

Tableau 1: exemple d'indice de non-substituabilité des terres rares par usage<sup>18</sup>

La substitution matériaux/matériaux est souvent liée à une perte d'efficacité ou de performance technique, technologique, financière, industrielle, qui peuvent cependant se faire sous la contrainte. Prenons l'exemple des aimants permanents largement utilisés dans l'automobile au travers des nombreux capteurs, actionneurs, actionneurs.

Suite à la crise des terres rares de 2010, lié aux tensions sino-japonaises dans l'archipel des îles Senkaku- Diaoyu, de nombreux aimants permanents à base de terres rares (lourdes & légères) ont fait l'objet de substitution forcée par des aimants alternatives type ferrites. Ainsi, une substitution du type même de la fonction aimants a eu lieu, souvent sous forme de task-force, face à l'envolée des prix des terres rares.

Bien-sûre ce genre de substitution ne peut se faire à iso-performance technique et économiques et des adaptations d'encombrements, de calibration ou de conception ont été nécessaires. Il s'agit bien d'une décision d'entreprise à prendre en urgence, mais surtout à considérer pour apporter une approche long terme.

Une autre tendance de substitution dans les aimants permanents et la substitution des terres rares lourdes pour les aimants en néodyme fer bore (NdFeB) des moteurs électriques des véhicules hybrides.

Cet axe est tellement stratégique qu'il fait partie du plan stratégique de l'UE<sup>19</sup> dédié aux matériaux pour les technologies des énergies vertes.

<sup>18</sup> Union Européenne, Report on CRM for the EU, 2014

<sup>19</sup> <https://ec.europa.eu/growth/sites/growth/files/eip-sip-part-2.pdf#page=16>

Certaines technologies comme les nano-poudres permettent de disposer d'aimants permanents industriels sans terre rare lourde (Dy, Tb) et d'autres technologies seront prochainement disponibles.

Toyota a récemment présenté sa road map<sup>20</sup> pour la substitution a) à court terme des terres rares lourdes Dy et Tb, b) à moyen terme la substitution d'une partie du Néodyme et Praséodyme par des terres rares légères moins critique le Lanthane et le Cérium.

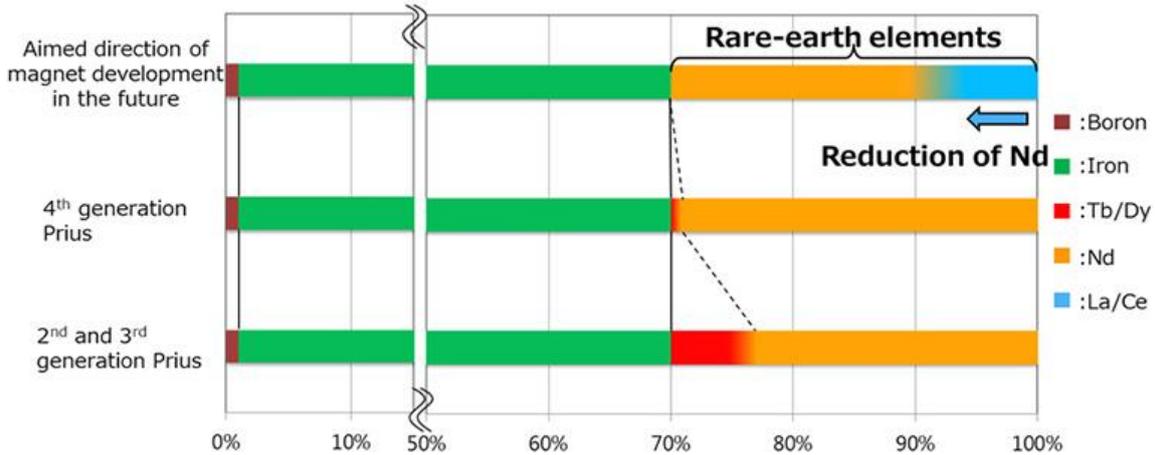


Figure 9: roadmap Toyota pour la substitution totale du Tb/Dy et partielle du Nd

En Europe, les dernières retombées des projets scientifiques liés à différents projets Européens sur cette même orientation technologiques de substitution du Néodyme ont été récemment publiés.<sup>21</sup>

L'autre possibilité de substitution est celui de technologie à technologie : Toujours dans l'électrification des chaînes de traction, l'exemple des rotors bobinés des machines électriques est un très bon exemple. Si face aux contraintes liées aux doubles motorisations thermiques et hybrides, les machines synchrones à aimants permanents sont majoritairement utilisées, les véhicules purement électriques offrent plus d'alternative technologique selon les architectures présentées précédemment. Ainsi de nombreux modèles de BEV proposent des machines électriques sans aimants permanents : à rotors bobinés (Renault-Zoe & Kangoo Z.E...), ou à cage d'écureuil (Tesla-roadster ou modèle S, ....).

<sup>20</sup> <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/21139684.html>

<sup>21</sup> <https://etn-demeter.eu/substituting-nd-in-nd2fe14b-based-hard-magnetic-alloys/>



Figure 10: moteur électrique à rotor bobiné de la Renault ZOE

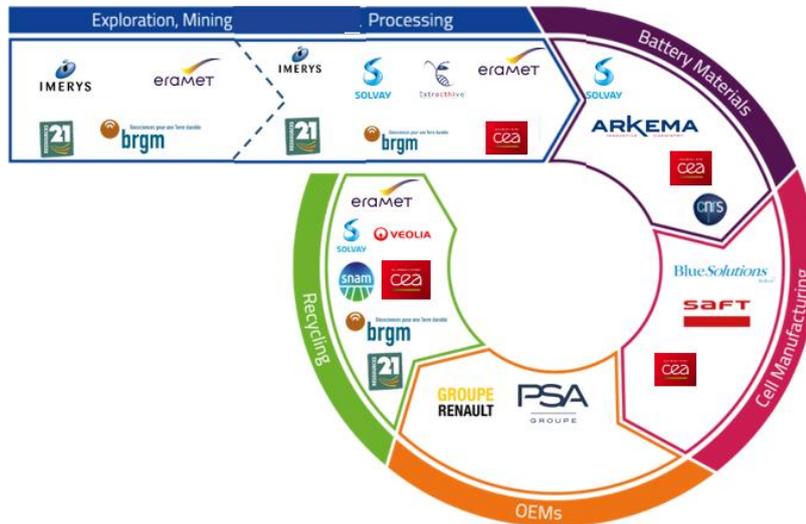
#### 4.2. La diversification des approvisionnements

A l'heure où l'Inde et la Chine se sont transformés d'exportateurs en importateurs nets de certaines substances critiques, l'initiative matières premières, de l'Union européenne engagée en 2008 apporte une réflexion d'envergure sur l'approvisionnement en matières premières critiques. La France au travers de la Direction Générale des Entreprises (DGE) et des comités stratégiques de filières (CSF) a mis en place une vraie « diplomatie des matières premières » en proposant des règles de gouvernance et en aidant les industriels français au travers des filières stratégiques, à renforcer leur potentiel de diversification d'approvisionnement en matières critiques.

Ainsi, bien que de plus faible capacité et moins intégrée sur toute la chaîne de valeur, les exploitations minières Australiennes, Africaines, Canadiennes, Thaïlandaises, Vietnamiennes, Malaisiennes peuvent parfois se positionner en sources complémentaires d'approvisionnements aux pays asiatiques.

Par exemple, ci-dessous une présentation de l'écosystème français faite en 2019 aux acteurs industriels miniers australiens pour les matériaux stratégiques liés à la batterie ou aux terres rares:

## Battery value chain : French innovation leaders



Source COMES/DGALN

Autre source de diversification : le travail coordonné par l'Union Européenne pour développer la connaissance des gisements de matériaux critiques au sein des états membres. Ceci pour favoriser, développer et soutenir des approvisionnements de proximité, de tailles raisonnables et satisfaisant aux meilleurs standard environnementaux et sociaux.

Toute opportunité sera stratégique dans le cadre du Projet Important d'Intérêt Européen Commun (PIIEC) établie entre l'Allemagne, la Belgique, la Finlande, la France, l'Italie, la Pologne et la Suède, et visant à soutenir la recherche et l'innovation dans le secteur prioritaire européen commun des batteries<sup>22</sup>.

Ce suivi de nouvelles ressources, fait également partie des pistes pouvant aboutir, non pas à une autonomie/souveraineté minérale, mais à une « moindre dépendance » pour certains minerais, dès lors que les volontés politiques techniques économiques et législatives apportent les critères différenciant aux filières concernées.

<sup>22</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_19\\_6705](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6705)

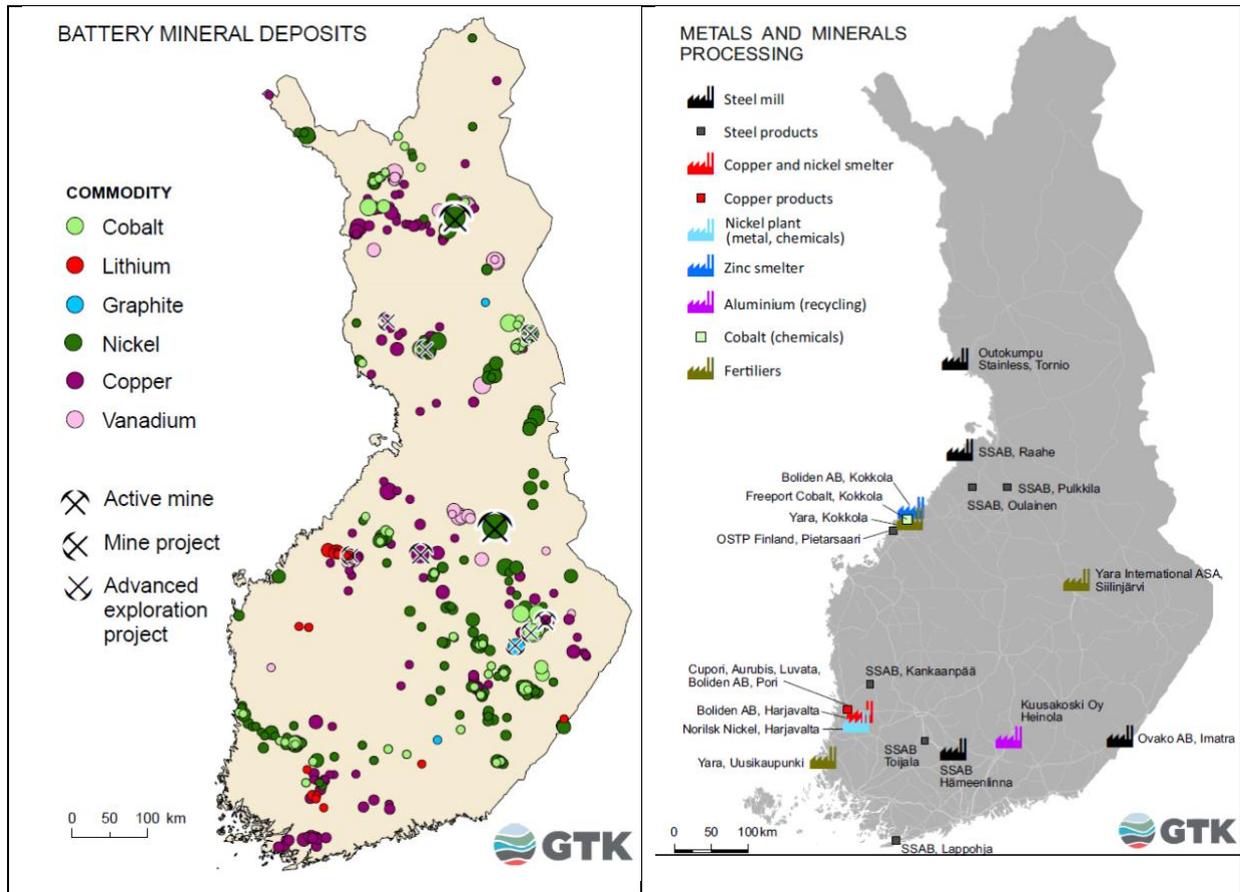


Figure 11 : Exemple de filière minière des minerais pour batterie en Finlande<sup>23</sup>

La diversification des approvisionnements permet de pondérer certains risques notamment géopolitiques ou de gouvernance tout en faisant jouer la concurrence. Cette stratégie est d'autant plus pertinente qu'elle peut s'accompagner d'une stratégie de substitution permettant de limiter la dépendance à une seule filière d'approvisionnement. Par exemple, la substitution des terres rares lourdes (dont l'approvisionnement est assuré à plus de 95% par la Chine) permis par les nanopoudres, et/ou la substitution à venir d'une part grandissante du Nd/Pr par du Ce/La permettra de diversifier et de sécuriser les approvisionnements hors Chine de ces terres rares légères.

#### 4.3. La sécurisation des approvisionnements

Cette sécurisation peut se faire à différents niveaux, selon le positionnement recherché dans la chaîne de valeurs. Dans le cas des matériaux stratégiques, certains acteurs se positionnent soit très en amont dès l'extraction du minerai, en investissement directement dans les mines soit le long de la chaîne avale. Comme nous l'avons précisé la majeure partie des approvisionnements étant étranger, la sécurisation en amont de la chaîne de valeurs peut s'accompagner par des participations aux démarches de diplomatie

<sup>23</sup> <https://www.gtk.fi/en/services/mineral-economics/mining-maps/>

internationale présentés précédemment, soit par des accords entre industriels, souvent entre acteurs internationaux issues de grandes capitalisations.

Rares sont les constructeurs automobiles qui agissent en tant qu'acteurs directs sur les matières stratégiques, souvent ils s'associent à des acteurs majeurs qui portent la garantie les approvisionnements. D'où l'importance d'une bonne connaissance de cette chaine d'approvisionnement.

Un exemple de panorama global des partenariats sur les matières stratégiques associées aux batteries des véhicules électrifiés, montre la diversité des parties prenantes et des stratégies possibles<sup>24</sup> :



Tableau 2 : panorama global des partenariats sur les matières stratégiques des batteries

Une autre voie est la mise en place de sources alternatives, même si de faible capacité mais qui permet de disposer d'une source sûre, validée, disponible nécessitant d'alimenter son approvisionnement à un niveau permettant de garantir une activité partielle sur les composants stratégiques. Cette stratégie est notamment utilisée pour les approvisionnements de matériaux non-métalliques où certains acteurs sont totalement intégrés en monomères ou matière première naturelle.

Dans ce cas il s'agit d'une volonté propre à chaque entreprise de définir le rapport gain/bénéfice pour son activité, dans une approche probabiliste sur les tensions/ruptures considérées du matériau stratégique. Pour cela, le levier d'intelligence économique permettra de renforcer les scénarii.

Enfin une autre possibilité est de réserver un certain volume de production de la part du fournisseur, sécurisant ainsi l'approvisionnement, si celui-ci est externe. Ceci passe par des contrats, des accords d'achat... Ce levier est le plus complexe car dépendant du nombreux d'acteurs sur le marché de la volatilité ou non, de la période couverte, d'accords réciproques entre acheteurs et vendeur dans un marché qui par définition est tendu. De

<sup>24</sup> Source Renault sur base rapports d'étude, presse, à mi-2019

plus en cas d'accord financier, la question de l'indice de référence, de la variation des prix et des limites et période de renégociations des accords sont clés.

Le dernier levier lié aux stocks de sécurité est de plus en plus abandonné dans l'industrie automobile. Face aux modes agressifs utilisés par certains acteurs dominant pour soutenir des prix limitant l'entrée de nouveaux acteurs ou de forte baisse des prix faisant le marché et les prix de certaines matières premières (comme les terres rares) ont montré l'inefficacité majoritaire de ces stocks qui mobilisent et immobilisent des capitaux importants et qui ne préservent pas des retours de tendance ou des effondrements volontaires des cours.

La sécurisation des appro passent également par une meilleure connaissance de la chaîne d'approvisionnement en répartition des responsabilités tout au long de la chaîne, avec l'implication de chacun des acteurs de la chaîne afin de sécuriser les approvisionnements mais aussi la provenance. Dans le cas des minerais notamment de conflit<sup>25</sup> la traçabilité des importations est essentielle et doit être garantie aux utilisateurs aval de la filière, pour la mise en place de procédures liées au devoir de diligence. Pour cela certains groupes de travail de la PFA sont en place pour évaluer les différents moyens disponibles : vérification par tierce partie indépendant des informations, audits par tierce partie des approvisionnements, cryptage et traçabilité des données par block-chain...

#### 4.4. L'économie circulaire

Avec un business estimé au niveau européen de plus de 600Mds d'euros, tous les leviers de l'économie circulaire doivent être mis en place pour apporter un complément de réponses aux enjeux liés aux matières stratégiques au travers de leur identification, leur réutilisation et leur recyclage. En effet, l'économie circulaire permet de réduire la consommation de matières vierges, d'assurer une partie de la sécurité de l'approvisionnement, de diminuer les quantités de déchets automobile mis en décharge et de diminuer la consommation d'énergie : gain estimé à 2-3% de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> au niveau Européen<sup>26</sup>

Le positionnement central de l'économie circulaire en général et du recyclage en particulier, a été réaffirmé ces derniers mois par les engagements européens et français (package économie circulaire de la CE et feuille de route économie circulaire de la France).

En complément de l'article de l'annale des mines de Juillet 2020 qui précise que le « *recyclage ne suffira pas* », cette stratégie doit être complémentaire d'autres axes, car à lui seul, aucune filière de matériaux critiques ne peut être assurée par le recyclage. Nous devons partir du constat que les matériaux critiques sont peu recyclés, aussi bien en France (où les compétences et certaines filières existent), qu'au niveau européen comme le souligne le tableau suivant<sup>27</sup> :

<sup>25</sup> Règlement n° 2017/821 du Parlement européen et du Conseil du 17 mai 2017

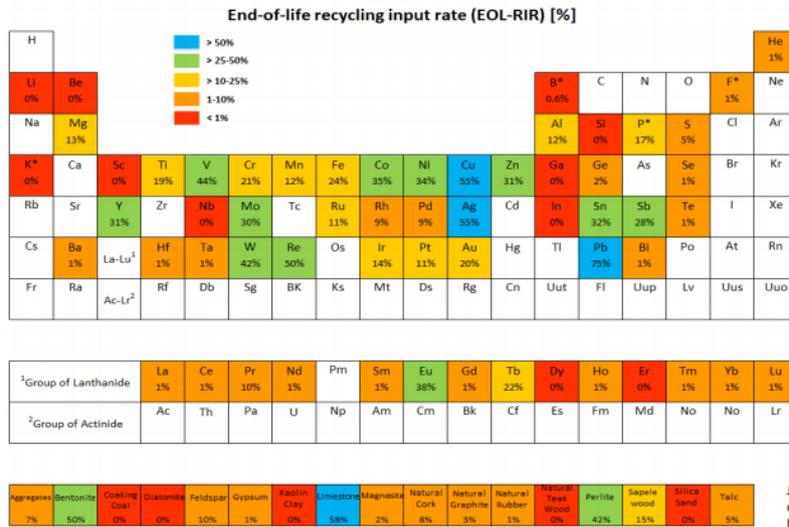
<sup>26</sup> Source : Era-mines

<sup>27</sup> Source JRC

End-of-life recycling input rates  
in EU 28



Raw Materials Initiative  
Circular Economy



\* F = Fluorspar; P = Phosphate rock; K = Potash; Si = Silicon metal; B=Borates.

Tableau 3 : taux de recyclage en fin de vie des éléments au sein de l'UE

Dans l'industrie automobile la directive de 2000 sur les Véhicules Hors d'Usage permet d'organiser un flux majeur des VHU vers des centres homologués, en réduisant les mises en décharge, en identifiant les composants dangereux pour l'environnement (comme ceux contenant du plomb) et permet d'augmenter l'accès à certains composants stratégiques comme les platinoïdes dans les lignes d'échappement, les composants électrique/électronique, et bien sûr l'aluminium, l'acier et les composants non-métalliques.

Source Comp.	Key CRM Equipment	Waste Type	CRMs	Required/Viable Input for End-processing	Current Economic Feasibility
Fluorescent powders	Fluorescent lamps	WEEE	Eu, Tb, Y, Ce, La	Fluorescent powder	No*
	CRT monitors and TVs		Y, Tb, Eu, Gd, La, Ce	Fluorescent powder	
Nd-magnets	Temperature exchange equipment (engine, compressor)	WEEE	Nd (+ Dy, Gd, Pr, Tb)	Magnets	No
	Household appliances other than temperature exchange equipment (motors/drives)				
	Laptops (HDD)				
	Desktop Computers, prof. IT (HDD)				
	BEV, (P)HEV (electro engine)				
Printed Circuit Board	Desktop computers, prof. IT	WEEE	Au, Ag, Bi, Pd, Sb	Entire devices w/o battery (mobile phones), PCBs (shredded, unshredded), CuPM granulate	Yes
	Laptops				
	Mobile phones				
	Tablets				
	External CDDs, ODDs, devices with internal CDDs/ODDs				
Li-ion batteries	Laptops	WEEE	Co	Batteries	Yes
	Mobile phones				
	Tablets				
	Li-ion batteries in other WEEE				
	BEV, (P)HEV				
NIMH battery	NIMH batteries in WEEE	WEEE	Co, Ce, La, Nd, Pr	Batteries	Yes (Co) No (REEs)
	HEV	ELV			
Lead acid batteries	Lead-acid batteries	WEEE	Sb	Batteries	Yes
		ELV			

\*Recent developments in countries outside the EU have been reported but detailed information about the economic feasibility is not yet available.

Tableau 4: exemple de matériaux stratégiques exploitables dans les Véhicules Hors d'Usage (ELV en anglais)<sup>28</sup>

De plus, le suivi des composants automobiles (composition chimique, origine, étiquetages de composants contenant du plomb par exemple) améliore le tri et l'alimentation des filières aval. Ainsi, la filière de recyclage des catalyseurs automobiles est particulièrement mature en Europe avec un taux de recyclage > 80%. Selon Johnson Matthey<sup>29</sup> le marché des PGM est alimenté à hauteur de 25% par du platine et palladium secondaires.

Dans un marché en forte croissance comme celui de l'électrification, les transitions technologiques sur les chimies des cathodes (moins riches en cobalt) et le temps long de disponibilité des déchets (batterie, machines électriques...), certaines filières de métaux critiques seront essentielles mais par exemple :

- selon une étude du cabinet [circularenergystorage](https://circularenergystorage.com)<sup>30</sup> le lithium recyclé ne pourra couvrir que 9 % du lithium nécessaire en 2025, alors que le cobalt recyclé couvrira 20% de la demande.

<sup>28</sup> <https://cewaste.eu>

<sup>29</sup> <https://matthey.com/en/news/2020/pgm-market-report-february-2020>

<sup>30</sup> <https://circularenergystorage.com/news/2017/11/30/press-release-recycled-lithium-to-reach-9-percent-of-total-lithium-battery-supply-in-2025>

-l'ADEME<sup>31</sup> précise également "qu'en raison de l'importance des tonnages de cuivre nécessaire à la transition énergétique, le cuivre recyclé en fin de vie ne représentera qu'un pourcentage très faible du cuivre produit",

- selon les projections du projet SCRREEN<sup>32</sup>, en maintenant les efforts de R&D au-delà de 2025, le Néodyme recyclé représentera 6-8% des besoins en 2030 et seulement 2-4% pour le Dysprosium.

Ainsi, l'approvisionnement en matières premières secondaires doit prendre en compte les considérations fondamentales suivantes :

- ❖ L'accès aux gisements et les flux de déchets contenant des matières stratégiques. Malheureusement une bonne partie des déchets à valeur économique positive quitte le marché communautaire (~50% des VHU) et ce flux de déchets n'est donc plus exploitable pour la filière européenne. Ce taux de fuite est estimé à 25% pour les véhicules PHEV<sup>33</sup>.
- ❖ La capacité technologique pour extraire et purifier la matière dans des assemblages à la complexité croissante, avec des teneurs en matière critique de plus en plus faible qui au final peuvent être mélangées à de nombreuses impuretés.
- ❖ Des déchets automobiles riches ou dispersés. Un exemple de matériaux dispersé est celui des terres rares légères qui se répartissent en milligrammes dans de nombreux composants électriques ou électroniques: diodes, capteurs, écran, cartes électroniques...
- ❖ Le temps d'immobilisation du matériau. Dans le cas de l'automobile, la majeure partie des composants de première monte, à forte valeur ajoutée sont réutilisés (rechange, réparation, 2<sup>de</sup> vie...). Puis, dans certains cas un troisième marché peut exister hors domaine automobile (par exemple, des batteries de traction converties en stockage stationnaire). Considérant que l'âge moyen des véhicules en Europe est de 12ans, mais que l'âge des véhicules en fin de vie est de plus de 15 ans, de nombreux déchets automobiles ne seront pas disponibles avant plus 15ans.
- ❖ Mais le principal frein au recyclage est le bilan technico-économique sur le long terme. Du fait des optimisations des usages, il faut traiter des concentrations souvent faibles qui nécessite des tris, installations et procédés souvent complexes dans le respect des meilleures pratiques. Comme nous l'avons vu les temps d'immobilisation peuvent être longs et certaines ruptures technologiques peuvent limiter les ressources sur le long terme (batteries NiMeH remplacées par des batteries Lithium-ion, substitution progressive des terres rares lourdes des aimants permanents...).

Afin de disposer d'un écosystème depuis le démontage, les technologies de recyclage et les débouchés des produits, la filière automobile s'est engagée dans des travaux en partenariat avec les pouvoirs publics et différentes filières industrielles, au travers:

<sup>31</sup> ADEME, fiche technique de juin 2017, Alain Geldron

<sup>32</sup> <http://screen.eu/results/>

<sup>33</sup> <https://pfa-auto.fr/wp-content/uploads/2019/06/PTF-Recyclage-batterie-lithium.pdf>

- des recommandations du COMES pour le développement de compétences industrielles françaises dans le recyclage des métaux critiques<sup>34</sup>,
- de groupe de travail sur l'économie circulaire lié aux batteries et aux véhicules hors d'usage de demain, issu du contrat de filière du CSF Mines et Métallurgie de 2019<sup>35</sup>,
- du projet structurant « Développement d'une filière intégrée de recyclage des batteries lithium<sup>36</sup> » du CSF Mines et Métallurgie,
- d'études pour la création d'une filière de recyclage des aimants dans les secteurs clés des transports, de l'énergie, de l'électronique, des biens de consommation...Ainsi plusieurs scénarii sont à l'étude pour extraire certains métaux stratégiques comme le Nickel, Cobalt ou de proposer des poudres de terres rares pour l'industrie des matériaux magnétiques.

#### 4.5. La R&D

Cette stratégie sur le moyen-long terme pourra mener à la substitution ou à la rupture technologique permettant de diminuer ou annuler une dépendance. Elle sera donc un axe fort d'agilité dès l'ors qu'elle sera associée à une politique de long terme (politique d'innovation). Ce soutien à la R&D est largement acquis dans l'industrie automobile au travers de tout son écosystème :

- Au niveau international, au travers du projet ERAMIN<sup>237</sup>
- A l'échelle européenne, grâce au Projet Important d'Intérêt Européen Commun visant à soutenir la recherche et l'innovation dans le secteur prioritaire des batteries<sup>38</sup>.
- Au plan national, au travers des différents soutiens à la recherche et l'innovation industrielle, la politique des pôles de compétitivité ou le programme investissements d'avenir (PIA)
- Au niveau régional, grâce notamment aux pôles de compétitivité, ayant pour mission d'accompagner les projets de R&D notamment des PME ou les plateformes de transferts de technologie des instituts de recherche technologique (IRT) ou des instituts pour la transition énergétique (ITE). Ainsi, pour l'expression des besoins stratégiques de la filière automobile et mobilité, la PFA dispose d'une plateforme d'open Innovation<sup>39</sup>

Cette dynamique forte de R&D s'est traduite pour le recyclage des matériaux critiques par plus de 180 projets lancés en France ces 10 derniers années<sup>40</sup>.

Citons par exemple des attendues fortes pour les projets portant sur les platinoïdes, les terres rares et certains composants critiques pour le véhicule électrique et connecté :

<sup>34</sup> <http://www.mineralinfo.fr/actualites/recommandations-comite-metiaux-strategiques-comes-developpement-competences-industrielles>

<sup>35</sup> [https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions\\_services/conseil-national-industrie/Contrats\\_de\\_filières/dossier-presse-CSF-mines-et-metallurgie-18012019.pdf](https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/conseil-national-industrie/Contrats_de_filières/dossier-presse-CSF-mines-et-metallurgie-18012019.pdf)

<sup>36</sup> <https://pfa-auto.fr/wp-content/uploads/2019/06/PTF-Recyclage-batterie-lithium.pdf>

<sup>37</sup> <https://www.era-min.eu/>

<sup>38</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_19\\_6705](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6705)

<sup>39</sup> <http://www.inovev.com/index.php/fr/pfa-auto>

<sup>40</sup> <https://www.industrie-techno.com/article/metaux-rares-a-consommer-avec-moderation.52708>

Project	Full name	Links	CRM relevance
MICA	Mineral Intelligence Capacity Analysis	<a href="http://www.micaproject.eu">http://www.micaproject.eu</a>	Mica
METGrow+	Metal Recovery from Low Grade Ores and wastes	<a href="http://metgrowplus.eu">http://metgrowplus.eu</a>	Ni, Cu, Zn, Co, In, Ga, Ge
ADIR	Next generation urban mining - Automated disassembly, separation and recovery of valuable materials from E/E equipment	<a href="http://www.adir.eu/">http://www.adir.eu/</a>	REEs, Ta, Ge, Co, Pd, Ga, W
AVAR	Added Value Alumina Refining	<a href="https://eitrawmaterials.eu/project/avar/">https://eitrawmaterials.eu/project/avar/</a>	Gallium, Vanadium
CloseWEEE	Integrated solutions for pre-processing E/E equipment, closing the loop of post-consumer high-grade plastics, and advanced recovery of critical raw materials antimony and graphite	<a href="http://closeweee.eu/">http://closeweee.eu/</a>	critical minerals and metals
CYCLED	Cycling resources embedded in systems containing Light Emitting Diodes	<a href="http://www.cyc-led.eu/">http://www.cyc-led.eu/</a>	Ga, In, REEs, Au, Ag, Sn
PLATIRUS	PLATInum group metals Recovery Using Secondary raw materials	<a href="http://www.platirus.eu/">http://www.platirus.eu/</a>	PGMs
PARTIAL-PGMs	Development of novel, high-performance hybrid TWV/GPF automotive after-treatment systems by rational design: substitution of PGMs and Rare Earth materials	<a href="https://www.partial-pgms.eu/">https://www.partial-pgms.eu/</a>	PGMs, REEs
REE4EU	Integrated high temperature electrolysis (HTE) and Ion Liquid Extraction (ILE) for a strong and independent European	<a href="http://www.ree4eu.eu/">http://www.ree4eu.eu/</a>	REEs

Tableau 5: Exemples de projets sur l'approvisionnement ou le recyclage des matériaux critiques<sup>41</sup>

Toutes les filières industrielles cherchant à avoir une utilisation efficace de leurs usages en matériaux stratégiques, seule la R&D couvre l'ensemble des besoins depuis les briques scientifiques & technologiques, depuis la conception à l'économie circulaire. Les publications associées à ces activités de R&D sont également des leviers d'attractivité forts.

#### 4.6. L'intelligence économique (IE)

Ce levier, selon les enjeux, peut se construire au niveau des sociétés, des groupes ou des filières. Il ne sera pas fait référence à ces possibilités au niveau des entreprises, chacun des acteurs de la filière restant maître de sa stratégie propre. La priorité est bien de disposer d'outils, afin de proposer les meilleures orientations et briques de décisions afin de consolider les stratégies de sécurisation et ainsi mieux anticiper les évolutions majeures. Cette intelligence économique est indispensable pour consolider les hypothèses

<sup>41</sup> Sources: CORDIS, H2020, JRC, ERA-NET, EIT Raw Materials websites and databases

des outils de prospective pouvant impacter la chaîne de valeur depuis l'extraction minière jusqu'aux technologies de commercialisation.

L'IE va s'appuyer sur différents réseaux présents dans l'écosystème automobile et connexe. Dans le cadre de la PFA un exemple d'écosystème qui est activé pour une veille d'IE est le suivant :



Figure 12: écosystème de la PFA pour l'intelligence économique

## 5. Conclusion

Comme nous l'avons vu, une grande partie des éléments de la classification périodique des éléments est utilisée dans l'industrie automobile, avec une chaîne logistique parfois complexe et une chaîne de valeurs très spécifique. Certaines matières premières sont stratégiques et indispensables à l'activité de la filière et de son écosystème. Leur approvisionnement est critique face aux nombreux enjeux économiques (importance financières, concentration des acteurs), financières (investissement et retour sur investissement, montants des investissements, stratégie de long terme...), géopolitiques (gestion des ressources, politique de gouvernance, d'exportation...), technologique (difficulté de substitution, défis d'extraction, défis des filières de recyclage..) ou encore géologiques, environnemental et sociétal.

Face à ces nombreux enjeux et à l'importance de leur poids dans l'industrie automobile, il est essentiel pour les industriels de diminuer la vulnérabilité via une dépendance grandissante aux différentes matières critiques. Pour cela différentes stratégies peuvent

être mise en place en prenant en compte l'important de la matière dans les revenus de l'entreprise, une meilleure connaissance de la boucle d'approvisionnement, la capacité à piloter un plan de substitution et d'innovation de long terme, de faciliter l'intégration de l'économie circulaire (en amont et en aval), tout en anticipant les futures contraintes réglementaires environnementales, sociétales, sans oublier les concurrences éventuelles entre filières industrielles.

Ainsi la mise en place de ces leviers stratégiques permettront de mieux accompagner la transition énergétique, écologique, responsable et respectueuse de l'environnement pour atteindre une neutralité carbone, telle que définie dans le pacte vert Européen, où les matériaux critiques auront une grande importance.