

**Recommandations du Comité des Métaux Stratégiques pour le développement de compétences industrielles françaises dans le recyclage des métaux critiques**

Le développement des technologies de l'information et de la communication, des énergies renouvelables et de l'électromobilité conduit à une demande sans cesse croissante pour certains métaux critiques dans un contexte où la consommation mondiale des ressources doublerait entre 2010 et 2030 suivant un scénario « business as usual » tirée par la demande asiatique et essentiellement chinoise

Sécuriser l'approvisionnement de nos industries en matières premières critiques revêt un intérêt stratégique car nous dépendons dans une large mesure, soit directement en matières de base soit au travers de composants industriels, des importations. Ceci renforce la nécessité de garantir un accès sûr à ces matières et d'en diversifier l'approvisionnement, notamment par le développement du recyclage. La troisième évaluation conduite par la Commission européenne a permis d'identifier 27 matières premières critiques pour l'UE <sup>1</sup>. Cette liste vise entre autres à stimuler la production européenne de matières premières critiques en renforçant les activités de recyclage et, le cas échéant, à faciliter le lancement de nouvelles activités minières.

<b>Métaux critiques</b>			
<b>Antimoine</b>	<b>Fluorspar</b>	<b>Terres rares légères</b>	<b>Phosphore</b>
<b>Baryte</b>	<b>Gallium</b>	<b>Magnésium</b>	<b>Scandium</b>
<b>Beryllium</b>	<b>Germanium</b>	<b>Graphite naturel</b>	<b>Silice métal</b>
<b>Bismuth</b>	<b>Hafnium</b>	<b>Caoutchouc naturel</b>	<b>Tantale</b>
<b>Borate</b>	<b>Helium</b>	<b>Niobium</b>	<b>Tungstène</b>
<b>Cobalt</b>	<b>Terres rares lourdes</b>	<b>Platinoïdes</b>	<b>Vanadium</b>
<b>Coke de chauffe</b>	<b>Indium</b>	<b>Phosphate roc</b>	

*Fig. 1 : Liste 2017 des 27 matières premières critiques pour l'Union Européenne*

La gestion de la fin de vie des équipements qui contiennent des métaux critiques pose donc la question de leur recyclage afin de produire des matières premières issues du recyclage. Cependant la part d'approvisionnement des ressources secondaires dans l'approvisionnement en matières premières reste faible, malgré les nombreux projets de R&D conduits ces dernières années dans le domaine de l'extraction des métaux critiques contenus dans nos déchets.

Or, la valorisation de ces "matières premières secondaires" permet non seulement de réduire la consommation de métaux primaires, d'assurer une partie de la sécurité de l'approvisionnement en matières premières de l'industrie européenne, de diminuer les quantités de déchets ultimes à stocker, mais aussi de diminuer la consommation d'énergie - puisque la production de métal à partir de matières recyclées est généralement moins énergivore que la transformation du minerai. Elle offre en outre des opportunités de développement et de revitalisation du tissu industriel métallurgique.

<sup>1</sup> Communication de la Commission au Parlement Européen, au Conseil, au Comité Economique et Social Européen et au comité des Régions relative à la liste 2017 des matières premières critiques pour l'UE.

Il convient d'avoir à l'esprit que plus une matière à une croissance forte et une durée d'usage dans l'équipement longue moins les déchets générés peuvent satisfaire ladite demande. Ce qui n'enlève en rien l'intérêt de développer le recyclage notamment dans une perspective à terme de la stabilisation de la demande.

Au regard du tissu industriel métallurgique français, des soutiens déjà accordés aux travaux de recherche et développement dans le domaine du recyclage des métaux critiques, il apparaît opportun d'accroître le développement des activités de recyclage des métaux critiques.

Les recommandations du Comité des métaux stratégiques présentées dans cet avis visent à développer les compétences industrielles françaises dans le recyclage des métaux critiques en renforçant les filières de collecte des gisements ciblés (Déchets d'équipements électriques et électroniques - DEEE, Piles et accumulateurs, Véhicules hors d'usage – VHU, ...) tout en capitalisant sur les points forts de l'industrie métallurgique française.

### 1. La France dispose d'un solide tissu d'entreprises métallurgiques de première et de seconde transformation

Il ressort de l'inventaire :

- des métallurgistes leaders mondiaux dans leur spécialité : ERAMET, ORANO, Nyrstar
- des métallurgistes leaders sur des marchés de niche : SOLVAY,
- un tissu d'acteurs en croissance fortement impliqué dans les travaux de R&D (SNAM, SARPI, Terra Nova Développement, Bigarren Bizi ...) et des acteurs institutionnels historiquement compétents (CEA, CNRS, BRGM)
- une offre industrielle française en matière de recyclage des métaux structurée autour de 4 grands marchés :
  - Recyclage des métaux des DEEE, avec l'émergence d'acteurs positionnés en aval des entreprises de la collecte et du traitement ;
  - Recyclage des batteries ;
  - Recyclage des VHU ;
  - Recyclage des catalyseurs

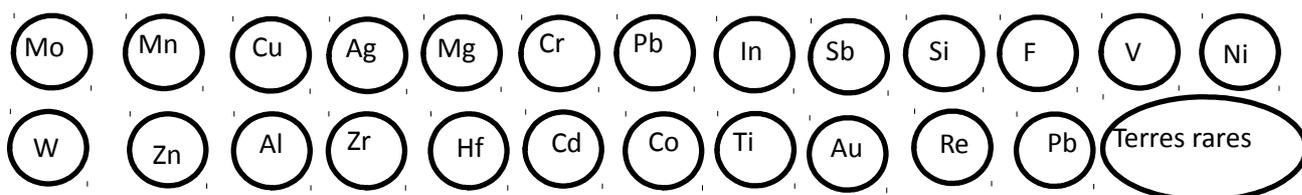


Fig. 2 : Production de métaux primaires et secondaires en France

### 2. Opportunités de recyclage de métaux stratégiques issus des DEEE

Les équipements électriques et électroniques (EEE) représentent 17 à 24 kilogrammes de déchets par personne et par an en France pour les seuls déchets ménagers<sup>2</sup>. Cette quantité de déchets augmente, dans le Monde, de 3 à 5 % par an avec la pénétration toujours plus importante des appareils

<sup>2</sup> ADEME - Projet de quantification des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) en France

électroniques et multimédias dans les foyers<sup>3</sup>. Le stock des seuls téléphones portables, et autres ordinateurs, au bureau ou à la maison, représente en France 160 millions de produits.

Le spectre des métaux présents dans les déchets électroniques est très variable et dépend fortement de facteurs tels que le type d'appareil électronique, le modèle, le fabricant ou la date de fabrication. Les métaux les plus présents (en quantité) sont : l'acier (47,8%), le cuivre, l'étain, le cobalt, l'indium et le tantale<sup>4</sup>.

Des métaux tels que l'or, l'argent, le silicium, le palladium, le platine, le lithium, le magnésium, le nickel, le molybdène, le niobium, le dysprosium, l'erbium, le gallium, l'indium, le néodyme, le praséodyme, le rhodium, le samarium, le terbium et l'yttrium, sont également largement employés et se retrouvent en des concentrations souvent très nettement supérieures à celles des gisements naturels.

Sur le territoire national, 497 sites sont habilités à traiter les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE). Certains composants contenant des métaux présentant un danger ou un intérêt spécifique doivent, selon la réglementation européenne, être séparés lors du traitement afin de mieux les valoriser : cartes électroniques, écrans à cristaux liquides, lampes à décharge, piles et accumulateurs, tubes cathodiques.

Le marché mondial des broyats de déchets électroniques et électriques est évalué à 43,7 millions de tonnes pour une valeur de 55,34 milliards de dollars en 2015. Le marché des cartes électroniques représentait 1,46 Mt en 2015 et devrait atteindre 3,14 Mt en 2026 sur la base d'une croissance annuelle de 7,3%.<sup>5</sup>

Le gisement européen des cartes électroniques (250 000 t/an) est en forte augmentation mais il est peu valorisé sur le territoire français. Le prix moyen des cartes est de l'ordre de 2500 €/t et les métaux contenus de l'ordre de 6000 €/t ce qui nous donne un marché de déchets européen de 550 M€ et de métaux contenus de 1,5 milliards d'Euros.

En France le gisement est estimé à 25 000 t dont seulement 12 600 sont traitées ce qui fait perdre 4 tonnes d'or pour un manque à gagner de 120 millions d'euros.

Ce marché présente un réel enjeu car la captation de la valeur réside non pas dans la purification finale des métaux mais dans l'obtention de concentrés ayant des teneurs en métaux valorisables très élevés. Toutefois, ce flux de déchets est, comme beaucoup de flux de déchets, relativement hétérogène. Il est couramment distingué plusieurs qualités de cartes (cartes riches / cartes pauvres) sur la base des contenus en or qui ne présentent pas les mêmes compositions et donc pas le même bilan économique lors de leur recyclage.

Capoter ce gisement constitue un enjeu fort pour certaines PME innovantes françaises du recyclage (Terra Nova Développement, Morphosis, Valorema, Bigarren Bizi). L'Etat a d'ailleurs investi plus de 100 millions d'euros ces dernières années pour soutenir leur développement afin de permettre la réalisation des opérations les plus complexes (dépollution, séparation et affinage des métaux précieux), avec pour objectif le traitement local et la commercialisation des matières. Ces technologies de rupture développées avec les concours de l'Etat sont des alternatives crédibles aux procédés mis en

<sup>3</sup> Aujourd'hui, il y a dans le monde 15 milliards d'objets connectés, en 2030, ce chiffre devrait passer à 50 milliards. L'Université des Nations Unies dans son rapport « The global E-waste monitor 2017 » estime la production mondiale de déchets électroniques à 44,7 Mt en 2016 et prévoit une augmentation de 17 % d'ici à 2021, soit 54,1 Mt.

<sup>4</sup> ADEME, Rapport annuel du registre des Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques. Données 2016

<sup>5</sup> Source : Transparency Market Research - E-Scrap and Printed Circuit Board (PCB) E-Scrap Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2016 - 2026

œuvre par les gros acteurs étrangers comme Umicore, Aurubis et Boliden sur la base de procédés issus du traitement de minerais.

Ces procédés de recyclage plus directs (en termes de nombre d'étapes) et moins lourds (en termes de réactifs utilisés, de matériel nécessaire) pour la récupération sont de nature à donner à la France l'opportunité de développer une politique industrielle ambitieuse de valorisation du stock de ressources jugées les plus stratégiques (notamment de métaux critiques) contenues dans les déchets. Les brevets associés au développement de ces derniers doivent être sécurisés afin de garantir que le savoir-faire acquis restera français (*licensing, séparation des activités de recherche de celles de production*).

La montée en puissance des investissements consentis par les industriels permettrait d'envisager le traitement d'une part plus importante du tonnage de cartes électroniques collectées en France et en Europe. D'ici 2020, les installations françaises pourraient être à même de doubler le tonnage de cartes électroniques traité annuellement, pour un chiffre d'affaires supérieur à 200 millions d'euros<sup>6</sup>.

Par ailleurs, si l'on veut maximiser la valeur ajoutée du recyclage des cartes électroniques et pérenniser leur recyclage, il convient de mettre en œuvre des partenariats entre les différents acteurs de la chaîne du recyclage, notamment en amont avec les éco-organismes, afin de massifier les flux et de garantir un approvisionnement satisfaisant de la filière nationale en cours de développement.

**Recommandation n°1 : Réaliser une étude technico-économique dédiée au développement des compétences industrielles françaises dans le recyclage des cartes électroniques qui intégrera :**

- **une analyse des gisements théoriques et collectés (nationaux et européen), des capacités de massification, des coûts d'accessibilité (collecte, démantèlement, massification) ;**
- **une analyse de la chaîne de valeur du recyclage (Capacités extractives installées sur le territoire national, rentabilité des procédés existants ou développés dans le cadre du PIA sur les marchés cibles, coûts de revente des métaux ciblés, évolutions des cours attendues au regard de l'évolution de la demande, adéquation de l'offre potentielle avec les besoins des industriels français) ;**
- **identification des technologies de rupture susceptibles d'être développées en Europe et évaluation des stratégies partenariales avec les acteurs identifiés.**

**Recommandation n° 2 : Poursuivre le développement d'une filière nationale de recyclage des métaux stratégiques contenus dans les DEEE basée sur les briques technologiques développées dans le cadre du Programme des Investissements d'Avenir (PIA). A cette fin, l'accompagnement des industriels dans leur recherche de financement doit être renforcé, notamment en sensibilisant les financeurs aux spécificités du recyclage des métaux stratégiques<sup>7</sup>.**

Etant donné que les barrières à l'entrée sur ces domaines sont élevées, des opportunités se situent sur des métaux spécifiques tels que le silicium, l'indium et l'antimoine pour lesquels la France a, de par ses installations industrielles métallurgiques, une expertise unique.

---

<sup>6</sup> Concrètement, pour une tonne de cartes électroniques achetée à un prix moyen entre 1000 et 4500 €/ tonne, il est envisageable de revendre jusqu'à plus de 12 000 € certains métaux et polymères suivant la qualité des cartes.

<sup>7</sup> Les PME et les start-up de ce secteur attirent très peu les financeurs du fait que la plupart de leurs modèles de développement nécessitent un niveau élevé d'investissement en capital, et présentent un temps de retour sur investissement de 7 et 10 ans en moyenne.

A ce titre, l'usine Nyrstar d'Auby offre l'opportunité d'envisager une filière de recyclage de l'indium<sup>8</sup> contenu dans les écrans plats en France, grâce au savoir-faire spécifique de Nyrstar France<sup>9</sup> qui produit de l'indium de très haute pureté à partir de co-produits issus de certains traitements d'extraction du zinc. Toutefois cette perspective est fortement dépendante du cours de la matière première et de la possibilité de valoriser des sous-produits au lieu d'avoir à éliminer des déchets issus du traitement.

De même, la France est l'un des rares pays européens à disposer de capacités de raffinage d'antimoine grâce aux installations industrielles du groupe AMG (SICA France, PCDL Lucette). Aujourd'hui le minerai et les composés d'antimoine sont importés majoritairement de Chine. Il s'agit du métal dont le niveau de réserve est le plus bas par rapport à la consommation actuelle avec un horizon de 10 ans seulement. Or des procédés innovants de traitement des plastiques bromés sont à même d'offrir concomitamment à la gestion environnementale de ces déchets l'opportunité de récupérer le brome et de produire de l'antimoine pur.

**Recommandation n°3 : Poursuivre les efforts de R&D en matière de séparation et d'extraction de l'indium contenus dans les écrans plats.**

**Recommandation n°4 : Créer les conditions pour permettre le traitement des plastiques bromés afin de récupérer le brome et de produire de l'antimoine pur susceptible d'alimenter les installations industrielles françaises utilisant ces métaux.**

### 3. Opportunités de recyclage des aimants permanents avec terres rares

L'usage accru des aimants permanents au sein des équipements électroniques, des installations de production d'énergie renouvelable (turbine des éoliennes) ou des moteurs électriques amène un flux croissant de petits et gros aimants avec terres rares à recycler. Des métaux critiques comme le cobalt, les terres rares (néodyme, praséodyme, dysprosium, terbium) ou le nickel peuvent être récupérés dans ces aimants<sup>10</sup>.

Actuellement, faute d'acteurs français sur le recyclage des aimants, des gisements conséquents sont susceptibles d'être exportés, notamment vers des installations mettant en œuvre des procédés de recyclage à petite échelle.

Or au regard d'un marché mondial en forte croissance (14,9 Mds \$ en 2016 avec une croissance de 8 % par an pour une cible à 22,67 Mds \$ en 2021), il convient de s'interroger sur la pertinence d'une production secondaire française de métaux entrant dans la composition des aimants permanents à terres rares compte tenu que :

- la Chine a le quasi-monopole sur la production des aimants à terres rares (75 % de la production mondiale), auquel il convient de rajouter le monopole sur la production des terres rares ;
- à l'échelle européenne un taux de recyclage de 10 % de néodyme, praséodyme, et dysprosium peut être envisagé tout en sachant que la durée d'immobilisation des plus gros aimants permanents à terre rare est étroitement liée à la durée d'usage des éoliennes<sup>11</sup> ;

---

<sup>8</sup> L'indium est un métal sous-produit de l'industrie minière du plomb et du zinc. L'indium est très largement utilisé par l'industrie de haute technologie car bon conducteur et transparent. Utilisé sous forme d'ITO (*indium tin oxyde*), il sert à fabriquer des semi-conducteurs transparents, notamment utilisés dans les écrans plats.

<sup>9</sup> Nyrstar France est l'une des 5 raffineries de Zinc du Groupe. L'usine assure 1/3 de la production mondiale d'Indium (40t/an d'Indium). 172 000 T/an de Zinc cathodes sont également produites.

<sup>10</sup> Environ 650 kg d'aimants à terre rare sont utilisés par MW pour les éoliennes à vitesse variable et 150 kg d'aimants pour celles à vitesse constante. La demande européenne en néodyme est évaluée à 7 427 t, à 2 476 t de praséodyme, et à 1 485 t de dysprosium en 2030 (scénario moyen).

<sup>11</sup> Commission Européenne – Assessment of potential bottlenecks along the materials supply chain for the future deployment of low-carbon energy and transport technologies in the EU – 2016

- les besoins en terres rares pour la mobilité électrique (certains moteurs et batteries utilisés dans le cadre de la mobilité électrique) sont accrus.

Au regard des projets R&D sur la séparation et l'extraction des terres rares, du nickel et du cobalt des aimants permanents conduits en France (RECVAl-HPM, EXTRADE...), il apparaît opportun de soutenir les voies de valorisation les plus disruptives afin de permettre une relocalisation de certaines activités de recyclage au plus près des gisements de déchets. A ce titre, il convient de favoriser une « stratégie concertée entre industriels pour la récupération des aimants permanents » afin d'assurer un flux d'aimants à recycler français et européen suffisant, pour pérenniser les efforts et garantir la rentabilité d'une installation de traitement. Le démantèlement des aimants (notamment ceux contenus dans les DEEE) devra être investigué en termes de faisabilité technique et de coût de démantèlement selon le degré d'automatisation mais également de débouchés marchands.

**Recommandation n°5 : Réaliser une étude technico-économique de la « filière aimant permanent avec terres rares », avec caractérisation des gisements et propositions opérationnelles pour la mise en place d'une filière aimant à partir de technologies issues de la R&D française. L'opportunité du développement d'une installation de remanufacturing d'aimants permanents devra être évaluée, en particulier au regard de l'évolution envisagée des technologies d'aimants.**

#### **4. Opportunités de recyclage des piles, batteries et les accumulateurs**

Étant des concentrés de métaux, les piles, batteries et les accumulateurs représentent réellement une mine urbaine. Le recyclage de ceux-ci doit être un axe prioritaire d'autant que la France dispose d'installations industrielles parmi les plus performantes au monde (Valdi, SNAM, Veolia (SARP Industries), Récupyl...). En outre, les travaux de R&D pour la récupération des métaux stratégiques dans les piles, batteries et les accumulateurs sont importants en France, notamment au regard du développement de la mobilité électrique. Les acteurs ont déjà développé des procédés répondant à ces futurs besoins, que ce soit pour les voitures électriques ou les hybrides<sup>12</sup>.

Les piles et accumulateurs concentrent des métaux stratégiques comme le cobalt, les terres rares, le lithium et le nickel et leur recyclage revêt un caractère stratégique compte tenu des prix élevés et volatils de certains métaux.

Les batteries NiMH et Lithium-ion sont actuellement principalement impactées par cet enjeu. En effet, les batteries Nickel-Métal Hydrure (NiMH) contiennent, selon les technologies, environ 24 % de nickel, et de faibles quantités de cobalt (2 à 3 %) et de terres rares (en moyenne 4 %, en majorité néodyme, praséodyme, lantane, cérium). Au regard des 3 692 tonnes d'accumulateurs NiMH mis sur le marché en 2016 (toutes natures confondues) cela représente un gisement potentiel de 73 tonnes de cobalt, 886 tonnes de nickel et 147 tonnes de terres rares.

De même, les batteries Lithium-ion (Li-ion) contiennent environ 10 % de cobalt, de faibles quantités de lithium (environ 2 %). Les 14 738 tonnes d'accumulateurs Li-ion mis sur le marché en 2016 représentent donc un gisement potentiel de 1 473 tonnes de cobalt et 294 tonnes de lithium. D'importants travaux de R&D ont été menés pour la mise au point de nouvelles filières de production de lithium primaire (Eramet), mais la France manque aujourd'hui d'une filière de recyclage du lithium secondaire. Eramet et Veolia pourraient être des acteurs français qui possèdent des compétences dans ce domaine.

---

<sup>12</sup> Le développement de la mobilité électrique en Europe en 2015 a créé une demande de 510 t de cobalt et de 8 330 t de graphite pour la fabrication des batteries. Si l'on prend en compte les moteurs électriques utilisant des terres rares, 50 t de néodyme, 16 t de praséodyme et 16 t de dysprosium ont été utilisés en 2016.

Par ailleurs, le recyclage des batteries offre l'opportunité de récupérer et de valoriser des métaux plus classiques en mélange, qui peuvent être vendus ensuite sur deux segments de marchés : acier inox et acier carbone.

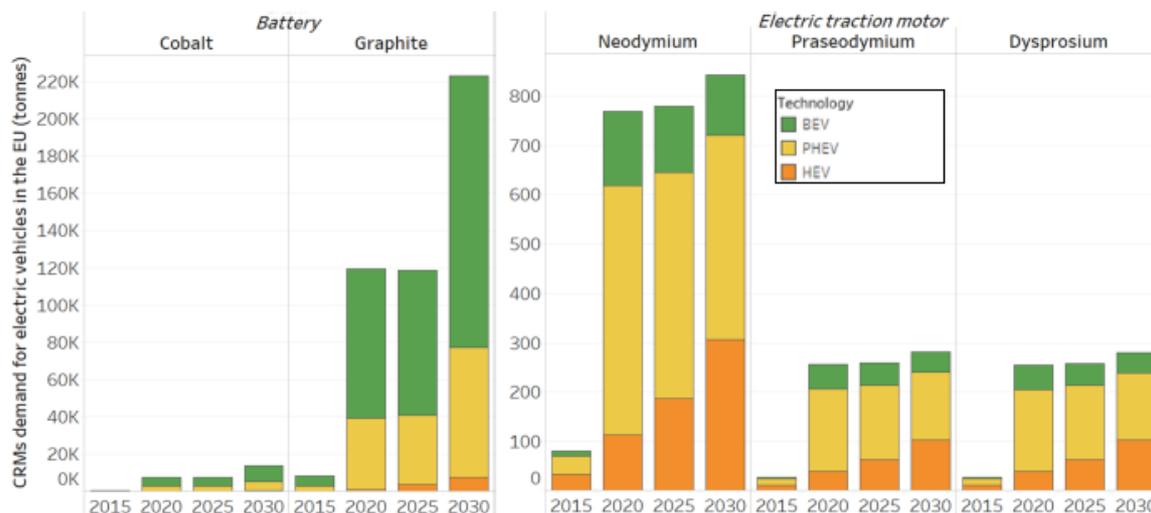


Fig. 3 : Evolution de la demande en métaux critiques en Europe pour le segment des véhicules hybrides et électriques (Source Commission Européenne<sup>13</sup>).

Cette opportunité impose la poursuite de la R&D sur le **recyclage des alliages complexes et techniques**. En effet, ces alliages étant de plus en plus utilisés dans l'industrie, les acteurs du recyclage doivent anticiper cette complexité pour pouvoir réutiliser la matière sans contamination et éviter ainsi le downcycling. A ce titre, l'expertise des industriels spécialisés dans le recyclage des batteries est un atout.

**Recommandation n°6 :** Afin d'augmenter sensiblement le taux de collecte des piles et accumulateurs portables et de garantir un approvisionnement satisfaisant des installations françaises, les éco-organismes de la filière REP Piles et accumulateurs portables doivent accentuer la sensibilisation du public et des acteurs économiques sur la collecte des piles et accumulateurs usagés. Ils doivent également stimuler les investissements dans la R&D et la mise en œuvre du recyclage – à la fois pour les flux où les capacités techniques existent dans le territoire et pour anticiper l'arrivée des nouveaux flux.

**Recommandation n°7 :** La France doit poursuivre les efforts menés pour recycler les métaux critiques contenus dans les batteries de nouvelle génération, les piles et accumulateurs, notamment le cobalt, le nickel, le lithium et les terres rares dans la perspective de fournir les matières premières nécessaires à l'émergence d'une offre industrielle française et européenne en matière de batteries. Cela implique une réflexion sur la structuration de la filière de recyclage des batteries industrielles et de la chaîne de valeur de la filière batteries.

## 5. Étapes amont : caractérisation des gisements, collecte et tri

Le recyclage des métaux stratégiques dispersés est complexe. Ceux-ci sont contenus dans des assemblages et alliages industriels différents des gisements polymétalliques naturels. Leur recyclage demande au préalable une caractérisation très fine, des dislocations, des séparations innovantes avant les étapes d'hydrométallurgie ou de pyrométallurgie plus classiques.

<sup>13</sup> Commission européenne – Critical raw material and the circular economy – Décembre 2017

L'enjeu de la caractérisation des gisements de déchets et des flux associés est essentiel afin de fournir une base de données complète sur les sources de matières premières secondaires ainsi que les possibilités ou limites d'une gestion spécifique des flux des matériaux. Cela implique entre autre d'identifier et de quantifier des matières premières stratégiques dans le circuit économique existant et de pronostiquer les changements attendus. En outre, certains métaux stratégiques largement utilisés aujourd'hui ne seront disponibles au recyclage que dans quelques années ; aussi convient-il de s'interroger sur les possibilités de stockage provisoire des fractions concentrées en métaux stratégiques, afin d'être à même de les recycler dans des conditions viables d'un point de vue économique et écologique.

Avec la caractérisation des gisements et des flux, la qualité du démantèlement et du tri est essentielle afin d'obtenir des matières de qualité à des coûts permettant la rentabilité des opérations de recyclage.

A court terme, la France peut capitaliser sur la présence d'acteurs industriels importants sur l'amont de la chaîne de valeur, notamment sur la séparation et le tri des métaux-non ferreux, ainsi que de plusieurs fournisseurs de technologies, notamment sur les technologies de tri (sociétés Eurecat, MTB, Pellenc ST, Bertin Technologies). Néanmoins, il existe un besoin de R&D pour développer ou combiner des techniques permettant un tri plus poussé et sélectif via un tri haute fréquence de fractions plus ou moins complexes, inférieures à 5 cm voire infra-centimétriques, combinant des technologies de détection (ex : fluorescence, tri optique...) et de sélection (tri granulométrique...). Ces travaux pourront aussi bénéficier à une meilleure séparation des fractions de métaux ferreux et non-ferreux.

**Recommandation n°8 : Développer des technologies de rupture permettant la caractérisation en ligne des flux et le tri des matières pour améliorer les processus de traitement.**

## **6. Opportunités de recyclage des métaux stratégiques issus des procédés industriels**

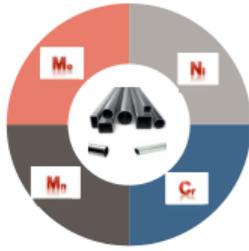
Pour exploiter des flux importants et concentrés en métaux stratégiques, la France devrait développer des procédés peu coûteux et efficaces pour la récupération de métaux critiques (PGM, Ni, Cr, Co notamment) contenus dans les liquides et les effluents issus de process de production industrielle.

Actuellement, certaines sociétés facturent à un prix élevé le traitement de ces effluents industriels, sans forcément récupérer tous les métaux possibles (exemple du nickel, du chrome et du cobalt issus de l'activité de traitement de surface). Or de nombreux acteurs français, principalement académiques, ont développés des procédés innovants afin de récupérer les métaux contenus dans les effluents industriels. Il conviendrait en conséquence de favoriser l'émergence de partenariats public-privé afin de susciter l'industrialisation de ces procédés.

Par ailleurs, certains résidus miniers contiennent des métaux de base (tels que Cu, Zn, Pb et Ni) et aussi des métaux rares, associés en faible quantité aux métaux de base dans le gisement (tels que Ga, In, Ta, Ag, W, etc.). Ceux-ci offriraient l'occasion de sécuriser l'approvisionnement français. Néanmoins, il convient de poursuivre l'évaluation du potentiel de récupération des métaux de base et de métaux rares dans certains stocks historiques de résidus de traitement parallèlement à la poursuite des travaux de R&D.

Enfin, le recyclage des catalyseurs utilisés dans le raffinage pétrolier offre l'opportunité de récupérer des métaux tels que le molybdène, le vanadium, le nickel, le cobalt et l'alumine, qui peuvent ensuite être valorisés afin de produire des alliages ferreux dans les segments de marché des aciers inox ou aciers carbonés.

### Aciers Inox



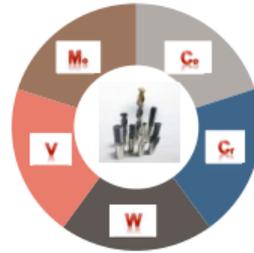
**Alliages FeNiMo :** jusqu'à 28% Mo

**Alliages FeMnNi :** jusqu'à 27% Mn

**Alliages FeNi :** jusqu'à 50% Ni

**Sels CaMo :** jusqu'à 48% Mo

### Aciers rapides



**Alliages FeCoMo :** jusqu'à 28% Mo

**Sels CaW :** jusqu'à 50% Ni

**Sels CaMo :** jusqu'à 48% Mo

Fig 4 : Répartition des associations possibles de métaux en fonction des aciers ciblés (Source Eramet / Valdi).

**Recommandation n°9:** Poursuivre les réflexions sur la valorisation des métaux de base et des métaux stratégiques contenus dans certains stocks historiques de résidus miniers et dans les effluents industriels au regard des solutions technologiques disponibles.

**Recommandation n°10 :** Créer un guide d'information relatif aux opportunités de valorisation des métaux issus des effluents ou des résidus industriels qui présente les différentes technologies développées en fonction des métaux ciblés et de la typologie des rejets (aqueux, poussières, machefers ...).