



Recyclage et valorisation des déchets par extraction de métaux stratégiques Génie des procédés

Résumé de présentation du domaine technologique

La Direction de l'Energie Nucléaire du CEA a développé depuis longtemps des compétences et des technologies en chimie séparative pour le cycle du combustible nucléaire français. Ces compétences concernent le **génie des procédés hydrométallurgiques** ainsi que les différentes disciplines de la **chimie (solide, solution...)** et la modélisation associée.

Domaines d'applications

Les compétences ci-dessus peuvent être adaptées à la valorisation de déchets urbains ou industriels très variés (**déchets sidérurgiques, métallurgiques, cendres d'incinération....**). Dans de nombreux cas, ces **déchets contiennent des métaux** de base (Cu, Pb, Zn..), précieux (Au, Ag..) voire stratégiques (Co, platinoïdes, terres rares..) qui peuvent être extraits et valorisés. Certains déchets contiennent également des métaux toxiques dont l'extraction permet de diminuer, en plus, d'éventuels coûts d'entreposage ou d'inertage.

Bénéfices et avantages concurrentiels apportés par la technologie

Les compétences de la DEN en génie des procédés hydrométallurgiques lui permettent de développer des procédés économiquement viables et à faible impact environnemental. Les procédés développés peuvent être flexibles en s'adaptant à des ressources variées, complexes, polymétalliques. Ils peuvent également s'interfacer avec des procédés existants par exemple pour mutualiser des équipements. La **démarche orientée produit et marché** définit le niveau de performances à atteindre dans un objectif constant de minimisation des OPEX et CAPEX.

Dans un contexte de transitions énergétique, numérique et écologique, les besoins en métaux vont être croissants. Les compétences proposées par le CEA contribuent à en amortir la criticité.

Présentation détaillée de la technologie

Les procédés hydrométallurgiques développés concernent : la lixiviation/dissolution des déchets pour mettre en solution les cations métalliques, leur purification puis leur conversion sous forme métallique, oxyde ou de particules CERMET.... Leur modélisation permet d'optimiser les performances et de produire des outils logiciels capables de piloter de manière robuste des installations industrielles. Des moyens de caractérisations performants soutiennent ces activités. Quelques équipements du CEA sont illustrés sur les sites www.metnet.eu et www.icsm.fr. Aux différents stades de son développement, **l'intérêt technico-économique de la technologie est évalué et des analyses de Cycle de vie en vérifient l'impact environnemental**. Quelques dizaines d'ingénieur-chercheur travaillent de manière transverse et interdisciplinaire pour proposer des solutions adaptées.

Niveau de maturité TRL de la technologie

Une majorité des technologies développées sont déjà utilisées industriellement à diverses échelles (TRL élevés). Avec l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule, l'offre de R&D permet de couvrir l'ensemble des TRL nécessaires à l'adaptation ou au développement d'un procédé. Le processus de maturation est itératif et continu : une phase préalable de R&D est conduite **dans nos laboratoires jusqu'à TRL 5**. Les phases ultérieures sont généralement réalisées en collaboration avec l'industriel.

Propriété intellectuelle (Brevet, dépôts APP, marques, ...

Une cinquantaine de brevets a été déposée en hydrométallurgie au nom propre du CEA ou en partenariat. Les brevets ci-dessous sont représentatifs de notre R&D menée dans le domaine des métaux stratégiques :

FR3026099: Extraction des terres rares des aimants permanents usés

FR3025115: Extraction de platinoïdes en fluide

FR3023847 (A1): Extraction du Pd contenu dans des déchets urbains (D3E)

Offres de service et de partenariat

Tous les modes de partenariat sont possibles, en bilatéral ou en consortium. Le CEA est un acteur de l'EIT Raw Materials et de l'Association PROMETIA, qui regroupent des acteurs industriels et académiques impliqués dans l'extraction et la valorisation des ressources primaires et secondaires. A ce titre, il peut favoriser l'établissement de consortium pertinents pour répondre à des appels d'offres.

Les études peuvent conduire éventuellement à des dépôts de brevets dont le règlement de copropriété devra être regardé au cas par cas, de même que les conditions de transfert de licence et de savoir-faire en cas d'exploitation des résultats.

D'une manière générale, notre R&D est avant tout **au service de nos partenaires** avec un jalonnement régulier par des GO/NO GO et une conduite en « mode projet ».