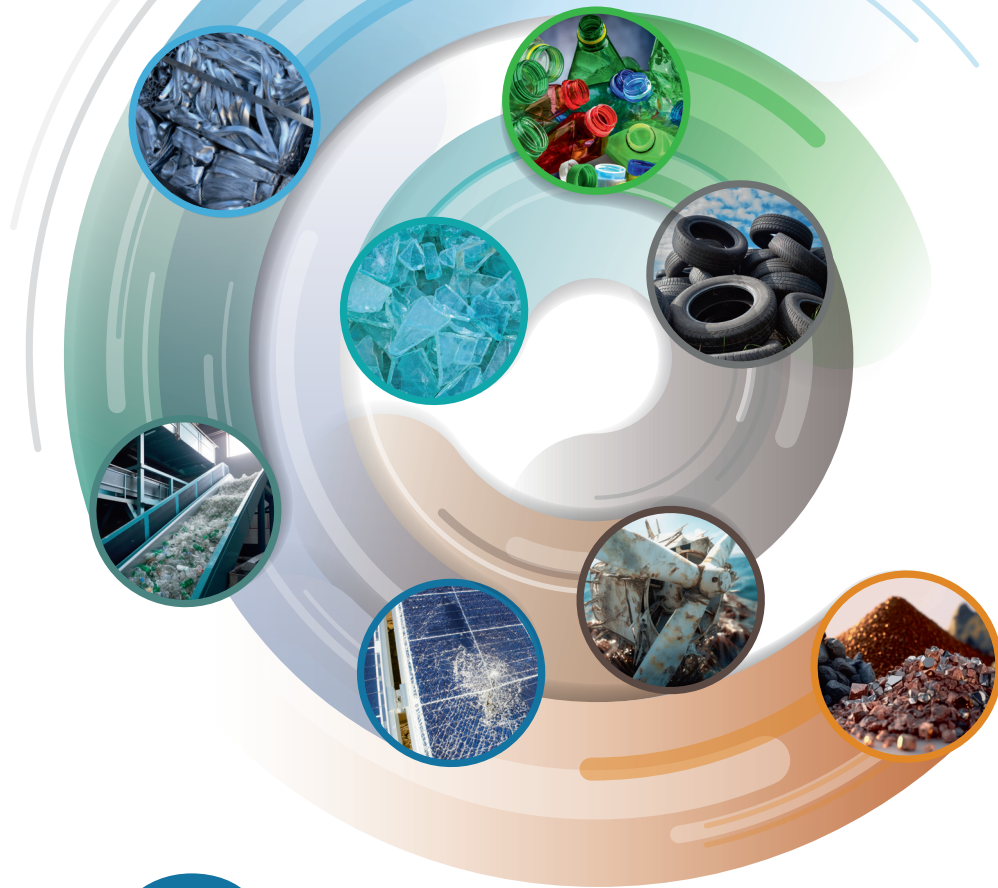


RECUEIL DES RÉSUMÉS



Chimie, Recyclage et Économie Circulaire



Fondation de la Maison de la Chimie

Maison de la Chimie
28 bis rue Saint-Dominique 75007 Paris

Mercredi 8 novembre 2023



Chimie, Recyclage et Économie Circulaire

Fondation de la Maison de la Chimie
Maison de la Chimie
28 bis rue Saint-Dominique 75007 Paris

Mercredi 8 novembre 2023

Conception graphique : © 3Dartists | Images : Adobe Stock - © Bertus Gouwenou - © mastrollo - © soelm - © sid - © Visual Production - © Isaac Serrão - © Andrei Melnikov - © Jacques Garbais - le 10 juin 2023 11:12

RÉSUMÉS DE LA TABLE RONDE ET DES CONFÉRENCES

TABLE RONDE : Recyclage Industriel

Débats animés par **Marc J. LEDOUX**, avec la participation de :
(par ordre alphabétique des auteurs)

	Pages
Jean-Christophe ARNAL <i>Recyclage du verre Plat.</i>	03
Estelle CHERET <i>Recyclage des Plastiques... vers une Economie circulaire.</i>	04
Jean-Michel DOUARRE <i>L'émergence de l'économie circulaire du pneu : un challenge passionnant !</i>	05
Lama ITANI <i>Le recyclage des terres rares : une stratégie d'approvisionnement à la taille de leurs enjeux.</i>	06
Fanny MAS <i>Recyclage de l'aluminium : enjeux, défis et opportunités.</i>	07

CONFÉRENCES :

(par ordre alphabétique des auteurs)

Pages

Armand AJDARI

Matériaux de spécialité pour une économie circulaire.

Illustrations des problématiques sur le recyclage des pales d'éolienne.

08

Jacques AMOUROUX

Le recyclage des matériaux : Enjeux et stratégies. Procédés chimiques et bioprocédés.

09

Hervé ANTONSANTI

*Tri et valorisation de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères :
exemple de l'installation de Pierrefeu du Var.*

10

Jean-François GERARD

*Recycler les matériaux, une des réponses pour une économie circulaire.
Illustration pour les polymères.*

11

Pascal MULLER

L'hydrométallurgie au service du recyclage des batteries de véhicules électriques.

12

Yohan PARSA

Industrie photovoltaïque : les enjeux de la circularité.

13

Fatima RAHMOUN

Matériaux plastiques et éducation au développement durable.

14

TABLE RONDE animée par *Marc J. LEDOUX*

Recyclage Industriel (par ordre alphabétique des auteurs)

Recyclage du verre plat.

Jean-Christophe ARNAL

Directeur de l'usine d'Aniche, Saint-Gobain Glass

Le verre est un matériau utilisé depuis l'antiquité. Utilisé sous différentes formes, plat, bouteilles, fibres etc..., il fait partie de notre quotidien et il se retrouve partout.

Le verre plat est le verre utilisé pour les fenêtres et les portes mais aussi pour les voitures. Il est souvent transformé avant son utilisation finale : application de couche pyrolytiques, trempe, miroir, bombage, feuilletage, mais il provient toujours du même produit initial, une plaque de plusieurs mètres carrés.

Il est symbole de transparence et de pureté et les attentes en termes de qualité et de défauts, sont extrêmement élevées.

Né de la fusion de matières premières essentiellement naturelles, sa fabrication tout comme la plupart des produits industriels n'est pas neutre pour l'environnement. Cependant sa particularité est d'être recyclable à l'infini.

Il s'inscrit donc naturellement dans un projet d'économie circulaire. Bien développées pour les bouteilles, les filières de recyclage pour le verre plat sont cependant moins matures.

Ce retard peut être expliqué par les raisons suivantes :

- il provient non pas du consommateur final mais de l'entreprise chargée du remplacement ou de la démolition
- pour être recyclé, il nécessite des précautions de manipulation.

Aujourd'hui grâce à la mise en place de filières REP (responsabilité élargie des producteurs), la situation évolue rapidement.

En cela le recyclage du verre plat est donc un sujet d'actualité qui s'inscrit dans une évolution sociétale des comportements qui est nécessaire.

Recyclage des Plastiques... vers une Économie circulaire.

Estelle CHERET

VP OneTech R&D Downstream Process & Polymers, TotalEnergies

TotalEnergies a pour ambition de contribuer au développement de l'économie circulaire des plastiques et de produire 30 % de polymères recyclés et renouvelables d'ici 2030.

Deux voies technologiques sont considérées pour le recyclage des plastiques. Le recyclage mécanique consiste en la reformulation et la remise en forme de déchets plastiques collectés et triés selon essentiellement leur nature. Cette technologie peut être considérée comme mature mais fait l'objet d'amélioration continue pour viser des applications très exigeantes en termes de qualité et de performances.

Beaucoup de déchets plastiques ne peuvent pas être traités par recyclage mécanique car leur composition est trop complexe (multimatériaux difficilement séparables) et les efforts pour les valoriser par recyclage mécanique seraient vains. La voie préférée est alors le recyclage chimique qui permet de reformer les briques élémentaires moléculaires plus facilement séparables et valorisables permettant de reformer de nouveaux plastiques de la plus haute qualité. Cette voie est encore peu développée à l'échelle industrielle mais croît rapidement et offre de fortes perspectives en termes de volumes de déchets plastiques revalorisés. Elle permet aussi d'adresser les requis des domaines applicatifs les plus exigeants comme plus particulièrement l'aptitude au contact alimentaire pour les plastiques destinés à l'emballage.

C'est par leur complémentarité que les deux voies technologiques de recyclage permettront de traiter l'ensemble des déchets plastiques. Pour réaliser son ambition TotalEnergies s'engage donc à la fois à continuer à améliorer le recyclage mécanique et à développer le recyclage chimique.

La pyrolyse des déchets plastiques est actuellement la voie la plus répandue de recyclage chimique. Elle est notamment poursuivie par TotalEnergies dans son projet industriel à Grandpuits (France). Cette technologie de traitement thermique permet d'obtenir une huile de pyrolyse qui sera incorporée dans des unités industrielles de production de monomères. Les challenges techniques de ce schéma de procédé sont liés à la composition de l'huile de pyrolyse (sélectivité de la réaction de conversion des plastiques) et à la présence de certains contaminants dans les charges de départ. Ces deux aspects impactent fortement les performances des étapes de procédé en aval de la pyrolyse. Des étapes intermédiaires de traitement des huiles de pyrolyse sont donc à considérer. L'enchaînement de plusieurs étapes thermochimiques peuvent toutefois avoir un effet négatif sur le bilan carbone du procédé. L'analyse du cycle de vie est donc un autre challenge du recyclage chimique.

Pour relever ces challenges et continuer à adresser de plus larges volumes de déchets plastiques complexes il est nécessaire de développer des solutions innovantes, de nouvelles technologies complémentaires ou alternatives à la pyrolyse conventionnelle. C'est ce que font les équipes R&D de TotalEnergies avec un focus tout particulier sur les technologies et schémas procédés les plus prometteurs en termes de bilan énergétique, sélectivité et rendement monomérique. De multiples partenariats sont engagés afin d'identifier au plus tôt les opportunités de développement et d'accélérer la réalisation des ambitions.

Mots Clés : Recyclage, Plastiques, Économie circulaire, Innovation.

L'émergence de l'économie circulaire du pneu : un challenge passionnant !

Jean-Michel DOUARRE

Responsable du Programme de Recherche sur les Matériaux, Michelin

Chez Michelin, notre vision de l'économie circulaire se décline en 4 volets : Réduire, Réutiliser, Recycler et Renouveler. En matière de recyclage, nous investissons en R&D pour trouver des solutions de valorisation des pneus en fin de vie non réutilisables.

Aujourd'hui, plus de la moitié des pneus européens en fin de vie sont exportés. Ce n'est clairement ni souhaitable ni durable. Mais si on regarde le côté positif de cette situation, cela veut dire qu'il y a là, dans ces pneus exportés, une source importante de matière à réutiliser. Mais encore faut-il savoir extraire de cette matière des nouvelles matières premières de haute qualité que l'on peut réincorporer dans des pneus neufs. Haute qualité, car le pneu est un objet extrêmement technique qui est finalement le seul point de contact entre la route et votre véhicule. Il doit garantir un haut niveau de sécurité tout en ayant une longévité kilométrique élevée et une résistance au roulement basse (directement liée à la consommation de carburant ou l'autonomie kilométrique des véhicules). Impossible donc de prendre le pneu en fin de vie et de le réintroduire comme cela dans un pneu neuf.

Il faut donc développer des technologies permettant d'extraire ces matières premières secondaires issues des pneus en fin de vie. Ceci est plus complexe qu'il n'y paraît et implique une exploration à travers l'ensemble de l'écosystème.

C'est pour cette raison que Michelin a choisi d'être coordinateur de projets Européens (Blackcycle et WhiteCycle) co financés par l'Europe, rassemblant les acteurs de l'ensemble de l'écosystème, allant de la collecte des pneus usagés à la réincorporation dans des pneus neufs de matières premières issues d'une série de transformations successives.

Mots Clés : Économie circulaire, Pneu, Fin de vie, Recyclage, Qualité, Consortium, Europe.

Le recyclage des terres rares : une stratégie d'approvisionnement à la taille de leurs enjeux.

Lama ITANI^{a*}, Olivier LARCHER^b, Renaud ROHE^c

^a Solvay, Rhodia Opérations, Terres Rares Business Line, Aubervilliers, France

^b Solvay, Rhodia Opérations, Terres Rares Business Line, La Rochelle, France

^c Solvay, Rhodia Opérations, Terres Rares Business Line, Lyon, France

Les terres rares (TR) sont les éléments chimiques du tableau périodique compris entre le lanthane et le lutétium. Elles se divisent en TR légères (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm) et TR lourdes (Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu). Les TR légères et lourdes représentent respectivement 98% et 2% des TR des minerais.

Grâce à leurs configurations électroniques, les TR possèdent de nombreuses propriétés (magnétiques, redox, optiques et physiques) qui les rendent uniques. Grâce aux propriétés magnétiques, les aimants permanents à base de TR sont les plus performants, tant en force magnétique qu'en stabilité (température maximale d'utilisation).

Ces aimants se retrouvent dans beaucoup d'applications comme les moteurs électriques (véhicules électriques ou éoliennes), les pompes, les compresseurs, les climatiseurs et les équipements électroniques et robotiques. Actuellement, 70 à 80% des véhicules électriques et 100% des éoliennes « offshore » fonctionnent grâce aux aimants à TR. L'indispensabilité des TR dans ces applications essentielles pour le développement de la mobilité verte, la transition énergétique et le développement digital, justifie leur classement comme matériaux critiques et stratégiques pour l'Europe dans le « Critical Raw Materials Act » publié en mars 2023.

Solvay a au cœur de sa vision et de sa stratégie le développement de solutions durables pour accompagner la transition énergétique, la mobilité verte et lutter contre le réchauffement climatique. Forte de ses décennies d'expertise dans le domaine de l'approvisionnement, la séparation, la purification et la formulation de produits complexes et sur mesure à base de TR, « Solvay Terres Rares » contribue à la stratégie du groupe mais aussi à celle de l'Europe grâce au lancement d'un projet en 2022 visant à produire en France les TR purifiées et nécessaires au marché des aimants permanents, de l'hydrogène, de l'électronique et du médical. Dans le cadre de ce projet, un de nos objectifs est de sécuriser l'accès à ces TR. En raison des quantités limitées d'aimants à recycler actuellement, deux stratégies complémentaires d'approvisionnement sont appliquées :

- Le développement de partenariats avec des mines hors Chine pour s'approvisionner de TR d'une façon durable et responsable. Cet approvisionnement hors Chine contribue à la politique Européenne de regain de la souveraineté de l'Europe vis-à-vis de l'accès aux matériaux critiques et stratégiques, aujourd'hui centralisé en Chine pour les TR.
- Le recyclage des aimants issus des équipements en fin de vie, une mine urbaine dont l'exploitation contribuera à la préservation des ressources naturelles.

Dans cet exposé, nous focaliserons sur le recyclage des TR et en particulier des TR issues des aimants. Nous montrerons que les TR recyclées présenteront les mêmes performances que celles des TR primaires.

Mots Clés : Terres rares, Aimants permanents, Moteurs électriques, Recyclage, Environnement.

Recyclage de l'aluminium : enjeux, défis et opportunités.

Fanny MAS*, Timothy WARNER, Olivier NÉEL, Guillaume BES,
Olivier REBUFFET, Sylvain HENRY

* Ingénieur R&D métallurgiste senior, Constellium C-TEC

Constellium est un leader mondial du développement et de la fabrication de produits et de solutions en aluminium à haute valeur ajoutée pour un large éventail de marchés et d'applications, se concentrant en particulier sur l'aérospatiale, l'automobile et l'emballage. La protection de l'environnement, la santé et la sécurité (ESS) sont les premières priorités de l'entreprise avec des objectifs précis à horizon 2030¹ en termes de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre (-30% en intensité vs. 2021) et d'augmentation de sa consommation d'aluminium recyclé (50% du total).

Pour atteindre ces objectifs, le processus de recyclage de l'aluminium est clé. Il consiste simplement à refondre le métal, ce qui est beaucoup moins énergivore que la production d'aluminium primaire à partir du minerai de bauxite. Le recyclage ne nécessite que 5% de l'énergie nécessaire à la production d'aluminium primaire. De plus, il permet la récupération des déchets d'aluminium usagé en évitant leur accumulation, contribue à préserver les ressources et diminue fortement les émissions de GES.

La canette en aluminium est un parfait exemple de l'économie circulaire : elle se recycle très bien et retrouve sa place dans les rayons en seulement 60 jours, avec un taux de recyclage des canettes de boisson de l'ordre de 80% en Europe. Les usines de Constellium disposent d'importantes capacités de recyclage et la construction d'un nouveau centre de recyclage de 130 millions d'euros sur le site de l'usine française de Neuf-Brisach (Alsace) a débuté en novembre 2022. Cet investissement augmentera notre capacité de recyclage de produits automobiles et d'emballages jusqu'à 75%, soit plus de 130000 tonnes supplémentaires.

En parallèle, Constellium cherche à stimuler le recyclage de quatre manières distinctes :

- en travaillant avec les parties prenantes pour améliorer les taux de collecte des déchets ;
- en collaborant avec des partenaires pour améliorer l'efficacité des techniques de tri ;
- en créant avec les clients des boucles fermées de recyclage plus performantes ;
- en élargissant la gamme de déchets acceptables pour le recyclage, notamment en développant des alliages et des procédés plus tolérants à la matière recyclée

La capacité à absorber des déchets existants et variables ainsi que l'aptitude à être recyclé deviennent, au même titre que les propriétés, des critères à prendre en compte dès la conception d'un nouvel alliage d'aluminium. La plupart des compositions d'alliages utilisées aujourd'hui ont été développées il y a plusieurs dizaines d'années, alors que la prise de conscience de l'impact des activités de l'homme sur la nature n'était pas aussi forte qu'aujourd'hui. Avec les problématiques de développement durable, c'est une nouvelle métallurgie qui est en train de voir le jour, riche de nombreux sujets de recherche². On peut citer en exemple la nécessité de développer des alliages capables d'absorber les déchets issus des blocs moteurs des voitures thermiques en fin de vie dont le nombre (et donc le besoin matière) est amené à décroître avec l'électrification du parc automobile.

Références :

1- Constellium sustainability report 2022

2- D. Raabe, *The science of "dirty" alloys*, *Progress in Materials Science*, 2022

Mots Clés : Aluminium corroyé, Techniques de tri, Refusion de déchets, Design d'alliages

CONFÉRENCES PLENIÈRES ET SESSIONS PARALLÈLES

(par ordre alphabétique des auteurs)

Matériaux de spécialité pour une économie circulaire, illustrations des problématiques sur le recyclage des pales d'éolienne.

Armand AJDARI

Chief Technology Officer, Arkema

Le recyclage efficace de produits nécessite un travail de design qui, en plus du travail sur des matrices intrinsèquement recyclables, peut être facilité par des additifs, des adhésifs et des revêtements appropriés.

Après une présentation générale sur des solutions proposées par Arkema, le cas particulier du recyclage des pales d'éoliennes sera abordé.

Mots Clés : Éoliennes.

Le recyclage des matériaux : enjeux et stratégies. Procédés chimiques et bioprocédés.

Jacques AMOUROUX

*Professeur DC Émérite Jacques Amouroux DHC
École Nationale Supérieure de Chimie de Paris /PSL
Université Pierre et Marie Curie /Sorbonne Université*

Le recyclage des matériaux est un enjeu mondial dicté par des objectifs environnementaux et confrontés aux règles nécessaires au contrôle des risques et des conflits. Le secteur a débuté récemment sa mutation face aux volumes à traiter qui se chiffrent en millions de tonnes et dont les savoirs sont insuffisants, sauf pour l'eau.

La notion de recyclage des métaux est l'axe le plus important pour disposer des matières premières importées. Cependant, la complexité des alliages ou des objets conçus (panneau photovoltaïque, batteries, circuits électroniques, verres, papier, textiles complexes, aimants permanents, câbleries) imposent en fait pour chaque produit une démarche scientifique innovante de type génie chimique ou génie de bio engineering encadrée par les aspects économiques et environnementaux.

En fait, le recyclage est une nouvelle discipline de nos activités industrielles mais sans création de valeur et très complexe à gérer sur le plan de sa position stratégique et environnementale. Elle apparaît coûteuse et elle exige des subventions pour exister et éviter la mise en décharge traditionnelle peu coûteuse. Cette discipline permet le recyclage des matériaux déjà employés mais elle présente un bilan carbone négatif face à nos désirs contradictoires.

Aussi dans le cadre de ce colloque, je présenterai le cas de matériaux récents en fort développement tels que les panneaux photovoltaïques et les batteries et enfin l'emploi de la biotechnologie pour le recyclage des terres rares.

Tri et valorisation de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères : exemple de l'installation de Pierrefeu du Var.

Hervé ANTONSANTI

Directeur de la Branche Valorisation-Traitement, Groupe Pizzorno Environnement

La gestion des déchets est une priorité et une préoccupation majeure à l'échelle mondiale. Elle comporte de nombreux défis environnementaux, sociétaux et économiques. La santé publique et la préservation des ressources naturelles deviennent un enjeu de tous les instants.

En tant qu'industriel, spécialisé dans la gestion des déchets ménagers et assimilés et des activités économiques, il est de notre devoir d'apporter des solutions innovantes pour transformer ces déchets en ressources.

Aussi, notre métier est de concevoir à la fois des systèmes de gestion des déchets adaptés aux besoins des zones urbaines et des campagnes, en utilisant des technologies intelligentes pour améliorer la collecte, le tri et le recyclage.

La réutilisation des résidus urbains issus des déchets ménagers incinérés, appelés mâchefers, après transformation et valorisation permet de préserver et réduire notre dépendance face aux ressources naturelles, par la récupération de métaux et la création d'un matériau alternatif comparables aux caractéristiques des matières premières naturelles.

C'est tout l'objectif que s'est fixé le groupe PIZZORNO Environnement, en développant une technologie de réutilisation du produit alternatif issus des mâchefers en l'intégrant dans le béton pour la fabrication de pavés biorecyclés. Ainsi, les déchets d'hier deviennent de véritables ressources de demain.

Références : Guides SETRA, norme NF EN 15863, guides INERIS

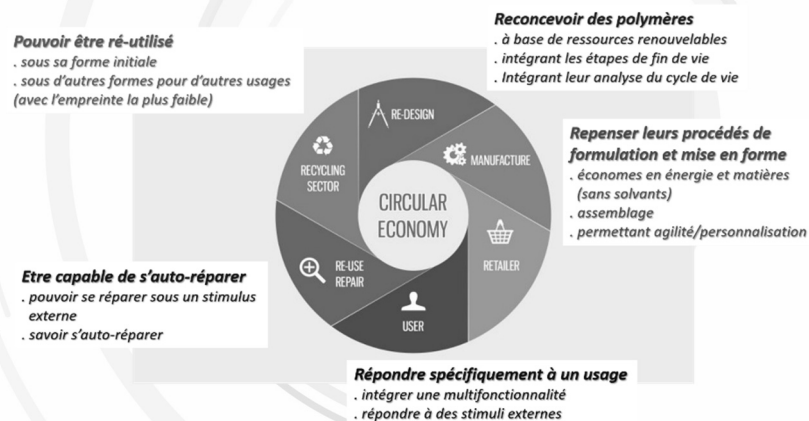
Mots Clés : Réutilisation, Ressources naturelles, Mâchefers, Pavé biorecyclé, Monobloc béton.

Recycler les matériaux, une des réponses pour une économie circulaire. Illustration pour les polymères.

Jean-François GERARD

Directeur Adjoint Scientifique INC CNRS / Directeur Programme PEPR 'Recyclage, Recyclabilité & Ré-Utilisation des Matériaux' / Professeur INSA Lyon - Ingénierie des Matériaux Polymères UMR 5223 CNRS

Ce sont près de 391Mt de polymères qui sont produits dans le monde (57Mt en Europe), polymères que l'on retrouve dans de très nombreux secteurs applicatifs : l'emballage (44%), la construction (18%), l'automobile (8%), l'électronique et électrotechnique (7%), l'habitat et les loisirs (7%), etc [1]. Aussi, les polymères les plus largement utilisés sont les polyoléfinés (PE, PP 53%), le polystyrène (PS 5,3%), les polyuréthanes (PUR 5,5%) et le polyéthylène téréphtalate (PET 6,2%). Placer les polymères dans un contexte d'économie circulaire impose bien évidemment de reconsidérer certaines de leurs utilisations, notamment en recherchant une réduction de leur usage quand cela est possible, mais plus généralement d'assurer une plus grande circularité (notamment en s'intéressant à leur ré-utilisation 'matière' et/ou par un retour à des briques élémentaires comme des monomères), leur conception (par exemple en leur conférant de multiples fonctions pour éviter des multimatériaux ou en considérant des composants différents comme ceux issus de ressources renouvelables) ainsi que leur durabilité (incluant leur réparabilité). Comme on peut le voir, toutes ces voies impliquent la chimie. Le recyclage est ainsi une des voies contribuant à la circularité des matières [2] et l'intégration des matériaux dans une démarche d'économie circulaire.



Même si les différents types de matériaux présents dans les gisements de déchets à recycler ont des spécificités quant aux méthodes d'extraction, de purification, de ré-introduction, le même ensemble d'approches peuvent être déployées. C'est le cadre du Programme d'Equipements & de Projets de Recherche (PEPR) attaché à la Stratégie d'Accélération 'Recyclage, Recyclabilité & Ré-Utilisation des Matières' opérée par France 2030 actuellement. Les axes de recherche de ce programme lancé pour les six années à venir pour cinq classes de matériaux (plastiques, métaux stratégiques, composites, textiles et papiers/cartons) mais aussi de manière systémique sur des filières (batteries, H₂, éolien, photovoltaïque, DEEE, etc) en impliquant l'ensemble des sciences (chimie bien entendu) seront exposés dans cette présentation.

Références :

[1] Plastics- the Facts 2022. Plastics Europe. Oct. 2022, 81p.

L'hydrométallurgie au service du recyclage des batteries de véhicules électriques.

Pascal MULLER

Directeur du Pôle Hauts de France - Grand Est, SARPI VEOLIA

Les engagements en faveur de la décarbonation de la mobilité poussent les acteurs du secteur à accroître leurs efforts en faveur d'une transition vers les véhicules électriques. En 2025, les capacités de recyclage devront être capables d'absorber 50 000 tonnes d'équivalent Batteries (200 000 unités) ... 150 000 tonnes en 2030.

Cette stratégie entraîne un accroissement exponentiel de la demande en métaux stratégiques (nickel, cobalt, lithium, cuivre...) présents dans les batteries des véhicules électriques.

De multiples questions se posent concernant le développement de ce nouveau marché :

- La question de l'accès à la ressource en métaux stratégiques au sein de l'Union Européenne et de la France compte tenu des zones de production (Congo, Chine, Chili...).
- Le risque inflationniste de la valeur de ces métaux, ou tout le moins une variation erratique des cours qui pèserait sur la rentabilité économique de la filière.
- La raréfaction programmée de certaines ressources minières (cobalt) compte tenu d'une surexploitation des sous-sols en vue d'approvisionner la production des cathodes.
- La question environnementale liée à l'exploitation minière, à la transformation des minerais et au transport des matières prétraitées.
- L'enjeu de la fin de vie des batteries en terme environnemental et le sujet de la gestion des scraps issus des Giga-Factories qui produisent les batteries.

Pour répondre en partie à ces questions, une Réglementation Européenne incitative en phase avec la Stratégie d'indépendance sur les matières stratégiques est en cours de validation. Elle vise à recycler une grande part des batteries sur le territoire européen en fixant des taux d'extraction des matières extrêmement ambitieux permettant une approche vertueuse de la vie de la batterie.

Depuis plus de 10 ans, le Groupe VEOLIA explore des voies de recyclage des batteries VE en fin de vie et des sous-produits de leurs productions. Des méthodes prenant en compte la gestion des risques intrinsèques à la manipulation de batteries usagées, leur mise en sécurité, leur démantèlement, le broyage des fractions unitaires et l'extraction sélective des métaux stratégiques par voie chimique. Ces travaux ont abouti à un premier concept pilote qui a confirmé la pertinence de la technologie étudiée.

L'enjeu est maintenant de passer à un démonstrateur « pré-industriel » permettant de recycler chimiquement l'équivalent de 4 000 à 7 000 tonnes de "Black Mass" (10 000 à 20 000 tonnes batteries VE) issues du broyage & pré-traitement de batteries de véhicules électriques afin d'en extraire les métaux stratégiques et les réintroduire dans les boucles industrielles de production. Ce projet engagé début 2022, démarrera industriellement au dernier trimestre 2023.

Mots Clés : Batteries de véhicules électriques, Hydrométallurgie, Métaux stratégiques, Recyclage.

Industrie photovoltaïque : les enjeux de la circularité.

Yohan PARSA

Directeur Recherche & Développement, ROSI Solar

En 2022, les installations mondiales de capacité photovoltaïques ont atteint un chiffre record de 268 GW [1] pour une capacité cumulée de 1,2 TW [2]. Si l'énergie photovoltaïque est essentielle pour réussir la transition énergétique, en permettant de remplacer rapidement et à un coût compétitif les énergies fossiles, elle doit encore satisfaire à d'importantes exigences quant à sa circularité.

Aujourd'hui, les technologies basées sur le Si représentent plus de 95% du marché mondial [3]. Outre le procédé de purification du Si, consommateur en énergie et matières premières, l'étape de découpe des wafers est critique, puisque près de 40% de la matière est perdue sous forme de kerf, un mélange de copeaux de Si et de liquide de découpe. Fortement contaminé par des éléments tels que le carbone, l'oxygène ou l'aluminium, le Si contenu dans cette boue n'est actuellement pas revalorisé mais considéré comme un déchet. Il y a ainsi un vrai besoin de développer un procédé dédié à la purification du kerf, afin de permettre sa réutilisation dans la chaîne de valeur du Si.

D'autre part, les quantités de modules arrivant en fin de vie sont en pleine explosion, et on estime que d'ici 2030, il faudra traiter près de 400 000t de modules en Europe [4]. Bien que les recycleurs traditionnels aient adopté des techniques de broyage, celles-ci sont largement inefficaces, puisqu'elles ne permettent ni de récupérer l'entièreté des matériaux, ni de le faire avec un haut niveau de pureté. Ainsi, ces dernières années ont vu l'émergence de procédés de recyclage à haute valeur ajoutée, permettant de mettre en place des solutions plus durables pour le traitement des déchets photovoltaïques.

Dans cette présentation, nous démontrerons que l'innovation et le développement de procédés dédiés permettent de relever ces défis, afin de soutenir le développement de la filière photovoltaïque en répondant aux enjeux de circularité.

Références :

- [1] Sandra Enkhardt 2022, 'Global solar capacity additions hit 268 GW in 2022, says BNEF', pv magazine, 2022
- [2] IEA (2020), 'World Energy Outlook 2020, IEA', Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>, License: CC BY 4.0, 2020
- [3] IEA PVPS, 'Trends in photovoltaic applications 2022', IEA PVPS trends Reports – Task 1, 2022
- [4] SolarPower Europe (2022), 'European Market Outlook For Solar Power 2022-2026', 2022

Mots Clés : Photovoltaïque, Recyclage, Silicium, Matériaux de haute pureté.

Matériaux plastiques et éducation au développement durable.

Fatima RAHMOUN

Cheffe de projets pédagogiques, Fondation La main à la pâte

Grâce au soutien de la Fondation de la Maison de la Chimie, la Fondation *La main à la pâte* a développé un corpus de ressources pour la classe dédié aux matériaux plastiques (du CP à la classe de 3^e). Une présentation du site Mediachimie, ainsi qu'un survol de la séquence « Plastiques et développement durable » et des outils mis en ligne pour l'accompagner seront proposés.

Transposer à la classe la science en train de se faire a nécessité un travail bibliographique très important et l'appui de nombreux experts scientifiques tout au long du développement de la séquence.

Aujourd'hui, les plastiques sont des matériaux qui ont mauvaise réputation auprès du grand public. Ils sont devenus un symbole de notre société de consommation accro au jetable, un symbole au cœur d'un combat environnemental. En réalité, la problématique du plastique est complexe : si cette famille de matériaux représente en effet une source majeure de pollution, on en estime encore mal les conséquences ; de plus, ce sont des matériaux indispensables à de nombreuses activités et il est parfois difficile de s'en passer ; enfin, les alternatives aux plastiques ne sont pas toujours aussi vertueuses que ce que l'on pense.

Si les discours et les solutions tranchés ont un côté rassurant, ils nous éloignent collectivement d'une action juste et efficace. Dans cette séquence, nous avons opté pour une approche différente : prendre le temps de définir les concepts clés, aborder la question de manière interdisciplinaire, donner des stratégies pour mieux évaluer les informations et reconnaître celles dignes de confiance, et enfin prendre conscience du rôle de nos émotions dans la formation de nos jugements.

Mots Clés : Matériaux plastiques, Analyse de cycle de vie, Recyclage, Écosystèmes, Esprit critique.



Fondation de la Maison de la Chimie

Maison de la Chimie
28 bis rue Saint-Dominique 75007 Paris