

BOOK CIRCLE

Octobre 2023



**RECYCLAGE, RECYCLABILITÉ ET
RÉINCORPORATION DES MATÉRIAUX
RECYCLÉS**



RÉSEAU SATT

PULSALYS

CNRS
INNOVATION


RESEAU SATT



SOMMAIRE

ÉDITO

Sophie JULLIAN et Mehdi GMAR
..... 4

LA SITUATION DU MARCHÉ PAR FILIÈRE

..... 6

LES CHIFFRES CLÉS

..... 12

LES GRANDES PRIORITÉS NATIONALES

..... 14

QUELS ENJEUX POUR LA FRANCE ?

Mathieu BRANDIBAT
..... 16

LES APPORTS ATTENDUS DE L'INNOVATION

Jean-François GÉRARD
..... 18

LA RECHERCHE DANS LE RECYCLAGE TEXTILE

Anne PERWUELZ
..... 22

LES EMBALLAGES ET DÉCHETS PLASTIQUES : DE NOMBREUX ENJEUX

Yvan CHALAMET
..... 24

PAROLE DE STARTUPS

Yun LUO et Guy CHICHIGNOUD - ROSI
Eric DURIVault et Thomas VOISIN - IDELAM
..... 26

KEY OPINION LEADER INVESTISSEUR

Christophe DESRUMAUX
..... 30

KEY OPINION LEADER INDUSTRIEL

Louis VOVELLE
..... 32

KEY OPINION LEADER POLLUTEUR

Anne-Manuèle HÉBERT
..... 34

COMMENT CANDIDATER AU DISPOSITIF CIRCLE ?

..... 36

LES PARTENAIRES DU CONSORTIUM CIRCLE

..... 37

Le consortium CIRCLE se mobilise pour le recyclage et la recyclabilité



La consommation de matières premières liée à l'accroissement des besoins mondiaux nous conduit à faire face à deux enjeux : permettre à tous, d'avoir un niveau de vie décent et de répondre aux besoins essentiels des populations (se nourrir, se loger, se déplacer, se soigner), tout en réduisant et gérant les déchets produits. Ces enjeux peuvent sembler contradictoires mais ils sont au cœur de l'approche recherchée par le consortium CIRCLE dont PULSALYS est chef de file avec le CNRS innovation. En effet, le recyclage, la recyclabilité incluant l'écoconception, la réutilisation ou la réincorporation des matériaux recyclés sont autant de thématiques qui seront développées et soutenues, pour apporter de nouvelles solutions technologiques ou d'usage grâce aux laboratoires académiques de recherche.

Le challenge est de taille car il adresse des contraintes diverses et intriquées et dépasse la seule barrière technologique. Les questions d'usage par exemple sont clés car il s'agit souvent de produits de grande consommation (le textile par exemple) ainsi

que les questions de coût (comme dans le BTP) et aussi d'énergie (tant dépensée qu'à produire) et d'eau consommée sont les grandes composantes des équilibres à bâtir. Face à ces défis, les chercheurs sont mobilisés dans toutes les disciplines, des sciences dures les plus fondamentales aux équipes d'économie ou d'analyse des comportements en passant par les laboratoires d'ingénierie.

Le consortium CIRCLE qui regroupe ces équipes s'est doté d'une feuille de route pour accélérer l'émergence de solutions pour la société de demain. Le Réseau SATT et ses partenaires se mobilisent et se coordonnent pour aller chercher dans chaque laboratoire la pépite qui demain sera dans la palette des solutions.

En effet, même si des premiers succès sont visibles avec des startups comme Rosi dans le domaine de la revalorisation des matériaux issus de la filière photovoltaïque que vous allez découvrir dans ce dossier ou des entreprises investies sur des résultats académiques comme IDELAM, dans le domaine de la séparation des complexes matériaux, il reste encore beaucoup à faire pour répondre aux attentes des générations futures en apportant des propositions concrètes nécessaires à la bonne santé de notre planète. Avec CIRCLE, PULSALYS, CNRS Innovation et leurs partenaires accélèrent la dynamique.

Sophie JULLIAN
Présidente de PULSALYS

PULSALYS



Le consortium CIRCLE est un des dispositifs clés de la Stratégie Nationale d'Accélération (SNA) « Recyclage, recyclabilité, et réincorporation des matériaux recyclés » élaborée par l'Etat.

Cette stratégie présente deux grandes forces : d'une part, elle adresse tout le continuum de la filière et d'autre part, elle s'appuie à la fois sur les acteurs nationaux et les acteurs locaux pour la mettre en œuvre.

Le dispositif CIRCLE permet en particulier de soutenir à grande échelle les projets en phase de prématuration ou de maturation technologique, en lien étroit avec le programme et équipements prioritaires de recherche sur cette même thématique. En d'autres termes, CIRCLE cofinance les étapes clés, très spécifiques et risquées, de développement technologique de projets émergents à fort potentiel d'innovation en se basant sur les travaux de recherche.

En effet, il y a une forme d'alignement de planètes : de nouveaux marchés émergents et des financements pour accélérer et dérisquer la mise sur le marché. À travers le dispositif CIRCLE, nous recherchons à valoriser économiquement les travaux de recherche mais pas seulement ; contribuer à apporter des solutions concrètes aux besoins d'aujourd'hui est lourd de sens pour les chercheurs et les acteurs de la valorisation.

Avec un consortium de 18 partenaires, dont les co-chefs de file sont la filiale d'un grand organisme de recherche national, le CNRS innovation, pour la prématuration, et la SATT de Lyon Saint-Etienne, PULSALYS, pour la maturation technologique, CIRCLE s'appuie sur des mécanismes de sélection éprouvés par les acteurs sur le terrain, qui représentent quasiment toutes les forces vives du territoire en matière de prématuration et maturation sur le recyclage, la recyclabilité et les matériaux. Le consortium s'assure que les projets retenus rentrent bien dans la stratégie nationale pour être cofinancés et incarnent cette articulation entre la vision nationale et la mise en œuvre sur le territoire.

Avant ce dispositif, les établissements faisaient leur prématuration à leur échelle sur leur site. Pour le CNRS, l'intérêt est de voir massifier les financements mais aussi une plus grande coordination entre les acteurs et un lien encore plus fluide entre prématuration et maturation portée par les SATT dont il est, par ailleurs, actionnaire. Les nouveaux financements pourront aussi faire levier sur la mobilisation des établissements qui, jusqu'ici, n'avaient pas les moyens de soutenir la prématuration.

Pour CNRS Innovation, notre «driver», c'est le service rendu in fine aux chercheurs et l'amélioration continue de notre accompagnement vers l'innovation. En étant co-chef de file sur 4 dispositifs de prématuration maturation sur 4 SNA différentes, nous prenons une part active dans France 2030.

Mehdi GMAR
Directeur général CNRS Innovation

CNRS
INNOVATION

LA SITUATION DU MARCHÉ PAR FILIÈRE

LE RECYCLAGE, DÉFI ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL MONDIAL DE DEMAIN

Augmentation de la consommation, raréfaction des ressources : l'impossible équation ?

Entre 1970 et 2017, l'extraction annuelle de matières a triplé au niveau mondial et ne cesse d'augmenter sous les effets conjugués de la croissance démographique, du développement des pays émergents et du maintien d'un haut niveau de consommation dans les pays riches.

Il est nécessaire de maîtriser cette évolution en s'orientant vers une économie circulaire qui permettra de limiter la consommation de ressources vierges, notamment fossiles, et par conséquent de réduire les émissions de gaz à effet de serre. D'autant plus dans un contexte de raréfaction des matières premières stratégiques, comme les métaux ou les terres rares et d'accélération massive de l'usage des technologies énergétiques décarbonées et des semi-conducteurs qui va susciter de fortes tensions sur les cours de ces matières premières.

Le recyclage constituera une solution de plus en plus rentable d'un point de vue tant économique qu'environnemental.

Une marche peut paraître à pas forcés à l'aune des évolutions récentes et à venir des réglementations et dispositifs économiques qui encouragent la réincorporation des matières recyclées dans les produits neufs.

LE RECYCLAGE N'APPARAÎT DONC PLUS COMME UNE SIMPLE POSSIBILITÉ, MAIS COMME UNE NÉCESSITÉ, AVEC UNE PRISE DE CONSCIENCE À L'ÉCHELLE DE LA PLANÈTE.

Une compétition internationale

En matière de recherche sur le recyclage des matériaux, la Chine, qui dispose par ailleurs des plus gros gisements, en particulier de métaux critiques, est la nation la plus active, très loin devant les États-Unis et l'Inde. La course mondiale aux dépôts de brevets est lancée : on observe depuis 2018, une croissance continue dans le nombre de dépôts avec, comme principaux secteurs d'innovation, le génie civil, le matériel médical et l'automobile.

Les industriels les plus actifs œuvrent majoritairement dans le domaine des plastiques – le premier du classement est le chimiste américain Eastman Chemical – et les déchets électriques et électroniques.



L'ambition française

Bien que la France ait encore du chemin à parcourir, n'arrivant qu'en 11^{ème} position en matière d'organismes de recherche, fort loin derrière la Chine, sa visibilité est assurée très majoritairement par le CNRS, fer de lance des innovations.

Coté industriels, les plus dynamiques en la matière sont issus de secteurs très différents : les transports – **Stellantis, Renault, Airbus, SNCF, Alstom, Faurecia...** –, l'énergie – **TotalEnergies, Orano, Engie, EDF, Air Liquide...** –, le sport avec **Decathlon**, le génie civil – **Eiffage, Bouygues, Vinci, Spie, Gerflor, Lafarge...** –, l'agro-alimentaire – **Danone, Lactalis, Evian...** –, la santé – **Pierre Fabre, Sanofi, Virbac...** –, la cosmétique – **L'Oréal, Givaudan...** –, les télécoms – **Thales, Orange...** – ou encore la chimie avec **Plastic Omnium et Arkema**. Auxquels s'ajoutent des acteurs plus spécialisés : **Carbios, Extractive, ValorPlast, Polyloop, Recupyl...**

La France reste un des pays parmi ceux qui se sont donné les objectifs les plus ambitieux, ce qui se reflète via l'évolution législative à la fois européenne et nationale, avec l'enjeu supplémentaire de réduire ses exportations de déchets recyclables via la mise en place de technologies permettant de les transformer en matières premières répondant en quantité, en qualité et en coût aux besoins des industriels, contribuant à la création d'emplois, de richesse et à une meilleure maîtrise environnementale.

LA FRANCE DU RECYCLAGE : DES FILIÈRES AUTONOMES MAIS AUX ENJEUX COMMUNS

Métaux : la problématique centrale des minerais stratégiques

Avec près de 15 millions de tonnes collectées en 2021, soit une augmentation de 15,2% sur un an, les métaux ferreux – fer et acier – et non-ferreux constituent les matériaux les plus recyclés en France, en raison de l'efficacité de la collecte et de leur facilité de transformation.

Le tableau serait idyllique s'il n'existait pas une ombre, et de taille... En effet, les taux de recyclage des métaux dits « stratégiques » restent faibles, et ce malgré une demande qui explose. Sous cette appellation générale figurent à la fois des métaux rares et précieux comme l'or ou les terres rares, mais aussi d'autres métaux plus basiques comme l'aluminium et le cuivre, en plus de certains alliages. La raréfaction des métaux issus de l'extraction, associée à l'accélération massive de l'usage des technologies énergétiques décarbonées et des semi-conducteurs, devrait inévitablement conduire à de fortes tensions sur les cours de ces matières premières.

Il convient de rappeler que la transition énergétique mobilise des ressources minérales de plus en plus diversifiées. De nombreuses terres rares sont ainsi utilisées pour les technologies décarbonées : production et transport d'électricité, nucléaire, éclairage, mobilité électrique, éolien... Des métaux à plus d'un titre indispensables à la transition bas carbone.

LES RECYCLER ÉVITERAIT LEUR IMPORTATION ET LA CONSOMMATION DE MATIÈRES PREMIÈRES QUI SE RARÉFIENT ET DONT L'EXTRACTION ET LA PRODUCTION ONT DES EFFETS NÉFASTES SUR L'ENVIRONNEMENT.

UN PHÉNOMÈNE QUI, DE FACTO, DEVRAIT ŒUVRER POUR LA RENTABILITÉ DES PROCÉDÉS DE RECYCLAGE.

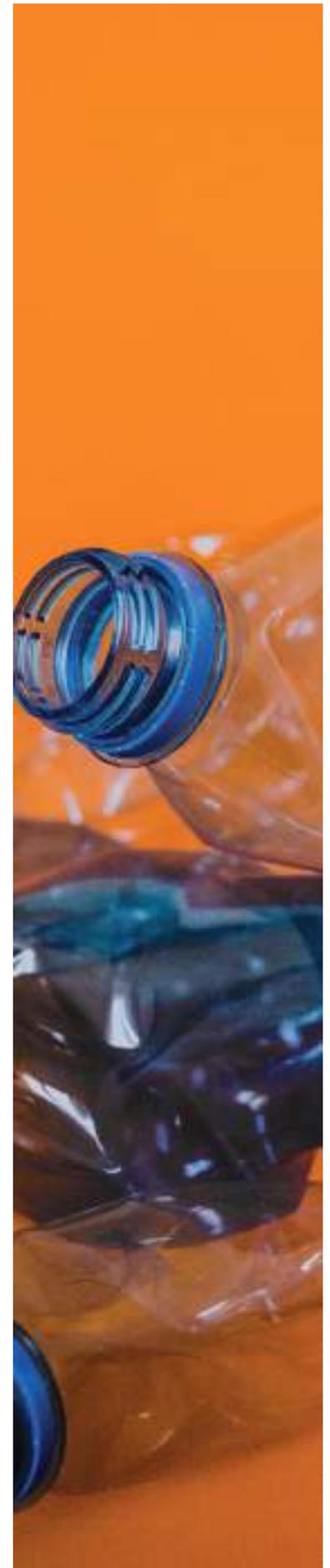
En effet, les cartes électroniques ou les équipements de la filière hydrogène – comme les électrolyseurs et les piles à combustibles – en fin de vie, mais aussi les batteries des véhicules électriques et les aimants présents dans les éoliennes, les trottinettes ou encore les vélos électriques, sont riches en métaux précieux : platinoïdes, cobalt, lithium, terres rares... Or, d'après une étude Baldé, en 2016, alors que 27,5% des déchets électriques et électroniques mondiaux étaient générés par l'Europe, seuls 35% d'entre eux étaient collectés et recyclés... Leur espoir : la France se révèle très bien placée en ce qui concerne la recherche, le gouvernement portant le challenge de produire des métaux stratégiques jusqu'à présent importés. Celle-ci a donc un rôle primordial à jouer.

Plastiques : encore beaucoup à faire pour passer des intentions aux actes

Malgré les belles déclarations d'intention, la production de plastiques ne cesse de croître dans le monde : en 2030, celle-ci devrait ainsi être de 600 millions de tonnes, contre 400 millions actuellement. En France, ce chiffre atteint aujourd'hui 4,5 millions de tonnes annuelles, ce qui représente 70 kilos de plastiques consommés sur une année par habitant. Dans le pays, en dépit de l'ambitieux objectif affiché de 100% de plastiques recyclés d'ici 2025, seuls 27% des emballages sont actuellement recyclés - contre plus de 40% au Portugal ou en Angleterre - et 10% des déchets étaient concernés en 2021. Et si certaines filières de recyclage sont en cours de développement, d'autres n'existent tout simplement pas, comme pour les paquets de chips par exemple qui sont aujourd'hui incinérés avant d'être enfouis...

LES CHOSES DEVRAIENT NETTEMENT S'AMÉLIORER SOUS LES EFFETS CONJUGUÉS DE LA PRESSIION RÉGLEMENTAIRE POUR CONCEVOIR DES PRODUITS BANNISSANT LE MÉLANGE DE MATIÈRES PLASTIQUES DIFFÉRENTES, VÉRITABLE CAUCHEMAR DES RECYCLEURS, DU DÉVELOPPEMENT DE LA COLLECTE ET DES TECHNOLOGIES. À L'ÉCHELLE MONDIAL, LES INDUSTRIELS LES PLUS ACTIFS EN DÉPÔTS DE BREVETS SUR LE RECYCLAGE AGISSENT AINSI MAJORITAIREMENT DANS LE DOMAINE DES PLASTIQUES ET LES AMBITIONS POLITIQUES EUROPÉENNES ET FRANÇAISES SONT AMBITIEUSES.

Le souci majeur vient du fait que la filière du recyclage souffre d'un problème de compétitivité-coût face à la concurrence du plastique, sans parler des freins techniques, normatifs ou culturels concernant l'incorporation de matière recyclée dans les produits finaux, qui contribuent à limiter les débouchés. Passer d'une économie linéaire à une économie circulaire suppose une « viabilité économique » de ce nouveau modèle. L'étude menée en 2017 par la DGE, 2ACR et l'ADEME confirmait alors un défaut de rentabilité de la filière. La recherche s'avère donc centrale pour rendre le recyclage des plastiques plus compétitif.



Composites : des freins avant tout technologiques

Sur le papier, le potentiel existe. Nombre des premiers matériaux composites utilisés dans le monde, par exemple pour l'éolien, l'aéronautique ou l'automobile, arrivent en fin de vie et vont devoir être démontés d'ici 2050. Ils seront donc potentiellement recyclables... à condition de disposer de la technologie compétitive nécessaire. Par définition, ils sont composés d'une matrice - généralement une matière plastique - et de fibres de nature variable : verre, carbone, naturelle... Une hétérogénéité de composition et de structure qui complexifie à la fois leur tri et leur recyclage et explique qu'ils soient aujourd'hui essentiellement enfouis, une faible minorité étant valorisée en cimenterie.

Si l'on prend le cas des fibres de carbone recyclées, le marché mondial, relativement fragmenté avec beaucoup d'acteurs qui vont de la startup aux grands groupes industriels, enregistre une forte croissance de l'ordre de 12 à 15% selon les études, qui s'explique par une augmentation de la demande en matériaux composites haute performance à un prix compétitif.

À l'horizon 2030, l'éolien et les transports constitueront ainsi les principaux marchés de fibres de carbone recyclées. Les industriels du transport, qui figurent parmi les plus importants utilisateurs de fibres de carbone, sont aussi ceux qui s'impliquent le plus dans le processus du recyclage : Airbus, Boeing et les constructeurs automobiles japonais et allemands côtoient de grands noms de la chimie comme Arkema, Dow, Toray, Solvay et Saint-Gobain. Même si le marché américain est aujourd'hui le plus dynamique, c'est en Europe que la croissance sera la plus forte dans les prochaines années. Le marché français se révèle d'ailleurs particulièrement innovant : le pays figure parmi ceux à la dynamique de dépôt de brevets la plus forte, aux côtés des USA, de la Chine, du Japon,

de l'Allemagne et de la Corée du Sud, pour trouver par exemple des procédés efficaces par pyrolyse ou solvolysse. Ils concernent plus particulièrement les secteurs du bâtiment, du transport, du médical, de l'électronique ou encore des machines de manutention.

Textiles : tout reste à faire... ou presque

ILS SONT ACTUELLEMENT TRÈS PEU VALORISÉS. EN EUROPE, SEULS 32% DES TLC - TEXTILES D'HABILLEMENT, LINGE DE MAISON ET CHAUSSURES - COLLECTÉS SONT RECYCLÉS EN MATÉRIAUX NON-TISSÉS POUR LE BÂTIMENT ET L'AUTOMOBILE, EN REMBOURRAGE, EN CHIFFONS À USAGE MÉNAGER OU INDUSTRIEL, OU ENCORE EN FILS POUR PRODUIRE DE NOUVELLES ÉTOFFES.

En cause, l'absence de caractérisation de la part non-réutilisable des textiles ainsi que la présence de «perturbateurs au recyclage» comme des boutons, des rivets, des fermetures-éclaircs...

En France, jusqu'à récemment, il n'existait pas de filière industrielle structurée de recyclage dédiée. Faute de débouchés et de maîtrise des différentes briques technologiques, les déchets textiles non réutilisables étaient principalement exportés pour être transformés en matières premières à l'étranger... avant de revenir dans l'Hexagone sous la forme de produits finis. Le gouvernement a donc inscrit la structuration de cette filière au rang des priorités de sa stratégie nationale « Recyclabilité, recyclage et réincorporation des matériaux ». La recherche sera centrale !

Papier-carton : peut mieux faire

Comparée au textile, la filière française de recyclage du papier-carton fait figure de bon élève. Elle atteint en effet 72% de taux de recyclage, avec 57% pour les briques en carton. Mais si 62% de la consommation de fibres est rendue possible grâce au recyclage, ces matériaux sont utilisés pour des produits de faible valeur ajoutée et leur production a un fort impact environnemental et énergétique.

Autre souci, la France exporte chaque année d'importantes quantités de cartons triés à recycler, qui seraient moindres si les débouchés étaient plus nombreux sur le sol national. L'innovation doit donc également viser le développement de nouveaux débouchés.

Le BTP : tout reste à construire (ou presque !)

Parmi les 326 millions de tonnes de déchets produits en France en 2017, 224, soit près de 70%, étaient imputables au seul secteur du BTP.

Cette quantité est près de deux fois plus élevée que dans les autres pays européens, générée en majeure partie par les travaux publics. Si les déchets inertes - terres et matériaux meubles non pollués, gravas et matériaux rocheux, béton, briques, tuiles, ardoises... -, plus facilement valorisables via le recyclage et le remblaiement de carrière, représentent de loin la part la plus importante, il reste beaucoup à faire pour les autres déchets non inertes : métaux, matériaux isolants, bois, plastiques... Et ce malgré une législation de plus en plus contraignante pour les professionnels. Un autre défi de taille pour les chercheurs !

Sources :

- Etude cartographique Mike / Réseau SATT « Recyclage des Matériaux », mars 2023
- Etude cartographique Mike / Réseau SATT « Recyclage des Fibres de Carbone », janvier 2023
- Etude cartographique Mike / Réseau SATT « Matériaux recyclés », mai 2023
- Document de lancement du PEPR « Recyclabilité, Recyclage, Réutilisation des Matières », 27 avril 2023 (Jean-François Gérard, Directeur de Programme)
- Document de présentation du consortium CIRCLE, 31 mai 2023 (Miranda Delmotte, CNRS Innovation, et Sophie Jullian, Pulsalys)
- Document Lab2Market « Recyclage et Réincorporation des Matériaux dans le BTP », Pulsalys, mai 2022
- Présentation « PIA4 - Stratégie d'Accélération Recyclabilité, Recyclage & Ré-Incorporation des Matériaux », Jean-François Gérard, CNRS, février 2022
- « Faisabilité de mécanismes de sécurisation du modèle économique des filières du recyclage : application aux plastiques et élastomères », étude économique DGE / 2ACR / ADEME, septembre 2017
- Dossier de presse « Stratégie nationale Recyclabilité, Recyclage et Réincorporation des Matériaux », septembre 2021
- « Environment Sustainability in Packaging: Biodegradable Packaging », étude GlobalData
- Livre blanc « Comment intégrer les Matériaux Plastiques », Techniques de l'Ingénieur, février 2023



LES CHIFFRES CLÉS

Volumes de marché en France

Tonnages totaux collectés pour recyclage, hors déchets organiques

	Tonnages collectés en 2020 (kt)	Tonnages collectés en 2021 (kt)	Variation tonnages 2020/2021	MPR produites et vendues en 2021 (kt)
Métaux ferreux	11 200	12 900	15,2 %	12 255
Inertes		11 700 (bâtiment)		9 000 (bâtiment)
Bois	6 334	7 157	13 %	6 084
Papier-cartons	6 318	6 874	8,8 %	6 874
Verre	2 552	2 518	-1,4 %	2 518
Métaux non ferreux	1 690	2 045	21 %	2 106
Palettes pour réutilisation	1 650 *	1 845	11,8 %	1 716
Plastiques	923	1 043	13 %	750 (car partie de travail à façon sur les tonnages collectés)
Textiles	204	244	19,8 %	191
Total	30 871*	34 788 (34 488 incluant autres bâtiments)	12,1 % (hors inerte)	32 600 (incluant inerte bâtiment)

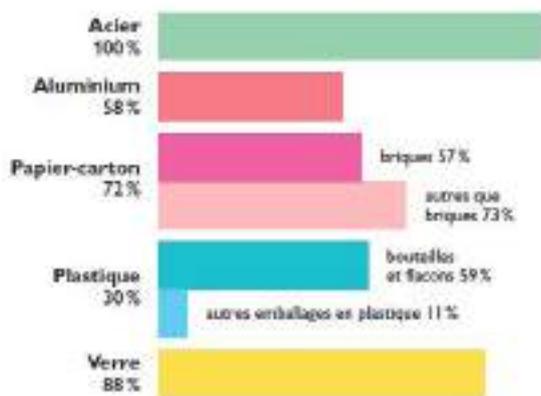
* Estimation 2020 revue

34
Millions d'euros

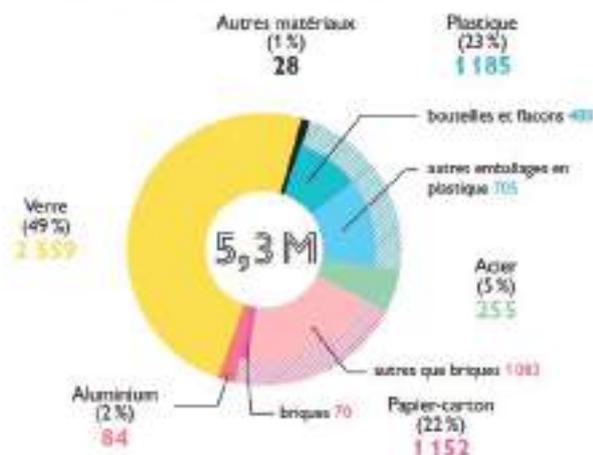
C'est le montant de la levée de fonds de FAIRMAT en 2022, entreprise qui souhaite rendre plus facile et plus durable le recyclage des matériaux avancés grâce à des technologies robotiques.

Taux de recyclage par matériau en France en 2021 (en %)

Taux de recyclage par matériau (en %)



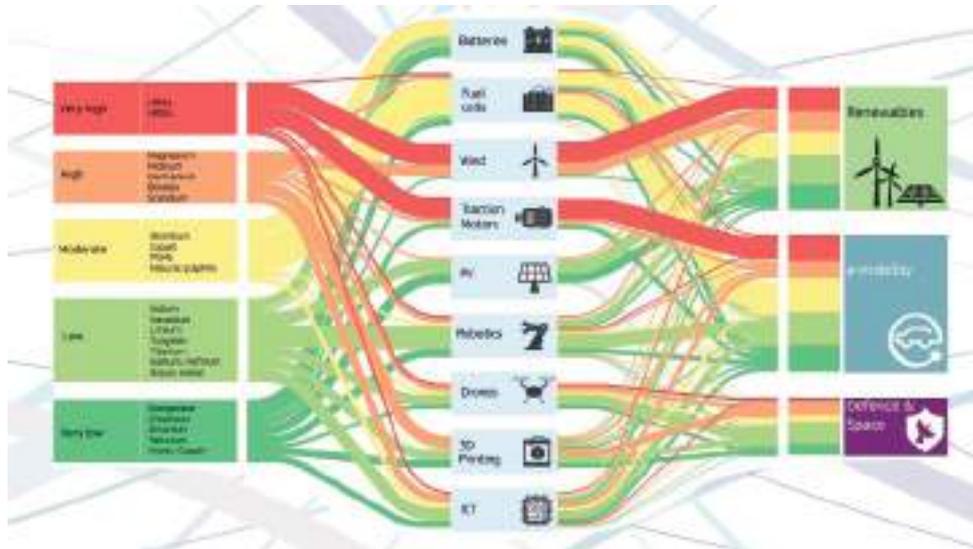
Répartition du gisement d'emballages qui contribue au financement de la filière (en milliers de tonnes – chiffres arrondés)



Malgré une forte augmentation de la collecte du recyclage, le plastique reste un des matériaux les plus difficiles à recycler.

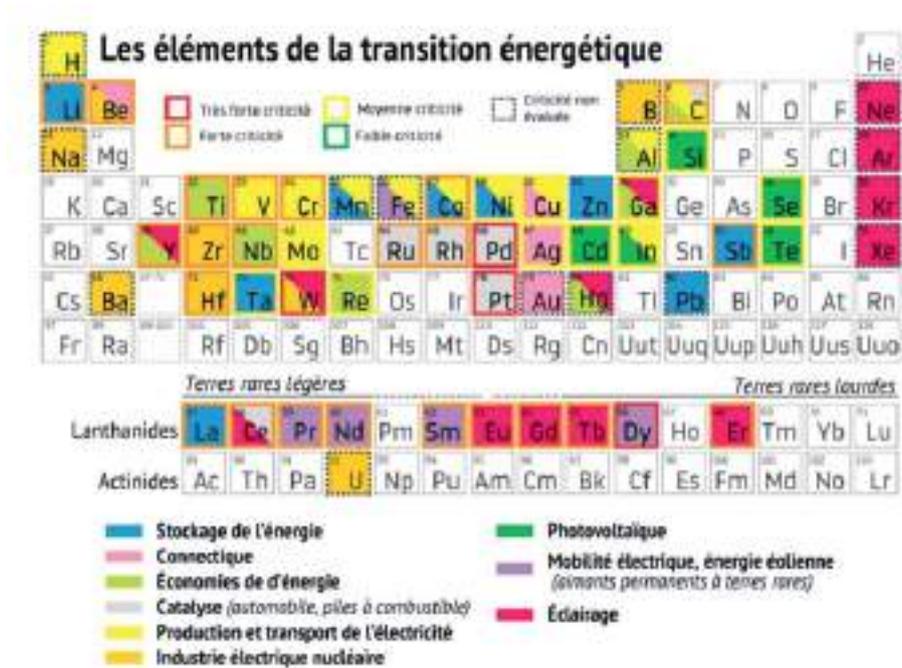


Le recyclage des matériaux stratégiques : tension dans la chaîne d'approvisionnement



Besoins en métaux critiques au regard des technologies clés

La transition énergétique mobilise des ressources minérales de plus en plus diversifiées



De nombreuses terres rares sont utilisées pour les technologies décarbonées : Production et transport de l'électricité, Industrie électrique nucléaire, Eclairage, Mobilité électrique, Energie éolienne...

LES GRANDES PRIORITÉS NATIONALES



Le gouvernement a défini 4 priorités nationales:

- Soutenir la recherche, le développement & l'innovation pour mettre au point des solutions de recyclage plus performantes pour l'ensemble des cinq matériaux de la stratégie.
- Renforcer la formation et le développement des compétences.
- Permettre le déploiement d'unités industrielles de recyclage des batteries et l'adaptation de l'outil industriel pour réincorporer des matières premières de recyclage dans de nouveaux cycles de production.
- Conserver la position de leader d'innovation des acteurs français des technologies du tri.

Appel à projets

L'AAP « Solutions Innovantes pour l'amélioration de la recyclabilité, du Recyclage et de la réincorporation des matériaux » cible toutes les étapes du recyclage des déchets pour 6 familles de matériaux : les plastiques, les textiles, les métaux et batteries, le bois, le papier-carton, ainsi que le verre et les matériaux minéraux.

La stratégie nationale « Recyclabilité, Recyclage et Réincorporation des matériaux recyclés »

Ces priorités sont reprises dans la stratégie lancée en septembre 2021 par le gouvernement dans le cadre de sa stratégie nationale pour **accélérer le recyclage de cinq matériaux : plastiques, composites, textiles, métaux stratégiques, papiers-cartons**. Déjà forte de 200M€ prévus dans France Relance, cette stratégie bénéficie de 370M€ supplémentaires du PIA pour 2021-2027 pour soutenir la R&D de solutions de recyclage et le développement de formations et compétences pour accompagner le déploiement industriel d'unités de recyclage de batteries ainsi que l'adaptation de l'outil industriel pour réincorporer les matériels premières de recyclage dans de nouveaux cycles de production. C'est dans ce cadre qu'a été lancé l'appel à projets « Solutions innovantes pour l'amélioration de la Recyclabilité, du Recyclage et de la Réincorporation des matériaux » (AAP RRR).

Des pôles de compétitivité positionnés sur la SNA

- TEAM2, pôle de compétitivité du recyclage est actif sur les différentes filières du recyclage et domaines concernés : textile, automobile, BTP, plastiques, composites et économie circulaire.
- EuraMaterials est le pôle de compétitivité des industries de transformation des matériaux (textile, verre, plastique, papier/carton, composites, céramique, bois, métal...).
- Les thématiques du recyclage et des matériaux restent partie intégrante de la feuille de route du pôle Axelera.



QUELS ENJEUX POUR LA FRANCE ?



Mathieu BRANDIBAT

Coordinateur national des stratégies d'accélération «Recyclabilité» et «Biosourcés»

L'Etat a mis en œuvre 18 Stratégies Nationales d'Accélération dont l'une d'entre elle porte sur la thématique « Recyclage, recyclabilité et réincorporation de matériaux recyclés ». En quoi est-ce prioritaire pour l'Etat dans le cadre de France 2030 ?

Cette thématique fait en effet l'objet d'une stratégie prioritaire pour l'Etat dans le cadre de France 2030 et s'inscrit dans la continuité des actions déjà menées avec les investissements d'avenir et les PIA 1, PIA 2, PIA 3 et PIA 4. Aujourd'hui, la question de la recyclabilité et du recyclage est un enjeu majeur de société qui concerne tous les secteurs d'activité et quasiment tous les matériaux et appelle des solutions complexes très pointues. Notre ambition est d'accompagner les filières telles que celles du plastique, du carton, des métaux, du textile, des matériaux composites, des batteries, ... et de soutenir, sur un temps long, l'émergence de solutions innovantes pour répondre aux enjeux sociétaux de

demain. L'enjeu est aussi la sécurisation de l'accès aux matières premières qui est indispensable pour réindustrialiser la France. En effet, il faut pouvoir disposer des volumes de matériaux nécessaires pour pouvoir faire fonctionner les usines ; et le recyclage et la recyclabilité permettent de produire ces matériaux de façon vertueuse et de garantir l'approvisionnement. C'est pour ces raisons que l'Etat a souhaité faire une stratégie d'accélération dédiée : afin d'allouer des moyens spécifiques pour adresser toutes les problématiques de manière très globale. Très concrètement, l'Etat déploie 40 M€ sur le Programme d'équipement prioritaire et de recherche (PEPR), 24 M€ sur les actions de prématuration/maturation pour CIRCLE, et plus globalement 2,2 Md€ sur les problématiques de matériaux dans l'ensemble des sujets de la recherche à l'industrialisation.

Comment percevez-vous le rôle de la recherche publique et de l'innovation afin de relever ces enjeux ?

Comme je l'évoquais, il faut travailler sur un temps long sur la question du recyclage et de la recyclabilité car il y a aujourd'hui des matériaux nouveaux, des nouvelles normes et réglementations qui se mettent en place en faveur de l'environnement et d'autres problématiques autour de l'écoconception qui nous obligent à penser sur le long terme. Et c'est justement grâce à la recherche et aux innovations développées dans les laboratoires publics que l'on peut travailler plus finement sur les molécules, sur les matières et matériaux, sur les procédés, sur les nouveaux marchés... qui permettront de nous apporter des réponses concrètes à ces enjeux complexes du recyclage. De plus, il y a aujourd'hui une compétition internationale

notamment sur la question de l'accès aux matières premières. Ce sont ces innovations produites par notre recherche publique qui permettent notamment de garder un temps d'avance et d'anticiper le coup d'après pour pouvoir à la fois garder en France les ressources essentielles pour nos industries et les réutiliser en instaurant ainsi un cercle vertueux de la production.

Dans le cadre des Stratégies Nationales d'Accélération, il y a plusieurs champs d'intervention dont l'appel à projets prématuration/maturation. Quelles sont les ambitions de ce dispositif de financement ?

La volonté de l'Etat est de pouvoir financer l'ensemble de la chaîne de valeur, du plus amont avec la recherche fondamentale et en aval les projets de prématuration et maturation, jusqu'à la démonstration et au déploiement sur le marché. En effet, ce continuum de financement est primordial afin qu'il n'y ait pas de rupture de développement d'un projet de recherche qui aurait un potentiel en termes de propriété intellectuelle et qui peut être valorisé. Les ambitions de cet appel à projets prématuration/maturation sont de pouvoir tester le potentiel de ces projets qui pourront, à différentes étapes, être co-construits avec des industriels, afin d'arriver à une preuve de concept, à un prototype ou à un pilote industriel qui soit suffisamment robuste et arriver sur le marché dans les meilleures conditions possibles.

De plus, cet appel à projets s'inscrit dans la durée, avec des financements prévus jusqu'à 2027, ce qui permet de donner de la visibilité dans le temps à la fois sur les critères de mise en œuvre qui pourront évoluer pour s'adapter et surtout sur les nombreux projets qui ont besoin de temps long pour leur développement.

En tant que coordinateur national de la stratégie d'accélération, comment percevez-vous le dispositif de financement CIRCLE sur la prématuration et la maturation et quels sont les résultats attendus ?

« Comme je l'indiquais précédemment, l'enveloppe qui est aujourd'hui décidée, c'est 24 M€ sur la période 2023-2027 et le premier indicateur observé sera le niveau d'utilisation de ces financements dédiés. »

Il faut que la gouvernance se mette en place dans le consortium CIRCLE afin de pouvoir accompagner au mieux les projets sur l'ensemble du territoire national. Le critère le plus important réside dans la concrétisation des projets qui seront soutenus et il faudra s'interroger sur la qualité de ceux-ci, au regard des filières adressées et des enjeux spécifiques pour la France définis dans les SNA. À terme, l'ambition du dispositif CIRCLE serait de voir des projets soutenus devenir des belles réussites industrielles françaises et que l'on puisse raconter de belles histoires.

Plus globalement, la volonté de l'Etat est que ce dispositif crée des opportunités en France et bénéficie à des industriels et entreprises installées sur le territoire national pour pouvoir contribuer à cette souveraineté industrielle dans le domaine du recyclage, de la recyclabilité et de la réincorporation des matériaux tout en répondant aux enjeux de transition environnementale.

LES APPORTS ATTENDUS DE L'INNOVATION



Jean-François GÉRARD

Directeur du PEPR Recyclage, Recyclabilité et Réincorporation des matériaux recyclés, CNRS

Vous êtes coordinateur du PEPR recyclage, recyclabilité et réincorporation des matériaux recyclés. Pourquoi avoir choisi cette discipline ?

Au démarrage, j'ai réalisé mon service militaire dans un laboratoire de chimie et j'y suis resté pour faire de la chimie organique. J'y ai découvert comment on construisait les matériaux, en particulier les matériaux organiques, et, chemin faisant, je me suis spécialisé sur les polymères. Aujourd'hui, ce qui me passionne, en tant que chercheur au laboratoire Ingénierie des Matériaux Polymères (IMP), c'est de construire ce lego moléculaire pour créer des matériaux. Et depuis plusieurs années, je me mobilise pour contribuer à cet enjeu assez phénoménal que nous avons devant nous : la raréfaction, la finitude des ressources. En particulier, mes recherches portent sur 2 sujets : comment fabriquer plus proprement et comment récupérer des ressources qui ont été utilisées, en particulier les polymères. Un mes sujets de prédilection est donc la réintégration des polymères, matériaux que l'on retrouve dans tous les produits de grande consommation : nous sommes habillés en polymères, la table sur laquelle je suis appuyé présente un revêtement polymère, nos packaging alimentaires sont

en plastique, nous nous déplaçons dans des automobiles ou des avions constitués en grande partie de polymères etc. Ce sont des matériaux qui ont, par exemple, contribué grandement à la sécurité alimentaire en évitant la prolifération de bactéries, ou encore à la sécurité sanitaire dans les hôpitaux (matériels et dispositifs médicaux). Cependant, nous devons complètement les repenser dans une logique de développement durable, d'économie circulaire. Et nous avons de grands défis sur le recyclage et la recyclabilité dans d'autres filières. C'est un sujet assez passionnant. Ce qui m'intéresse personnellement, c'est une approche à la croisée de plusieurs disciplines. C'est ce que nous mettons en œuvre au travers du Programme et Equipements Prioritaires de Recherche (PEPR) que je coordonne. Il nous faut mettre en œuvre en effet une approche systémique qui, au-delà de la science des matériaux, intègre la sociologie, les usages, le droit ou encore l'économie et la géopolitique.

Pouvez-vous nous rappeler les enjeux du PEPR ?

Le programme France 2030 dont fait partie le PEPR est bien pensé pour couvrir tout le continuum des filières à enjeux, y compris pour apporter de la connaissance scientifique et des solutions innovantes à ces filières. Dans le PEPR que je coordonne, il y a 5 filières identifiées : le plastique, les métaux stratégiques, les composites, le papier/carton et enfin le textile.

Tout d'abord, sur la filière « plastique », il y a un vrai enjeu à tous les niveaux : dans les usages et dans la conception et la production pour pouvoir les rendre plus recyclables et donc circulaires. Il s'agit aussi d'accélérer l'utilisation de ressources qui sont renouvelables, les bioressources. Les

défis du recyclage sont nombreux car les cahiers des charges sont complexes. Par exemple, pour répondre à un usage, il faut une rigidité du matériau plastique et une barrière à l'oxygène et au gaz carbonique tout en étant transparent et imprimable avec éventuellement une tenue au feu et aux UV, etc. C'est le cas en particulier des emballages où on finit par avoir des multicouches constitués d'une dizaine de films polymères différents superposés, qui sont, en conséquence, très difficilement recyclables. Sur cette filière « plastique », le taux de recyclage est d'environ 25% : il y a donc une marge très importante de progression. Avec la réglementation notamment sur l'usage unique, le marché est énorme. Actuellement, dans le monde, 400 millions de tonnes de plastiques sont produites chaque année dont les 50 à 60% pour le packaging.

La seconde filière, ce sont les **métaux stratégiques**, qui regroupent une cinquantaine de métaux considérés comme indispensables pour l'industrie, les technologies de pointe verte et le high tech. Ces matières premières sont au cœur d'enjeux économiques et géopolitiques planétaires. Par exemple, pour l'électrification de l'industrie, des transports, on va utiliser des métaux rares comme le lithium ou le platine, que l'on retrouve dans les batteries, l'éolien, l'économie de l'hydrogène, le photovoltaïque, ou encore l'électronique. Il y a en particulier des travaux de recherche à mener pour récupérer ces métaux. Typiquement le lithium est actuellement recyclé à hauteur seulement de 1%. Il y a aussi des enjeux de conception. Aujourd'hui, une pile ou une batterie n'est pas conçue pour être démontée alors qu'il faut pourtant pouvoir séparer les matières pour récupérer ces métaux stratégiques qui sont souvent en quantité extrêmement faibles. Pour ces composés, les gisements sont donc très distribués et sont plus compliqués à traiter que les polymères. Sur cette filière, des

considérations géopolitiques, sociétales et sociales, économiques et juridiques doivent être prises en compte. Dans ce domaine donc, il nous faut complètement mettre en place la filière du recyclage.

Le 3ème domaine concerne les **matériaux composites** que l'on retrouve dans l'aéronautique, le nautisme, les piscines, l'éolien, etc. Les gisements sont également très distribués. Par exemple, dans un avion, il y a de plus en plus de composites mais en relativement faible quantité et ils sont difficiles à récupérer parce qu'ils sont souvent associés, comme dans une pale d'éolienne, avec d'autres types de matériaux : une mousse, une pièce de métal etc. Les composites sont des matériaux nobles, qui ont été créés il y a 10-20 ans et nous commençons donc juste à devoir les recycler. C'est le cas en particulier des premiers parcs éoliens. Comme il y a une tendance à des pales toujours plus grande, de l'ordre de 75 à 100 mètres de long aujourd'hui, les gisements vont croître de manière extrêmement importante. Des filières de valorisation des composites commencent à voir le jour pour récupérer les fibres de carbone. La recherche doit permettre d'aider le recyclage mais aussi de concevoir des matériaux composites qui soient plus facilement recyclables.

Le 4ème domaine, c'est celui des **papiers cartons**. Cette filière est complètement différente puisque le recyclage est très élevé. Mais le recyclage a un impact environnemental très important : avec une consommation d'eau très importante, des rejets, et de fortes consommations d'énergie. La filière nécessite de très grosses installations industrielles avec un enjeu de souveraineté pour éviter que le recyclage soit délocalisé. Par ailleurs, dans le recyclage des papiers cartons, on remet souvent une quantité non négligeable de fibres vierges et le traitement des encres est un sujet. Il y a un enjeu de recherche et d'innovation sur les procédés pour avoir

moins d'impact, en particulier pour les procédés de blanchiment et de recyclage des encres.

Enfin notre 5ème catégorie, c'est le **textile**. Aujourd'hui, 3% de textile de l'habillement est réutilisé. La plus grande partie est jetée et incinérée. Ces objets textiles sont extrêmement compliqués à recycler. Dans une chemise, par exemple, il y a différents matériaux : du lin, du coton, du polyester, du polyamide mais aussi une boutonnière, une étiquette, du flocage, une puce RFID, ainsi que de la teinture. Une chemise n'est donc pas simple à « démanteler » et à recycler. Il y a également un vrai sujet de grande consommation, plus fort que sur les autres thématiques évoquées. Les recherches portent donc aussi sur les aspects comportementaux et l'économie solidaire.

En quoi les dispositifs soutenant la prématuration et la maturation technologique comme CIRCLE complètent habilement les dispositifs existants ?

Le PEPR sert à produire certes de la connaissance mais nous pouvons aussi trouver dans les problématiques sociétales et technologiques, de vraies questions de recherche, qui donneront naissance à des résultats scientifiques. Dans la communauté de recherche du PEPR recyclage, nous avons à peu près 70 laboratoires soit plus de 1000 chercheurs. Et le PEPR a 2 vocations : produire de la connaissance et amener au transfert technologique c'est-à-dire amener les chercheurs vers des projets de prématuration (TRL 2 et 3) et maturation (TRL 3 à 6) technologiques qui seront soutenus dans CIRCLE.

Il y donc une forte continuité entre le PEPR et CIRCLE. Nous espérons pouvoir identifier plus rapidement les résultats scientifiques transférables en solutions technologiques

avec des acteurs mobilisés pour soutenir la mise en œuvre de démonstrateur et les amener aux filières industrielles. De nombreux travaux menés en laboratoires de recherche sont intéressants et c'est aussi en se frottant au dispositif CIRCLE, que le chercheur pourra imaginer un applicatif dans le domaine du recyclage et de la recyclabilité. Par exemple, les chercheurs qui font des travaux sur les enzymes n'ont pas toujours identifié que leur recherche peut présenter un intérêt pour le recyclage dans les filières évoquées.

Pourquoi est-ce qu'un chercheur devrait candidater ?

Un chercheur ne peut pas rester en dehors des enjeux sociétaux et environnementaux et j'ai personnellement une vision positive des choses : la science peut contribuer à résoudre ces problématiques de ressources. Nous avons aussi la responsabilité de lui faire connaître les questions technologiques qu'il pourra retranscrire à l'échelle scientifique dans son propre domaine et l'accompagner en ce sens. Cela peut permettre au chercheur de pouvoir contribuer au développement durable, à l'environnement et à une meilleure société et ce n'est aucunement du temps de perdu pour la science ! Ce que j'ai pu expérimenter depuis que je suis chercheur, c'est que des questions posées par les industriels ont donné lieu à des vraies questions scientifiques auxquelles nous n'aurions pas forcément pensé.



LA RECHERCHE DANS LE RECYCLAGE TEXTILE



Anne PERWUELZ

Enseignante-chercheuse au Laboratoire de recherche textile GEMTEX, École Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles, Université de Lille, Roubaix

Vous êtes chercheuse au laboratoire GEMTEX. En quelques mots, quel est votre domaine de recherche ?

Je suis enseignante dans un établissement qui forme des ingénieurs textile, l'ENSAIT, et je réalise mes recherches au sein du laboratoire GEMTEX, génie et matériaux textile, au sein de l'Université de Lille depuis 32 ans. Aussi, je suis chef de file sur la filière textile dans le PEPR Recyclage et Recyclabilité. Mon domaine de recherche, c'est le génie des procédés appliqué au textile. Je suis chimiste à l'origine et je travaille sur les procédés chimiques qui permettent de recycler le textile notamment pour retirer les impuretés du textile ou encore pour éliminer les ignifugeants, ces additifs que l'on met dans les plastiques et aussi dans les textiles pour les rendre ininflammables ; ce sont des molécules qui sont en réalité assez toxiques et qui freinent la recyclabilité. J'ai un deuxième axe de recherche qui porte sur l'évaluation environnementale de la filière textile, en particulier l'analyse du cycle de vie et l'écoconception.

Quels projets d'innovation avez-vous ou portez-vous sur la thématique recyclage, recyclabilité et réincorporation des matériaux ?

Il y a 20 ans, on ne parlait pas beaucoup de recyclabilité dans le textile, ce n'était pas le sujet même si par exemple, des industriels transformaient le textile en bouillie pour en faire du papier, ou encore des vêtements en petits tapis, des moquettes qui devaient être très résistantes notamment pour l'automobile. Il y a eu un grand changement en 2009, lors de la mise en place de l'éco-organisme dans la filière textile, qui prélève une petite taxe sur tous les textiles, vêtements ou linge de maison, et les réinvestit dans la filière du recyclage.

Ensuite, il y a eu la notion d'écoconception qui a permis d'intéresser des acteurs de la distribution qui n'étaient pas concernés jusqu'alors par le recyclage. Petit à petit, c'est toute la filière, y compris les fabricants, qui s'est impliquée.

Dès 2008, nous avons développé l'outil ACV (analyse du cycle de vie) pour qu'il soit adapté aux textiles. Ainsi, nous avons identifié plusieurs scénarii d'écoconception sur les phases de fabrication, d'usage et aussi de recyclage des matériaux textile. Cela a généré 2 axes de recherche principaux, l'un basé sur le traitement des textiles, principalement pour faciliter le recyclage, l'autre sur l'économie circulaire en augmentant la durée d'usage.

Enfin, nous avons été impliqués dans un projet européen Erasmus pour créer une formation complète sur les stratégies d'innovation associées à l'économie circulaire dans le textile. Pour faciliter l'écoconception, nous pilotons un projet sur une méthodologie pour mieux collecter l'information et permettre davantage de textiles éco-produits et donc recyclables. Une doctorante est en train de finaliser le projet et devrait se lancer dans la création d'une startup.

Parallèlement au laboratoire GEMTEX, plusieurs projets d'innovation sont développés autour des non-tissés, en utilisant les plateformes d'équipement de l'IFTH, le Centre Technique Industriel du textile et de l'habillement en France. Cela concerne par exemple le recyclage des masques COVID formés de non-tissés en polypropylène, ou la transformation en non-tissés de déchets de textiles d'habillement pour en faire de nouveaux produits.

Nous avons aussi créé une chaire économie circulaire dans le textile (Chaire Tex&Care) incluant un laboratoire de sociologie aux côtés de laboratoires plus techniques car forcément les projets sont souvent interdisciplinaires et systémiques.

CIRCLE finance les projets de prématuration/maturation. Comment percevez-vous ce nouveau dispositif ?

Il y a 20 ans, l'objectif des entreprises textile était avant tout de ne pas fermer, alors qu'aujourd'hui, leur enjeu est de participer à la transition. La technologie et l'innovation

les intéressent davantage pour améliorer leur outil de production. Forcément, je trouve que la mise en place de CIRCLE va dans le bon sens : le textile était un peu le parent pauvre des appels nationaux et européens. Et là, avec le PEPR et CIRCLE, il y a un soutien à la fois pour la recherche et pour le transfert technologique. Dans notre filière, il y a vraiment beaucoup d'acteurs qui s'y mettent, beaucoup d'initiatives mais parfois la recherche est perçue comme quelque chose qui n'est pas pour eux. Le recyclage peut encore être vu par certains comme un secteur qui n'a pas besoin de recherche et en proposant un nouveau dispositif, nous pouvons faire un lien permanent entre la recherche, les entreprises établies et les startups qui se créent.

Selon vous, pourquoi un chercheur devrait candidater ?

Les chercheurs dans le domaine du textile travaillent assez facilement avec le monde de l'entreprise mais il est vrai que c'est quand même une grande opportunité, parce que cela permet d'adosser encore plus la recherche à une entreprise, avec une prise de risque partagée sur la phase de maturation et soutenue par CIRCLE. Ce dispositif permet aussi aux entreprises de prendre du recul par rapport au système en place et de mieux innover : le monde du textile a tellement d'enjeux aujourd'hui, en termes de transition et de recyclabilité qu'il a beaucoup plus besoin de la recherche qu'auparavant.

LES EMBALLAGES ET DÉCHETS PLASTIQUES : DE NOMBREUX ENJEUX



Yvan CHALAMET

Enseignant-chercheur au laboratoire
Ingénierie des Matériaux Polymères de
l'Université Jean Monnet de Saint-Étienne

Vous êtes chercheur au laboratoire Ingénierie des Matériaux Polymères (IMP). En quelques mots, quel est votre domaine de recherche ?

Je suis chercheur au laboratoire IMP, une Unité mixte de recherche CNRS avec 3 établissements, l'INSA Lyon, l'Université Claude Bernard Lyon 1 et puis l'Université Jean Monnet de Saint-Étienne. Je suis basé à Saint-Étienne et mon activité de recherche, c'est principalement, depuis l'obtention de ma thèse, le procédé d'extrusion, et plus particulièrement l'extrusion réactive. En deux mots, l'extrusion, c'est la fabrication par écoulement de matières liquides, et les objectifs poursuivis dans mes recherches visent à développer des matériaux polymères avec des fonctions particulières pour répondre à des propriétés particulières. Je travaille actuellement beaucoup sur la question du recyclage des emballages, les polyoléfinés entre autres, et leurs associations avec d'autres matériaux, qui génèrent de nombreuses contraintes de recyclabilité.

Quels projets d'innovation avez-vous ou portez-vous sur la thématique recyclage, recyclabilité et réincorporation des matériaux ?

Nous travaillons depuis de nombreuses années au laboratoire IMP sur cette thématique, même si les mots « recyclage » et « recyclabilité » n'étaient pas forcément ceux utilisés il y a 15 ans.

Aujourd'hui, la thématique est beaucoup plus clairement affichée, typiquement dans le PEPR et dans CIRCLE. Je trouve cela très bien : il y a un changement de vision sur le recyclage et la recyclabilité, et l'affirmation d'un besoin de soutenir la science et l'innovation.

Dans nos projets actuels, j'ai déjà parlé de l'extrusion et des matériaux, il y a aussi l'utilisation du CO₂ pour dépolluer les matériaux. Dans le recyclage, il y a un besoin réglementaire mais aussi une attente sociétale forte pour disposer d'un matériau sûr, c'est-à-dire exempt de tout composé polluant ou d'impureté. Scientifiquement, le challenge est de proposer un procédé en continu de nettoyage et de purification. Un autre sujet de recherche et d'innovation, peut-être encore plus parlant, est la désodorisation, parce que quand on utilise des matières post-usage ou des matières qui ont fait un séjour en contact avec d'autres matières, organiques par exemple, dans les poubelles, il y a vraiment une problématique d'odeur. Le CO₂ peut être une bonne solution pour pouvoir désodoriser les matières post-consommation. Nous menons, par exemple, des recherches sur le recyclage des pneumatiques ; le défi ici est de pouvoir réutiliser ces matériaux vulcanisés (réticulés). Nous réalisons la régénération (dévulcanisation) en extrudeuse, et ici aussi, l'utilisation du CO₂ est intéressante pour ces capacités à désodoriser le matériau.



D'autres projets portent, également, sur la baisse de la consommation d'énergie et la limitation d'usage de composés chimiques dans le recyclage. Nous réalisons par exemple la compatibilisation des mélanges de polymères par extrusion réactive à froid.

Enfin, nous avons un volet de recherche sur les matériaux biosourcés qui intéressent les producteurs ou transformateurs de matières plastiques. Dans ce domaine, je contribue à l'aventure de la startup « La Tannerie Végétale » dont l'objectif est de remplacer le cuir animal par une solution végétale avec une production en continu par extrusion en gardant avec un biomatériau les mêmes caractéristiques, les mêmes propriétés du cuir animal.

CIRCLE finance les projets de prématuration/maturation. Comment percevez-vous ce nouveau dispositif ?

Il est important de soutenir à la fois des phases de TRL bas (Technology Readiness Level), « parce qu'il y a des questions/propositions scientifiques » très en amont, et la valorisation de ces résultats de recherche. Mais il ne faut pas, bien sûr, confondre valorisation et diffusion des connaissances ! Et la valorisation n'est pas uniquement du partenariat dans un projet collaboratif. Un chercheur peut considérer que ses résultats doivent faire l'objet de maturation et être valorisés différemment, peut-être à des plus petites échelles tout en maîtrisant la propriété intellectuelle et en être aussi l'acteur.

CIRCLE répond à cet accompagnement entre la recherche et la mise sur le marché. En effet, les résultats issus d'un laboratoire n'intéressent pas immédiatement un industriel, parce que c'est trop en amont et pas assez mûr. Il faudrait que ça fonctionne déjà, et avoir un prototype qui soit suffisamment robuste. En ce sens, l'accompagnement des prématurations – maturations constitue la bonne formule pour accompagner le chercheur à transférer ses

résultats de recherches vers la société via un partenariat industriel ou par la création de startup.

Selon vous, pourquoi un chercheur devrait candidater au dispositif CIRCLE ?

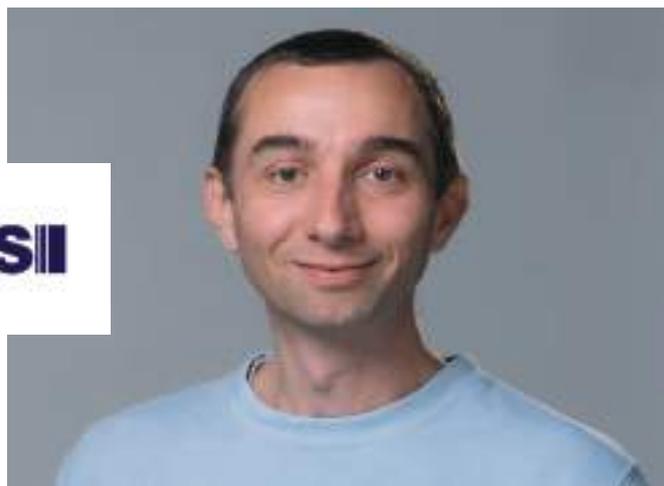
Si le chercheur veut protéger ses résultats ou son savoir-faire et consolider ses connaissances sur le sujet, le dispositif CIRCLE est sans doute pour lui. L'intérêt aussi est d'avoir une visée sociétale avec un objectif applicatif, cela peut apporter beaucoup de sens à son activité de recherche.

Quant on se lance dans la prématuration et la maturation de ses travaux de recherche, il y a une forme d'engagement dans l'entrepreneuriat, que je trouve particulièrement intéressant car le chercheur aura une autre vision, un autre axe d'activité au-delà de sa recherche académique. Cela ouvre les portes vers d'autres disciplines et vers des enjeux économiques et sociétaux beaucoup plus larges. Je pense donc qu'il ne faut surtout pas se brider, notamment en doctorat, si on a une fibre entrepreneuriale. Le soutien en prématuration et maturation sera précieux et les SATT, comme PULSALYS sur Lyon Saint-Étienne, permettent aussi de s'informer et de se former.

NOUS CONTINUONS À TRAVAILLER AVEC LA RECHERCHE PUBLIQUE



Yun LUO
CEO ROSI



Guy CHICHIGNOUD
CTO ROSI

ROSI

Tout d'abord, pourriez-vous nous présenter ROSI en quelques mots ?

Guy : La startup ROSI est née de la volonté des 3 fondateurs, Yun LUO, Daniel BAJOLET et moi-même, d'adresser les différents flux gaspillés lors de la chaîne de fabrication des panneaux solaires : depuis la fabrication du silicium jusqu'au démontage des modules. C'est une longue chaîne industrielle qui génère beaucoup de déchets.

Yun : En effet, ROSI propose des solutions innovantes pour recycler et revaloriser les matières premières de l'industrie photovoltaïque. Ces technologies permettent de récupérer le silicium ultra-pur et les autres métaux perdus lors de la production des cellules photovoltaïques et de la fin de vie des panneaux solaires. En juin 2023, nous avons inauguré, avec nos 35 collaborateurs, notre première usine qui est 100% dédiée à la revalorisation des matériaux issus du recyclage des modèles en fin de vie.

Quels sont les grands enjeux de votre filière ?

Yun : Selon moi, un des premiers enjeux de notre filière des panneaux photovoltaïques et plus généralement du recyclage est la pureté des matières recyclées. En effet, il faut un très haut niveau de pureté afin qu'elles puissent être réutilisées dans les différentes industries et instaurer un cycle vertueux sur lequel ROSI souhaite s'appuyer. Il y a une très forte croissance du marché photovoltaïque ces dernières années et donc, par voie de conséquence, le recyclage de ces produits va croître considérablement sur les décennies qui viennent. L'enjeu principal pour la filière est d'avoir les capacités pour absorber l'ensemble des déchets.

Guy : Un autre enjeu important de la filière repose sur l'amélioration des marges. En effet, la marge actuelle est assez faible du fait des coûts importants du recyclage et donc la seule façon de s'en sortir économiquement, c'est de travailler sur du volume. Cela

permettra d'avoir un véritable impact sur le process d'un client industriel et donc un impact sur la filière. C'est la raison pour laquelle ROSI a construit sa propre usine afin de pouvoir augmenter ses capacités de production. Plus globalement, je pense que cette question de la marge et du volume est déterminante aujourd'hui dans de nombreuses filières qui doivent recycler les produits et matériaux.

Quel est votre lien avec la recherche publique, y a-t-il encore des verrous technologiques à lever ?

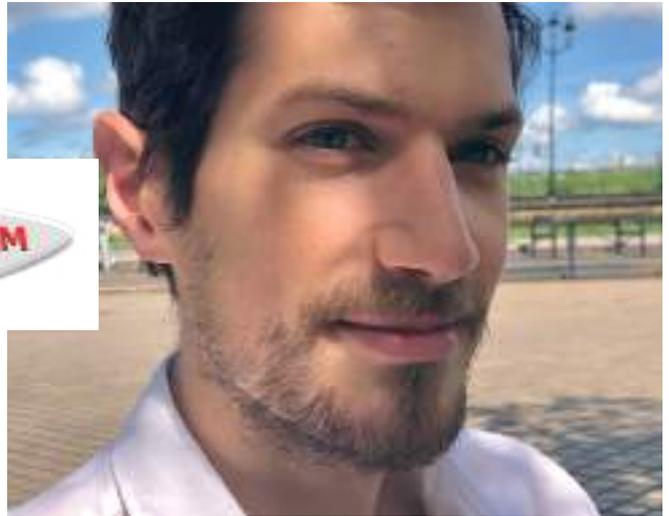
Yun : ROSI s'appuie sur les recherches menées par Guy, au sein du laboratoire Science et Ingénierie des MATériaux et Procédés (SIMAP) de Grenoble. Nous avons bénéficié d'un soutien constant de la part de la SATT Linksium depuis 2016, que ce soit sur la maturation ou l'incubation. Une partie des installations de ROSI est située sur le campus de Saint-Martin-d'Hères, qui est actuellement hébergé d'ailleurs par l'Université de Grenoble Alpes.

Guy : En effet, nous avons plusieurs brevets et sous-licences qui s'appuient sur les innovations scientifiques développées au sein de mon laboratoire. Nous avons encore des verrous à lever sur notre activité de recyclage des déchets de découpe afin d'arriver à un degré de maturité plus élevé. Dans ce cadre, nous continuons de travailler étroitement avec l'Université de Grenoble Alpes, le CNRS et le laboratoire SIMAP sur des activités amont liées au retraitement, au nettoyage et au reconditionnement des films de silicium. Il y a un vrai partage entre les collaborateurs de ROSI et du laboratoire avec des équipes mélangées et des moyens mis en commun.

CIRCLE amène de nouveaux financements pour accélérer la mise sur le marché de technologies de rupture. Comment percevez-vous ce dispositif ?

Yun : L'apport de nouveaux financements dans le domaine du recyclage sera bénéfique pour la filière grâce à de nouvelles innovations, telles que celles développées par ROSI, pour répondre aux défis actuels. Ce genre d'initiatives permettra peut-être également de faire bouger les mentalités pour que davantage d'industriels et d'investisseurs prennent des risques et s'engagent, aux côtés des laboratoires, sur des projets innovants afin de dessiner le monde de demain.

Guy : Le dispositif CIRCLE, au travers des financements alloués, va dans le sens de ce qu'il faut faire actuellement. En effet, il faut réinventer nos procédés industriels qui, pour la plupart d'entre eux, sont linéaires, pour aller vers la circularité. Cela représente une petite révolution dans la conception des différents process industriels qui est plus simple pour une startup comme ROSI que pour des grands groupes installés. Le dispositif CIRCLE pourra amener des innovations scientifiques pour améliorer les process industriels, en prenant en compte notamment l'écoconception à la base, et répondre ainsi aux enjeux majeurs de société dans le domaine du recyclage.



Eric DURIVAUT

CEO IDELAM

Tout d'abord, pourriez-vous nous présenter IDELAM en quelques mots ?

Eric : La startup IDELAM est une entreprise franco-suisse développant des procédés innovants de recyclage et de traitement des déchets. La technologie est le fruit de plusieurs années de R&D et du savoir-faire du laboratoire de l'Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB) sur les questions de génie des procédés. Cette innovation vise à favoriser le recyclage de produits solides complexes non recyclables en séparant les différents matériaux les constituant.

Thomas : En s'attaquant préférentiellement aux interfaces entre matériaux, le procédé IDELAM permet ainsi de récupérer les matériaux séparés pour permettre leur réutilisation ou leur recyclage. IDELAM réalise aujourd'hui des prestations, sur la base de son procédé, auprès d'entreprises et d'industriels dans différents secteurs tels que les textiles (TLC), les emballages (alimentaires, pharmaceutiques...), les panneaux solaires, les pales d'éoliennes... en France comme à l'international.

Thomas VOISIN

Chef de projet IDELAM

Quels sont les grands enjeux de votre filière ?

Eric : Un des enjeux majeurs de notre filière est la réglementation qui évolue en permanence concernant la question du recyclage que ce soit en France mais également beaucoup de directives européennes qui imposent de nouvelles normes pour les industriels. C'est notamment le cas dans le domaine de la mode, de l'énergie, des matériaux, des packagings avec une pression réglementaire qui est en train de se mettre en place pour 2025 sur l'incorporation de matières recyclées dans ces industries.

L'autre enjeu primordial se situe sur les matières premières. Il est aujourd'hui stratégique pour certains pays, pour la France, pour l'Europe, d'avoir les capacités de fabrication et de production sur place afin de garder la mainmise sur les matières premières elles-mêmes. Par voie de conséquence, cela veut dire qu'il faut recycler nos déchets sur place.

Thomas : Pour compléter, on voit bien qu'avec les éléments qu'évoque Eric, l'enjeu majeur va être l'augmentation du recyclage et de la recyclabilité des déchets qui ne sont actuellement pas recyclés. Cela amène une autre problématique, à savoir la question du stock important qui sera généré par ces matières recyclées du fait de l'obligation de la réglementation en Europe.

Quel est votre lien avec la recherche publique ? Y a-t-il des verrous technologiques encore à lever ?

Eric : Tout d'abord, le projet IDELAM a bénéficié d'un financement en prématuration de l'Université de Bordeaux et d'un soutien de la SATT Aquitaine Science Transfert. IDELAM est une spin-off de l'ICMCB qui est hébergée au laboratoire donc nous sommes évidemment très proches du laboratoire et de Cyril AYMONIER avec qui nous travaillons au quotidien pour échanger sur de nouvelles briques technologiques qui pourraient être bénéfiques pour IDELAM dans différents secteurs. C'est vraiment une relation de proximité et de confiance.

Thomas : Concernant les verrous, selon moi, il y a un verrou majeur dans le domaine du recyclage mais je ne sais pas si nous arriverons à le lever un jour. Il y a un délai très long entre les produits à recycler aujourd'hui et les produits qui seront recyclés dans 10 ans qui ont été faits avec des matériaux différents qui changent en permanence et des problématiques spécifiques à chaque marché telles que les réglementations qui évoluent également. La réponse peut être l'éco-conception pour arriver à penser, dès le départ avant même

la production, à la manière dont le produit pourra être recyclé. Il faut que ces délais entre le moment où il est fabriqué et le moment où il est recyclé soient les plus courts possible pour éviter de « polluer » notre environnement. IDELAM a son rôle à jouer dans cette boucle vertueuse.

CIRCLE amène de nouveaux financements pour accélérer la mise sur le marché de technologies de rupture, comment percevez-vous ce dispositif ?

Eric : Il est évident que des dispositifs de financement publics dans le domaine du recyclage seront bénéfiques pour l'ensemble de la filière. Il y a toujours des limites techniques sur certains produits qui sont plus complexes à recycler et donc les moyens financiers supplémentaires qui sont alloués par ce dispositif permettront sans doute de trouver des innovations de rupture sur des nouveaux matériaux ou pour des marchés qui ne sont pas adressés actuellement.

Thomas : En effet, selon moi, CIRCLE peut être un bon moyen également pour des projets de développement de procédés qui sont plus innovants, que ce soit en laboratoire ou en collaboration avec des industriels. Typiquement, IDELAM est sur une technologie relativement connue d'autoclave supercritique en CO₂ et pour aller plus loin, nous souhaiterions développer, avec le laboratoire, une technologie continue inédite à ce jour. CIRCLE pourrait être un moyen de financement d'un projet de recherche et développement d'une technologie similaire sur un niveau TRL (Technology Readiness Level) assez bas.

KEY OPINION LEADER INVESTISSEUR



Christophe DESRUMAUX Partner, DEMETER

Pouvez-vous nous présenter DEMETER et son implication sur la thématique recyclage, recyclabilité et réincorporation des matériaux recyclés ?

DEMETER est une société de gestion indépendante, créée en 2005, qui, depuis sa création, s'est positionnée de manière pionnière sur l'investissement en capital dans la transition écologique. Au démarrage, les secteurs d'intervention prédominants étaient la production d'énergies renouvelables, solaire et éolien, la gestion de l'eau et des déchets. Et progressivement, de nouveaux segments d'intervention sont apparus, et nous gérons aujourd'hui 1.3 milliard d'euros dans la mobilité verte, la chimie verte, les bâtiments plus efficaces, etc. Aujourd'hui la thématique recyclage et recyclabilité est complètement transversale : tout ce qui relève de la circularité et de l'économie circulaire est venu s'insérer dans nos différents segments. Nous avons d'ailleurs lancé en 2022 un fonds dédié à l'économie

circulaire. Nous avons aussi plusieurs sociétés du portefeuille qui agissent dans le domaine du recyclage, au sens large. Stockpro par exemple, favorise le réemploi de matériel non utilisé sur les chantiers de construction. Maltivor récupère des résidus (drêches) de brasserie, pour en faire des farines alimentaires. Donc, effectivement, une part importante de notre activité porte sur ces thématiques du recyclage et recyclabilité et sera vraisemblablement amenée à l'être de plus en plus dans le futur.

Je peux ajouter que, étant donné notre ADN chez DEMETER, nous avons une activité d'investissement qui se traduit par la mise en place de fonds à impact. Depuis 2 ans maintenant, peut-être 3, tous nos fonds d'investissement sont classés sur les plus hauts critères et la plus forte exigence en matière d'impact (SFDR 9). Ils sont évalués par des partenaires indépendants, des tiers de confiance et qualifiés.



Comment percevez-vous le rôle de la recherche et de l'innovation afin de relever les enjeux de la filière ?

Evidemment, il est important parce que, dans le domaine de l'investissement, la notion d'actifs, à commencer par la propriété intellectuelle, reste clé pour les jeunes entreprises. La qualité de ces actifs issus des travaux de recherche et développement et de leurs partenaires académiques est un élément décisif dans un environnement concurrentiel. Cela donne aux startups un avantage compétitif très significatif et une protection qui, in fine, constitue une bonne partie de leur valeur.

Cependant, dans le domaine de la circularité, les modèles économiques ne sont pas forcément faciles à trouver. C'est aussi par la voie technique, la recherche et par les ruptures qu'elle est en capacité de générer, que les startups peuvent lever des verrous et rendre possible des équations circulaires qui sont très complexes ; soit par des procédés beaucoup plus efficaces, soit en étant capables de traiter des produits ou des coproduits qui n'étaient pas valorisés précédemment. Donc, peut-être que dans le domaine de la recyclabilité, encore plus qu'ailleurs, le rôle de la recherche est primordial.

Quel est le lien entre votre action et celle de l'innovation dans le monde de la recherche ? À quel moment intervenez-vous par rapport à ces projets qui viennent de la recherche et de l'innovation technologique ?

Nous essayons d'être en relation très tôt, le plus tôt possible pour nous imprégner des tendances et des travaux des académiques. C'est une bonne manière pour nous de pré-identifier les dossiers porteurs dans nos portefeuilles de demain. Pour ce faire, nous nous connectons par tous les moyens possibles, en prise directe avec les centres de recherche. Par exemple, nous participons très régulièrement à des jurys, des comités, etc. Nous sommes aussi bien évidemment

en lien avec les SATT, comme PULSALYS, qui coordonnent et qui regroupent l'activité de valorisation de la recherche publique. En effet, ce serait impossible de couvrir et d'être en lien avec tous les établissements. Le bon moment de connexion pour un fonds d'investissement, c'est la fin de la phase de maturation technologique. Quand cette phase est en finalisation, on commence à parler de produits, sachant qu'il reste encore énormément de chemin à parcourir : il faut les développer, réaliser les 1ère séries, et les qualifier chez les clients ; c'est sur cette phase-là que le fond d'investissement doit pouvoir prendre le relais et être capable d'accompagner l'entreprise.

D'un point de vue d'un investisseur, comment percevez-vous le nouveau dispositif CIRCLE ?

Pour un fonds d'investissement d'une durée classique de 10 ans, le temps de retour sur investissement depuis une maturation est beaucoup trop long. Par conséquent, un fonds d'investissement ne peut pas gérer de la maturation technologique et, plus il y a des financements et des solutions alternatives pour soutenir cette phase-là et avoir ensuite le bon point de connexion et de relais pour les fonds, mieux c'est. CIRCLE vient renforcer l'action menée par les SATT et la prématuration menée par les établissements, juste avant que nous, les fonds d'investissement, prenions le relais.

KEY OPINION LEADER INDUSTRIEL



Louis VOVELLE

Senior Vice-President Innovation et R&D du groupe ELKEM

Pouvez-vous nous présenter ELKEM et son implication sur la thématique recyclage, recyclabilité et réincorporation des matériaux ?

Elkem est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de silicium et de matériaux avancés à base de silicones. C'est une entreprise internationale dont le siège social est à Oslo qui a réalisé 4 milliards et demi d'euros de chiffre d'affaires en 2022. Elle est constituée de 3 divisions : la division carbone, la division produits silicium et la division silicone.

Depuis quelques années, nous avons créé un portefeuille de projets liés à l'économie circulaire et au recyclage, autant dans le silicium que dans le carbone ou dans les silicones. L'économie circulaire est devenue un point central de tous nos projets, et les directeurs R&D corporate et des divisions ont mis systématiquement en place une approche d'éco-conception

pour tous nouveaux produits ou nouveaux procédés avec moins d'effluents, moins de consommation d'énergie, moins de déchets. Cette politique s'inscrit dans le cadre du scope 3 de la stratégie climat afin de limiter et diminuer l'ensemble des impacts générés par la production et la consommation d'un produit. Dès que nous pouvons faire par exemple des économies d'énergie, de la réutilisation ou construire de nouvelles boucles, nous l'étudions et le faisons.

Selon vous, quels sont les enjeux de la filière ? Y a-t-il des verrous technologiques encore à lever ?

Actuellement, Elkem, c'est 630 chercheurs dans le monde (principalement en France, en Chine et en Norvège), dont 150 en France à Saint-Fons, dans la Vallée de la chimie près de Lyon. Nous développons des formulations qui, une fois transformées et réticulées, donneront des matériaux à propriétés chimiques et physiques uniques. En terme de recyclage, ces matériaux sont complexes, et à travers le projet collaboratif REPOS (REssourcement POLymères Silicones) nous nous sommes imposés de relever ce défi avec des contraintes fortes. Avec nos partenaires académiques (CP2M, IMP) et industriels (Activation, Processium) nous avons, par exemple, développer des recyclages chimiques par catalyse à basse température permettant un très haut rendement et une très bonne pureté. Cela nous a conduit au dépôt de 3 brevets avec en sus des conférences plénières et des publications au niveau international.

Nos clients développent également des composites tels que des textiles enduits et dans ce cas, il nous faut faire de la dépolymérisation sélective, c'est-à-dire

retirer les couches à base de silicones tout en préservant les autres.

Nous pouvons également avoir des formulations comprenant des charges minérales jusqu'à 30% et l'enjeu sera également de traiter ces charges et de les recycler.

Enfin, dans le domaine des silicones, l'exigence réglementaire est très élevée du fait d'applications spécifiques, par exemple, dans le domaine de la santé ou de l'aéronautique. Nous devons donc être capable d'assurer le retour à des monomères purs avec un suivi analytique permettant de le garantir.

Quel est le lien entre ELKEM et les laboratoires de recherche publique ?

Après mes études à Paris, j'ai eu un parcours scientifique à Lyon qui m'a permis d'apprécier la valeur des laboratoires et de travailler en étroite collaboration avec les laboratoires publics de recherche. Bien que nous ayons une R&D interne forte chez Elkem, les enjeux sont nombreux et nous ne pouvons pas tout faire en interne ; il est clé pour Elkem de nous entourer de partenaires académiques ou de start-up sur certains domaines. Ainsi, nous avons lancé, depuis 2007, une démarche d'open innovation, avec de nombreux projets collaboratifs en France et au plan européen et la mise en place de thèses CIFRE au sein de l'entreprise. Nous avons aussi intégré des pôles de compétitivité, comme Axelera dont j'ai été longtemps membre du conseil d'administration, ou encore Techtera dont j'ai assuré la présidence pendant 10 ans. Nous participons également à l'institut Carnot I@L en tant que président du comité d'évaluation et nous sommes aussi un des acteurs principaux de la plateforme Axel one. Enfin, avec l'Université de Lyon 1, nous avons co-créé Lyon Polymer Science and Engineering (LPSE), un consortium Académique/Industriel dont l'objectif est de développer une communauté de recherche scientifique collaborative et innovante, appliquée aux domaines de la production et de la transformation des polymères.

Avec les laboratoires de recherche IMP, CP2M et MATEIS ainsi que plusieurs partenaires industriels, nous avons défini l'économie circulaire comme une des thématiques clés à partager.

Cela fait donc maintenant 15 ans que nous nous appuyons sur ces partenariats qui sont très fertiles et présentent de beaux résultats. Par exemple, nous avons eu récemment ce projet avec 3DFAB et la co-maturation menée avec PULSALYS qui a conduit à la création de la startup 3Deus Dynamics dont Elkem est devenu actionnaire.

Toutes ces collaborations permettent de mettre en valeur un écosystème très cohérent et de grande qualité et nous sommes fiers de la publication de résultats de projets collaboratifs dans des revues scientifiques internationales de premier rang, ce qui démontre la qualité des recherches menées en lien avec les laboratoires publics.

D'un point de vue d'un industriel, comment percevez-vous le nouveau dispositif CIRCLE ?

Nous travaillons déjà de manière très intime avec les laboratoires. L'expérience de la création de la startup 3Deus Dynamics a été pour nous extrêmement positive et nous espérons pouvoir la reproduire sur d'autres thématiques. Le dispositif CIRCLE pourra sans doute nous y aider. Nous partageons avec les laboratoires les objectifs scientifiques, techniques, économiques et sociétaux dans le domaine du recyclage et de la recyclabilité. Nous avons une intimité technique, comme je le disais à l'instant, et nous allons de plus en plus vers une intimité business, avec des chercheurs qui veulent se mobiliser dans la création de pilotes pour que leurs innovations sortent du laboratoire et se développent sur le marché. C'est une évolution qu'il est important de soutenir y compris par la création de startups. Grâce au dispositif tel que CIRCLE, l'interaction avec le monde industriel va aller croissant et notre belle aventure de co-maturation qui a permis de créer 3 Deus Dynamics pourrait être répliquée.

KEY OPINION LEADER



Anne-Manuèle HÉBERT

Directrice du salon Pollutec

Sachant que le salon Pollutec rassemble les acteurs majeurs de la transition écologique, la thématique du recyclage, de la recyclabilité et de la réincorporation des matériaux trouve-t-elle un écho plus fort pour cette édition ?

La mission de Pollutec est de créer la rencontre, dans une unité de lieu et de temps, entre les différents acteurs engagés pour le climat et l'environnement, autour des sujets de l'actualité, quelle soit conjoncturelle ou réglementaire. C'est très largement le contexte réglementaire qui impacte et engage l'industrie et les collectivités dans l'action. Autour du recyclage, du tri, de la réutilisation des matériaux..., la loi AGEC anti-gaspillage est un réel accélérateur. De nombreuses réflexions sont menées

actuellement sur l'économie circulaire au sens large ou plus précisément autour de l'éco-conception, de la préservation et de la réutilisation des ressources et des matières premières. Cette filière circulaire en plein développement se ressent indéniablement sur cette édition de Pollutec 2023.

Quelle est la dynamique d'innovation observée sur cette thématique lors de Pollutec ?

L'innovation a toujours été au cœur de Pollutec et fait partie intégrante de son ADN. Chaque édition, les visiteurs peuvent retrouver plus d'une centaine d'innovations présentées en exclusivité sur le salon. Ces dernières représentent un panel de thématiques particulièrement large puisqu'il concerne l'ensemble des 11 grands secteurs de Pollutec. Nous avons lancé depuis quelques années les « Pollutec Innovation



Awards », un grand prix qui sélectionne une douzaine d'innovations à fort potentiel parmi celles que l'on peut retrouver sur le salon, pour les mettre en lumière. Elles sont évaluées par un Jury et par le public qui distingueront les 3 innovations au plus fort potentiel ainsi qu'un « coup de cœur du public ».

Selon vous, en quoi les laboratoires publics de recherche peuvent-ils contribuer à amener les solutions de demain sur la thématique « Recyclage, recyclabilité et réincorporation des matériaux » ?

Au sens large, au-delà de la thématique propre du recyclage, la recherche publique peut contribuer à faciliter l'intégration des solutions de demain au sein de l'industrie. En effet, pour en avoir beaucoup discuté avec des industriels, les innovations développées au sein des laboratoires publics, sont pour ces derniers une source inédite de projets pertinents qui n'auraient jamais pu voir le jour autrement, faute de temps et de ressources financières. Ces dispositifs viennent en amont dans le cycle industriel, grâce à des experts scientifiques à la pointe de leur domaine, et sont bénéfiques pour un grand nombre d'entreprises. Véritable décloisonnement entre le monde de la recherche et le monde industriel, cette forme de collaboration est très certainement vouée à se développer.

Le dispositif CIRCLE amène de nouveaux financements pour accélérer la mise sur le marché de technologies de rupture, comment percevez-vous ce dispositif ?

Pollutec n'étant pas un industriel, ce n'est pas évident de répondre à votre question mais il est certain que le financement

représente un enjeu déterminant pour trouver les solutions de demain dans les domaines du recyclage, de la recyclabilité et de la réincorporation des matériaux. Les politiques publiques, qui impulsent ces sujets, et les projets tels que le dispositif CIRCLE que vous coordonnez dans le cadre de France 2030 permettront, sans nul doute, d'accélérer le déploiement et la mise sur le marché d'innovations permettant de répondre aux problématiques majeures dans ces domaines. Le financement et la planification seront clés pour le déploiement d'une industrie verte. Ces financements devront sans doute être couplés avec de l'investissement privé attiré par l'attractivité d'une industrie compétitive et résiliente.

COMMENT CANDIDATER AU DISPOSITIF CIRCLE ?

Critères d'éligibilité de CIRCLE :

- **Le projet est porté par des chercheurs et est rattaché à un des membres partenaires du consortium CIRCLE.**

- **Le projet est en phase de prématuration (TRL 2 à 3) ou de maturation (TRL 4 à 6) dans le domaine du recyclage ou de la réincorporation des matériaux.**

- **Le projet peut notamment être porté en co-développement avec un partenaire industriel.**

- **Le projet participe notamment à l'un des axes suivants :**

- **Le développement de solutions innovantes permettant d'améliorer la collecte, d'affiner et optimiser les procédés de tri et de démantèlement ;**

- **Pour les plastiques et les élastomères :** la conception de produits plus facilement recyclables, le développement et l'amélioration de procédés de recyclage mécanique, chimique et biotechnologique, le développement de solutions permettant d'augmenter le contenu en matière recyclée des produits mis sur le marché, l'identification des additifs et des perturbateurs de recyclage pour les éliminer dans les flux de déchets ;

- **Pour les textiles :** le développement de solutions innovantes permettant de maîtriser le tri automatisé, le délissage, la production de fibres recyclées en boucle fermée et en boucle ouverte, le développement de matériaux et produits incorporant des matières premières recyclées ;

- **Pour les papiers / cartons :** le développement de produits plus facilement recyclables (y compris la proposition d'alternatives aux encres minérales), les technologies permettant d'ouvrir de nouveaux débouchés aux papiers cartons de recyclage, le développement de solutions technologiques pour l'élimination à coût maîtrisé des encres des papiers cartons pour permettre leur recyclage ;

- **Pour les métaux stratégiques :** la production d'intrants critiques à partir

d'équipements en fin de vie ou de déchets industriels, permettant d'approvisionner les filières industrielles et réduire ainsi la vulnérabilité de l'économie nationale. Parmi les matières prioritaires figurent les équipements riches en métaux précieux et platinoïdes (cartes électroniques, électrolyseurs et piles à combustibles, etc.), les batteries des véhicules électriques, les aimants permanents à terres rares (éoliennes, véhicules électriques légers), les matériaux et alliages pour le photovoltaïque, l'aéronautique etc. ;

- **Pour les composites :** le développement ou l'amélioration de technologies de démantèlement et de tri des composites, le développement et l'adaptation des technologies de recyclage mécanique et chimique pour produire des matières premières de recyclage pour des applications ciblées.

- **Le projet doit avoir fait l'objet d'une décision de financement préalable par votre établissement ou par votre SATT, partenaire du consortium CIRCLE. Cette décision doit être postérieure à février 2023.**

Comment soumettre mon projet ?

Les dossiers peuvent être déposés au fil de l'eau, le comité d'engagement du consortium se réunit régulièrement pour valider le soutien du dispositif CIRCLE aux différents projets présentés.

Pour toute question, n'hésitez pas à nous solliciter :

- Pour un projet en phase de PRÉMATURATION (TRL 2 à 3) vous pouvez soumettre votre projet à l'adresse : contact.premat-mat@cnsinnovation.fr

- Pour un projet en phase de MATURATION (TRL 4 à 6) vous pouvez soumettre votre projet à l'adresse circle@pulsalys.fr



LES PARTENAIRES DU CONSORTIUM CIRCLE

Chef de file prématuration : **CNRS INNOVATION**

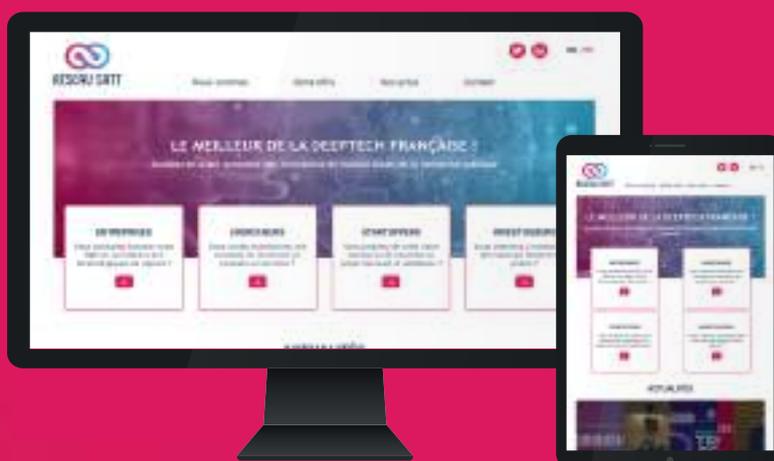
Chef de file maturation : **PULSALYS**



ACCÉDEZ EN AVANT-PREMIERE AUX INNOVATIONS DE RUPTURE

issues de la recherche publique

Suivez l'actualité du Réseau SATT
www.satt.fr



@PULSALYS

47, Boulevard du 11 Novembre 1918 - 69625 Villeurbanne

@2023 Association des SATT - Tous droits réservés



BOOK CIRCLE

**RECYCLAGE, RECYCLABILITÉ ET RÉINCORPORATION
DES MATÉRIAUX RECYCLÉS**

CIRCLE

RECYCLAGE, RECYCLABILITÉ ET RÉINCORPORATION
DES MATÉRIAUX RECYCLÉS

UNE QUESTION,
UNE DEMANDE,
UNE INFORMATION,
UN RENDEZ-VOUS...

Contactez :

circle@pulsalys.fr