



© R. BOURGUET, J. LE GOFF, C. WEISS, /ADEME

## RECYCLAGE

# Vers une économie circulaire

**Recycler c'est utile.** C'est indispensable. Pour préserver l'environnement comme pour faire face à la diminution des ressources naturelles. Le recyclage permet de valoriser les matières contenues dans les déchets, grâce notamment aux progrès des technologies de dépollution et de tri. L'enjeu est désormais de produire, le plus possible, des matières recyclées de qualité quasi comparable à la matière vierge, et de les produire en quantité avec moins d'impact sur l'environnement. Ceci impliquera de recycler plus dans

le même usage (en boucle fermée). C'est l'étape nécessaire pour entrer dans une économie circulaire où la matière est capable de vivre plusieurs vies au sein de produits de qualité. Avant d'y parvenir, la recherche a encore de nombreux freins à débloquent. Mais l'industrie dispose déjà d'un allié de choix avec l'éco-conception. En prenant en compte le recyclage dès la conception d'un produit, la réutilisation de la matière sera considérablement simplifiée et sa qualité améliorée. ■■

> P. 2  
Du recyclage à l'éco-conception

> P. 4  
Les défis technologiques du tri

> P. 6  
Les petits ruisseaux font les grandes rivières

> P. 6  
Solvay recycle les terres rares

> P. 7  
Les collants Dim, du berceau au berceau

> P. 7  
Maîtriser le tri des plastiques

Cahier réalisé en partenariat avec :





# Du recyclage à l'éco-conception

Tenir compte du recyclage dès la conception d'un produit est le moyen de faciliter le recyclage de la matière. Cette démarche n'est pas seulement une contrainte. Elle se traduit aussi par des avantages en termes de coût.

**Le recyclage ?** Difficile d'être contre. La récupération et la valorisation des déchets répondent en effet à de multiples enjeux. L'économie des matières premières ou d'énergie – et leur sécurité d'approvisionnement – est le plus évident. Il devient d'ailleurs crucial alors que les ressources naturelles sont de plus en plus convoitées. L'augmentation de la population mondiale, qui devrait croître de 30 % d'ici à 2050 pour atteindre neuf milliards de personnes, y participe largement.

Ce n'est pas la seule motivation. De nombreuses études ont montré que le recyclage apportait dans la plupart des cas des bénéfices environnementaux, comme l'atténuation du réchauffement climatique via la réduction d'émissions de CO<sub>2</sub>. Le troisième enjeu, enfin, est économique et se mesure en termes de maîtrise des coûts et de développement industriel de nouvelles technologies.

Si tout le monde peut s'accorder sur les mérites du recyclage et la qualité de la plupart des produits recyclés commercialement disponibles, à y regarder de plus près, certaines questions méritent d'être posées. Ne faudrait-il pas, avant de décider de recycler un matériau, connaître le bilan environnemental de sa collecte, de son tri et de son traitement ? Est-il favorable ? Est-il possible de choisir des technologies de recyclage qui conservent aux matières leurs propriétés mécaniques, rhéologiques, leurs couleurs, leur aspect, etc. ? Quelles sont les limites technologiques et organisationnelles du recyclage en boucle fermée, c'est-à-dire qui utilise la matière de recyclage pour un usage et une destination identiques ?

Cette réalité conduit aujourd'hui à envisager le recyclage sous un autre angle. Autrement dit, recycler, oui, mais si les bénéfices économiques s'accompagnent d'un bilan environnemental positif. Oui, mais si les matières premières de recyclage sont de qualité, d'une qualité presque comparable à la matière vierge. Ces deux défis sont au cœur de ce qu'il est convenu d'appeler l'« économie circulaire », une notion qui élargit le concept de recyclage.

Penser économie circulaire, c'est raisonner non plus en termes de produits et de stock de déchets, mais en flux de matière. Ce qui signifie penser à partir de la matière première initiale et s'intéresser à tous les services qu'elle



© ARNAUD BOUSSOU/METI-MEDIE

fournira tout au long de sa durée de vie, ou plutôt de ses vies : de ses avatars, sous forme d'autant de produits réparés, remis à neuf, démantelés ou recyclés. Exemple dans le secteur des fournisseurs d'accès Internet, propriétaires de grandes séries homogènes, où les équipements sont loués et récupérés ; commence alors l'industrialisation de la réparation, voire la remise à neuf d'équipements, ce qui participe à la rentabilité de ces acteurs ; les investissements de départ sont évités et la durée de vie du matériel est prolongée au-delà de sa durée d'amortissement. Afin de faciliter les opérations de réparation, ces opérateurs introduisent aussi des

*Collecter, c'est bien. Mais plus le produit aura été conçu en vue du recyclage, plus il sera simple d'obtenir une matière recyclée de qualité.*

notions d'éco-conception dans leurs cahiers des charges auprès des fabricants de box.

Pour aller dans cette direction, l'idéal est de commencer... au plus tôt. C'est-à-dire de poser la problématique du recyclage dès la conception d'un produit, de l'intégrer pleinement dans une démarche d'éco-conception. Cette démarche s'étend bien au-delà du seul recyclage. Elle cherche à concevoir un produit de façon à minimiser ses impacts sur l'environnement et cela tout au long de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie, en passant par les étapes de transport, production et utilisation.

Intégrer vraiment le recyclage dans l'éco-conception, conduit donc à concevoir un produit afin qu'il soit plus facilement recyclable. Éviter, par exemple, qu'il contienne des substances indésirables, coûteuses à éliminer lors de la phase de recyclage, ou compliquant la phase de tri. Ou encore concevoir un produit facilement démontable. Ou diminuer la variété des matières au sein d'un même composant (on pense aux tableaux de bord automobiles). Ou simplement, éliminer le superflu, se dispenser d'une fonctionnalité peu utile, mais qui a un impact important en termes de recyclabilité. Toutes ces pratiques aboutissent à faciliter le tri et, ce faisant, à obtenir des matières recyclables plus homogènes, donc de meilleure qualité.

## ANALYSER LE CYCLE DE VIE DU PRODUIT

Cette démarche peut sembler une évidence dictée par le simple bon sens. En réalité, elle représente un défi de taille pour les entreprises. C'est bien de concevoir un produit pour qu'il soit facilement recyclable, mais il doit d'abord se vendre, c'est-à-dire ne pas voir ses performances baisser et être produit à un coût acceptable. Ensuite, le problème est complexe car, en termes d'éco-conception, il faut amener toutes les parties prenantes de l'entreprise et ses partenaires à penser globalement. Le gain environnemental obtenu sur un poste peut s'avérer désastreux pour un autre. Fort heureusement, les entreprises disposent de l'outil leur permettant de gérer cette complexité : l'analyse du cycle de vie (ACV). L'ACV est une démarche multicritère permettant de quantifier les différents impacts environnementaux d'un produit : changement climatique, impacts sur les écosystèmes, impacts sur les ressources, impacts sur la santé humaine.

Cette approche scientifique s'appuie sur des bases de données et des méthodes de calcul spécifiques. Elle est aujourd'hui utilisée par des grands groupes de secteurs industriels variés (automobile, chimie, agroalimentaire, électronique, énergie, ameublement, bâtiment, etc.) ainsi que par des PME.

La démarche d'éco-conception est exigeante. Elle impose de mobiliser toutes les parties prenantes de l'entreprise afin de s'assurer que les objectifs sont partagés et que l'accès aux données (matériaux, procédés de fabrication, schéma logistique, scénarios d'usage du produit, etc.) sera facilité. À ce titre, l'implication des fournisseurs, sous-traitants et des départements d'achats en logistique s'avère généralement nécessaire.

En retour, les entreprises engagées dans des démarches d'éco-conception font part de résultats très positifs : renforcement des capacités d'innovation, réduction importantes des impacts environnementaux des étapes « matières premières » et « fin de vie ».

Selon une étude menée en 2008 par la Chambre de commerce de Saint-Étienne, dans une grande majorité des cas (28 sur 30 en l'occurrence), la démarche d'éco-conception a contribué à une augmentation des profits des entreprises concernées. Ils sont fortement liés aux réductions de consommation des matières premières et de l'énergie : abaissement des coûts de revient, réduction de la vulnérabilité aux hausses de prix. En introduisant les bénéfices environnementaux dans leurs arguments de vente, certains se positionnent aussi sur de nouveaux segments. Que demander de plus ? ■



# Les défis organisationnels et technologiques

Brayats de plastiques issus du traitement d'automobiles avant leur tri.



Verre brisé provenant des déchets ou des conteneurs de recyclage.



© ARNAUD BOUISSOU/METI-MEDDE

La collecte sélective a facilité le recyclage des bouteilles en plastique.



La recherche s'attache à faire évoluer les technologies de tri et à mettre au point de nouveaux processus afin d'obtenir des matières recyclées de meilleure qualité et en plus grande quantité.

**L'éco-conception, on l'a vu**, est une approche globale et fortement pluridisciplinaire. Elle implique aussi bien les ingénieurs que les designers, les économistes, les sociologues, les responsables du marketing et de la communication que, au premier chef, le management des entreprises. Elle est l'objet de nombreux travaux de recherche, en particulier au sein du réseau EcoSD (voir encadré page 5) ou du cluster Creer (Cluster Research: Excellence in Ecodesign & Recycling). Fondé par sept entreprises, il a pour objectif de développer une recherche non concurrentielle dans les domaines de l'éco-

conception de produits et du recyclage. En France, et encore plus au niveau international, l'éco-conception ne touche pas tous les produits et n'est pas développée dans tous les secteurs industriels. Les produits conçus pour être facilement recyclables ne sont pas encore légion et, surtout, le marché restera probablement longtemps inondé par des produits d'importation qui n'ont pas eu recours à cette pratique. Il est donc essentiel de continuer à faire évoluer aussi bien le tri, pour le rendre plus sélectif, que les process de transformation. Pour augmenter et régulariser les flux de matière recyclée de qualité, la recherche s'attaque ainsi aux technologies de tri et aux processus de recyclage.

L'enjeu majeur du recyclage est de disposer de matière première recyclée de qualité identique, ou du moins très proche, de celle de la matière initiale. De quoi réaliser des produits à base de matière recyclée qui, du point de vue de la performance, ne se distinguent pas des autres. Nombre de matériaux, comme le verre, les métaux, le papier, le carton...

ont bien avancé dans cette voie. Désormais, certains plastiques, en particulier le PET (polyéthylène téréphtalate), s'y sont également mis. Les bouteilles plastiques en PET incorporent aujourd'hui une importante proportion de PET recyclé.

Il reste toutefois de nombreux verrous à débloquer encore pour augmenter et régulariser les flux, pour mesurer et optimiser la qualité de la matière première recyclée, sans compter la mise au point de technologies évolutives capables de s'adapter à des matériaux de plus en plus complexes. L'exemple des bouteilles en PET est à cet égard instructif car il met en évidence les facteurs favorables à ce type de recyclage. Il est en effet possible de les recycler car, d'une part, la collecte est bien organisée. Parce que, ensuite, les bouteilles étant quasiment monomatière, le tri est simplifié et donne donc facilement une matière homogène; enfin parce que les process sont au point. Tout doit aller dans ce sens.

## TRIER LES MATIÈRES ET PRODUITS USAGÉS...

Concernant le tri des plastiques, une équipe de l'Ensam de Chambéry (École nationale supérieure des arts et métiers) en partenariat avec une PME, Tracing Technologies, travaille par exemple sur une technique originale. Le tri optique à l'aide d'un spectroscope, utilisé dans les centres de tri, ne fonctionne en effet pas pour les matériaux sombres. La solution, astucieuse, consiste donc à les caractériser bien en amont, avant même qu'ils soient incorporés dans un produit. L'idée consiste à ajouter au plastique vierge des traceurs en faible concentration pendant la phase de compoundage. Ces traceurs émettent dans des longueurs d'ondes particulières sous excitation via des ultra-violets ou des rayons X. La combinaison de plusieurs traceurs permet ainsi une codification des matériaux et donc leur identification par la caméra pendant la phase de tri rapide. Également dans le domaine du tri des plastiques, le CRITT Matériaux Alsace s'attaque entre autres au problème posé par la multiplication des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE, voir page 7).

## ... POUR MIEUX LES SÉPARER...

Autre procédé innovant, celui accompagné par le pôle de compétitivité EMC2. Il s'attaque, lui, au problème brûlant du recyclage des composites. Il s'appuie sur une méthode, la solvolysé, pour séparer les fibres et les résines constituant le matériau composite. La solvolysé est un procédé de recyclage chimique réalisé à partir d'eau portée à haute pression (200 bars) et chauffée à haute température (400 °C). Airbus, notamment, s'intéresse à ce procédé qui constitue une alternative aux solutions actuelles: mise en décharge, broyage ou parfois incinération en cimenterie.

Des solutions tout aussi innovantes se trouvent dans le domaine de l'emballage. Des unités industrielles sont aujourd'hui en capacité de séparer les trois constituants d'une brique de lait ou de jus de fruit – l'aluminium, le carton et le plastique – et de les valoriser individuellement, telles que Georgia Pacific (Eure), STORA ENSO (Espagne) ou PNM (Allemagne).

## UN RÉSEAU POUR L'ÉCO-CONCEPTION

Le réseau de chercheurs EcoSD (éco-conception de systèmes durables) regroupe 17 laboratoires de recherche, 9 entreprises et 6 associations. Il vise notamment le développement des compétences des chercheurs français en EcoSD, via une meilleure formation des doctorants. Il s'attache également à la mise au point de méthodes, d'outils et à la création de bases de données qui font

aujourd'hui défaut pour maîtriser l'éco-conception. Il travaille enfin à une meilleure structuration des activités de recherche en EcoSD en France, notamment par une spécialisation thématique de ses structures. EcoSD est soutenu par l'ADEME, la direction générale de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services et le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

## ... ET LES TRANSFORMER

Les process de transformation évoluent également. Plastic Omnium a ainsi réalisé une première mondiale avec les pare-chocs en polypropylène (PP) de la récente 208 de Peugeot: ils utilisent un PP recyclé offrant des caractéristiques identiques à celles du matériau vierge et qui, donnée critique pour l'automobile, est donc susceptible d'être peint. Pour y parvenir, l'entreprise a mis au point un procédé objet de plusieurs brevets. Il s'appuie sur un cocktail de PP provenant de différentes sources: véhicules en fin de vie, collecte sélective, DEEE, rebuts de production, etc.

Côté consommateur, l'affichage environnemental des produits joue un important rôle de sensibilisation. Mais un affichage de qualité nécessite un lourd travail en amont. L'État a chargé l'ADEME et l'AFNOR de mettre au point des méthodologies et des outils permettant aux fabricants d'afficher l'impact environnemental de leurs produits. L'ADEME développe une base de données d'inventaires de cycle de vie qui sera d'usage obligatoire pour l'affichage environnemental. L'ADEME dispose déjà de données pour plusieurs catégories de produits. Par exemple, les produits agricoles qui ont fait l'objet d'un programme de recherche avec la profession agricole. Il a abouti à la mise en place de méthodologies pour les produits agricoles ainsi que de bases de données d'inventaire du cycle de vie. Autre exemple de recherche, menée avec la profession des boulangers cette fois: la mise au point d'une méthode d'évaluation environnementale pour leurs produits. Elle a conduit au développement d'un outil qui permet aux professionnels de mesurer, sur le mode de l'autoévaluation, les impacts environnementaux de leurs produits. ■■



PAPIER CARTON

## Les petits ruisseaux font les grandes rivières

L'éco-conception est un effort permanent, fait notamment de la succession de petites améliorations. C'est en tout cas ce que suggère l'expérience de la filière papier carton. Noël Mangin est, entre autres, délégué

général de Revipap, le groupement français des papetiers utilisateurs de papiers recyclables. Il rappelle que, grâce au recyclage, alors que la consommation mondiale de papier carton a été multipliée par quatre depuis quelques années, la production de pâte à papier a progressé deux fois moins vite. Toutefois, pour aller plus loin en termes de recyclabilité, l'éco-conception a selon lui un rôle important à jouer. Il rappelle que le concepteur, avant de choisir une piste de conception, doit prendre en considération tous les matériaux qui constituent le produit fini. Ainsi, en ce qui concerne les emballages, par exemple, il est tout aussi primordial de s'intéresser, au moment de leur conception, au choix des encres utilisées pour l'impression qu'à celui des colles et autres adhésifs. Certains

peuvent en effet avoir un impact négatif en termes de recyclabilité. Beaucoup d'autres petites améliorations sont également susceptibles de procurer des avantages non négligeables au moment du recyclage. Utiliser moins de colle, par exemple, ou limiter l'usage de l'impression. Ou encore simplifier le produit et s'interroger sur l'utilité réelle de certaines fonctionnalités. Ainsi, la fenêtre transparente ménagée sur un emballage carton afin de rendre le produit visible est-elle toujours utile ? Si ce n'est pas le cas, s'en dispenser permet non seulement de s'affranchir de l'usage d'une seconde matière, le plastique qui complique le tri, mais également de celui de colle. Le jeu en vaut la chandelle : « *Tous ces efforts ne sont pas seulement des contraintes, ils ont souvent des retombées économiques positives, que ce soit en générant des économies de matière ou en simplifiant les process* », souligne Noël Mangin.



Grâce au recyclage, la production de pâte à papier progresse deux fois moins vite que la consommation.

MATÉRIAUX

## Solvay recycle les terres rares

En septembre dernier, Solvay (ex-Rhodia) inaugurerait deux unités de recyclage des terres rares en France. Afin de diversifier ses sources d'approvisionnement et économiser la ressource, le groupe a développé un procédé pour récupérer les terres rares contenues dans les lampes basse consommation, dans un premier temps, puis dans les batteries ou les aimants. Ce projet a nécessité deux années de recherche et développement, suivies de deux années d'étude d'industrialisation et de choix des sites. Un investissement de plus de 15 millions d'euros ! Les lampes basse consommation sont riches en six terres rares différentes – le lanthane, le cérium, le terbium, l'yttrium, l'europium et le gadolinium. Solvay a désormais la capacité de les recycler en préservant l'intégralité de leurs propriétés

d'usage. Les lampes usagées sont collectées, triées et traitées par des sociétés spécialisées qui en valorisent les différents composants (verre, métaux, plastiques, mercure). Les poudres luminophores sont quant à elles transportées vers les usines du groupe. À Saint-Fons (Rhône), le concentré en terres rares en est extrait. Il part ensuite à La Rochelle (Charente-Maritime), site qui détient un savoir-faire unique en Europe en matière de séparation. La poudre y est craquée à haute température avec un réactif dans un four chauffé à 1 000°C. Les blocs obtenus sont broyés puis remis en suspension, filtrés, lavés et subissent une attaque acide avant de faire l'objet d'une séparation par extraction



Pas moins de six terres rares dans les lampes basse consommation.

liquide/liquide dans des batteries de mélangeurs/décanteurs. Les terres rares sont alors reformulées en précurseurs de luminophores qui seront réutilisés dans la fabrication de lampes nouvelles.

TEXTILE

## Les collants Dim, du berceau au berceau



Objet du programme : comprendre et mesurer les impacts et les opportunités d'un processus d'éco-conception selon la démarche Cradle to Cradle™ (littéralement « du berceau au berceau »), afin de la généraliser dans l'entreprise. Cette démarche entend désigner la recyclabilité complète, le retour de la matière dans le produit d'origine après la fin de vie d'un produit.

Symbiose, mené par Dim avec la société Integral Vision et un sous-traitant, Epea, est l'un des projets de recherche soutenus par l'ADEME dans le cadre d'un appel à projets de recherche sur l'éco-conception.

La motivation, pour Dim, était tout autant environnementale que marketing : la recherche de différenciation par rapport aux concurrents sur des valeurs environnementales et de bien-être. Dim a fait porter son effort sur un

prototype de collant, ainsi que sur un prototype d'emballage. Les leçons de cette recherche sont instructives. D'abord, le projet a été l'origine de nombreuses innovations et en particulier de l'identification de nouveaux matériaux aptes à respecter le concept C2C. Dim a également apprécié la capacité d'une telle approche à mobiliser ses équipes, de la fabrication jusqu'au marketing. L'étude, et c'est tout aussi important, a également permis de déterminer les freins à une telle pratique. D'abord, un circuit de récupération des produits finis non mature et potentiellement responsable de transfert de pollution (CO<sub>2</sub>) car très dispersé. Il a également mis en évidence le fait que l'un des composants du collant, l'élasthanne, limite la recyclabilité du produit. Autant de données indispensables à connaître pour évoluer vers le C2C.

ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES

## Maîtriser le tri des plastiques

Les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) représentent un flux de déchets particulièrement préoccupant. Il croît au moins deux fois plus vite que les autres. En outre, les objectifs de valorisation fixés par l'Europe sont difficiles à atteindre faute d'une séparation efficace et de solutions de valorisation finale de la fraction plastique. Pour s'attaquer à ce problème, le projet Weeelib (qui s'inscrit dans le cadre du programme européen Life+), mené par le CRITT Matériaux Alsace (CMA) en partenariat avec l'entreprise IVEA, vise à mettre au point un démonstrateur pour le tri des plastiques des DEEE durant leur démantèlement manuel. Le but est

de démontrer que les très nombreuses variétés de plastiques issues des DEEE peuvent être séparées en fractions de polymères homogènes, c'est-à-dire non seulement en fonction de la nature des polymères mais également en fonction des charges et des additifs présents dans les plastiques. De quoi les recycler en une nouvelle matière de qualité et atteindre une valorisation matière supérieure aux limites imposées par la directive DEEE. Le CMA s'appuiera sur son protocole d'identification de polymères développé lors du projet Plastilibs financé par l'ADEME. IVEA fournira pour sa part l'appareil de détection de technologie LIBS



Appareil LIBS portable pour l'identification des déchets.

(spectroscopie de plasma induit par laser). Cette technologie a été reconnue comme l'une des plus prometteuses pour l'identification des déchets. Elle utilise un tir laser qui génère un plasma à la surface de la matière. Celui-ci émet consécutivement une lumière qui est analysée par un spectromètre.

Ce cahier spécial a été réalisé avec le soutien de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) : E. Autret, H. Bortoli Puig, Cl. Boujard, A. Geldron ; et du CRITT Matériaux Alsace : F. Pelascini, Cl. Richard. • Rédaction : Franck Barnu • Conception graphique et réalisation : A noir (01 48 06 22 22).

