



Mélanie McDonald, Daniel Normandin et Sébastien Sauvé

L'économie circulaire Une transition incontournable

Presses de l'Université de Montréal

Les stratégies de circularité des ressources

Michel Dagenais, Jonathan Deschênes, Mélanie McDonald, Pierre Baptiste, Christian Masclé, Robert Legros, Laurent Spreutels, Mariya Marinova, Michel Perrier et Jean-Marc Frayret

DOI : 10.4000/books.pum.4165
Éditeur : Presses de l'Université de Montréal
Lieu d'édition : Montréal
Année d'édition : 2016
Date de mise en ligne : 7 novembre 2017
Collection : Thématique Sciences sociales
EAN électronique : 9782821895607



<http://books.openedition.org>

Référence électronique

DAGENAIS, Michel ; et al. *Les stratégies de circularité des ressources* In : *L'économie circulaire : Une transition incontournable* [en ligne]. Montréal : Presses de l'Université de Montréal, 2016 (généré le 15 mai 2023). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/pum/4165>>. ISBN : 9782821895607. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.pum.4165>.

Les stratégies de circularité des ressources

L'économie circulaire propose un cadre cohérent de stratégies qui permettent une utilisation optimale des ressources qui circulent dans le marché. La figure 4 illustre comment certaines stratégies peuvent prolonger l'usage d'un produit (ex. : l'entretien, la redistribution), de ses composants (reconditionnement et réusinage) ainsi que des ressources, des molécules et de l'énergie qu'il contient (recyclage, méthanisation et compostage, extraction biochimique).

Bien que la pertinence des stratégies varie en fonction des contextes et des types de ressources, on recommande les « boucles courtes » qui allongent la durée de vie des produits avec le moins de transformation possible, comme leur entretien et leur mutualisation entre plusieurs acteurs¹. À chaque nouvelle boucle de circularité, on tente également d'appliquer une approche de surcyclage (*upcycling*²), qui vise à donner aux produits, aux composants et aux ressources une qualité ou une valeur ajoutée supérieure à son usage précédent.

Cette partie présente individuellement chacune de ces stratégies, en commençant par les boucles les plus courtes. Enfin, en guise d'entrée en matière de la section suivante, on jettera un coup d'œil sur les synergies industrielles, car elles proposent des stratégies de circularité particulières dans un contexte de déploiement spécifique aux parcs industriels.

1. Ce principe est cohérent avec l'approche des 3R-V, qui recommande de respecter la hiérarchie « réduire – réutiliser – recycler – valoriser ». Mais n'oublions pas que l'économie circulaire s'applique également aux ressources comme l'eau et l'énergie, et pas seulement aux matières résiduelles.

2. Reiner Pilz a proposé le terme *upcycling* au milieu des années 1990, par opposition au *downcycling*.

L'entretien et la réparation

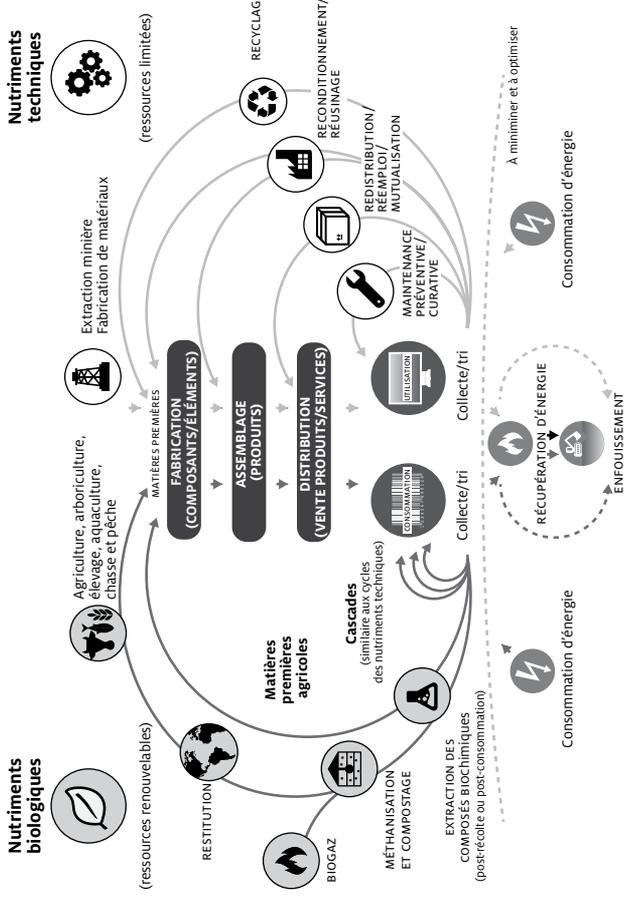
Michel Dagenais

On conçoit souvent les appareils modernes à un prix d'achat minimum, souvent au détriment de la durabilité et de la facilité de réparation. Depuis quelques décennies déjà, lorsqu'un appareil ne fonctionne plus, on décide généralement de le jeter et de le remplacer, plutôt que de le réparer. Hormis les maisons et les voitures, dont le prix est très élevé, il reste peu de choses qu'on fait réparer sans hésiter. Jusque dans les années 1960, le prix des appareils était plus élevé et le coût des réparations l'était moins qu'aujourd'hui, en termes relatifs, si bien qu'on réparait presque tout. Il en est encore ainsi dans les pays en voie d'industrialisation, où le coût relatif de la main-d'œuvre est beaucoup moins élevé et où la débrouillardise ou le recours à des pièces d'occasion permettent de se passer de pièces neuves coûteuses.

Du point de vue du développement durable, la réparation simple d'un objet est vraiment préférable à sa mise au rebut. Pourquoi cette première option apparaît-elle si souvent comme non désirable et non rentable? Dans certains cas, l'attrait de la nouveauté est malheureusement un facteur. Dans d'autres cas, les progrès technologiques extrêmement rapides, par exemple des ordinateurs portatifs, signifient que le produit à réparer est déjà complètement désuet, parfois après seulement trois ou quatre années d'utilisation. Néanmoins, dans la majorité des cas, la perception du coût et de la difficulté de réparer est en partie faussée. D'une part, on sous-estime le coût de remplacement, car le prix d'achat ne tient souvent pas compte du coût de rebut de l'appareil en fin de vie, comme le recyclage et le traitement des déchets. D'autre part, le coût de réparation est souvent plus élevé qu'il ne le devrait. Puisqu'on effectue peu de réparations, ce marché est moins concurrentiel et moins performant. En outre, l'entreprise qui a fabriqué l'appareil jouit souvent d'un quasi-monopole sur les pièces et sur les ateliers de réparation, ce qui maintient les prix très élevés.

Heureusement, la situation évolue et plusieurs possibilités intéressantes s'offrent maintenant aux consommateurs. Par exemple, le site iFixit.com contient des milliers de guides de réparation gratuits, et tient en parallèle un site bien organisé de vente en ligne de pièces.

FIGURE 4 Schéma de l'économie circulaire de la Fondation Ellen MacArthur



(Graphique adapté par l'Institut de l'économie circulaire et la chaire Business as unusual, 2013)

De la même manière, de nombreux manuels d'entretien et vidéos sur la façon de réparer les appareils courants sont disponibles sur Internet, ces nouveautés concourant à une véritable révolution dans l'accès à la connaissance liée à de telles réparations. Un second phénomène plus récent, qui peut avoir un effet aussi important sur la facilité de réparer les appareils, concerne les progrès technologiques des imprimantes 3D. L'impression 3D est un procédé de fabrication additive où un objet, à partir de son dessin détaillé en 3D, peut être directement fabriqué, sans intervention manuelle, sur un appareil d'impression 3D, typiquement en plastique, mais il est possible de le faire aussi avec de l'acier ou du titane³. Nul besoin d'avoir l'équipement à la maison, on peut faire imprimer des pièces dans certaines bibliothèques comme à Polytechnique Montréal et chez de nombreux fournisseurs sur Internet.

Autre phénomène récent, les *Repair Cafés*⁴ sont des ateliers de réparation ouverts au public, souvent mis de l'avant par des passionnés de technologie rassemblés autour d'un laboratoire de fabrication de type *Fab Lab* ou *MakerSpace*. On y apporte ses appareils à réparer pour rencontrer des experts qui offrent des conseils et parfois un coup de main.

Des actions sont cependant nécessaires pour favoriser la conception et la vente d'appareils plus durables et plus facilement réparables. La Coalition européenne pour les objets réparables demande un cadre législatif visant à garantir la réparation des produits à bas coût afin d'éviter leur gaspillage prématuré⁵. Ce cadre comprend la double exigence de mettre en accès libre la documentation sur l'entretien et la réparation des produits (y compris les outils diagnostiques, les schémas de circuits et le logiciel correspondants) et d'offrir des appareils démontables sans outil spécialisé et dont on pourra remplacer les pièces facilement à prix avantageux.

Rendre disponibles des plans et des logiciels associés aux produits apporterait aussi plus de transparence aux entreprises sur la qualité et les caractéristiques de leurs produits. Plusieurs scandales, ces dernières années, ont mis en lumière – souvent fortuitement, mais généralement

3. Par exemple, le site www.thingiverse.com regorge de plans de pièces de rechange, prêtes à imprimer en 3D.

4. repaircafe.org

5. European coalition for repairable products (2015).

au prix de grands efforts – le fait que des appareils présentaient des failles de sécurité informatique très sérieuses qui menaçaient la protection de la vie privée. Par exemple, certains téléviseurs permettent d’écouter à distance les conversations dans la pièce où se trouve l’appareil. On se souvient de la vive indignation suscitée par le fabricant Volkswagen avec un logiciel utilisé dans les moteurs diesel depuis 2009 pouvant détecter si la voiture est soumise à un test antipollution pour changer, en l’occurrence, son mode d’opération pour être, temporairement, peu performant, mais moins polluant⁶. Si le constructeur, par souci de transparence, avait été contraint à publier le code source du logiciel et à faciliter la réparation de ses véhicules, il est probable qu’il n’aurait pas cherché à frauder les consommateurs.

La rentabilité comparée réparation/remplacement repose sur un autre facteur positif à ne pas négliger : l’implication active du consommateur, qui n’a pas intérêt à remplacer un produit qui fonctionne bien, en courant le risque de se procurer un produit de moins bonne qualité. En outre, avec la documentation adéquate, des listes de problèmes fréquents et même des vidéos montrant comment effectuer l’opération, la réparation lui sera facile, agréable et, parce qu’il redonnera vie à l’appareil, peut-être même gratifiante.

Le réemploi et la redistribution des produits de consommation

Jonathan Deschênes

Il existe une importante économie de l’usage éphémère permettant aux consommateurs de se procurer des produits simples à éliminer après un ou quelques usages. Par exemple, l’entreprise BIC offre un ensemble d’articles (stylos, rasoirs, crayons, briquets, etc.) conçus à usage unique ou restreint et facilement jetables. Cette éphémérité inspire aussi la société Lego : on peut en effet se procurer des constructions uniques (une boîte pour construire le château de la reine des neiges, une autre pour une station de pompiers ou la maison de campagne de Barbie, etc.) qui

6. Bartlett (2015).

comprend un plan précis et des pièces spécifiques. La construction faite, on abandonne aisément le modèle pour acheter de nouvelles constructions. Il en est de même pour le *fast fashion* dans l'industrie de la mode qui produit des vêtements abordables et « tendance », et qui invite les consommateurs à renouveler constamment leur garde-robe.

L'usage éphémère apporte des avantages à l'entreprise par la création d'une valeur économique importante fondée sur l'achat à répétition. On peut toutefois lire cette logique sous un angle critique : ce modèle économique incite surtout à la consommation par un cycle d'achats perpétuels ; il force à accumuler des biens, à s'en débarrasser, ou à les détruire, pour les remplacer par du neuf. De plus, il comporte des coûts environnementaux considérables par la quantité importante de matériaux et d'énergie utilisés dans la production et le remisage des biens.

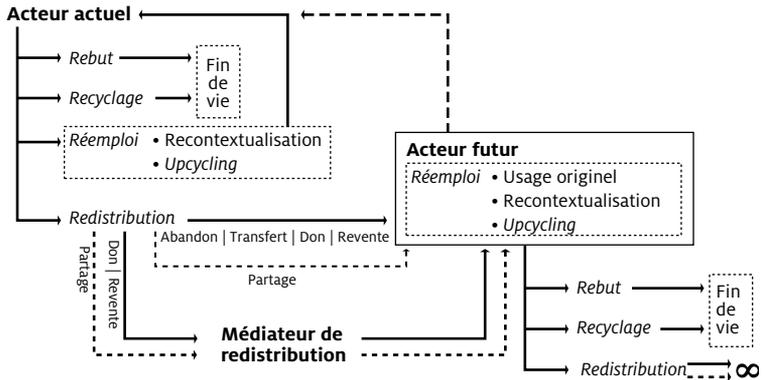
En opposition à cette logique éphémère existe la possibilité d'allonger la durée de vie d'objets de consommation en changeant leur fonction de départ ou leur relation originelle avec un consommateur ou une entreprise. Ces objets sont souvent définis par leur durabilité et, parfois en raison de leur design classique, résistent aux modes et aux époques. Dans cette logique, on repense constamment l'utilité des objets et les relations qu'ils entretiennent avec les consommateurs ou les entreprises se multiplient (un objet peut avoir plusieurs propriétaires qui se succèdent), offrant ainsi à ces objets la possibilité de développer une biographie riche et parfois unique⁷. De nombreux biens peuvent participer à cette économie : équipements électroniques, vêtements, meubles, vaisselle, objets décoratifs, équipements de sport, outils, instruments de musique, bijoux, antiquités, etc.

Deux mécanismes au cœur de la durée

Il existe deux mécanismes stratégiques interreliés permettant de prolonger la durée de vie des produits de consommation : le réemploi et la redistribution (voir figure 5).

Le réemploi désigne l'opération par laquelle un produit est réutilisé, soit par un même acteur qui en modifie l'usage, soit par un autre qui en conserve l'emploi d'origine ou qui en modifie la fonction. Ainsi,

7. Pour plus de détails sur la biographie des objets, consultez Kopytoff (1986).

FIGURE 5 Le cycle intégrateur de réemploi et de redistribution

(Deschênes, 2016)

au lieu de mettre un objet au rebut ou de le recycler (donc de mettre fin à sa vie), on peut l'employer à nouveau : une bouteille de vin vide, par exemple, devient carafe d'eau ou chandelier. Il s'agit en fait de « recontextualisation », ce qui consiste à prendre l'objet tel qu'il est et à lui donner une nouvelle vie grâce à une nouvelle fonction. L'acteur pourrait aussi choisir de modifier le produit ou de l'utiliser en combinaison avec d'autres objets pour lui donner une nouvelle fonction, des bouchons de liège de bouteilles vides servant par exemple à faire une murale décorative ou encore une vieille fenêtre en bois laissée à l'abandon se transformant en miroir ou en cadre. Cette pratique se nomme l'*upcycling*⁸.

Si on ne souhaite ni réemployer un objet ni le jeter ou le recycler, on peut choisir la redistribution, c'est-à-dire la réinsertion d'un bien dans la sphère des échanges, soit par les canaux de l'économie marchande (impliquant une contrepartie monétaire pour l'acquisition ou l'usage du bien), soit dans la sphère sociale non marchande (impliquant un déplacement du bien d'un acteur à l'autre sans contrepartie monétaire).

8. Pour de très intéressantes suggestions d'*upcycling* à la maison, visiter le site : <http://www.viralnova.com/upcycled-products/>.

Cette redistribution entre acteurs est faite de manière directe ou indirecte, la première impliquant un échange entre individus, sans intermédiaire, dans une logique d'abandon du produit, de transfert, de don ou de revente. En effet, un acteur peut dans un premier temps choisir de laisser l'objet à l'abandon, dans un lieu public où il serait possible pour quiconque d'en prendre possession. C'est le cas notamment de meubles laissés au bord de la rue. Existe aussi la possibilité de transférer activement la propriété du bien à une autre personne. C'est le cas, par exemple, de vêtements ou de jouets passés d'un enfant à l'autre dans une même famille, ou d'objets donnés à un voisin ou à un individu dans le besoin (une forme de don). Le don devient officiel, ou ritualisé, par l'héritage, lorsque l'objet revêt une importance significative pour son propriétaire et que ce dernier souhaite préserver son aura en le maintenant dans la famille ou en l'offrant à une personne qui continuera d'en prendre soin. Finalement, un acteur peut choisir de se départir d'un bien par l'entremise de la sphère marchande, c'est-à-dire en demandant une contrepartie monétaire (souvent négociée) pour l'échange du bien. Il pourrait en effet choisir de vendre des jouets, des livres, des meubles à ses voisins ou de participer à des événements publics, comme des ventes-débarras, pour toucher un plus large bassin d'acheteurs potentiels.

Le transfert d'un bien peut se faire aussi de manière indirecte, c'est-à-dire grâce à un agent médiateur permettant l'agrégation d'échanges entre vendeurs et acheteurs qui agit de manière sociale ou marchande. Un agrégateur social est un intermédiaire n'exigeant pas de contrepartie monétaire dans l'exercice de médiation. Sa principale caractéristique, dans cette logique, est centrée sur la mise en relation des acheteurs et des vendeurs. Par exemple, des sites comme [Craigslist.com](https://www.craigslist.com) ou [Kijiji.ca](https://www.kijiji.ca) permettent à des consommateurs d'offrir des biens à vendre et à d'autres d'en acheter sans coût associé à la transaction⁹. Le don de biens à des organismes de charité suit aussi parfois la logique de la médiation sociale. En effet, dans certaines situations, les biens sont

9. Cela étant dit, certains coûts peuvent parfois être exigés pour des fonctions d'attributs d'annonce plus avancés (ex. : « l'annonce en vedette » sur [kijiji.ca](https://www.kijiji.ca)), mais les services de base demeurent gratuits. Ces intermédiaires peuvent aussi parfois générer des revenus autres, par exemple grâce à la publicité.

donnés gracieusement à des organisations de bienfaisance qui les offrent par la suite gratuitement à des bénéficiaires dans le besoin (c'est souvent le cas dans des situations d'aide humanitaire après une catastrophe naturelle). *A contrario*, l'agrégateur marchand exige une compensation monétaire pour soutenir l'échange. Il peut, comme le font lesPAC.com, duproprio.com, offrir à des vendeurs d'annoncer des produits moyennant une somme fondée sur des forfaits de complexité variable. Les organismes sans but lucratif fonctionnent aussi parfois selon la logique marchande. Par exemple, l'Armée du Salut et Renaissance revendent à prix modique, dans leurs boutiques, les biens qui leur sont gracieusement offerts afin d'offrir une gamme d'articles à faible coût à des consommateurs dans le besoin. En dernier lieu, la médiation peut s'effectuer par l'entremise d'une société privée qui acquiert les biens en contrepartie d'une somme monétaire et les revend ensuite à d'autres acteurs. C'est le cas de nombreuses boutiques de livres, de CD ou de DVD usagés, de friperies et de détaillants de voitures d'occasion. On ajoute parfois certains agrégateurs Web à l'offre de ces entreprises. C'est le cas notamment d'Amazon.com, qui permet aux firmes ou aux individus de vendre des produits d'occasion moyennant des frais d'annonce.

Ces formes de redistribution impliquent de se défaire du bien au moment de l'échange (le nouvel acteur devient propriétaire). Un autre phénomène de plus en plus populaire de la redistribution est le partage : seul l'usage du bien est transféré. On peut ainsi prêter un bien ou s'inscrire dans un réseau de partage permettant d'accéder à l'usage d'un bien que possède un groupe ou une entreprise¹⁰.

La relation entre durée et circularité

Ces deux mécanismes supposent fondamentalement la préservation des biens et l'augmentation de leur durée de vie utile. De plus, la redistribution multiplie les relations sociales entre les biens et les personnes et les contextes d'utilisation des biens échangés, ce qui mène en définitive à la maximisation de l'utilisation du bien avant sa mise au rebut ou au recyclage. L'augmentation de la durée de vie et

10. Voir le texte « L'économie collaborative et l'économie de fonctionnalité » du présent ouvrage.

la maximisation de l'utilisation des biens sont des principes clés de l'économie circulaire.

La relation entre durée et circularité a cependant ses limites, car la durabilité d'un bien, son réemploi et son déplacement d'une personne à l'autre ne garantissent en aucun cas la réduction de son empreinte écologique. Un bien peut avoir été fabriqué sans réflexion en matière d'écodesign, que ce soit lors de sa conception ou encore quant aux possibilités de transformation après sa fin de vie¹¹. De plus, le déplacement d'un bien d'un acteur à un autre n'entraîne pas automatiquement une maximisation de son utilisation. Par exemple, on pourrait entreposer ou même oublier un produit redistribué qui ainsi ne serait jamais réutilisé.

La logique de la longue durée, lorsqu'elle est intégrée aux principes de l'économie circulaire, peut être néanmoins très bénéfique pour l'environnement et pour la société. En effet, l'entreprise qui conçoit un produit durable dans le respect de l'écoconception, qui sensibilise le consommateur à l'importance de le préserver en bon état (afin d'en faciliter le réemploi ou la redistribution), qui offre elle-même sa revente à un prix inférieur au produit neuf ou qui élabore des procédés logistiques permettant aux acteurs de le redistribuer par eux-mêmes, contribue à diminuer la mise au rebut, à maximiser la durée de vie utile et l'utilisation, à diminuer la nécessité de production et, d'une certaine façon, à mobiliser l'ensemble des consommateurs. Longue vie aux objets!

L'économie collaborative et l'économie de fonctionnalité

Mélanie McDonald

L'économie collaborative et l'économie de fonctionnalité regroupent une grande variété de stratégies commerciales et de modèles d'échanges permettant de maximiser l'usage des produits en circulation dans le marché. La première repose sur un partage ou une redistribution de produits entre consommateurs, alors que la seconde propose qu'une entreprise conserve la propriété d'un produit, mais en loue l'usage. La

11. Voir le texte «L'écoconception» du présent ouvrage.

diversité des cas qui sont associés à ces termes apporte une richesse au mouvement, mais peut prêter à confusion. Leur classification est d'autant plus difficile dans un contexte où l'on observe un enchevêtrement complexe de modèles, alliant par exemple le don/contre-don entre citoyens, les échanges entre consommateurs fondés sur une plateforme collaborative privée et une variété de stratégies d'affaires entrant dans le prisme de l'économie de fonctionnalité. Par exemple, on pourrait associer Car2go à l'économie de fonctionnalité dans la mesure où l'entreprise demeure propriétaire des véhicules, mais le fait que ces véhicules soient en usage partagé ramène à l'économie collaborative. La Remise combine également plusieurs modèles en proposant à ses membres une bibliothèque virtuelle d'outils obtenus par l'entremise de dons, ainsi qu'un atelier collaboratif et des formations.

Le consensus n'est pas encore au rendez-vous sur la définition de ces concepts, qui eux-mêmes en recourent plusieurs autres. Dans le cas de l'économie collaborative, que certains utilisent comme synonyme d'économie de partage ou de consommation collaborative, on retrouve plusieurs stratégies de redistribution présentées précédemment¹². Certains auteurs, comme Botsman et le Collaborative Lab, proposent une vision plus large de l'économie collaborative en y intégrant la consommation et la production collaboratives, dont fait partie l'économie de fonctionnalité, mais également la finance et l'éducation collaborative¹³. Par ailleurs, on peut rattacher l'économie de la fonctionnalité à celle de service qui regroupe diverses formes de systèmes produit-service. Les logiques qui sous-tendent les modèles d'échanges et d'affaires étant très variées, une classification consensuelle permettrait de les identifier rapidement afin d'éviter la confusion entre les termes, ou encore le rejet du mouvement collaboratif par des acteurs qui ne se reconnaissent pas dans certaines pratiques.

Mais ce débat sémantique n'empêche pas le mouvement de se déployer à toute vitesse à l'échelle internationale. Les études estiment actuellement la valeur du marché de l'économie collaborative à 15 milliards de dollars, valeur qui pourrait atteindre les 335 milliards

12. Voir le texte « Le réemploi et la redistribution des produits de consommation » du présent ouvrage.

13. Bostman (2012).

de dollars d'ici 2025¹⁴. La communauté Ouishare Montréal a recensé, au Québec seulement, plus d'une centaine d'initiatives. Des villes entières, à l'image d'Amsterdam, s'autoproclament désormais *Sharing Cities*.

En parallèle, plusieurs s'étonnent que les organisations n'aient pas davantage déployé le modèle d'économie de fonctionnalité, apparu dans les années 1990. Si l'on en croit les premières études sur le sujet, il serait gagnant sur toute la ligne: fabricants, consommateurs, travailleurs, tous trouveraient leur compte dans ce nouveau modèle qui permettrait de surcroît de limiter considérablement les effets de l'industrie sur l'environnement. Considérée par certains comme une « innovation organisationnelle de rupture », l'économie de fonctionnalité modifie significativement la conception et la gestion du cycle de vie des produits, mais également les relations clients-fournisseurs ainsi que la chaîne de valeur, faisant appel à de nouveaux joueurs pour prendre en charge la réparation, le reconditionnement et l'entretien.

Citons par exemple la société XEROX qui offre à ses clients de payer le nombre de photocopies produites, l'entreprise restant propriétaire de l'équipement et en assurant l'entretien comme la mise à niveau. Puisque 90 % de ses services sont donnés par annuités, cela permet un flux de revenus à long terme. Puisque l'entreprise reste propriétaire des appareils, elle conçoit désormais ces derniers sur un principe de « démontabilité – réparabilité – récupérabilité », de telle sorte que les machines de nouvelle génération intègrent aujourd'hui de 70 % à 90 % des composants des anciennes machines. Cela génère d'importants gains environnementaux et financiers (plus de 250 millions de dollars annuellement). Il en va de même pour Michelin qui, par son programme *Michelin Fleet Solutions*, propose aux propriétaires de flottes de camions lourds d'externaliser le poste « pneumatique » en vendant du kilométrage plutôt que des pneus. Pratt & Whitney Canada, avec son programme *Pay per Hours*, offre diverses options pour ses moteurs d'avion, qui vont jusqu'à la location des moteurs avec service d'entretien.

L'économie collaborative et l'économie de fonctionnalité interpellent de façon différente tous les acteurs de la société, chacun ayant des réalités distinctes. Les différentes formes d'économie collaborative et de fonctionnalité sont révélatrices de leurs positionnements, elles

14. PriceWaterHouse Cooper (2015).

soulèvent des enjeux divers et des questions complexes sur les plans légal, politique, économique, social, culturel et environnemental. Par exemple, en quoi ces modèles modifient-ils les rapports de pouvoir et la redistribution des profits entre les acteurs de la chaîne de valeur ? Est-ce que certains risquent d'accentuer l'écart de richesse sociétal, par exemple en permettant à ceux qui ont la capacité d'acheter des produits de les revendre plutôt que de les donner, comme ils l'auraient fait auparavant ? Quels sont leurs effets en matière de création et de perte d'emplois ? Quels types d'emplois seront créés ? Comment assurer la protection des consommateurs qui se procurent des biens par l'entremise de certaines initiatives d'économie collaborative ? Quelles formes d'économie collaborative et de fonctionnalité peuvent aider à limiter les émissions de gaz à effet de serre ? Est-ce qu'il y a des déplacements d'impact ou des effets rebonds ? Par exemple, si l'économie collaborative permet d'augmenter le pouvoir d'achat des ménages, ces derniers risquent-ils d'augmenter leur consommation ? Dans l'ensemble, ces stratégies de circularité concourent-elles à réduire significativement la quantité de ressources extraites en amont et rejetées en aval ? Quels modèles d'échanges et d'affaires engendrent le plus de richesses et de bénéfices collectivement ? Contribuent-ils au réinvestissement des territoires ?

L'économie collaborative est, pour certains, porteuse d'un véritable projet de société ou, du moins, de débouchés nouveaux en affaires. D'autres sont réticents face à certaines stratégies associées au concept, comme le témoigne la polémique autour des taxis Uber. Certains estiment que l'économie collaborative et l'économie de fonctionnalité, portées notamment par un climat économique et financier atone, une numérisation de l'économie, un passage d'une culture de consommation de « possession » à une consommation centrée sur l'usage ainsi qu'une raréfaction des ressources naturelles, sont la prémisse d'un véritable changement de paradigme et d'un nouveau cycle économique. D'autres y voient un nouvel épisode d'une vieille histoire, où la tension entre deux formes d'économie présentes depuis l'émergence du capitalisme, à savoir le don/contre-don et l'économie marchande, se poursuit tout en se rejoignant parfois de manière étonnante. Quoi qu'il en soit, devant le déploiement fulgurant de cette nouvelle tendance et les nombreux bénéfices promis par l'économie de la fonctionnalité, il apparaît urgent

d'éclairer les différents acteurs du Québec. Gouvernements, consommateurs, industries, citoyens, syndicats, entreprises d'économie sociale : tous sont concernés par ces bouleversements majeurs de l'économie.

Le reconditionnement et le réusinage

Pierre Baptiste et Christian Masclé

La fabrication d'un produit manufacturier (ou d'un équipement en général) consomme des matières premières, de l'énergie et a un effet environnemental mesurable par l'analyse de cycle de vie (ACV). Le reconditionnement consiste à remettre un produit ou composant à l'état neuf avec une garantie égale ou proche de celle du neuf. Le produit est collecté, transporté, désassemblé, chacun de ses composants est nettoyé et contrôlé, certains changés ou réusinés. Le produit est alors réassemblé, contrôlé et remis en vente sur le marché. En général, sauf si son usage a des effets environnementaux prépondérants et que des progrès technologiques permettent de les réduire, son maintien en activité a moins de répercussions que son renouvellement.

La durée de vie d'une référence de produit (au sens générique) est la période pendant laquelle il est sur le marché, vendu et maintenu par son producteur ou ses détaillants. La durée de vie d'un produit est la durée au-delà de laquelle même sa maintenance ne lui permet plus de fonctionner normalement. On doit distinguer sa durée de vie physique (le produit est usé et non fonctionnel) de sa durée de vie technologique (le produit n'est technologiquement plus adapté). En effet, on ne peut pas considérer de la même manière un conteneur de bateau (évolution technologique lente) et un ordinateur (évolution rapide). On peut reconditionner un produit fini (un avion de chasse, un tank, un photocopieur) lorsque sa durée de vie physique est supérieure à sa durée de vie technologique. On reconditionne un composant lorsque sa durée de vie est inférieure à celle du produit hôte : le reconditionnement intervient dans une opération de maintenance et il concurrence le remplacement à neuf du produit.

L'usinage consiste à obtenir une forme voulue, le plus souvent en enlevant de la matière sur une pièce brute. Par contre, le réusinage doit

être précédé d'un apport de matière. On peut le faire en remplaçant la partie en contact (chemisage d'un cylindre de moteur) ou en rechargeant du métal. Longtemps, l'électrodéposition et le rechargement (apport massif de métal) par soudage et réusinage subséquent étaient les seules technologies possibles pour apporter du métal, mais l'impression 3D métallique offre de nouvelles possibilités¹⁵ de rechargement.

Les possibilités de reconditionnement dépendent beaucoup des filières industrielles considérées. Dans le transport, on reconditionne surtout les équipements lourds ou militaires dont les cycles de vie sont très longs (bateaux, trains, avions, hélicoptères), mais moins les produits finis légers tels que les automobiles (72 millions mondialement produites en 2015). En revanche, les pneus (1,7 milliard mondialement produits en 2015), les moteurs (changement des chemises et segments, réusinage du vilebrequin et changement des coussinets de bielles), les batteries et les alternateurs sont des composants que l'on sait reconditionner. L'augmentation de la durée de vie des moteurs, reçue favorablement du point de vue environnemental, et les bas coûts des pneus font baisser le taux de reconditionnement. Le passage d'une économie de produits à une économie de service est un pas en avant dans la direction de l'économie de fonctionnalité et pourrait changer la donne. Le produit reste alors la propriété du fournisseur qui vend un usage (nombre d'atterrissages pour un avion, kilomètres pour les pneus de gros camions, nombre annuel de photocopies, etc.) et celui-ci se charge donc du cycle de reconditionnement. Par exemple, on reconditionne constamment les moteurs, les pneus et les trains d'atterrissage des avions, ainsi que l'avionique et les moteurs des hélicoptères.

Dans le secteur informatique, il existe aujourd'hui des filières de reconditionnement d'ordinateurs, récupérés principalement chez de gros utilisateurs qui changent leurs équipements avant leur fin de vie physique. Ces équipements sont réintroduits dans le circuit de distribution classique comme des articles d'occasion.

Dans les secteurs de l'énergie, des infrastructures, du traitement des minerais et du bâtiment, la production d'énergie se fait avec des équipements dont les cycles de vie se chiffrent en décennies : c'est un domaine privilégié pour le reconditionnement. On recharge et on

15. Castel (2014).

réusine régulièrement les pales des turbines hydrauliques pour les remettre en état, mais aussi pour optimiser leur productivité en bénéficiant des dernières recherches de l'hydrodynamique. Les dents des broyeurs de minerai sont rechargées et réusinées. Les infrastructures et les bâtiments sont remis à neuf ou en état.

Dans la fabrication des logiciels aussi on commence à parler de réusinage, ce qui est paradoxal puisqu'il s'agit de produits immatériels; cependant, les concepts sont les mêmes.

On connaît bien les freins au reconditionnement: l'obsolescence programmée, soit pour la durée de vie physique du produit (électroménager individuel), soit pour sa durée de vie technologique (électroménager, électronique); l'évolution des normes (l'interdiction des réfrigérants à base de CFC a entraîné le retrait du marché de l'ensemble des vieux réfrigérateurs); l'évolution rapide de la technologie d'intégration électronique liée à l'élaboration de nouveaux logiciels systèmes demandant plus de mémoire. Le consommateur est finalement pris en otage. La psychologie de ce dernier génère un autre frein en ce qu'il perçoit mal le produit manufacturé d'occasion. Il l'assimile à un vieux produit de moindre qualité fonctionnelle, même s'il a une perception diamétralement opposée pour ce qui est des bâtiments, des infrastructures, des générateurs ou des moyens de transport d'énergie.

En somme, l'application du reconditionnement et du réusinage dépend du secteur considéré, de la volonté des manufacturiers et de la psychologie des consommateurs. Pour en faciliter l'application, il faut concevoir les produits en tenant compte des contraintes de leur traitement en fin de vie. Les gains sociaux, environnementaux et économiques sont réels, toutefois il faut réussir à les quantifier.

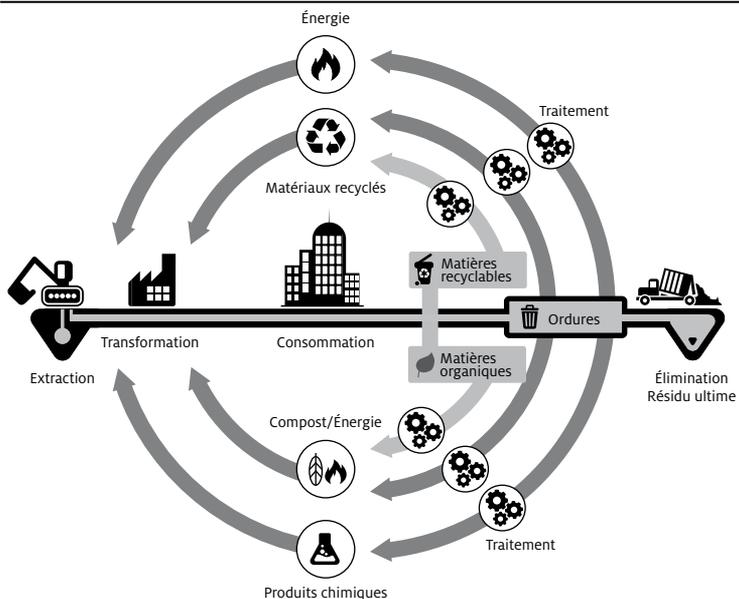
Le recyclage, le compostage et la valorisation énergétique

Robert Legros et Laurent Spreutels

L'économie circulaire repose sur une augmentation importante de la productivité des ressources en circulation et sur la disparition de l'enfouissement des déchets. Dans cette optique, les mesures de réduction,

de réemploi, de reconditionnement et de réusinage des produits permettent d'augmenter leur durée de cycle de vie. Cependant, il existe en général une limite à ce potentiel de prolongation et même, pour certains produits, il n'existe tout simplement pas de possibilité de prolongation. Il faut alors s'efforcer de récupérer les ressources (matière et énergie) contenues dans les produits en fin de vie afin de les réintroduire dans les boucles de valeur de l'économie circulaire (voir figure 6). Le recyclage, y compris organique, permet la recirculation des substances d'intérêt composant les matières résiduelles tandis que la valorisation énergétique permet la récupération de l'énergie contenue dans ces dernières. Ces stratégies de gestion sont décrites avec deux types de matières résiduelles : les produits en plastique et les matières organiques.

FIGURE 6 La recirculation des ressources par recyclage, compostage et valorisation énergétique



(Legros et Spreutels, 2015)

Les produits en plastique

Les produits en plastique sont le plus souvent formés par l'agglomération de petites granules de plastique. Ces granules sont composées de polymères, constitués eux-mêmes de chaînes de monomères. Les monomères sont produits à partir de molécules d'intérêt obtenues en général par raffinage du pétrole (mais aussi parfois par bioextraction à partir de biomasse). Les liaisons existant entre les atomes de ces molécules ainsi qu'entre les monomères renferment des quantités importantes d'énergie qu'il a fallu fournir lors de la transformation du pétrole, lors de la production des monomères et puis des polymères et, finalement, lors de l'assemblage des granules. Le recyclage d'un produit en plastique peut se faire soit mécaniquement, en réduisant le plastique en granules de polymère qui seront utilisées comme matière première pour la production d'autres produits en plastique; soit chimiquement, en induisant une dépolymérisation à l'aide d'un solvant pour récupérer une solution contenant les produits de dépolymérisation qui pourront être réutilisés dans l'industrie chimique en substitution de matières premières fraîches; soit thermiquement, en induisant une dépolymérisation par thermolyse pour récupérer des composés également réutilisables dans l'industrie chimique. Dans les trois cas, le recyclage évite donc de reculer jusqu'à la première phase de traitement du pétrole.

Les grands principes décrits ci-dessus pour le plastique s'appliquent globalement à la plupart des matières résiduelles inorganiques (ex.: verre, métal, asphalte), quoique la nature des agrégats, les liaisons et les contenus énergétiques varient fortement d'un type de matière à l'autre, ce qui implique l'utilisation de procédés de recyclage différents et spécifiques à chaque matière. Lorsque le recyclage n'est pas possible (économiquement ou technologiquement), la priorité pour maximiser la productivité des ressources est de récupérer les molécules d'intérêt grâce à certains procédés thermiques tels que la gazéification ou la pyrolyse, lesquels aboutissent à la production de molécules d'intérêt qu'on peut utiliser pour produire de nouveaux polymères ou encore des carburants de synthèse (gaz, huile) qui remplaceront le pétrole. Enfin, lorsqu'il n'est pas possible de récupérer les ressources sous la forme de matière, il reste à récupérer l'énergie contenue dans le plastique pour la convertir en chaleur ou en électricité. Une telle valorisation

énergétique implique soit la production de combustibles dérivés des déchets par transformation mécanique (ex. : broyage, séparation) ou thermique (ex. : pyrolyse, gazéification), qui seront brûlés dans des chaudières ou dans des fours industriels (ex. : cimenteries) en remplacement de combustibles fossiles (ex. : charbon, mazout, gaz naturel), soit l'incinération de masse avec récupération d'énergie. Même si les technologies de valorisation énergétique ont beaucoup évolué au cours des dernières décennies de sorte qu'on a pu réduire et même bien contrôler leurs rejets dans l'environnement, on devrait toujours envisager cette option en dernier recours. Cependant, tant qu'on n'aura pas optimisé les filières en amont et qu'on n'aura pas surmonté les obstacles technologiques et économiques, la valorisation énergétique restera de vigueur afin de réduire les quantités de matières destinées à l'enfouissement et de maximiser la recirculation des ressources.

Les matières organiques

D'une certaine façon, les matières organiques sont très comparables aux produits en plastique. En effet, elles se composent de longues chaînes moléculaires, obtenues naturellement à partir de molécules d'intérêt présentes dans l'environnement en abondance (ex. : dioxyde de carbone) ou limitées et extraites des sols (ex. : azote, phosphore). Une différence importante par rapport aux produits en plastique réside dans le fait que les plantes produisent cette matière organique de manière renouvelable, en poursuivant un cycle très efficace de recirculation des matières. Cette efficacité diminue fortement lorsque la matière organique n'est pas retournée au sol à la fin de son cycle de vie, car alors les molécules d'intérêt, notamment les éléments nutritifs essentiels extraits des sols qui sont indispensables à la croissance des plantes, se raréfient dans les sols. Pour pallier cet appauvrissement, on utilise des engrais chimiques ; or, ces engrais sont produits à partir de ressources minérales non renouvelables telles que les phosphates ou avec des apports énergétiques substantiels pour les engrais azotés. Les matières organiques contiennent donc, comme les plastiques, des molécules d'intérêt, des éléments essentiels et de l'énergie. Le compostage des matières organiques résiduelles permet de décomposer ces matières en présence d'oxygène pour former du dioxyde de carbone gazeux et pour libérer

les éléments nutritifs qui peuvent ensuite servir de fertilisants. Ces éléments peuvent alors être retournés au sol par épandage pour la valorisation agricole. Il est également possible de récupérer le carbone d'un grand nombre de matières organiques, relâché sous forme de dioxyde de carbone lors du compostage, pour le transformer en molécules d'intérêt. Ce traitement réalisé avant le compostage est appelé digestion anaérobie ou biométhanisation et produit du méthane dénommé biogaz. Le biogaz contient une grande partie de l'énergie présente initialement dans les matières organiques et cette énergie peut alors être convertie en chaleur ou en électricité par combustion du biogaz. Enfin, il est possible de traiter les matières résiduelles organiques par extraction et conversion chimique (ex. : pyrolyse, gazéification) ou biochimique (ex. : bioraffinage) afin de produire des molécules d'intérêt¹⁶.

Les stratégies de gestion des matières résiduelles

Les principes de recyclage, de compostage et de valorisation énergétique ne sont pas nouveaux et ne sont donc pas apparus avec l'économie circulaire. Néanmoins cette dernière devrait permettre d'augmenter significativement les taux de récupération de ressources dans les matières résiduelles. En effet, dans une économie circulaire, les produits sont conçus pour redevenir facilement des ressources à la fin de leur durée de vie. De ce fait, on réduit considérablement les problèmes qui limitent actuellement les rendements de récupération de ressources et qui sont liés à la séparation des matières résiduelles ou à la pureté des matières recyclées. De même, on implante les différentes boucles de recirculation des matières afin d'en minimiser l'étendue, et de favoriser les retombées locales pour la société (ex. : emplois, industries). On conçoit des produits à partir de ressources recyclées, dans la mesure de leur disponibilité, ce qui restreint également la limitation prédominante liée à l'existence et à la pérennité de marchés pour ces ressources. En outre, au lieu d'être considérées comme des déchets inutiles (à incinérer ou à enfouir), les matières résiduelles deviennent des réservoirs de ressources récupérables. Enfin, dans une économie circulaire, les répercussions des activités humaines sur l'environnement sont

16. Voir le texte «L'extraction biochimique» du présent ouvrage.

pleinement prises en compte et leur réduction devient une contrainte de base pour tout développement. On internalise ainsi le coût de ces effets pour l'environnement et la société en guidant les décideurs vers des choix plus éclairés. Par conséquent, l'attrait financier que pouvaient avoir les matières premières « fraîches » est fortement réduit et disparaît dans beaucoup de cas.

En somme, le recyclage, le compostage et la valorisation énergétique sont des stratégies de gestion des matières résiduelles incontournables pour le déploiement d'une économie circulaire, et ce n'est que dans un contexte global d'économie circulaire que ces stratégies pourront atteindre leur plein potentiel.

L'extraction biochimique

Mariya Marinova et Michel Perrier

L'économie circulaire vise à utiliser un approvisionnement en ressources aussi renouvelables que possible et nécessitant un minimum d'intrants de nouveaux réactifs. Dans cet ordre d'idées, les produits de la biomasse peuvent offrir des solutions de rechange aux réactifs issus des ressources fossiles et s'intégrer dans le concept de l'économie circulaire.

L'extraction biochimique peut cibler des productions agricoles spécifiquement consacrées à cet usage en remplacement d'un approvisionnement moins circulaire, mais le gain environnemental et la circularité sont encore plus grands quand on peut exploiter les sous-produits existants pour en extraire des ressources à valeur ajoutée.

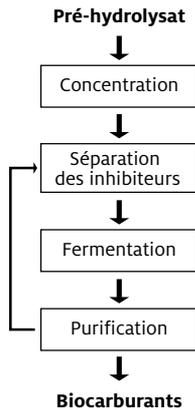
Ainsi, au cours des dernières années, l'exploitation de la biomasse a suscité l'intérêt de la communauté scientifique qui a cherché différentes façons de la valoriser. On peut séparer les constituants de la biomasse et les convertir en biocarburants, produits chimiques ou matériaux biosourcés. On réalise généralement ces opérations dans des installations appelées bioraffineries. En fonction de la biomasse utilisée, on distingue trois types de bioraffineries : les bioraffineries de première génération qui utilisent des ressources agricoles, celles de deuxième génération fondées sur la valorisation de la biomasse lignocellulosique sous forme de résidus agricoles ou forestiers et les bioraffineries de

troisième génération qui utilisent la biomasse algale. Les bioraffineries de première génération sont bien établies. Cependant, leur exploitation a provoqué un débat sur la compétition avec l'alimentation, car des ressources auparavant destinées à l'alimentation ont été redirigées vers la production de biocarburants. Cette polémique a entre autres accéléré l'apparition des bioraffineries de deuxième génération.

Au Canada, la biomasse forestière est une matière première de choix pour les bioraffineries; c'est une ressource abondante et souvent sous-valorisée. L'implantation de la bioraffinerie forestière peut donc être, pour le secteur forestier, un moyen de diversifier son éventail de produits et de générer de nouveaux revenus. Cette possibilité est particulièrement attrayante alors que le secteur traverse une période de précarité économique qui perdure. Les fermetures d'usines non rentables qui se succèdent depuis un certain temps ont des conséquences sociales et économiques négatives sur les petites villes dont l'économie est dépendante de cette industrie. Ces circonstances ont poussé l'industrie à se transformer et permis la mise en place des bioraffineries intégrées, constituées d'unités de bioraffinage implantées sur les sites des usines de production de pâtes et papiers. Les bioraffineries intégrées bénéficient ainsi d'infrastructures en place et dont l'implantation nouvelle serait coûteuse (centrale thermique, réseaux de vapeur et d'eau, services et laboratoires, entrepôts), de l'accès à la matière première, aux entreprises de transformation en aval, de la proximité de fournisseurs et de la disponibilité d'une main-d'œuvre formée et compétente. Le concept de bioraffinerie intégrée est donc très attrayant: il offre un avantage économique considérable par rapport à la création d'installations autonomes qui se spécialisent uniquement dans le bioraffinage. Ainsi, de telles structures s'inscrivent dans le contexte de l'économie circulaire, car elles partagent des ressources énergétiques et matérielles, diminuent leurs rejets et valorisent autant que possible la matière première.

Les bioraffineries intégrées en implantation au Canada sont fondées sur l'extraction des hémicelluloses du bois et sur l'extraction de la lignine à partir de la liqueur noire du procédé Kraft¹⁷. Les hémicelluloses

17. Le procédé Kraft est le procédé de mise en pâte le plus répandu à l'échelle mondiale, qui produit de la pâte utilisée principalement pour la fabrication de

FIGURE 7 Une unité de production de biocarburant

(Marinova et Perrier, 2015)

sont habituellement séparées en tête du procédé Kraft. Cette étape d'extraction s'applique en particulier aux usines qui produisent de la pâte de haute pureté utilisée pour la fabrication de rayonne, de cellophane ou d'acétate, et pour laquelle il existe un marché en expansion dans certains pays en développement¹⁸. Diverses techniques d'extraction peuvent être utilisées (eau chaude, solutions acides ou alcalines); elles permettent d'extraire les hémicelluloses sous forme de sucres à l'état d'agglomérats moléculaires. La concentration des sucres dans les préhydrolysats est souvent assez faible et doit être augmentée pour que les étapes subséquentes de leur conversion en biocarburants et bioproduits soient rentables. On peut transformer les sucres par des procédés chimiques en bioproduits à valeur ajoutée ou les faire fermenter pour produire des biocarburants, tels le butanol et l'éthanol.

Un procédé de production de biocarburants comprend normalement les opérations suivantes: concentration des sucres, élimination

papiers d'écriture et d'impression. Il génère un sous-produit, la liqueur noire, qui contient certains constituants du bois, tels que la lignine.

18. Sixta *et al.* (2013).

des composés toxiques qui réduisent l'activité des micro-organismes, fermentation et purification du produit final. Les étapes principales du procédé sont illustrées à la figure 7. L'élimination des composés toxiques (aussi appelés inhibiteurs) est une étape critique lors de la production de biocarburants par voie biochimique. Les rendements de fermentation obtenus à partir d'un hydrolysats non traité sont assez faibles à cause de la présence de puissants inhibiteurs. Quant à la fermentation, les micro-organismes qui transforment les sucres en bioproduits montrent une préférence pour les sucres de type glucose et sont moins efficaces avec les sucres de type pentose. Ainsi, une usine produisant 700 t/j de pâte soluble peut également produire 60 t/j d'éthanol soit 8,6 % de la quantité de biomasse traitée¹⁹. Il est aussi possible de convertir des hémicelluloses en produits de base appelés « produits plateformes » qui peuvent servir de matière première pour la fabrication de divers produits chimiques actuellement fabriqués à partir de ressources fossiles. L'éthanol, comme on le sait, est mélangé avec l'essence, mais on peut également l'utiliser dans la chaîne de transformation de l'industrie chimique pour la fabrication de divers produits. Par conséquent, la bioraffinerie intégrée peut contribuer à l'essor de l'industrie des pâtes et papiers et au développement durable par la fabrication de bioproduits et la consommation réduite des ressources énergétiques et matérielles.

Les symbioses industrielles

Jean-Marc Frayret

Le concept de symbiose industrielle prend ses racines dans l'analogie fondatrice du domaine de l'écologie industrielle proposée par Frosch et Gallopoulos entre, d'une part, la société industrielle moderne dans son ensemble et, d'autre part, les écosystèmes naturels²⁰. Ces derniers sont des systèmes complexes dynamiques et qui utilisent efficacement la matière et l'énergie dont ils disposent. Les matières qu'ils consomment sont ainsi recyclées, transformées et ultimement réutilisées dans le

19. AJAO (2014).

20. Frosch et Gallopoulos (1989).

cadre d'échanges de matières et d'énergie entre êtres vivants et avec leur environnement.

À l'image de ces systèmes naturels, une symbiose industrielle est une stratégie industrielle collective qui a pour but de transformer le modèle traditionnel linéaire de production et de consommation de biens et de services. Une symbiose industrielle est ainsi un réseau de synergies industrielles sur un territoire au sein desquelles des partenaires, par exemple des industries, des entreprises de services, publiques ou privées, échangent des résidus et coproduits matériels ou énergétiques. Les synergies industrielles sont une forme de partenariat d'affaires profitable qui permet aux entreprises qui les mettent en œuvre de réduire leurs effets environnementaux par le bouclage des flux de matières et d'énergie.

Il existe de très nombreux exemples de synergies industrielles impliquant de la matière ou de l'énergie, comme l'utilisation de pneumatiques usagés dans la production de l'énergie nécessaire à la fabrication du ciment ou la réutilisation de la vapeur de centrale thermique pour le chauffage de procédés industriels ou de collectivités. Certaines synergies industrielles sont très souvent mises en œuvre lorsque les procédés de transport et de traitement des matières ou énergies impliquées sont bien maîtrisés. Parfois, il est nécessaire de mettre au point ces procédés, voire d'impliquer des centres de recherche et de transfert technologique²¹.

En pratique, il existe deux grands types de synergies industrielles. Le premier, appelé synergie de substitution, permet de remplacer l'intrant (matière ou énergie) d'un procédé par un résidu ou un coproduit d'une autre entreprise. Ce type de synergie permet une réduction de la consommation des ressources naturelles. Le second type de synergie industrielle, appelé synergie de mutualisation, rend possible la mise en commun des besoins des organisations dans le but d'optimiser l'utilisation des ressources. Autrement dit, il s'agit de stratégies de collaboration, telles que la consolidation des approvisionnements ou des besoins en distribution afin d'optimiser la logistique de la mise en commun des besoins en services. Ces stratégies de collaboration permettent

21. Par exemple, le Centre de transfert technologique en écologie industrielle (www.cttei.qc.ca).

d'augmenter l'utilisation des ressources utilisées ou encore le partage d'équipements et de ressources (ex. : covoiturage, partage de palettes de transport). Une synergie de mutualisation peut aussi impliquer la mise en commun et la collecte de résidus industriels.

De la même manière, il existe de nombreux exemples de symbioses industrielles. À la différence des synergies industrielles qu'on peut observer individuellement, une symbiose industrielle implique simultanément la présence de plusieurs synergies industrielles sur un territoire. Le parc éco-industriel de Kalundborg, au Danemark, est l'une des plus connues. Cette symbiose implique plus d'une quinzaine d'entreprises de toutes tailles, des organisations publiques, des fermes locales ainsi que la collectivité, incluant ainsi plus d'une vingtaine de synergies industrielles pour le recyclage, entre autres, de vapeur, de boues de traitement d'eau, de cendres et de soufre, mais aussi pour le partage de ressources, comme le pipeline nécessaire à l'approvisionnement en eau depuis le lac Tissø. Ce parc éco-industriel illustre très bien la façon dont la mise en œuvre de l'analogie de Frosch et Gallopoulos peut mener à la transformation pratique d'un environnement industriel individuel et linéaire en un réseau industriel de boucles de flux de matières et d'énergie.

L'étude de la formation et de l'évolution des symbioses industrielles est un domaine de recherche actif. De nombreux chercheurs ont étudié cet aspect et expliquent que la formation des symbioses industrielles est généralement réalisée selon l'un des trois modes suivants²². Le premier mode de formation considère qu'une symbiose est une structure industrielle qui émerge à partir des réseaux de connaissances des entreprises ou de leurs mises en contact fortuites. Le second mode de formation considère au contraire qu'une symbiose est une structure planifiée dans le cadre d'objectifs particuliers de développement territorial. Entre ces deux modes de formation, le troisième considère qu'une symbiose est une structure industrielle qui émerge de façon facilitée par des organisations, des centres de transfert, des agences de développement économique ou des individus qui contribuent au déploiement de chaque synergie industrielle individuellement, mais

22. Paquin et Howard-Grenville (2012).

sans prendre part directement aux décisions impliquées et sans nécessairement avoir des objectifs précis de croissance.

En somme, les symbioses industrielles sont un des outils de développement durable de l'écologie industrielle qui permet de mettre en pratique certains aspects de l'économie circulaire par le bouclage des flux de matières et d'énergie. Ces structures industrielles rendent possibles, d'une part, la mise au point de boucles de flux de matières et d'énergie au sein de territoires entre des organisations industrielles et de services et, d'autre part, la réduction de la consommation de matières premières naturelles. L'étude de ces structures industrielles est un domaine de recherche actif qui a pour but de comprendre les mécanismes sous-jacents de leur développement et de leur évolution afin de les promouvoir et de les faciliter.