

## **L'économie circulaire : le nouvel horizon de l'industrie aérospatiale**

**Alexandre Labelle  
Ghita El Anbri  
Samira Keivanpour**

**Juin 2024**

### **Bureau de Montréal**

Université de Montréal  
C.P. 6128, succ. Centre-Ville  
Montréal (Québec) H3C 3J7  
Tél : 1-514-343-7575  
Télécopie : 1-514-343-7121

### **Bureau de Québec**

Université Laval,  
2325, rue de la Terrasse  
Pavillon Palais-Prince, local 2415  
Québec (Québec) G1V 0A6  
Tél : 1-418-656-2073  
Télécopie : 1-418-656-2624

# L'économie circulaire : le nouvel horizon de l'industrie aérospatiale

**Alexandre Labelle, Ghita El Anbri, Samira Keivanpour\***

Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT), Université de Montréal et Département de mathématiques et de génie industriel, Polytechnique Montréal

**Résumé.** Le présent rapport explore l'économie circulaire dans le contexte manufacturier, en mettant l'accent sur le secteur aérospatial. Il fournit une revue de la littérature scientifique, une analyse comparative des pratiques circulaires de diverses entreprises et une étude des bonnes pratiques dans d'autres secteurs. L'analyse comparative se concentre sur les modèles d'affaires et les bonnes pratiques des entreprises, tandis que la recherche supplémentaire explore les pratiques circulaires au niveau des matériaux et des procédés, classées selon l'échelle de Lansink. Ce rapport vise à fournir une compréhension de l'économie circulaire et de son potentiel d'application dans l'industrie aérospatiale.

**Mots-clés :** économie circulaire, secteur manufacturier, aérospatial, modèles d'affaires, bonnes pratiques, matériaux, procédés, indicateurs de circularité.

**Remerciements :** Ce travail est soutenu par Safran et Mitacs dans le cadre du programme Mitacs Accélération IT28042.

Results and views expressed in this publication are the sole responsibility of the authors and do not necessarily reflect those of CIRRELT.

Les résultats et opinions contenus dans cette publication ne reflètent pas nécessairement la position du CIRRELT et n'engagent pas sa responsabilité.

---

\*Auteure correspondante : [samira.keivanpour@polymtl.ca](mailto:samira.keivanpour@polymtl.ca)

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
Bibliothèque et Archives Canada, 2024

© Labelle, El Anbri, Keivanpour et CIRRELT, 2024

## INTRODUCTION

L'objectif principal de ce rapport est de définir l'économie circulaire dans le contexte manufacturier (particulièrement dans les secteurs qui s'apparentent au secteur aéronautique) et de faire ressortir les bonnes pratiques des principaux acteurs de ces secteurs. Le présent rapport est donc composé des 4 chapitres suivants :

Chapitre 1 : Définition de l'économie circulaire

Chapitre 2 : Revue de littérature de l'économie circulaire

Chapitre 3 : Analyse comparative de la circularité d'entreprises  
des secteurs manufacturiers et automobile

Chapitre 4 : Pratiques circulaires dans d'autres secteurs industriels

Chapitre 5 : Revue des indicateurs de circularité

Chacun des quatre chapitres fait ressortir des éléments de l'économie circulaire tel que résumé dans le tableau ci-dessous. Alors que le premier chapitre présente les bases de l'économie circulaire à travers le monde, le deuxième chapitre présente un état de l'art de la littérature scientifique sur le sujet. Le troisième chapitre présente une analyse comparative d'une douzaine d'entreprises engagées dans la démarche circulaire. Puisque les informations publiquement disponibles sont relativement limitées, l'analyse s'est concentrée sur les modèles d'affaires et les bonnes pratiques à ce niveau. Afin de répertorier davantage de bonnes pratiques, une recherche supplémentaire a été effectuée, mais en ciblant les pratiques de circularité au niveau des matériaux et des procédés, celles-ci ont été répertoriées selon l'échelle de Lansink. Le dernier chapitre présente une revue des indicateurs de circularité.

CHAPITRE	THÈMES ABORDÉS DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE	NIVEAU
1	Modèles conceptuels	Conceptuel
2	Modèles conceptuels Indicateurs de performance	Conceptuel Modèle d'affaire Réseaux de création de valeur Produit
3	Indicateurs de performance Bonnes pratiques	Modèle d'affaire Réseaux de création de valeur
4	Bonnes pratiques	Réseaux de création de valeur Matériaux et procédés
5	Indicateurs de performance	Organisationnel

# CHAPITRE 1 :

## DÉFINITION DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

## QU'EST-CE QUE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE?

Lancée en 2010, la Fondation Ellen MacArthur a été un catalyseur majeur dans la diffusion et la popularisation mondiale du concept de l'économie circulaire (EC). La fondation définit l'EC comme suit:

*“A systems solution framework that tackles global challenges like climate change, biodiversity loss, waste, and pollution. It is based on three principles, driven by design: eliminate waste and pollution, circulate products and materials (at their highest value), and regenerate nature.”<sup>1</sup>*

La Figure 1 représente l'intégration des différentes définitions de l'économie circulaire et linéaire selon la fondation Ellen MacArthur et l'institution l'Institut de l'Environnement, du Développement Durable et de l'Économie Circulaire (EDDEC). Ainsi, l'économie linéaire consiste aux étapes d'extraction, de transformation, de distribution, d'utilisation et d'enfouissement (et/ou incinérer) des ressources pour l'activité économique humaine comme l'illustre l'Institut EDDEC en gris. En effet, chacune des étapes du cycle de vie se termine par l'étape de déchets. Quant à l'économie circulaire, elle consiste plutôt à faire boucler les ressources naturelles dans l'économie de manière à en optimiser l'utilisation. Dans ce paradigme économique, les ressources renouvelables qui sont extraites retournent dans les écosystèmes naturels afin de régénérer la biosphère, tandis que les ressources non-renouvelables sont bouclées dans l'économie de manière à maximiser leur valeur (en vert).

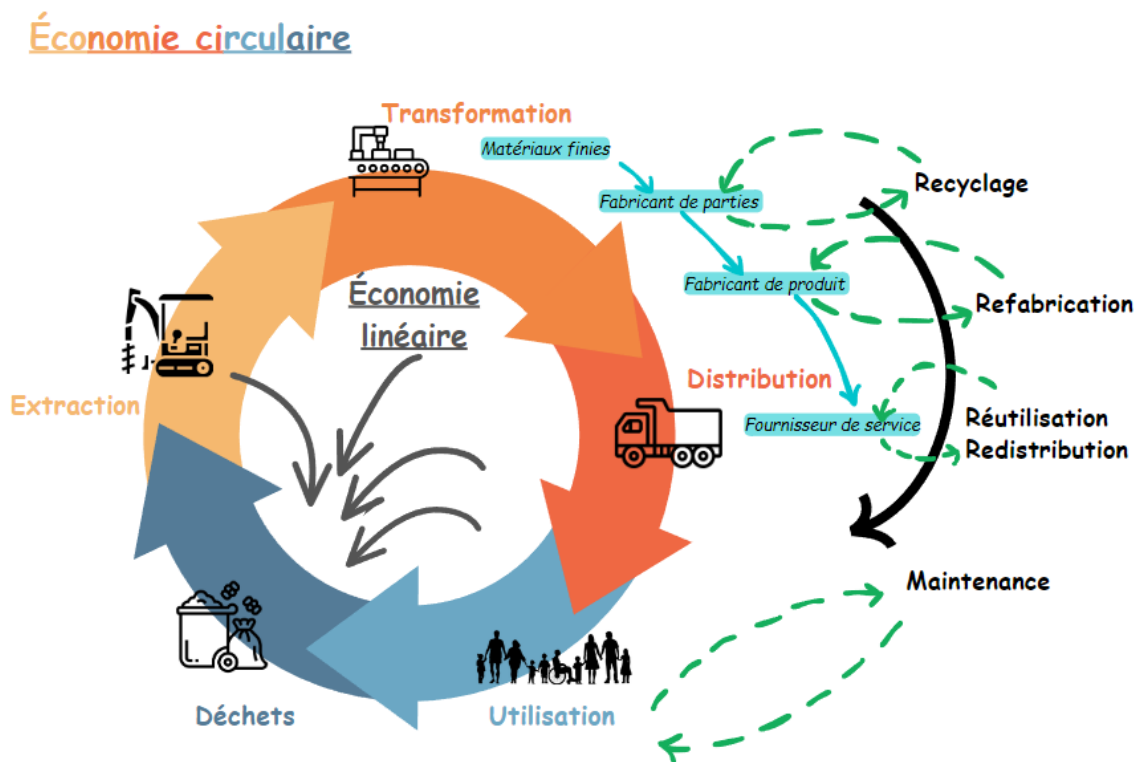


Figure 1: L'économie circulaire et linéaire

<sup>1</sup><https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

Il est à noter que le Centre d'études et de recherche intersectorielles en économie circulaire (CERIEC) a pris la relève de l'institut EDDEC en 2020.

Animé par le CERIEC, le Pôle québécois de concertation sur l'économie circulaire définit l'EC tel que :

« *Un système de production, d'échange et de consommation visant à optimiser l'utilisation des ressources à toutes les étapes du cycle de vie d'un bien ou d'un service, dans une logique circulaire, tout en réduisant l'empreinte environnementale et en contribuant au bien-être des individus et des collectivités.* »<sup>2</sup>

Également, afin de clarifier certains concepts clés de l'EC, l'Office québécois de la langue française publie désormais un *vocabulaire de l'économie circulaire*<sup>3</sup> qui contient des descriptions de plus de 120 concepts sur le sujet de l'EC. Au niveau international, ISO a créé le comité technique ISO/TC 323 en 2018 pour travailler sur les normes de l'économie circulaire<sup>4</sup>. L'Association française de normalisation (ANFOR) préside le groupe. Les trois normes suivantes ont été votées le 17 juillet 2023 et une quatrième est en cours de développement :

- ISO/DIS 59004 Économie circulaire  
*Terminologie, principes et recommandations pour la mise en œuvre*<sup>5</sup>
- ISO/DIS 59010 Économie circulaire  
*Recommandations relatives à la transition des modèles d'affaires et des réseaux de valeur*<sup>6</sup>
- ISO/DIS 59020 Économie circulaire  
*Mesure et évaluation de la circularité*<sup>7</sup>
- ASO/CD 59040 Économie circulaire  
*Fiche de données de circularité des produits*<sup>8</sup>

Au niveau de la France, l'ANFOR et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) présentent aussi des définitions de l'EC. L'ANFOR a publié en 2018 la norme expérimentale XP X30-901 *Économie circulaire - Système de management de projet d'économie circulaire - Exigences et lignes directrices*<sup>9</sup> qui définit l'EC comme :

« *Système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources, à diminuer l'impact sur l'environnement tout en permettant le bien-être des individus, dans lequel la valeur des produits, des matières et des ressources est maintenue dans l'économie aussi longtemps que possible et la production de déchets est réduite au minimum.* »

Tel qu'illustré dans la Figure 2, l'ADEME propose une décomposition de l'EC en 3 domaines et 7 piliers<sup>10</sup>. L'ADEME définit l'EC tel que :

<sup>2</sup> <https://www.quebeccirculaire.org/static/Enjeux-et-definition.html>

<sup>3</sup> <https://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/bibliotheque/dictionnaires/vocabulaire-economie-circulaire.aspx>

<sup>4</sup> <https://www.iso.org/fr/committee/7203984.html>

<sup>5</sup> <https://www.iso.org/fr/standard/80648.html>

<sup>6</sup> <https://www.iso.org/fr/standard/80649.html>

<sup>7</sup> <https://www.iso.org/fr/standard/80650.html>

<sup>8</sup> <https://www.iso.org/fr/standard/82339.html>

<sup>9</sup> <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/xp-x30901/economie-circulaire-systeme-de-management-de-projet-deconomie-circulaire-ex/fa194960/1759>

<sup>10</sup> <https://expertises.ademe.fr/expertises/economie-circulaire>

« L'économie circulaire peut se définir comme un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien être des individus. »

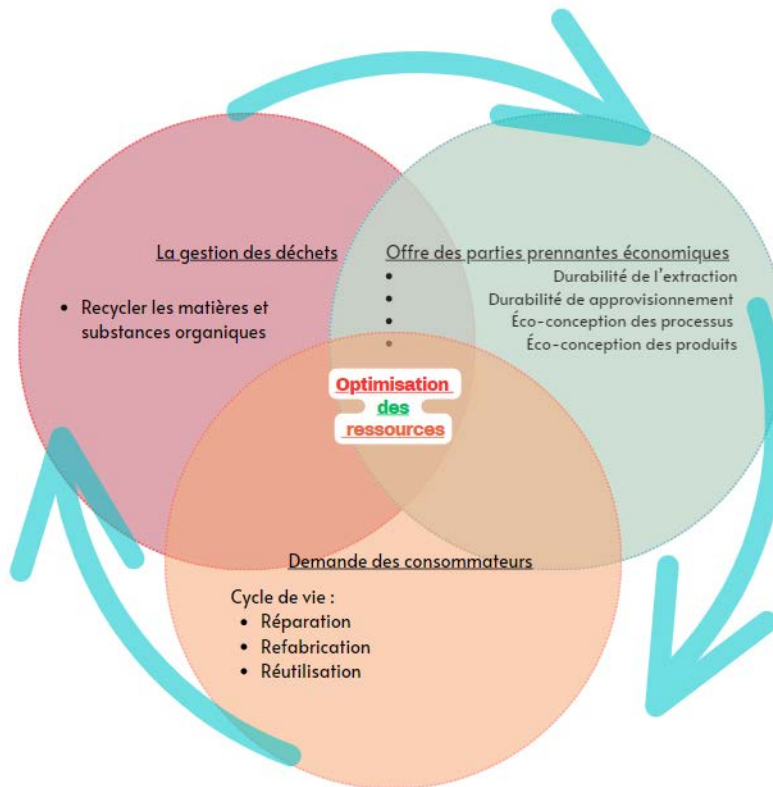


Figure 2: L'économie circulaire inspiré de l'ADEME.

À la lumière de ces définitions, l'économie circulaire pourrait se définir par :

**« Veiller au renouvellement de la biosphère et optimiser la circulation des ressources naturelles dans la technosphère de manière à diminuer, voir freiner, leur dissipation; afin d'assurer la pérennité et la croissance des activités économiques actuelles et futures, en considération des ressources limités de la Terre. »**

Cette définition prend en compte l'aspect de la biosphère, soit les cycles de circulation renouvelables des ressources naturelles de la Terre, et aussi la technosphère, soit les cycles de matières qui ne font pas partie des cycles des naturels de la Terre et qui sont donc ainsi non-renouvelables. Parce qu'ils ne sont pas renouvelables, les ressources naturelles de la technosphère sont dit dissipables, c'est-à-dire qu'elles ne sont plus accessibles pour l'activité économique humaine, parce qu'elles ont été enfouies ou incinérées (Charpentier Poncelet, Helbig et al. 2022). La définition prend aussi en compte l'aspect de l'optimisation des ressources; c'est-à-dire le maintien du niveau de pureté/qualité des matériaux à son niveau le plus haut et ce, pour le plus longtemps possible. Enfin, le fait que l'économie circulaire ne doit pas agir comme frein aux activités économiques humaines, mais bien comme un levier, est également pris en compte dans la définition.

## CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE



## L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DANS LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

L'économie circulaire est un paradigme de consommation et d'utilisation des ressources naturelles qui s'oppose à l'économie linéaire où on extrait, on fabrique/transforme, on utilise et on dispose. Dans un contexte où les ressources naturelles sont limitées, l'économie circulaire consiste à maximiser la vie utile des ressources et de l'énergie avant d'ultimement en disposer, si absolument nécessaire. Malgré que l'économie circulaire commence gagner en popularité comme une approche qui a le potentiel de permettre à la civilisation humaine d'atteindre ses objectifs de développement durable, c'est un concept dont la compréhension semble encore quelque peu hétérogène à travers la communauté scientifique (Kirchherr, Reike et al. 2017). Dans leur révision de 114 définitions de l'EC présentes dans la littérature, les auteurs Kirchherr et al. ont observé des différences, mais un élément persiste à travers les définitions de tel que le concept principal de l'EC semble être l'élimination du principe de fin de vie utile des ressources naturelles (renouvelables ou non) de la Terre.

Étant une approche visant à faciliter le développement durable, beaucoup d'efforts de recherches ont été mis sur la réduction des déchets, une meilleure utilisation des ressources et une réduction des impacts environnementaux. Toutefois, on remarque des manquements quant à l'aspect de la transformation des pratiques d'affaires et l'aspect économique (Lieder and Rashid 2016), tel que l'évaluation des retours sur investissements de l'économie circulaire. Considérant que les milieux manufacturiers ont un rôle crucial à jouer dans l'économie circulaire étant donné leur contribution à la consommation des ressources naturelles, il est primordial que les avantages économiques de l'économie circulaire pour l'industrie manufacturière doivent être évidents; sans quoi l'effort de transition de l'économie linéaire à circulaire peut être perçu comme un risque et peut dissuader des entreprises à s'engager dans cette démarche.

Selon (Frishammar and Parida 2019) l'économie circulaire est devenue le principal cadre d'évaluation de la durabilité que les entreprises utilisent pour avoir des contributions concrètes dans les trois sphères du développement durable. Toutefois, bien que la littérature sur l'économie circulaire semble évoluer des concepts théoriques vers des études empiriques, ces dernières sont d'avantages focalisés sur l'aspect environnemental que sur les deux autres sphères du développement durable, l'aspect économique et social (Bjørnbet, Skaar et al. 2021).

Malheureusement, puisque l'économie circulaire touche tous les niveaux d'une entreprise (Kirchherr, Reike et al. 2017); la création de valeur et les avantages tangibles et que peut offrir l'économie circulaire est difficilement mesurable et les ressources pour supporter les entreprises manufacturières dans leur transition vers l'économie circulaire sont encore superficielles (Bjørnbet, Skaar et al. 2021). Il ne fait donc aucun doute que cette initiative peut paraître intimidante pour l'industrie manufacturière.

Afin d'établir certaines bases et consolider la littérature existante des modèles d'affaires dans une optique d'économie circulaire, (Urbinati, Chiaroni et al. 2017) proposent une taxonomie des modèles d'affaires circulaires. Une étude de cas sur trois entreprises manufacturières œuvrant dans le secteur de la fabrication additive a d'ailleurs été effectué pour tester l'applicabilité de cette taxonomie à des entreprises qui ont déjà intégrées l'économie circulaires dans leur modèle d'affaires (Urbinati, Rosa et al. 2020). Cette taxonomie décompose l'implantation des pratiques d'économie circulaire en deux axes principaux, soit :

1. La proposition de valeur aux consommateurs ainsi que son interface de communication.

Selon cet axe, le degré d'implantation de la circularité dans le modèle d'affaire est évalué, d'une part, par la structure de tarification. Ainsi, selon cet axe, la vente de produits uniques, tel qu'est le standard dans des pratiques d'affaires linéaires, constitue un faible niveau de circularité. À l'opposé, une tarification faite sur l'utilisation du produit, et non le produit en soit, se traduit par un haut niveau d'implantation de la circularité (Mont 2002, Tukker 2004, Williams 2007, Tukker 2015, Stahel 2016).

D'autre part, la communication de la proposition de valeur au client/consommateur sert également de critère d'évaluation des pratiques d'affaires circulaires. L'entreprise doit également être transparente et publique par rapport à son intégration de la circularité dans ses pratiques d'affaires. Également, plus le consommateur est directement impliqué dans la démarche de circularité, plus il s'agit de pratiques circulaires complètes (Kumar and Venkatesan 2005, Baxendale, Macdonald et al. 2015).

2. Le réseau de création de valeur.

Cet axe est divisé en quatre niveaux. D'abord, au plus bas niveau se trouve l'efficacité énergétique via la réduction des émissions et de l'empreinte environnementale. Bien que ces impacts ne soient pas négligeables, ils ne contribuent pas autant à une économie circulaire que des pratiques visant à choisir des matières qui sont naturelles, recyclables, durables et faciles à séparer. Ces stratégies constituent le deuxième niveau. Ensuite, le troisième niveau regroupe les pratiques de conceptions où les objectifs sont : la réutilisabilité, la recyclabilité, la facilité de reconditionnement, la facilité de désassemblage ou le respect de l'environnement. Enfin, le quatrième niveau représente une combinaison des deuxième et troisième niveaux (Parkinson and Thompson 2003, Zhu, Geng et al. 2010, Go, Wahab et al. 2011, Dagman and Söderberg 2012, Mayyas, Qattawi et al. 2012, Goldsworthy 2014).

Pour vérifier que les modèles d'affaires circulaires sont aussi applicables au secteur de fabrication à haute valeur ajoutée, comme c'est le cas pour le secteur aéronautique par exemple, (Okorie, Charnley et al. 2021) ont effectué une analyse de 5 études de cas pour comprendre comment ce secteur peut bénéficier des pratiques d'économie circulaire. Le constat qui en émerge est ce type d'industrie peut aisément faire évoluer leur proposition de valeur à leurs clients via les stratégies suivantes :

- a) La servicisation des produits.
- b) L'optimisation de la performance et de l'efficacité des produits via l'industrie 4.0 et la maintenance prédictive.
- c) Le bouclage des produits, des matières et de l'énergie.

Ultimement, ces nouvelles propositions de valeur amènent les entreprises à diversifier et équilibrer leurs sources de revenus via des stratégies qui sont complémentaires. Toutefois, malgré que la théorie soit bien présente quant à la conceptualisation des modèles d'affaires circulaires, il y a encore un manque à combler quant à l'opérationnalisation de la transition de modèles linéaires à des modèles circulaires; d'une part parce que les cadres proposés ne sont que conceptuels et d'autre part parce que les meilleures pratiques sont souvent trop complexes pour être généralisables et transposables (Rosa, Sassanelli et al. 2019).

Propulsés par la fragilité du modèle d'affaire traditionnel du secteur manufacturier de l'électrique et l'électronique, qui est caractérisé par une augmentation des déchets, des faibles taux de recyclages et la rareté des matières premières; (Pollard, Osmani et al. 2021) ont adapté le modèle d'affaire linéaire de (Osterwalder and Pigneur 2010) à travers une série de workshops avec des recycleurs et des manufacturiers du secteur de

l'électricité et de l'électronique . Ce qui en résulte est une démarche de développement et d'implémentation de modèles d'affaires circulaires centrée sur les stratégies d'affaires du secteur manufacturier. (Pollard, Osmani et al. 2023) ont ensuite démontré la fonctionnalité de cette approche via une étude de cas sur un fabricant de machines à laver et un fabricant d'équipement de réseau optique. Cette étude illustre bien comment l'évolution de la stratégie d'affaire est un facteur crucial dans la démarche de transition vers un modèle d'affaire circulaire viable. Par l'approche proposée par les auteurs, les entreprises se sont circularisées via le prolongement de la durée de vie des produits (i.e. réutilisation, réparations, remises à neuf et recyclage), le passage de la vente unique de produits à des systèmes de produits-services afin de régulariser les sources de revenus et enfin elles ont bénéficié d'une réduction des coûts en approvisionnement de matières premières et d'énergie.

Pour supporter les organisations dans la transformation de leurs modèles d'affaires linéaires à des modèles d'affaires circulaires, (Frishammar and Parida 2019) ont développé une feuille de route qui est composé de quatre phases. Cette dernière a été testé sur 8 entreprises manufacturières (automobiles, électroménagers et autres) afin d'identifier des pistes d'actions dans leurs transitions circulaires. La première phase consiste à amorcer la transition par une sensibilisation, à l'échelle de l'entreprise, aux principes de l'économie circulaire. La deuxième phase consiste à auditer le modèle d'affaire actuel afin d'y déceler ses lacunes et les opportunités d'affaires circulaires. La troisième phase est de concevoir les nouvelles pratiques d'affaires par le développement d'un nouveau modèle d'affaire circulaire. La quatrième et dernière phase est l'implantation progressive du nouveau modèle d'affaire.

(Reim, Sjödin et al. 2021) proposent aux entreprises manufacturières une approche d'implémentation pour les modèles d'affaires circulaire composé d'une échelle de maturité de la circularité du modèle d'affaire et d'un arbre de décision. L'échelle de maturité se présente sous trois niveaux (sensibilisation, progression et améliorations) ainsi que trois critères (capacité de configuration de la solution, capacité d'orchestration et capacité de digitalisation). La feuille de route pour l'intégration des pratiques circulaires dans la stratégie d'affaire peut être un autre cadre qui permet à une entreprise d'identifier des pistes d'actions dans sa transition circulaire. Pour ce qui est de l'arbre de décision, il permet à l'entreprise manufacturière d'identifier, selon une série de critères, quelle serait le meilleur modèle d'affaire circulaire pour ses activités. Du moins circulaire au plus circulaire, les types de modèles d'affaires proposés dans l'arbre de décision sont les suivants :

1. *Modèle d'affaire régénératif*; qui se concentre sur la récupération d'énergie et la production efficace, à l'intérieur des limites de l'entreprise.
2. *Modèle d'affaire d'optimisation des opérations des clients*; où, par rapport au niveau précédent, d'avantages de services sont offerts aux clients pour optimiser leur utilisation des produits.
3. *Modèle d'affaire basé sur des contrats de services et un partage des responsabilités*; où les manufacturiers deviennent responsables, via des ententes contractuelles, de gérer la maintenance et la réparation des équipements afin d'assurer un niveau de disponibilité ou de performance attendu par le client.
4. *Modèle d'affaire de bouclage de produits*; où le manufacturier reste propriétaire du produit, ce qui facilite considérablement le reconditionnement et le surcyclage des produits.
5. *Modèle d'affaire de production virtuelle*; où les services sont dématérialisés.
6. *Échange de modèle d'affaire*; lorsque la production du produit peut être radicalement transformée par des nouvelles technologies de production (ex. : impression 3D).

Bien que la transition vers des modèles d'affaires circulaires traverse généralement toutes les frontières au sein des entreprises, il est fréquent que les répercussions des décisions prises par les dirigeants d'une entreprise se

font sentir dans toute la chaîne de création de valeur (Porter 2011). Le cadre d'indicateurs de performance DigiPrime, pour la transition de l'industrie manufacturière automobile vers une économie circulaire est un bon exemple de l'étendue des aspects à considérer lorsqu'on intègre l'économie circulaire jusqu'au niveau de l'ensemble de la chaîne de création de valeur (Kanellou, Alexakis et al. 2021). Malgré que les indicateurs proposés soient ciblés pour le secteur automobile, la logique d'identifier des KPI horizontaux, qui affectent l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur, et des KPI verticaux, qui portent sur des acteurs spécifiques, est transposable dans n'importe quel autre secteur manufacturier.

L'identification indicateurs de performance pertinents est aussi cruciale au niveau de la conception de produit parce qu'ils permettent de mesurer les progrès et cibler où concentrer les efforts. À ce niveau, (Jerome, Helander et al. 2022) ont effectué une revue des indicateurs utilisées dans la littérature pour mesurer la circularité et les ont consolidé dans cette liste :

1. *L'intensité énergétique*; qui capture l'énergie utilisée en phase de production.
2. *Taux de contenu recyclé*; qui capture la composition du produit.
3. *L'index du potentiel de réutilisabilité*; qui capture le potentiel de bouclage du produit.
4. *Taux de recyclabilité*; qui capture le potentiel de recyclage du produit.
5. *Taux de récupérabilité*; qui capture ce qui être récupéré du produit en énergie.
6. *Score de réutilisation des matériaux*; qui capture ce qui peut être réutilisé du produit.
7. *Indicateur de circularité du produit*; qui capture l'ensemble des cycles de vie du produit, à l'exception de l'extraction des matières premières.

(Jerome, Helander et al. 2022) ont également comparé, à l'aide d'études de cas, les indicateurs circulaires à des indicateurs d'analyse de cycle de vie (ACV) et en sont arrivé à la conclusion qu'en fonction des cas, les deux types d'incitateurs sont plutôt complémentaires que substituables. D'autres auteurs arrivent également aux même conclusions dans une étude où ils comparent des indicateurs circulaires à des indicateurs d'ACV dans le secteur de l'aviation (Markatos and Pantelakis 2022).

Finalement, une approche simple d'évaluation semi-quantitative de la circularité est proposée par (Shevchenko, Yannou et al. 2022) pour les produits. L'approche est basée sur un modèle de quadrants composé des deux axes suivants :

1. Le type de boucles d'économie circulaire (Bocken, De Pauw et al. 2016).
  - a. Boucles de fermetures, où il y a réutilisation via le recyclage.
  - b. Boucles de ralentissement, où il y a augmentation de la durée de vie.
2. La période de prévention des déchets.
  - a. Passé.
  - b. Futur.

Il est important de noter que dans certains cas, les réglementations environnementales sont un facteur critique au développement de modèles d'affaires circulaires. Très peu de recherche a été faite sur le sujet, mais (Urbinati, Rosa et al. 2020) ont décelé un impact significatif des réglementations environnementales sur le succès de trois stratégies d'affaires circulaire pour des entreprises manufacturières novatrices. (Kayikci, Kazancoglu et al. 2021) rapportent également que la faible participation du gouvernement et le manque d'efficacité dans les réglementations environnementales sont des barrières limitantes dans la prolifération de l'économie circulaire. Leur recherche sur les barrières de l'économie circulaire démontre aussi qu'une forte collaboration au sein des acteurs des chaînes de valeur peut contrer l'adoption difficile et inefficace des modèles d'affaires circulaires.

CHAPITRE 3 :  
ANALYSE COMPARATIVE DE LA CIRCULARITÉ D'ENTREPRISES DES  
SECTEURS  
MANUFACTURIERS ET AUTOMOBILE

## OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE

L'objectif de cette analyse est d'évaluer qualitativement la circularité de SAFRAN par rapport aux bonnes pratiques d'industries œuvrant dans des secteurs industriels similaires. Pour se faire, un cadre de référence provenant de la revue de littérature a d'abord été sélectionné pour conduire l'analyse. Ensuite, un échantillon d'entreprises pouvant se comparer à SAFRAN a été identifié pour être analysé selon le cadre de référence. Ainsi, des scores de circularité des pratiques d'affaires ont été obtenus pour chacune des entreprises et ceux-ci ont été comparés selon les caractéristiques particulières des entreprises pour obtenir une vue d'ensemble. Enfin, une synthèse des bonnes pratiques circulaires est présentée en guise de conclusion.

## IDENTIFICATION DU CADRE D'ANALYSE

Le cadre d'analyse choisi pour cette analyse est la taxonomie des modèles d'affaires circulaires de (Urbinati, Chiaroni et al. 2017). Ce cadre d'analyse propose une décomposition des pratiques d'affaires en trois composantes : les modes de tarifications, la communication et le réseau de création de valeur. Ce cadre conceptuel a été sélectionné pour trois raisons principales. Premièrement, parce qu'il propose une classification hiérarchisée des pratiques d'affaires circulaires basée sur la littérature récente et pertinente à l'économie circulaire. Deuxièmement, la taxonomie est suffisamment simple et générale pour être applicable à une étude de cas basée sur de l'information publiquement disponible tel que les rapports annuels afin d'avoir une comparaison équitable entre les entreprises sélectionnées. Troisièmement, les différents niveaux hiérarchiques peuvent être traduits en pointages, ce qui permet une évaluation semi-quantitative de la circularité des pratiques d'affaires des entreprises sélectionnées.

## SÉLECTION DE L'ÉCHANTILLON D'ENTREPRISES

Les entreprises ont été choisies à partir de la liste des partenaires de la fondation Ellen MacArthur disponible sur leur site web<sup>11</sup>. Pour être sélectionnées, les entreprises devaient être du secteur manufacturier ou du secteur de la mobilité. Elles ont été regroupées en trois groupes, soit le secteur manufacturier général, le secteur automobile et le secteur de la fabrication de pneus. La douzaine d'entreprises incluses dans l'analyse est présentée dans le tableau ci-dessous. La liste des entreprises, ainsi que leurs nombres d'employés et leurs chiffres d'affaires respectifs, sont présentés dans le tableau 1.

<sup>11</sup> <https://ellenmacarthurfoundation.org/network/who-is-in-the-network>

**Tableau 1: Liste des entreprises sélectionnées pour l'analyse comparative**

Entreprise	Nombre d'employés	Chiffre d'affaires (USD)	Année
<b>MANUFACTURIERS</b>			
3M	92 000	34 200 millions	2023 <sup>12</sup>
ABB	106 850	29 446 millions	2022 <sup>13</sup>
HP	58 000	63 000 millions	2022 <sup>14</sup>
LG	72 652	64 700 millions	2022-2023 <sup>15</sup>
TOMRA	5 015	1 194 millions	2022 <sup>16</sup>
<b>AUTOMOBILE</b>			
Ford	172 639	158 000 millions	2023 <sup>17</sup>
GM	154 000	144 000 millions	2022 <sup>18</sup>
Jaguar	38 379	24 942 millions	2022-2023 <sup>19</sup>
Volvo	43 000	30 903 millions	2022 <sup>20</sup>
<b>FABRICANTS DE PNEUS</b>			
BridgeStone	129 262	28 790 millions	2023 <sup>21</sup>
Michelin	132 000	31 292 millions	2022 <sup>22</sup>
<b>AÉRONAUTIQUE</b>			
SAFRAN	83 276	20 979 millions	2022 <sup>23</sup>

<sup>12</sup> [https://www.3m.com/3M/en\\_US/sustainability-us/annual-report/](https://www.3m.com/3M/en_US/sustainability-us/annual-report/)<sup>13</sup> <https://global.abb/group/en/investors/annual-reporting-suite><sup>14</sup> <https://www.hp.com/ca-fr/hp-information/sustainable-impact.html><sup>15</sup> <https://www.lg.com/global/sustainability/digital-library/><sup>16</sup> <https://www.tomra.com/en/sustainability><sup>17</sup> <https://corporate.ford.com/social-impact/sustainability.html><sup>18</sup> <https://www.gmsustainability.com><sup>19</sup> <https://www.jaguarlandrover.com/annual-report-2023><sup>20</sup> <https://investors.volvocars.com/en/financial-information/results-centre><sup>21</sup> [https://www.bridgestone.com/ir/library/integrated\\_report/index.html](https://www.bridgestone.com/ir/library/integrated_report/index.html)<sup>22</sup> <https://www.michelin.com/en/finance/regulated-information/><sup>23</sup> <https://www.safran-group.com/fr/groupe/engagements>

## ÉVALUATION DE LA CIRCULARITÉ DES ENTREPRISES SÉLECTIONNÉES

La Figure 3 présente le cadre d'analyse utilisé pour l'évaluation de la circularité des entreprises, qui est inspiré de (Urbinati, Chiaroni et al. 2017). Un arbre de décision, présenté en Figure 4, a été utilisé pour effectuer la classification des pratiques d'affaires. Une description détaillée de chacun des critères d'évaluation est présentée dans le tableau ci-dessous. La Figure 6 présente les résultats de l'analyse. Les informations collectées dans les rapports annuels sont présentées en annexe. Une méthodologie en trois étapes a été suivie pour chaque entreprise :

- A. Consultation du site web de l'entreprise;
- B. Consultation du dernier rapport annuel intégré ou rapport annuel de durabilité (2022 ou 2023);
- C. Classification des pratiques d'affaires et attribution des scores.

Proposition de valeur et interface	Stratégie	Niveau de circularité	Score*	Réseau de création de valeur	Stratégie	Niveau de circularité	Score*	
<b>Tarifification</b>	Vente de produits uniques	BAS	1	<b>Réseaux de création de valeur &amp; conception de produit</b>	Efficacité énergétique (réduction des émissions et de l'impact environnemental)	BAS	1	
	Ventes de produits avec services complémentaires	BAS-MOYEN	2		Matériaux durables, recyclables, naturel, faciles à séparer	BAS-MOYEN	2	
	Location	MOYEN-ÉLEVÉ	3		Conception pour le recyclage, la réparation, le désassemblage, l'environnement, modularité, LCA	MOYEN-ÉLEVÉ	3	
	Vente par service-produit ou par unité fonctionnelle	ÉLEVÉ	4		Matériaux circulaires et implantation d'une ou plusieurs stratégies de conceptions circulaires	ÉLEVÉ	4	
<b>Communication</b>	Information sur le site web	BAS	1					
	Communication en magasin via la publicité et le personnel	BAS-MOYEN	2					
	Engagement direct du consommateur dans les démarches circulaires	MOYEN-ÉLEVÉ	3					
	Communication de la circularité à travers tous les canaux	ÉLEVÉ	4					

Figure 3: Cadre d'évaluation basé sur (Urbinati, Chiaroni et al. 2017).

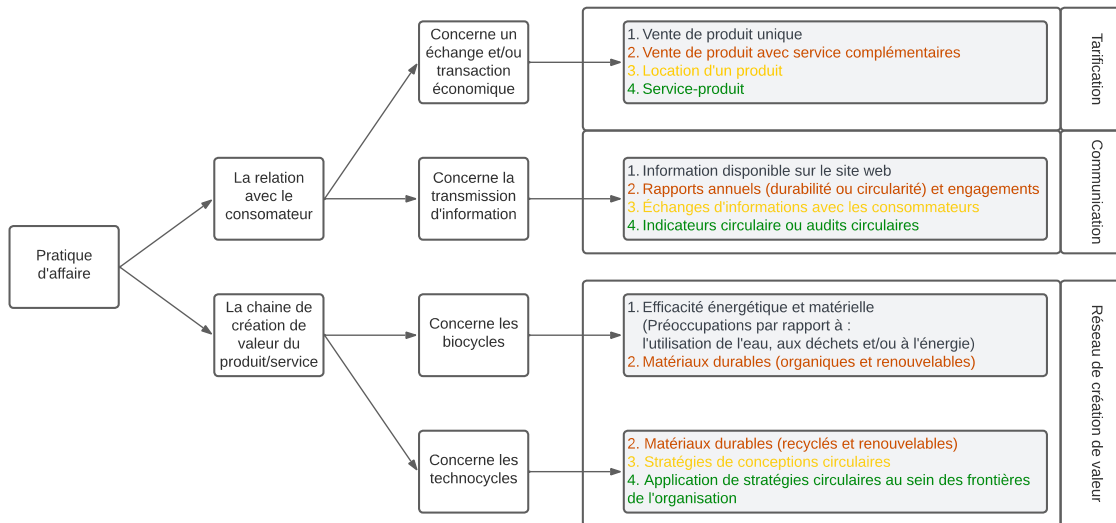


Figure 4 : Arbre de décision utilisé pour la classification des pratiques d'affaires



## TARIFICATION

---

- **Vente de produits uniques :**  
L'entreprise vend des produits à des consommateurs et n'est plus lié au consommateur ou au produit après la transaction.
- **Vente de produits avec services complémentaires :**  
L'entreprise vend des produits, mais elle offre aussi des services complémentaires contractuels comme une garantie de remise à neuf ou des services de maintenance planifiés et d'extension de la durée de vie.
- **Location :**  
L'entreprise offre la location de ses produits, elle reste donc propriétaire du produit lors de sa phase d'utilisation, comme la location d'une voiture par exemple.
- **Vente par service-produit ou par unité fonctionnelle :**  
L'entreprise offre un service plutôt qu'un produit. Par exemple, dans le cas d'un fabricant de pneus, le fabricant s'engage à être responsable de fournir des pneus respectant une qualité spécifiée et ce, pour une période ou un nombre de kilomètre déterminé.

## COMMUNICATION

---

- **Information sur le site web :**  
L'entreprise publie son engagement à l'économie circulaire sur son site web et/ou dans ses rapports annuels.
- **Communication en magasin via la publicité et le personnel :**  
L'entreprise fait la promotion de son engagement à la circularité à travers ses magasins, la publicité ou ses employés. Par exemple, l'entreprise adhère à la fondation Ellen MacArthur pour publiquement démontrer son engagement.
- **Engagement direct du consommateur dans les démarches circulaires :**  
L'entreprise inclut le consommateur dans sa démarche circulaire. Par exemple, un fabricant fournit des instructions pour faciliter la réparation, le recyclage ou la logistique inverse de ses produits. Un autre exemple serait l'utilisation des nouvelles technologies (internet des objets, industrie 4.0, jumeaux numériques, etc.) pour supporter des échanges d'informations entre le client et le fabricant afin d'offrir des services mieux adaptés aux besoins spécifiques des clients.
- **Communication de la circularité à travers tous les canaux :**  
L'entreprise utilise tous les moyens de communications possibles pour supporter sa stratégie circulaire. Par exemple, une entreprise développe et publie un label circulaire pour mesurer et diffuser la circularité de ses produits.

## RÉSEAUX DE CRÉATION DE VALEUR & CONCEPTION DE PRODUIT

---

- **Efficacité énergétique & matérielle (réduction des émissions et de l'impact environnemental) :**  
L'entreprise démontre des efforts pour être plus efficace dans sa consommation d'énergie et de ressources naturelles. Par exemple, l'entreprise réduit sa consommation d'eau ou réduit la quantité de déchets qu'elle envoie à l'enfouissement. À ce niveau, l'entreprise pose des actions par rapport à la conception de produit passée.
- **Matériaux durables, recyclables, naturel, faciles à séparer :**

L'entreprise présente une préoccupation pour les matériaux qu'elle utilise dans ses produits. Par exemple, l'entreprise utilise des matériaux qui proviennent de sources renouvelables ou qui peuvent être recyclés (en boucle ouverte ou fermée).

- **Conception pour le recyclage, la réparation, le désassemblage, l'environnement, modularité ou l'analyse de cycle de vie :**

L'entreprise intègre des critères circulaires dans sa conception. Sinon, l'entreprise intègre dans ses processus les pratiques de recyclage, de réparation, de désassemblage ou de reconditionnement. À ce niveau, l'entreprise pose des actions par rapport à la conception de ses futurs produits.

- **Matériaux et processus circulaires et implantation d'une ou plusieurs stratégies de conceptions circulaires :**

L'entreprise utilise des matériaux et processus qui sont circulaires, c'est-à-dire que l'entreprise veille au renouvellement de la biosphère et s'assure d'optimiser l'utilisation des ressources non-renouvelables dans la technosphère.

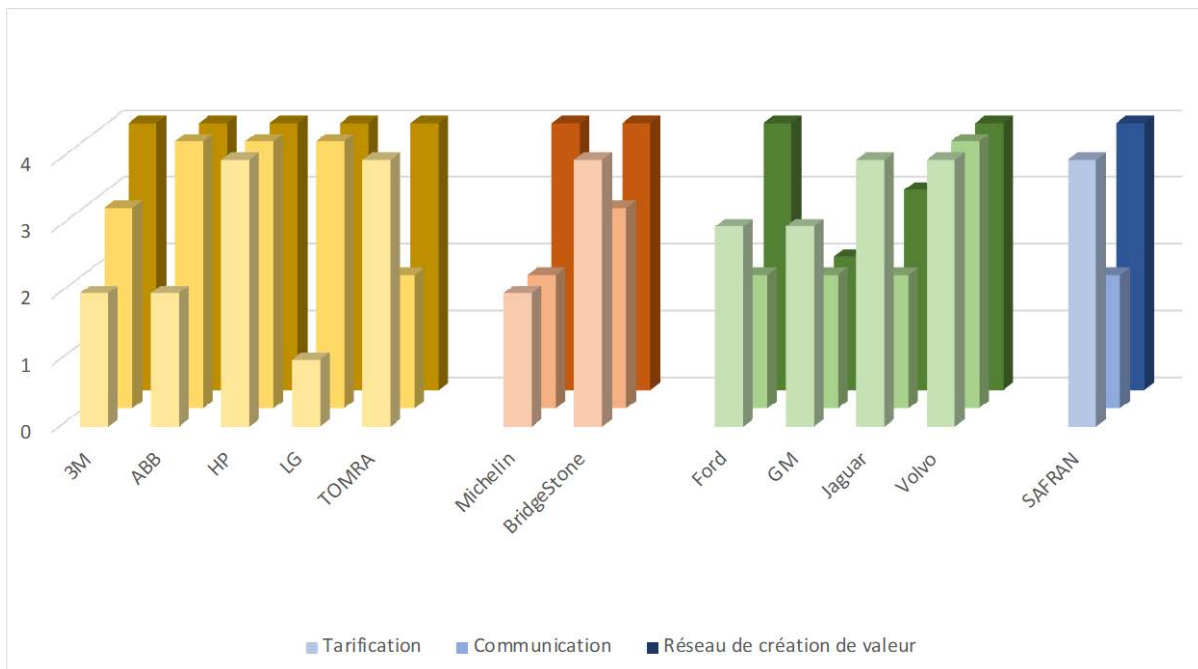


Figure 5: Scores de circularité des pratiques d'affaires des entreprises échantillonnées.

## ANALYSE COMPARATIVE

Dans l'ensemble, le secteur manufacturier est le secteur qui semble circulaire avec pratiquement toutes ses entreprises qui ont des réseaux de création de valeur qui intègrent et communiquent bien des pratiques d'affaires circulaires. Toutefois, les modes de tarifications du secteur automobile sont circulaires du secteur manufacturier. Les similarités et les différences dans les pratiques d'affaires de tarification, de communication et d'intégration de la circularité dans le réseau de création de valeur sont présentées dans les sections qui suivent. Les résultats bruts de la collecte d'information sont disponibles en annexe.

### *TARIFICATION*

Pour ce qui est des stratégies de ventes, toutes les entreprises offrent des produits à vente unique et la plupart offrent également des services complémentaires d'allongement de la durée de vie pour leurs produits. Cependant, la compagnie LG est la compagnie qui a le plus bas score pour la tarification parce qu'elle n'offre que la vente de produits unique sans services complémentaires qui visent favoriser la circularité des produits. Il est toutefois intéressant de mentionner que LG offre quand même des programmes de « take-back » pour ses produits en fin de vie.

Mis à part la compagnie TOMRA, qui offre la location de ses machines distributrices inverses par exemple, seulement le secteur automobile offre la location de ses produits. D'autres entreprises optent plutôt pour la vente de services-produits (HP, TOMRA, Jaguar, Volvo, Bridgestone, SAFRAN).

### *COMMUNICATION*

Pratiquement toutes les entreprises ont un bon niveau de communication de la circularité. C'est-à-dire que toutes les organisations publient des rapports annuels (ou de durabilité) qui incluent une section sur la circularité, ce qui n'est pas surprenant compte tenu que toutes les organisations sont membres de la fondation Ellen MacArthur.

Quelques entreprises, soit 33%, vont au-delà de diffuser leurs accomplissements et leurs cibles circulaires et communiquent directement avec les consommateurs pour les inclure dans leurs pratiques circulaires. Ce qui est intéressant de remarquer est que les entreprises manufacturières (3M, ABB & HP) intègrent les consommateurs via des programmes d'aides ou d'instructions pour faciliter le recyclage de leurs produits, tandis que Bridgestone opte plutôt pour l'utilisation des nouvelles technologies (Tirematics) pour la co-crédation d'information sur leurs produits afin d'en analyser et optimiser l'utilisation.

Enfin, quatre entreprises obtiennent les meilleurs scores pour la communication. Effectivement, deux organisations (ABB & LG) ont développé, et publient avec leurs produits, des indicateurs qui incluent des éléments de circularité. Les deux autres, HP et Volvo, utilisent le cadre d'analyse de la fondation Ellen MacArthur afin d'effectuer et publier leurs audits sur leur circularité.

La compagnie Volvo mérite une mention spéciale pour la publication des chiffres dans son dernier rapport annuel quant à sa consommation totale des ressources et son impact sur l'eau, la biodiversité et la pollution. Ces données, qui sont disponibles pour chacun des véhicules, vont servir de référence pour les années futures afin de quantifier les changements induits par les stratégies d'économie circulaire. Ils seront également utilisés pour faire des ACV.

## *RÉSEAUX DE CRÉATION DE VALEUR & CONCEPTION DE PRODUIT*

Seulement un quart des organisations ne mentionnent pas faire des efforts pour agir sur leurs déchets. Alors que certaines entreprises n'envoient déjà plus de matières à l'enfouissement ou à l'incinération (ABB & Michelin), beaucoup d'autres, particulièrement dans le secteur automobile, se sont laissés jusqu'à environ 2030 pour éliminer les déchets non-valorisés (LG, Ford, GM, Jaguar, Volvo).

Moins du quart des entreprises mentionnent explicitement, dans leurs rapports ou sur leurs sites internet, qu'elles se préoccupent de leur utilisation d'eau. Les cibles sont toutes exprimées en réductions de pourcentages d'utilisation, allant de 15% d'ici 2025 pour Ford jusqu'à 40% d'ici 2040 pour Volvo. Pour ce qui est de l'utilisation d'énergies renouvelables, seulement trois entreprises sur 12 mentionnent avoir des cibles à ce niveau.

L'emploi de matériaux durables, c'est-à-dire qui proviennent de processus de recyclage ou de sources renouvelables, est bien généralisé. Pratiquement toutes les entreprises présentent des indicateurs cibles d'utilisation de matériaux durables. Plus de la moitié, soit 7 entreprises, ont des cibles d'utilisation de matières recyclées dans leurs produits et 6 entreprises ont des cibles d'utilisations de matériaux durables.

Il est important de noter quelques particularités en ce qui a trait aux matériaux parce qu'on observe des différences dans les types de matériaux ciblés d'un secteur à industriel à l'autre. Pour ce qui est du domaine manufacturier, les matières qui sont ciblées sont principalement les plastiques avec un peu de matières métalliques (ABB) et de fibres (3M & HP). Pour le secteur automobile, l'emphase est mise sur les matériaux métalliques tel que l'aluminium et l'acier, mais aussi les plastiques et les textiles. Pour les fabricants de pneus, les deux ont des cibles identiques quant à l'utilisation de matériaux durables pour leurs produits; soit 40% à moyen terme et 100% d'ici 2050.

Pour ce qui est de la conception, toutes les organisations présentent d'une manière ou d'une autre des stratégies de conception pour l'environnement ou pour faciliter le recyclage, la réparation et le désassemblage. L'entreprise GM est la seule entreprise qui ne présente pas de stratégie de conception outre l'utilisation de matériaux durables. L'ACV lors de la conception et l'éco-conception est également une pratique très populaire. On dénombre 7 entreprises qui mentionnent systématiquement inclure la considération environnementale lors des phases de conception. On remarque aussi que cette pratique n'est pas répandue dans le secteur automobile, avec une seule entreprise (Ford) qui fait des ACV et ce, pas de manière systématique. Il est possible de remarquer que les entreprises qui fabriquent des produits avec des moteurs, soit la plupart des entreprises manufacturières et automobile, ont tendance à introduire la contrainte de désassemblage pour faciliter la réparation et le reconditionnement. Volvo mentionne qu'avec le reconditionnement de 37 000 pièces en 2021 (moteurs, boîtes de vitesses, turbocompresseurs, embrayages, etc.), la compagnie a pu économiser 85% de matières et 80% d'énergie pour remettre à neuf ces produits à comparer à refabriquer ces pièces. En 2022, Ford a reconditionné 104 000 moteurs et transmissions.

Enfin, pour ce qui est d'intégration explicite de pratiques d'affaires et de processus circulaires dans les activités de l'entreprise; l'analyse des rapports annuels des entreprises démontre que presque toutes les entreprises vont au-delà de l'établissement de cibles et intègrent pleinement l'économie circulaire tel que : la réutilisation et le reconditionnement de pièces (ABB, HP, Ford, Volvo, Michelin, SAFRAN) ou le recyclage de batteries (ABB & Volvo). Il est toutefois important de mentionner que certaines pratiques sont plus présentes dans certains secteurs. C'est le cas de l'utilisation d'emballages réutilisables et des programmes de « take-back » qui sont particulièrement présents dans le secteur manufacturier. La mention d'inclure spécifiquement des critères de

circularité dans la conception de nouveaux produits est d'ailleurs pratiquement systématiquement présente pour toutes les entreprises manufacturières, y compris Michelin. Ford est une des seules compagnies qui fait du recyclage en boucle fermée et qui réussit à atteindre 20 à 30 pourcents d'économies en achat de matières et ce, pour l'aluminium.

## POSITIONNEMENT DE SAFRAN

Par rapport à des entreprises du même calibre que SAFRAN en termes de nombres d'employés et de chiffres d'affaires, SAFRAN se positionne très bien dans le contexte de l'économie circulaire. SAFRAN obtient un bon score dans la catégorie Tarification avec ses contrats de services à l'heure de vol, qui est parmi les meilleures stratégies circulaires selon le cadre d'analyse adapté de (Urbinati, Chiaroni et al. 2017). Pour la catégorie Communication, qui est la seule catégorie où SAFRAN n'obtient pas le meilleur score possible; afin de s'améliorer dans cette catégorie, SAFRAN pourrait d'avantage engager ses clients dans ses démarches circulaire. Par exemple, SAFRAN pourrait développer des programmes de partenariats avec ses clients pour collecter des données pertinentes sur l'utilisation des produits de manière à être en mesure d'effectuer des analyses visant à allonger la durée de vie des produits via l'optimisation de l'utilisation des produits, comme le fait Bridgestone avec Tirematics.

Enfin, au niveau du réseau de création de valeur et de sa conception de produit, SAFRAN fait des efforts pour être efficace dans sa consommation de ressources avec une valorisation de 71% de ses déchets en 2021. Contrairement à la plupart des entreprises de l'échantillon, SAFRAN n'a pas de cible précise pour la valorisation totale (100%) de ses déchets. SAFRAN est aussi la seule entreprise qui ne présente aucune cible par rapport à l'utilisation de matériaux recyclés ou de matières renouvelables. Toutefois, SAFRAN fait partie de la majorité des entreprises analysées qui incluent systématiquement des critères environnementaux dans la conception de leurs nouveaux produits. Comme plus de 80% de l'échantillon, SAFRAN démontre l'intégration d'une ou de plusieurs pratiques circulaires avec sa participation dans les filiales CFM Materials et Tarmac Aerosave. Il est à noter que SAFRAN démontre également un certain engagement à la régénération de la biosphère avec son plan biodiversité en Belgique depuis 2020.

## SYNTHÈSE DES PRATIQUES CIRCULAIRES

En guise de synthèses, les diverses pratiques répertoriées ont été regroupées selon les boucles de circularité proposées par la fondation Ellen MacArthur. Les types de boucles sont les suivantes : les bouclages concernant la biosphère, les bouclages de maintenance et prolongation, les bouclages de réutilisation et redistribution, les bouclages de remise à neuf, les bouclages de recyclage et enfin la réduction des déchets.

### **Bonnes pratiques de circularité dans la biosphère:**

- Préoccupations et mesure de l'utilisation d'eau (>25%; 3M, Ford, Volvo, Jaguar)
- Utilisation d'énergies renouvelables (25%; 3M, TOMRA, Ford\*, BridgeStone)
- Utilisation de matériaux durables (50%; HP, TOMRA, Jaguar, Volvo, Michelin, Bridgestone)
- Considérations environnementales lors des phases de conception (>50%; 3M, LG, TOMRA, Ford, Michelin, BridgeStone, **SAFRAN**)
- Conservation de la biodiversité (**SAFRAN**)

### **Bonnes pratiques de circularité dans la technosphère (maintenance & prolongation):**

- Services complémentaires d'allongement de la durée de vie (>90%; **tous** sauf LG)
- Location de produits (<50%; TOMRA, Ford, GM, Jaguar, Volvo)
- Service-Produit (50%; HP, TOMRA, Jaguar, Volvo, Bridgestone, **SAFRAN**)
- Programmes d'aides à la réparation pour les consommateurs (HP)
- Utilisation des nouvelles technologies pour l'optimisation du produit (ABB, Bridgestone)

### **Bonnes pratiques de circularité dans la technosphère (réutilisation & redistribution):**

- Utilisation d'emballages réutilisables (25%; 3M, HP, LG)
- Réutilisation de pièces d'occasion (<25%; HP, **SAFRAN**)
- Programmes « take-back » (50%; **ABB, HP, LG, Volvo, Bridgestone, SAFRAN**)

### **Bonnes pratiques de circularité dans la technosphère (remise à neuf):**

- Reconditionnement de moteurs, transmissions ou équipements (>50%; 3M, ABB, HP, Ford, Volvo, Michelin, Bridgestone, **SAFRAN**)

### **Bonnes pratiques de circularité dans la technosphère (recyclage):**

- Instructions pour faciliter le recyclage (25%; 3M, ABB, HP)
- Utilisation de matières recyclées (>90%; tous sauf **SAFRAN**)
- Recyclage de batteries (<25%; ABB, Volvo)
- Recyclage d'aluminium en boucle fermée (Ford)

**Bonnes pratiques de circularité :**

- Réduction des déchets aux sites  
(75%; ABB, LG, Ford, GM, Jaguar, Volvo, Michelin, **SAFRAN**)

*SYNTHÈSE DES PRATIQUES CIRCULAIRES DANS LE DOMAINE DE L'ÂÉRONAUTIQUE*

Compte tenu qu'aucune entreprise œuvrant dans le secteur de l'aviation est membre de la fondation Ellen MacArthur; aucune organisation directement comparable à SAFRAN n'a été inclus dans l'échantillon. Quelques publications sur le sujet donnent toutefois des perspectives intéressantes sur la circularité dans le domaine de l'aviation.

Dans leur revue du potentiel de l'économie circulaire dans l'aviation (Dias, Jugend et al. 2022), les auteurs présentent ce que pourrait être une industrie aérospatiale circulaire via une liste de bonnes pratiques. Il est à noter que certaines de ces pratiques sont également présentes dans les industries incluses dans l'analyse comparative, tel que la conception pour le désassemblage ou l'environnement (électrification), l'utilisation de matériaux durables (recyclés ou naturels), réduction de l'emballage, vente de service-produits ainsi que des programmes de désassemblage et de revente de pièces usagées.

On remarque toutefois certaines particularités au domaine aérospatial tel qu'une emphase plus importante sur les combustibles alternatifs. Ce n'est toutefois pas le cas du secteur automobile, qui n'utilise plus de combustibles grâce à l'électrification de ses moteurs. Le remplacement des méthodes de fabrication conventionnelles par des nouvelles technologies comme la fabrication additive semble aussi une avenue intéressante pour le secteur de l'aérospatiale parce qu'une autre publication mentionne également l'importance de cette technologie pour la transition circulaire de ce secteur industriel (Domone, Bliss et al. 2021). D'autres nouvelles technologies, comme les jumeaux numériques et l'industrie 4.0 (comme le fait Bridgestone), sont également mentionnées comme étant prometteuse pour l'essor de l'économie circulaire dans l'aviation. Ces dernières pourraient, à l'aide des diverses données collectées (comme la pression des pneus en temps réel), permettre de mieux suivre la performance dynamique des produits en plus de faciliter la traçabilité des composantes (Domone, Bliss et al. 2021).

## CHAPITRE 4 : PRATIQUES CIRCULAIRES DANS D'AUTRES SECTEURS



## PRATIQUES D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DANS DIVERS SECTEURS INDUSTRIELS

L'économie circulaire (ÉC) est une tangente nécessaire à la durabilité des industriels<sup>24</sup>. Afin de mieux comprendre la direction de l'industrie aérienne, ce résumé relèvera les pratiques de l'ÉC dans diverses industries qui s'apparentent à l'industrie aérienne. Ainsi, ces industries sont les industries automobile (section 1), ferroviaire (section 2), électronique (section 3), éolienne (section 4), de l'énergie (section 5), maritime (section 6) et enfin l'aéronautique (section 7). Ainsi, les sections suivantes aborderont les pratiques de l'ÉC au niveau du produits et services, au niveau des processus et plus particulièrement l'efficacité matérielle et le recyclage, qui sont des pratiques de l'ÉC qui ressortent le plus des industries.

### *INDUSTRIE AUTOMOBILE*

Les géants de l'industrie automobile adoptent de plus en plus de pratiques de l'ÉC. Ainsi, en ce qui concerne l'ÉC au niveau du produit et des services, une des pratiques les plus populaires est la récupération de batteries afin de réintégrer la chaîne d'approvisionnement. Des joueurs tels que Toyota et BMW ont un programme de recyclage de lithium-ion et du cobalt des batteries en fin de vie. L'organisation BMW s'est concentrée sur la recyclabilité de leur batterie haute tension des voitures électriques, qui actuellement sont recyclable entre 90% et 95%. Le focus des industriels sur le recyclage de batteries est causé par l'augmentation de la demande de cobalt et lithium, qui est une ressource limitée. Ainsi, les pratiques de recyclages des batteries de l'industrie automobile permettent de venir combler une partie de cette demande tout en étant meilleure pour l'environnement. La course vers le recyclage de batterie est d'autant plus pertinente considérant qu'elles sont composées de lithium-ion, qui est une matière dangereuse, venant ajouter une complexité au recyclage.

L'éco-conception permet de fournir des produits plus durables avec un plus faible impact environnemental et une meilleure utilisation des ressources. Depuis plus d'une dizaine d'années, près de 50% des entreprises canadienne de l'industrie automobile, de l'aérospatiale et de l'électronique ont mis en œuvre ces pratiques<sup>25</sup>. Toyota, par exemple, conçoit des systèmes modulaires qui permettent de remplacer des composants spécifiques plutôt que l'ensemble du produit afin de prolonger la durée de vie des produits et de réduire la quantité de déchets générés. La conception de composantes plus légères est parmi les pratiques d'éco-conception les plus populaire dans l'industrie. Ainsi, l'efficacité des matériaux dans l'industrie existent, comme l'utilise des bioplastiques. Depuis 2003, Toyota a été parmi les premiers à utiliser ces matériaux dans l'industrie automobile, mais Ford en demeure le pionnier<sup>26</sup>. Ainsi, l'utilisation des bioplastiques augmente la performance des pièces en réduisant le poids de 20 à 25% comparé à l'utilisation de fibres non-renouvelable. Toyota et Ford ne sont pas les seuls producteurs automobiles à utiliser les bioplastiques, en effet, Mitsubishi Chemical Corporation, Mazda Motor Corporation, General Motor, Fiat, Lexus, Mercedes-Benz, BMW et Porsche font aussi appel au bioplastique. Ainsi, les bioplastiques utilisés sont :

- le biopolyamides (Bio-PA) comme thermoplastique;
- l'acide polylactique (PLA) utilisé surtout pour les composantes sous le capots ou pièces intérieurs de voiture, tel que les moquettes ou les tapis;
- le polybutylène succinates (PBS) dû à sa haute résistance à la traction et à la chaleur;

<sup>24</sup> <https://premierelecture.bibliotheque.assnat.gc.ca/2021/10/26/en-bref-leconomie-circulaire-comme-solution-aux-defis-environnementaux-du-quebec/>

<sup>25</sup> <https://ised-isde.canada.ca/site/services-design-specialise/fr/statistiques-analyses-profils-industriels/lecoconception>

<sup>26</sup> <https://bioplasticsnews.com/2019/11/26/history-bioplastics-automotive-car-industry/#:~:text=Toyota%20has%20been%20using%20bio,sun%20visors%20and%20floor%20mats>

- le polypropylène (PP) est parmi les plus utilisés pour les voitures pour les pare-chocs, la carrosserie, les tableaux de bords et consoles, le chauffage, climatisation et couvercle de batterie.

En ce qui concerne l'ÉC au niveau du processus, l'établissement d'un processus de recyclage d'aluminium a été un vecteur important pour l'industrie automobile. Par exemple, Toyota a pu recycler 2,5 millions de tonnes d'aluminium entre 2005 à 2012. À travers l'industrie, le recyclage d'aluminium prend de l'ampleur et Ford a lancé son programme de boucle fermée en partenariat avec Novalis, qui est le plus grand recycleur d'aluminium au monde, afin de créer un chaîne d'approvisionnement récupérant une grande partie de ses coûts en aluminium en revendant la ferraille à ses fournisseurs et réutilisant l'aluminium<sup>27</sup>. D'autres matériaux sont aussi recyclés tel le caoutchouc issu de pneus en fin de vie, le revêtement de sol en caoutchouc et d'autres composantes et divers métaux autres que l'aluminium comme le fer et le cuivre. Ces matériaux sont issus de véhicules en fin de vies et de chutes de production afin de fabriquer de nouveaux composants. L'utilisation de plastiques recyclés est aussi une pratique de l'industrie automobile, des joueurs tels que Ford produisent des composantes en utilisant 100% de plastique recyclé provenant des océans dans son modèle de voiture Ford Bronco Sport. En effet, le fait d'utiliser du plastique recyclé, en plus d'être plus durable pour l'environnement diminue en général les coûts pour une même performance des matériaux et nécessite moins d'énergie consommée lors de la production des pièces. Par exemple, avec le Ford Bronco™ Sport, 10% d'économie ont pu être sauvés pour les composantes utilisant le plastique recyclé.

### *INDUSTRIE FERROVIAIRE*

L'industrie ferroviaire étant déjà connue pour être parmi les industries et moyen de transport considéré comme les plus durables. Ainsi, en terme d'ÉC au niveau du produit, l'entreprise Union Pacific Railroad (UP) a investi 8 milliards de dollars pour l'acquisition de plus de 4 300 locomotives conformes aux normes Tier 0, Tier 1, Tier 2, Tier 3 ou aux nouvelles normes Tier 4 de l'Agence de protection de l'environnement (EPA), dont 232 achetées en 2015 et 261 en 2014. Au cours de cette période, UP a mis hors service plus de 3 000 locomotives plus anciennes et moins efficaces. En ce qui concerne l'éco-conception, Siemens conçoit ses produits pour qu'ils soient plus durables avec la conception de locomotives consommant moins d'énergie :

- Vectron Dual Mode Locomotive  
53% d'économies en coûts (maintenance et énergie)
- Velaro Novo  
30% d'économies sur la consommation d'énergie,  
1375 tonnes de CO2 économisé par train  
20% d'investissement nécessaire

Le recyclage est aussi une pratique partagée dans l'industrie ferroviaire avec l'aluminium, le cuivre et le béton. UP recycle une grande variété de matériaux, y compris les métaux ferreux et non ferreux, le papier et le carton, le plastique, le verre et les huiles usagées. UP recycle également les déchets issus de la maintenance de ses locomotives et wagons. De plus, l'entreprise travaille à la réduction de sa consommation d'énergie et de ses émissions de gaz à effet de serre en utilisant des locomotives plus efficaces et en investissant dans des technologies de réduction des émissions. L'industrie est habituée à utiliser des matériaux recyclés tels que des thermoplastiques et de recycler ses composantes en fin de vie, tel que fait Siemens avec ses lames de ressorts.

<sup>27</sup> <https://www.forbes.com/sites/joannmuller/2014/11/05/novelis-is-lightening-fords-load-on-new-f-150/?sh=18cb6cb014da>

En ce qui concerne l'ÉC au niveau des processus, des acteurs se penche vers la symbiose industrielle tel que le Canadian National Railroad (CN) avec Kruger. En effet, CN expédie certaines de leurs traverses de chemin de fer au lieu de les envoyer à la décharge. La biomasse est utilisée pour alimenter les centrales de cogénérations

### *INDUSTRIE ÉLECTRONIQUE*

---

Pour l'ÉC au niveau du produit, une des pratiques très populaire de l'industrie est l'encouragement de la réutilisation de ses produits en fin de vie grâce à des programmes de rachat et de recyclage, tels que le programme «Apple Trade In» ou «Samsung Trade In», qui permet aux clients de renvoyer leurs anciens produits pour les recycler ou les réutiliser.

En ce qui concerne l'ÉC au niveau du processus, Apple se concentre également sur l'efficacité au niveau du matériel grâce à plusieurs stratégies clés :

A) Conception et intégration verticale : Apple conçoit et fabrique la plupart des composants clés de ses produits, tels que les processeurs, les écrans et les caméras. Cette intégration verticale lui permet de contrôler la qualité et les coûts des composants et de concevoir des produits optimisés pour son écosystème logiciel.

B) Optimisation des processus : l'optimisation de ses processus de fabrication et de logistique pour réduire les coûts et améliorer la qualité. Elle utilise des processus de fabrication avancés, tels que la gravure au laser et la soudure à la vague, pour augmenter l'efficacité de la production.

C) Durabilité : utilisation de matériaux durables et à réduction de l'impact environnemental de ses produits. Elle utilise des matériaux recyclés et des matériaux renouvelables tels que le bois et le papier certifiés FSC, et elle s'efforce de réduire l'utilisation de produits chimiques nocifs dans ses processus de fabrication.

Des services d'ÉC ont été mis en place par des joueurs qui prennent en compte l'écologie dans les offres de réparations, de livraisons, de récupérations de composantes électronique. Par exemple, Samsung a en effet un programme de réparation pour prolonger la durée de vie des produits électroniques. Les consommateurs peuvent faire réparer leurs appareils au lieu d'en acheter de nouveaux, ce qui réduit la quantité de déchets électroniques générés. Samsung a mis en place un programme de recyclage d'appareil électronique en fin de vie utile. Les produits sont démontés et les matériaux recyclables tels que les métaux, les plastiques et les verres sont extraits pour être réutilisés. Dell aussi offre des services de réparation dans ses centres.

Le plastique, tout comme dans l'industrie automobile, est un composant que l'on cherche à réduire grâce aux pratiques d'éco-conception par l'utilisation du plastique recyclé, le recyclage post-consommation ou l'utilisation de bioplastique. De la sorte, en 2021, le géant Samsung a utilisé 33000 tonnes de plastique recyclé.

### *INDUSTRIE ÉOLIENNE*

---

En ce qui concerne les initiatives concernant l'ÉC au niveau du produit de l'industrie des éoliennes, l'utilisation de matières et matériaux recyclé est une pratique populaire avec environ 96% des éoliennes utilisant des matériaux recyclés<sup>28</sup>. Ainsi, l'entreprise Vistas utilise des matériaux recyclés, tel que de l'acier, l'aluminium et le plastique pour ses nouvelles pales et récupère 85% du poids de ses lames en fin de vie. Le projet Decomblad consiste en la collaboration entre plusieurs équipementiers pour le recyclage des pales d'éolienne en fin de vie.

<sup>28</sup> <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/can-wind-turbine-blades-be-recycled>

L'objectif du projet est d'identifier les routes et les technologies les plus durables et économiquement réalisable pour le recyclage des pales.

En ce qui concerne l'ÉC au niveau des processus, les acteurs stratégiques de la chaîne d'approvisionnement sont de plus en plus suscités pour être activement présent dans les initiatives et pratiques concernant l'économie circulaire (ainsi que les émissions du scope 3). En effet, en 2022 Vistas a engagé 46 de ses fournisseurs stratégiques afin de fixer des objectifs de réduction des émissions et des activités avec les fournisseurs pour réduire les émissions du scope 3. Ainsi, à travers les différentes collaborations avec les fournisseurs, chacune de leurs éoliennes génèrent 30-50% plus d'énergie.

En ce qui concerne l'éco-conception, Vestas conceptualise des lames dans un souci de longévité et d'efficacité et adopte des matériaux composites pour réduire le poids et augmenter la résistance

LM Wind Power travaille à améliorer l'efficacité énergétique de ses pales d'éoliennes pour maximiser la production d'énergie éolienne tout en minimisant la consommation d'énergie nécessaire à leur fabrication. En fin de vie, les pâles seront fragmentées et emmenées soit en disposition finale pour décharge, incinération ou alors pour la fabrication de four à ciment de co-traitement.

LM Wind Power a également mis en place des programmes de recyclage pour récupérer et recycler les matériaux qui ne peuvent pas être utilisés dans le processus de fabrication, tels que les matériaux de coupe et les résidus de production. Par exemple, ils ont mis en place un programme de recyclage de fibre de verre qui consiste à broyer les chutes de production et à les utiliser comme matière première pour de nouveaux produits, tels que des panneaux de construction ou des produits en fibre de verre renforcée. L'entreprise investie 4% en R&D et pour la conception de 10 nouvelles pales améliorant la qualité des pales et maximisant leur performance.

## *INDUSTRIE ÉNERGÉTIQUE*

---

Dans ce secteur, on note particulièrement l'utilisation de matériaux durables et recyclables, tels que le verre, l'aluminium et les cellules solaires en silicium, dans la fabrication de ses panneaux solaires. Canadian Solar travaille à améliorer l'efficacité énergétique de ses panneaux solaires pour maximiser la production d'énergie solaire tout en minimisant la consommation d'énergie nécessaire à leur fabrication. La société utilise également des énergies renouvelables pour alimenter ses installations de fabrication et de data centers.

En termes d'éco-conception TI Composites a plusieurs projets pour maximiser la durée de vie des pales d'éolienne tout en réduisant l'impact environnemental tout au long de leur cycle de vie. Le focus de l'entreprise en termes d'efficacité des matériaux se rassemble en quatre points, dont deux qui sont en lien avec l'EC, soit :

- **Légèreté** : Les pales d'éoliennes en matériaux composites sont beaucoup plus légères que les pales en acier ou en béton. Cela permet de réduire la charge sur les tours d'éoliennes et de minimiser les coûts de construction.
- **Résistance** : Les matériaux composites sont également très résistants. Les pales d'éoliennes en matériaux composites sont capables de résister aux contraintes mécaniques, aux vibrations et aux tempêtes qui peuvent survenir dans les parcs éoliens.
- **Durabilité** : Les matériaux composites utilisés par TPI Composites sont conçus pour être durables et résister à l'usure. Les pales d'éoliennes peuvent ainsi fonctionner pendant de nombreuses années sans nécessiter de réparations ou de remplacements.
- **Faible impact environnemental** : Les matériaux composites sont également plus respectueux de l'environnement que les matériaux traditionnels comme l'acier ou le béton.

Au niveau de l'ÉC pour les processus, Exxon, la multinationale de pétrole et de gaz s'est concentrée sur le nombre de possibilités de réduction des émissions dans les domaines de captages et stockage du carbone de l'hydrogène et des carburant à faible taux d'émission.

En ce qui concerne le recyclage, dans l'industrie du pétrole on tente de réduire les émissions néfastes pour l'environnement en utilisant des plastiques de haute performance. De plus, l'industrie tente également d'utiliser un maximum de plastiques recyclés et de concevoir des plastiques plus simples à recycler. Toujours en se concentrant sur le plastique, le but est d'augmenter l'efficacité du matériel en allongeant son cycle de vie.

### *INDUSTRIE MARITIME*

Au niveau du maritime, en ce qui concerne l'ÉC au niveau des produits, des cas d'utilisations de nouvelles technologies, qui produise moins d'émission de gaz à effet de serre, existent. En effet, Mercury Marine a investi afin de produire des produits moins polluants. Par exemple, l'entreprise développe des moteurs à haute efficacité énergétique qui produisent moins d'émissions. Leur moteurs hors-bord Verado, équipé de la technologie de propulsion électrique assistée, permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de bruit tout en améliorant la performance et l'efficacité énergétique. L'entreprise offre également des programmes de recyclage pour les batteries de bateaux usagées, les huiles usées et les filtres à huile, afin de minimiser l'impact environnemental de ses produits. Mercury Marine propose un programme de remise à neuf des moteurs marins où l'entreprise démonte les moteurs récupérés, remplace les pièces endommagées et effectue des réparations structurelles. Les moteurs remanufacturés sont remis en service à un coût inférieur à celui d'un moteur neuf. En ce qui concerne les initiatives de recyclage : Mercury fond de l'aluminium recyclé à 100% pour fabriquer des blocks moteurs et d'autres composantes.

En ce qui concerne l'ÉC au niveau du processus, plutôt que de rejeter l'énergie à l'extérieur, Mercury la redirige vers la cuve où le lot suivant va être fondu. Ce processus de préchauffage permet d'économiser 20% du gaz naturel, soit 9 milliards de BTU d'énergie économisé chaque année. Les employés des sites de Mercury Fond du Lac ont recyclé 621 tonnes de carton en vrac et 119 tonnes de film plastique rétractable, de bouteilles, de canettes de boisson et de papier en vrac. Les opérations de fabrication de Mercury continuent de recycler le carton en balles, qui a totalisé 631 tonnes en 2021. Cela a contribué à l'économie d'énergie de 246 090 kWh, ce qui est suffisant pour alimenter environ 23 foyers américains typiques pendant un an. La quantité de carton recyclé représente une économie de 10 727 arbres.

Les initiatives concernant l'efficacité matériel de Mercury sont :

- Utilisation de la technologie d'injection électronique de carburant (EFI) dans ses moteurs pour bateaux. Cette technologie améliore l'efficacité énergétique des moteurs et réduit les émissions polluantes.
- Utilisation de la technologie de réduction de la consommation de carburant : Mercury Marine a développé une technologie de réduction de la consommation de carburant appelée "Advanced MidSection" qui améliore l'efficacité énergétique de ses systèmes d'entraînement.
- Système de propulsion hybride : Mercury Marine travaille sur des solutions de propulsion hybride pour les bateaux. Les systèmes hybrides permettent une utilisation plus efficace de l'énergie et réduisent les émissions polluantes.
- Matériaux légers : Mercury Marine utilise des matériaux légers dans la fabrication de ses produits pour réduire la consommation de carburant et améliorer l'efficacité énergétique.

## *INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE*

Dans cette industrie, une concentration est marquée pour réduire les émissions et augmenter l'efficacité des avions dès lors le stade de l'éco-conception. En effet, Bombardier accueille la famille d'avions CSeries, qui utilise une conception innovante et des matériaux légers pour réduire la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre. Les avions de la famille CSeries sont équipés de moteurs Pratt & Whitney PurePower PW1000G, qui réduisent considérablement les émissions de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> tout en offrant une performance et un confort de vol amélioré. Les entretiens préventifs sont une pratique populaire de cette industrie avec une gestion de maintenance visant à maximiser l'efficacité des opérations de maintenance et à minimiser les temps d'arrêts pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub>.

Bombardier a aussi un programme de recyclage pour ses avions et ses trains en fin de vie, dans lesquels l'entreprise récupère les matériaux et les pièces réutilisables pour minimiser leur impact environnemental. Bombardier utilise des matériaux recyclés dans la fabrication de ses produits, tels que des matériaux de carrosserie en aluminium recyclé pour ses trains. Augmentation de l'efficacité du matériel en utilisant des éléments recyclés tel que l'acier, l'aluminium et le plastique.

Enfin, pour le Challenger 3500, il y a utilisation de matériaux plus légers comme les composites et les alliages plus légers pour diminuer le poids de l'avion et nécessiter moins de carburant. Dans l'industrie, l'utilisation des composites avancés tels que les fibres de carbone est faite pour réduire le poids des avions et des trains et améliorer leur efficacité énergétique. De plus, une utilisation des alliages d'aluminium de haute qualité pour les avions et les trains est faite, ce qui permet de réduire le poids tout en maintenant une grande résistance.

Bombardier explore l'utilisation de matériaux biosourcés, tels que des matériaux composites à base de fibres de lin, qui ont un impact environnemental plus faible que les matériaux traditionnels.

## ÉVALUATION DE PRATIQUES CIRCULAIRES VIA L'ÉCHELLE DE LANSINK

La compréhension du contexte circulaire actuel dans l'industrie aérienne passe par la comparaison des différentes pratiques des autres industries et de leurs importants joueurs. Pour ce faire, des indicateurs et des références standardisés seront présentés afin de comparer ces acteurs.

C'est en 1979 qu'un membre du parlement européen, Ad Lansink, proposa pour la première fois une hiérarchie de préférence de traitement des déchets (Lankink, 2014). Ainsi, l'objectif de pyramide est de privilégier les actions ayant le moins d'effet sur l'environnement en classant, du plus faible impact au plus élevé, les actions suivantes : la réduction, la réutilisation, le recyclage, la récupération énergétique, l'incinération en mode d'élimination des déchets et la disposition dans les décharges (Lansink, 2015). Cette échelle est populaire pour le contexte d'économie circulaire.

De la sorte, l'analyse des joueurs quant à leur pratiques circulaires et les indicateurs seront classés en fonction des différentes catégories de l'échelle de Lansink. Plusieurs indicateurs pour mesurer la circularité de l'économie existent, tel l'indicateur de la fondation Ellen MacArthur avec le MCI «Material Circularity Indicator» permettant de considérer d'une part l'utilisation de matières premières vierge, la production de déchets irrécupérable, la durée et l'intensité de l'utilisation du produit fabriqué (Goddin, Marshall, Pereira, & Herrmann, 2019). Cependant, cet indicateur exhaustif nécessite beaucoup de données précises et celles-ci ne sont pas disponibles dans l'entreprise ou aux yeux du public.

La section suivante présentera les catégories d'évaluation et quels indicateurs servira à comprendre la circularité de l'industrie et les pratiques des joueurs. Ces indicateurs ont été pensés en fonction de la disponibilité de l'information et la mise en place d'un standard commun entre les différents joueurs de l'industrie.

**Réduction :** Plusieurs pratiques tombent sous le parapluie de la réduction tel que les économies de ressources, de matériaux et de l'énergie utilisée. La réduction de la quantité de déchets émises est également incluse dans cette catégorie.

**Réutilisation :** Cette section fait référence aux pratiques de réutilisation. En premier, il est possible de réutiliser pour la même utilisation ou faire une reconversion du produit pour une autre utilisation. En second, il est possible que la réutilisation se fasse dans la même industrie ou vers une autre industrie.

**Recyclage :** Cette section présente les taux de recyclage des déchets, information qui est disponible pour les différentes organisations. Cet indicateur est intéressant, car il permet de présenter les effets et résultats des différentes pratiques mises en place par les organisations.

**Efficacité énergétique :** Cette section met en perspective l'énergie qui a été consommée ou celle qui a pu être préservée. De la sorte, trois indicateurs permettent de représenter cela. En premier, le pourcentage de diminution de la consommation énergétique. Cette information est généralement disponible dans les rapports de durabilité d'entreprise ou en communiqué. En seconde information disponible dans les mêmes canaux de communication se trouve le taux de récupération énergétique exprimé aussi en pourcentage. En troisième, on rapporte si l'entreprise se soumet au standard ISO quant à l'efficacité énergétique (ISO50001).

**Écoconception :** Cette pratique repose sur la prise en considération des facteurs et impacts environnementaux dès lors de la conception afin d'atténuer et réduire ces impacts tout au long du cycle de vie. Plusieurs pratiques existent, telle la conception de produit plus léger, plus facile à assembler ou avec des matières premières considérées plus vertes.

### *LES ENTREPRISES :*

Le tableau 2, reflète différentes organisations dans diverses industries similaires à l'industrie de l'aviation. Le choix des entreprises a été réalisé afin de percevoir l'étendue de l'intégration de l'économie circulaire. Ce choix reflète une diversité stratégique axée sur les différentes pratiques, l'importance des acteurs dans leurs marchés respectifs ou leur géolocalisation. De la sorte, l'entreprise Toyota se distingue comme précurseur en termes d'initiatives pionnières en étant parmi les premiers dans l'industrie automobile à mettre en place des solutions durables. De plus, le choix est justifié par l'accessibilité de l'information et de transparence, tout en ayant une perspective japonaise pour une vision mondiale. Quant à l'organisation Ford, celle-ci s'engage dans une perspective de boucle fermée avec des partenariats, en particulier Novaris, ajoutant une vision nord-américaine qui contribue à accroître la perspective stratégique globale de durabilité. BMW se démarque par son projet téméraire de voiture 100% recyclable, apportant une perspective européenne à l'économie circulaire. Le choix de l'organisation ferroviaire, Union Pacific Railroad (UP), dépeint un exemple de collaboration durable et profitable tant aux organisations qu'à la société. En effet, UP collabore avec Avangard Innovative pour une transition vers l'économie circulaire. Les entreprises emblématiques de transports canadiennes tel que Canadian National (CN) et Bombardier fournissent une perspective essentielle sur les pratiques durables faite sur le territoire tandis qu'Apple, géant de l'industrie électronique, incarne la portée de l'engagement de gros joueurs envers l'économie circulaire avec sa place de leader mondial. Vestas, présent dans plus de 87 pays et axé sur l'énergie éolienne, offre une perspective sur le développement durable dans l'industrie des vents de manière mondiale. Quant à l'entreprise maritime, Mercury Marine, leader dans la conception de moteurs de bateaux, a été choisi par ses pratiques pour son efficacité énergétique et son engagement envers la protection des écosystèmes marins. La multinationale Airbus se distingue par ses objectifs ambitieux de durabilité, tel l'avion consommant 100% de carburant d'aviation durable ou à l'hydrogène et ses initiatives de recyclage d'avions en plus de ses investissements importants dans la recherche et les technologies durables, positionnant ainsi l'entreprise comme un leader mondial dans l'innovation environnementale.

Ces choix réfléchis mettent en lumière la volonté des entreprises de divers secteurs et régions du monde de jouer un rôle essentiel dans la transition vers une économie circulaire et durable. La limite du tableau est que certaines valeurs sont des initiatives fournies par les entreprises et n'ont pas été évaluée par un tiers partie et ainsi la source est limitée à l'information fournies par l'entreprise



**Tableau 2 : Classification des pratiques durables**

	Éco-conception	Réduction	Réutilisation	Recyclage	Efficacité énergétique	Incinération	Disposition dans les décharges	
<b>Industrie automobile</b>								
Toyota	Technologies hybrides, tel la Prius et Corolla et électrique (Toyota (b), 2024).	Changement des procédés de fabrication pour promouvoir à réduire l'efficacité énergétique, de matériaux et environnementale.	93% des déchets de 2021 émis sont recyclés ou réutilisés (Toyota, 2022).	Toyota a réussi à atteindre 40% de réutilisation d'eau utilisé dans le processus de production et 132 millions de litre d'eau de pluies récupéré sur un des 5 sites pilotes (Toyota France, 2024).	En 2013, Toyota a atteint le 20% d'usage écologique de plastique et de résines recyclées (Toyota, 2013).	Depuis 2012, Toyota est plus efficace énergétiquement de 31% (Toyota, 2019).  Remplacement pour des fenêtres écoénergétiques dans le centre de distribution des pièces de Toronto (Toyota, 2024).	Selon le rapport de durabilité de 2023, une stagnation à environ 22% de l'incinération des déchets par opération de traitement. Ces données ne sont pas confrontées à un audit externe (Toyota, 2023).	Selon le rapport de durabilité de 2023, une stagnation à environ 9% des déchets par opération de traitement sont disposé dans les décharges. Ces données ne sont pas confrontées à un audit externe (Toyota, 2023).
	Conception de véhicules avec un poids réduit en gardant la performance et sécurité.  Tous les sites canadiens sont certifiés conformes au standard ISO14001 (Toyota, 2024).		Réduction des déchets à l'aide des programmes de recyclage de bois des centres de distribution des pièces (Toyota, 2024).					
Ford	Ford tente de supprimer l'utilisation excédentaire de matériaux lors de la fabrication pour l'EcoSport (Ford Media Center, 2021).	Ford mise sur la réduction de gaspillage d'eau et de matériaux utilisé et a pu sauver depuis 2023	Ford reprend les véhicules en fin de vie gratuitement pour pouvoir récupérer, réutiliser, recycler pour environ 95% du poids du véhicule en 2015, ou en disposer selon la directive de la Commission Européenne 2000/53/CE (Ford, 2019).		En 2022, environ 42% d'énergie renouvelable et 61% d'électricité est carboneutre (Ford, 2023).	Ford a ouvert son usine d'incinération de déchets qui produit de la chaleur neutre en carbone et dont l'énergie est	Moins de 1% des déchets totaux d'usine sont envoyés à la décharge	

		plusieurs milliards de gallons d'eau.	Environ 85% des composantes des véhicules sont réutilisés ou recyclés lors de leur fin de vie (Ford, 2022).			réutilisée (Fowler, 2023).	
		Ford est le premier constructeur automobile américain à intégrer sa chaîne d'approvisionnement dans le	L'entreprise a détourné de l'enfouissement entre 25 millions à 30 millions de livres de plastique en Amérique du Nord en 2009 (RP news wires, Ford, 2010).	90% des batteries sont recyclés et chaque marché européen a son système de collecte pour réduire l'impact environnemental (Ford, 2019).			
BMW	Mise en place du programme «Design for recycling» servant minimiser l'impact sur l'environnement dans l'ensemble du cycle de vie en plusieurs points :  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réingénierie a été revue pour que 85% d'une voiture soit recyclable</li> <li>• BMW contrôle la réutilisabilité de chaque pièce et matières premières des matériaux déjà dans le cycle. (BMW, 2023)</li> </ul>	Réduction de 7.6% de la consommation d'eau par véhicule produit de 2020 à 2021 (BMW, 2021).	Transport de pièces locales 98,2 % de toutes les pièces locales sont désormais transportées dans des emballages réutilisables.	Selon le rapport de durabilité de BMW en 2021. Il y a une augmentation de 157% entre 2020 et 2021 de recyclage de pièces détachées et 42 % de batterie à haut voltage (BMW, 2021).	Efficiences de 7.3% d'énergie qui est consommé par véhicule produit de 2021 à 2022. (BMW, 2021)	En 2021, près de 150 t de rebuts de fer ont été incinérés, plutôt qu'envoyé à la décharge, produisant 375 000 kWh (BMW, 2021).	L'organisation produit en moyenne 2.5 millions de véhicule annuellement dont 1% des déchets de la production ne sont pas récupéré (BMW, 2022).
						93.4% des déchets sont recyclés et 5.8% de ces déchets vont être incinéré pour en récupérer l'énergie (BMW, 2022).	

Industrie ferroviaire						
Union Pacific Railroad (UP)	Conception du réseau logistique:  Conception pour la certification EPA sur les moteurs (Union Pacific, 2018).  Investissements pour des locomotives conçues avec de meilleurs rendements énergétiques et plus légères (Union Pacific, 2018).	Objectif de réduction de consommation de carburant de 2015 à 2017 de 1% par an (Union Pacific, 2018).  Optimisation du réseaux logistique	Recycle ou réutilise 85% des millions de traverses des chemins de fer en bois que l'entreprise remplace chaque année (Union Pacific Corporation, 2015).  Il y a une diminution significative d'environ 73% de réutilisation de déchets provenant de matière hasardeuse entre 2020 et 2022 (Union Pacific Corporation, 2023).	Une augmentation de 53% d'utilisation d'énergie renouvelable entre 2022 à 2021, alors que la consommation totale d'énergie est semblable (Union Pacific Corporation, 2023).	Pas d'information trouvé.	UP s'est engagé à aider l'Ouest de Washington avec Waste Management et pour la création d'un modèle de la disposition des déchets, afin qu'il soit durable à moindre coût (Union Pacific Corporation, 2021) .
	Processus : symbiose industrielle, car plutôt que d'envoyer à la décharges les traverses de chemin de fer, ils les expédient à certain de leur client comme Kruger. Il y a un rapport mutuellement bénéfique biomasse afin d'alimenter les centrales de cogénération.	Réduction de consommation de carburant de 15% par l'entreprise en ayant les pratiques suivantes : l'utilisation optimisée de locomotives et cargaisons transportés, la promotion de pratiques de consommation de carburant plus verts ou le déploiement	Les locomotives sont réutilisées dans cet ordre : des lignes principales à celles secondaire, ensuite aux gares de triage et recyclé en réutilisant l'acier.  L'organisation a lancé un programme de récupération et de réutilisation des pièces détachées pour ses locomotives afin d'économiser des matières premières et de réduire les déchets.	Augmentation de l'efficacité de 4% de 2019 à 2020 (CN, 2020).  2018: 97 % des traverses de chemin de fer usagées sont désormais transformées en énergie renouvelable et détournées des décharges.	Pas d'information trouvé.	En 2022, le CN a détourné environ 94 % de ses déchets de la mise en décharge, atteignant presque l'objectif annuel de 95 % fixé en 2021 (CN, 2023) (CN, 2022).

		de technologies (Canadian National, 2023).					
<b>Industrie électronique</b>							
Apple	<p>Téléphones plus légers</p> <p>Sélection de matériaux et substance acceptable en terme environnemental dès la conception (Apple, 2023), ce qui est ainsi fait pour les ordinateurs mac.</p> <p>Program « low-carbon design »</p>	Réduction des déchets provenant des processus de fabrication.	Utilisation de matériel recyclé pour diminuer leur empreinte carbone : À noter que tous les produits contiennent 100% d'aluminium recyclé (Apple, 2022) et que l'iPhone est fait un tungstène recyclé depuis 2021.	Plus de 90% du tungstène vient de sources recyclés (Apple, 2022).	Réduction de 15.7 millions de kWh de leurs installations grâce aux pratiques implémenté en 2021 (Apple, 2022).	La transformation de déchet en énergie lors de l'année fiscale 2021 a été de 298 tonnes métriques (Apple, 2022).	En 2021, les programmes d'Apple avec leurs fournisseurs ont permis de détourner 500'000 tonnes de déchets. Cela représente une augmentation d'environ 23% en un an et plus 600'000 m <sup>2</sup> de surface d'enfouissement (Apple, 2022). Cependant, encore 15'000 tonne métrique de déchets sont encore mis en décharge.
<b>Industrie éolienne</b>							
Vestas	Vestas développe des turbines plus légères et en composites recyclé afin d'atteindre l'objectif zéro déchets mis en place (Vestas, 2022).	Réduction d'environ 33% des émission de carbone en 2020. Ainsi, ils ont augmenté leur capacité de 17% en 2021 d'énergie grâce à leurs	Vestas reconditionne pour pouvoir réutiliser jusqu'à 70% des matériaux. Ainsi, un composant remis à neuf permet à l'entreprise de limiter 45% des émission des	Les turbines de Vestas ont été conçu pour être au minimum 85% de leur poids recyclable (Vestas, 2021)	Chacune des éoliennes de Vestas génère 30 à 50 fois plus d'énergie que consommé (Vestas, 2021).	Pas d'information trouvé.	L'entreprise a pour objectif le zéro déchet.

		installations en éolienne.	CO <sub>2</sub> comparé à un produit neuf.				
<b>Industrie Maritime</b>							
Mercury Marine	Conception des moteur (V12 Verado) à deux vitesses et d'un système de gestion de consommation de carburant visant à la réduire (Mercury Marine, 2021).	En 2021, l'entreprise est passé de 131 millions de gallons d'eau consommé dans ces processus à 109 millions de gallons, soit une réduction de 16.5%, malgré l'augmentation de la production (Mercury Marine, 2021).	Ils ont réduit leur consommation d'énergie de 20% de 2021 à 2022 et de 25% leurs consommation en eau comparé à l'année 20216 (Mercury Marine, 2021).	Mercury fond de l'aluminium recyclé 100% pour fabriquer des blocks moteurs et d'autres composantes.  Les employés des sites de Mercury Fond du Lac ont recyclé 621 tonnes de carton en vrac et 119 tonnes de film plastique rétractable, de bouteilles, de canettes de boisson et de papier en vrac.  Les opérations de fabrication de Mercury continuent de recycler le carton en balles, qui a totalisé 631 tonnes en 2021. Cela a contribué à l'économie d'énergie de 246 090 kWh, ce qui est suffisant pour alimenter environ 23 foyers américains typiques	À la place de rejeter l'énergie à l'extérieur, l'entreprise la redirige vers la cuve où le lot suivant va être fondu. Ce processus de préchauffage permet d'économiser 20% du gaz naturel, soit 9 milliards de BTU d'énergie économisé chaque année.  Mercury Marine est passé de 1106 milliards de BTU de gaz naturel en 2016 à 900 milliards en 2021, soit une diminution de 19%. (Mercury Marine, 2021)  Fondre l'aluminium nécessite 5% de l'énergie pour produire de l'aluminium primaire à partir de son minerai (bauxite).	Pas d'information trouvé.	Deux des centres de distributions et centre d'entrepasage de Mercury Marine est devenue zero-déchets disposé dans les décharge (Mercury Marine, 2021) avec pour objectif de passer à 50% d'ici 2025 (Mercury Marine, 2020).  Entre 2005 et 2021, soit 16 ans, l'entreprise a pu réduire de presque de moitié sa production de déchets substances hasardeuses. Cela est en partie dû à l'optimisation des processus de polissage et de finissage des hélices qui n'ont plus besoins de passer par un processus par trainé générant des eaux usées et certains déchets. (Mercury Marine, 2021).

				pendant un an. La quantité de carton recyclé représente une économie de 10 727 arbres.			
<b>Industrie aéronautique</b>							
Bombardier	Bombardier vise le 100% récupérable et ainsi l'organisation a mis en place un programme d'éco-conception important. Selon eux, 80% des impacts négatifs environnementaux peuvent être déterminés à cette étape et conceptualise leurs avions pour réduire l'impact environnemental tout au long de leur cycle de vie. Les critères pris en compte sont : la sécurité, l'environnement, l'accessibilité et l'efficacité (Bombardier, 2021).	En 2022, Bombardier a diminué d'environ 23% le prélèvement de l'eau, utilisant ainsi 638 900 mètre cubique en 2021 à 490 000 mètre cubique (Bombardier, 2022).	70 % des commandes de matériel roulant de transport sont réutilisées (Bombardier, 2018).	Recycle jusqu'à 92% de poids de l'avion.	Bombardier est plus efficace énergétiquement et a pu réduire de 8% sa consommation globale d'énergie en 2021 à l'aide du remplacement de leur équipement par des équipements consommant moins d'énergie et la modernisation. Elle est passé de 2.1 millions de gigajoules en 2019 à 1.9 millions en 2021, soit 200'000 gigajoules en moins. (Bombardier, 2021).  En 2021, Bombardier est passé à 75% d'énergie renouvelable, soit une augmentation de 5%, surtout dû aux installations québécoises utilisant	Bombardier augmente sa valorisation énergétique de déchet par incinération passant 422 tonnes métriques en 2021 à 524 tonne métrique en 2022, soit une augmentation de 24% (Bombardier, 2022).	En 2021, Bombardier a réduit de 32% sa production de déchets dangereux et hasardeux comparé à 2019, soit, 3700 tonnes. En ce qui concerne la production de déchets globale, Bombardier a diminué de 20% sa production de déchets totales comparé à 2019. Donc 12 100 tonnes de déchets générés. (Bombardier, 2021) .  Cependant en 2022 on remarque une légère augmentation des déchets hasardeux et non-hasardeux. Pour ceux hasardeux, Bombardier a produit 4315 tonne métrique en 2022,

					l'hydroélectricité (Bombardier, 2021).		comparé aux 3723 tonnes métriques en 2021, soit une augmentation d'environ 16% (Bombardier, 2022). Cela peut être causé par la reprises en volume de leurs activités et de l'atténuation des effets de la pandémie sur l'industrie aérienne.  Par rapport à la production de déchets régulier (non-hasardeux), une diminution de 6% de 2021 à 2022 est obtenue et passe de 8353 tonne métrique en 2021 à 7840 tonnes métriques en 2022 (Bombardier, 2022).
Airbus	L'amélioration de la consommation des matières et de L'impact environnemental est établie chez Airbus dès lors de la conception. Ainsi, Airbus fait l'analyse du cycle de vie afin d'agir dès lors de la conception à la	En 2022, Airbus a émis 762 000 tonnes de CO <sub>2</sub> équivalent pour le scope 1 et 2. Cela représente une diminution d'environ 6% comparé à 2021 et de 32% comparé à 2015. En ce qui	En 2022, le taux de récupération des matériaux chez Airbus a augmenté de 5% en un an, passant de 55% en 2021 à 60% en 2022 (Airbus, 2022).	En 2022, entre 20-50% des produits en aluminium reçus par Airbus provenaient de sources recyclées.	L'énergie consommée de source stationnaire d'Airbus est passée de 3108 GWh en 2015 à 2594 GWh 2022, soit une diminution de 16% et donc une augmentation de son efficacité énergétique (Airbus, 2022).	Le taux de récupération énergétique des déchets a diminué de 4% et est passé de 20% en 2022 à 16% en 2021 (Airbus, 2022).	En 2022, Airbus a augmenté de 3.7% à cause d'une hausse de la production après la pandémie (Airbus, 2022).  En 2022, 23 % des déchets sont mis en décharge ou incinérés

	<p>durabilité (Airbus, 2022). Ainsi, plusieurs stratégies, tel que des avions plus légers ou des moteurs hybrides est réalisé.</p>	<p>concerne le scope 3 une diminution d'environ 3% de 2021 à 2022 et de 27% de 2015 à 2022 (Airbus, 2022).</p>		<p>Aussi, à l'aide d'un processus de démantèlement sélectif plus de 90% du poids de l'avion peut être récupéré en fin de vie (inclus récupération énergétique) (Airbus, 2022).</p>			<p>sans récupération d'énergie (Airbus, 2022).</p>
--	--	--	--	--	--	--	--



## CHAPITRE 5 : LES INDICATEURS DE CIRCULARITÉ

REVUE DES INDICATEURS CIRCULAIRES
-----------------------------------

Le constat qui émerge à la suite des revues et analyses effectuées quant aux pratiques circulaires de l'industrie manufacturière est qu'il ne semble pas avoir de cadre conceptuel uniforme utilisé par les organisations pour communiquer leurs contributions à l'économie circulaire. Ainsi, une revue des indicateurs circulaires a été effectuée afin de répertorier et d'identifier les bonnes pratiques quant aux indicateurs de performance clef utilisés pour évaluer la performance circulaire des organisations. Cette revue comprend des rapports annuels d'entreprises, des articles scientifiques, des cadres d'analyses circulaires et enfin l'European Sustainability Reporting Standards.

La douzaine d'entreprise présentée au chapitre 3 a été incluse dans cette revue. Il est à noter que seulement les sections portant explicitement sur l'économie circulaire dans les rapports annuels ont été considérées. Les cinq articles scientifiques qui ont été inclus dans la revue des indicateurs circulaire sont les suivants :

1	(Saidani, 2019) <i>A taxonomy of circular indicators</i>	Revue et classification d'indicateurs et méthode d'analyses de circularité.
2	(Kanellou, 2021) <i>The DigiPrime KPIs' framework for a circular economy transition in the automotive industry</i>	Proposition d'une série d'indicateurs pour évaluer la circularité de la chaîne de valeur de l'industrie automobile.
3	(Shevchenko, 2022) <i>Product-level circularity metrics based on the "Closing–Slowing Future–Past" quadrant model</i>	Proposition d'indicateurs de circularité pour la conception de produits.
4	(Markatos, 2022) <i>Assessment of the Impact of Material Selection on Aviation Sustainability, from a Circular Economy Perspective</i>	Proposition d'une méthode de calcul pour supporter les processus de décision quant à la sélection de matériaux circulaires lors de la conception de produits.
5	(Jerome, 2022) <i>Mapping and testing circular economy product-level indicators: A critical review</i>	Revue et classification d'indicateurs de circularité au niveau des produits.

Deux cadres d'analyses circulaires ont également été inclus, soit Circulytics de la fondation Ellen MacArthur et le Circular Transition Index V4.0 du World Business Council for Sustainable Development. Enfin, la section sur l'économie circulaire du European Sustainability Reporting Standards a aussi été incluse.

À partir du modèle conceptuel de l'économie circulaire d'Ellen MacArthur, des grandes catégories proposées pour regrouper les indicateurs, soit la réduction/conception, les biocycles, la maintenance et prolongation, la réutilisation et la redistribution, la remise à neuf, le recyclage et les déchets.

## RÉDUCTION ET CONCEPTION

---

### Emballages

3M et ABB cherchent tous les deux à minimiser leurs emballages, mais 3M le fait en mesurant en **tonnes** la quantité d'emballages utilisés. HP mesure en % sa réduction d'utilisation d'emballages à partir d'une année de référence, mais mesure également en **g/produit** les quantités de plastiques à usage unique utilisés. TOMRA demande à ses fournisseurs de faire des efforts pour réduire leurs emballages.

### Matières vierges

Circulytics suggère de mesure en **masse** la quantité de matières vierges utilisées.

L'ESRS demande de présenter des cibles de réduction d'utilisation de matières vierges et de spécifier les pertes sur la biodiversité qu'engendre l'utilisation de matières vierges.

### Matériaux durables / circulaires

ABB mentionne chercher à s'approvisionner en matières durables. Bridgestone, Ford, JLR, Michelin, TOMRA et Volvo mesurent le % de matériaux durables dans leurs produits. Volvo précise également ce % en fonction des types de matériaux durables utilisés (bioplastiques, acier et aluminium). HP mesure le nombre et le % de ses produits qui ont un emballage durable ainsi que le % de la masse annuelle de matières utilisées attribuable à des matériaux durables et ce, pour les produits et emballages.

(Saidani, 2019) a identifié l'indicateur du *Material Reutilization Part (C2C)*. (Jerome, 2022) a identifié trois indicateurs qui permettent de qualifier la durabilité des matières utilisées, soit le *Product Renewability (PR)*, le *Material Reutilization Score (C2C)* et le *Linear Flow Index for product families (LFI2)*.

Le CTI propose deux indicateurs pour qualifier la durabilité des flux intrants et sortant, soit le % *Circular inflow* et le % *Circular Outflow*.

L'ESRS demande d'avoir des cibles quant à l'augmentation du taux d'utilisation de matières circulaires.

### Ressources critiques

(Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur du % de réduction du risque de pénurie pour l'approvisionnement en lithium allant dans la fabrication de batteries. La publication identifie également l'indicateur de l'augmentation de la disponibilité des matières critiques ainsi que la réduction des coûts de celles-ci.

Le CTI propose de mesurer le % *Critical inflow*, qui mesure la proportion de matières critiques utilisées par rapport à la masse totale.

### Matières dangereuses

Ford, LG, Michelin et SAFRAN cherchent à réduire leur utilisation de matières dangereuses.

Circulytics propose de réduire les quantités de matières dangereuses utilisées qui sont répertoriées dans le *EU REACH*, le *ChemSec SIN* et la *Restricted Substance List*.

## **Efficacité énergétique et matérielle**

LG et Michelin cherchent à être plus efficaces dans leur utilisation d'énergie et de matières. De son côté, Volvo mesure le % d'utilisation de la matière pour l'aluminium et l'acier estampé.

(Saidani, 2019) a identifié un indicateur d'efficacité d'utilisation des matières, soit le *Resource Duration Indicator (RDI)*. (Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur du ratio de matières consommées par produit. (Jerome, 2022) a identifié une série d'indicateurs portant sur l'utilisation efficace des matières, soit : le *Feedstock Intensity (FI)*, le *Process Material Circularity (PMC)*, le *Circular Process Feedstock Intensity (CPFI)* et le *Resource Efficiency Indicator for electrical and electronic equipment (RE-EEE)*.

## **Conception environnementale (ACV)**

HP, Michelin et SAFRAN font de la conception de produit en intégrant des pratiques d'évaluation d'impacts environnementaux suivant la série de normes ISO14000. TOMRA mentionne également l'intégration des ACV dans sa conception de produits.

## **Conception circulaire**

ABB mesure le % de ses produits qui ont une certification EcoSolution Label, soit un indicateur créé par l'entreprise qui tiens compte de certains critères portant sur la circularité. LG a également une certification pour ses produits, soit le Eco-Index qui tiens compte d'aspects circulaires. HP a une cible quant au % de la masse de ses produits et emballages qui doit être circulaire. TOMRA a également une cible quant au % de ses nouveaux produits qui doivent être conçu selon des principes circulaires.

(Saidani, 2019) a identifié plusieurs indicateurs de circularité, soit : le *Circular Economy Indicator Prototype (CEIP)*, le *Circular Economy Toolkit (CET)*, le *Circularity Potential Indicator (CPI)*, le *Product-Level Circularity Metric (PCM)*, le *Circularity Index (CI)*, le *Closed Loop Calculator (CLC)*, le *Circular Pathfinder (CP)*, le *Circularity Calculator (CC)*, le *Material Circularity Indicator (MCI)*, l'*Input-Output Balance Sheet (IOBS)* et le *Eco-efficient Value Ratio (EVR)*. (Kanellou, 2021) a identifié qu'il faudrait inclure les utilisateurs finaux dans la conception de produits durables. (Shevchenko, 2022) propose une échelle à semi-quantitative à quatre niveaux pour évaluer la conception circulaire d'un produit. (Markatos, 2022) propose une méthode de calcul pour comparer deux alternatives afin d'évaluer la circularité d'une conception et ce, en tenant compte de la qualité, du coût et de l'impact environnemental. (Jerome, 2022) a identifié plusieurs indicateurs évaluant la circularité d'une conception, soit : le *Circular Economy Value (CEV)*, le *Circularity Index (CI)*, le *Material Circularity Index (MCI)* et le *Product Circularity Index (PCI)*.

Circulytics propose de mesurer le % de la masse des produits qui sont circulaires dans leur utilisation et le % de la masse des produits qui est circulaire en fin de vie.

L'ESRS demande d'avoir des cibles quant à la conception de produits circulaire. Il est également demandé de fournir une description de l'intégration des principes d'EC dans la conception de produits et dans la recirculation des produits, matériaux et déchets après leur première utilisation. Il faut aussi fournir une description des produits et matériaux circulaires qui sont issus d'une conception circulaire.

## **Désassemblage**

LG cherche à faciliter le désassemblage de ses produits.

(Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur du temps de désassemblage pour les batteries et les systèmes mécatroniques.

### **Réduction de fonctions (évitement)**

HP mesure le % de ses imprimantes qui sont vendus sans câbles USB. De son côté, Volvo cherche à réduire l'électronique dans ses véhicules en réduisant le nombre de boutons et câblages.

### **Utilisation**

Volvo mesure le nombre moyen de **passager par véhicules** ainsi que le nombre moyen de **km parcourus par véhicule** acheté ou loué.

(Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur d'augmentation de la performance du transport par véhicules ainsi que l'indicateur de la quantité de données extraites par les dispositifs électroniques et mécatroniques.

### **Produit-service**

HP, LG et SAFRAN offrent des produits-services. Volvo mesure le nombre de **km parcourus par véhicule** provenant du programme Volvo-On-Demand.

## *BIOCYCLES*

---

### **Réduction d'utilisation de plastiques fossiles :**

3M est la seule organisation qui possède cet indicateur. La réduction, à partir d'une année de référence, est mesurée en **livres (lbs)**.

### **Réduction d'utilisation d'eau :**

3M, ABB, Jaguar Land Rover et Volvo mesurent, par rapport à une année de référence, la réduction d'utilisation d'eau au sein de leurs organisations. La réduction est présentée en %, sauf dans le cas de Volvo, qui présente également la réduction en **mégalitres** et en **m<sup>3</sup>/véhicule**. En ajout, Volvo mesure, et cherche à réduire, le % d'eau retiré dans des zones à risque.

### **Utilisation d'eau :**

Volvo est la seule entreprise qui mesure et diffuse son utilisation d'eau. Les quantités d'eau retirées, consommées et déchargée sont présentées en **m<sup>3</sup>** et ce, par région. Pour les opérations non-manufacturières, seulement l'eau retirée est présentée.

Circulytics suggère de présenter les % (volume) de la demande annuelle d'eau provenant de : précipitations, utilisation en cascade, recirculée à l'interne, eau de mer, eau non-potable et eau potable. Pour les volumes d'eau extrant, il s'agit de préciser les % d'eau réutilisé et ce qui est retourné en mer. Le CTI suggère de calculer le *water circularity %* à partir du % de *circular inflow* et le % de *circular outflow*. Il est également suggéré de présenter la quantité d'eau réutilisé ou recirculée.

L'ESRS demande de présenter une description de la consommation d'eau dans les flux intrants aux opérations.

### **Assainissement de l'eau :**

Circulytics suggère une évaluation qualitative à 4 niveaux par rapport aux plans en place quant à l'assainissement de l'eau utilisé pré-déchargement.

### **Engagements aux communautés pour la saine gestion de l'eau :**

3M est la seule organisation qui dénombre son nombre d'engagements aux communautés assurant une saine gestion de l'eau.

### **Émissions de CO<sub>2</sub> :**

Bridgestone, Tomra et Volvo mesurent leurs émissions de CO<sub>2</sub>. Bridgestone et Tomra le font par rapport à des cibles de réduction en % par rapport à une année de référence. Volvo mesure directement ses émissions en **kilotonnes de CO<sub>2</sub>**, mais également le **CO<sub>2</sub>/kg de lingot d'aluminium** et les **tonnes de CO<sub>2</sub>** économisées par la réutilisation de matières (acier, cuivre & aluminium). Volvo mesure également le % de ses émissions attribuables à une sélection des matières (acier & fer, aluminium, cuivre, magnésium, thermoplastiques, élastomères, autres polymères, verre & céramiques, fluides, autres) qui composent un véhicule moyen.

(Kanellou, 2021) a identifié la mesure des **kilotonnes de CO<sub>2</sub>** émises.

Le CTI propose un calcul des émissions en **CO<sub>2</sub> équivalent** ou par **% de CO<sub>2</sub> équivalent économisé** en fonction de la composition du produit (portion recyclé portion matières vierges) par « *Allocation, cut-off by classification* ».

### **Utilisation d'énergie :**

(Kanellou, 2021) a identifié la mesure des économies d'énergies engendrées par l'EC en **TJ**, mais seulement pour les techno-polymers. (Jerome, 2022) a identifié l'indicateur *Energy Intensity (EI)* et *Circular Process Energy Intensity (CPEI)*.

### **Utilisation d'énergie renouvelable :**

Bridgestone et JLR mentionne avoir un objectif de maximiser son utilisation d'énergie renouvelable. HP et Tomra mesurent leurs % d'utilisation.

Circulytics suggère de mesurer le % d'utilisation et le % de génération. Le CTI suggère de mesurer le % d'utilisation.

### **Matériaux renouvelables :**

Bridgestone, Ford et Michelin mesurent leurs % d'utilisation de matériaux renouvelables.

L'ESRS demande d'établir des **cibles** quant à l'approvisionnement et l'utilisation de matériaux renouvelables. Il faut également spécifier le % de matériaux biologiques utilisées qui sont certifiés ainsi que leur cadre de certification.

### **Biodiversité :**

Bridgestone et HP mentionnent des plans de reforestations et SAFRAN a un plan biodiversité en place. Volvo utilise la **méthode ReCiPe** pour évaluer l'impact sur la biodiversité en plus de mesurer le **nombre**, la quantité d'**hectares** et le % de sites adjacents à des *Key Biodiversity Area (KBA)*.

Le CTI suggère une méthode de calcul pour mesurer l'impact sur la nature.

L'ESRS demande d'identifier des seuils écologiques, la méthodologie utilisée et les actions mis en place pour respecter les seuils.

### **Compostage / Digestion anaérobique :**

Circulytics suggère de mesurer le % de la masse des produits et matériaux qui est compostable et utilisable en digestion anaérobique.

## *MAINTENANCE ET PROLONGATION*

---

### **Support aux consommateurs :**

HP a un programme d'aide aux consommateurs pour faciliter la réparation et la maintenance des produits afin d'en prolonger la durée de vie. SAFRAN a un programme de maintenance et de prolongation de la durée de vie pour ses équipements.

### **Durée de vie :**

ABB, Bridgestone et JLR cherchent à améliorer la durée de vie de leurs produits. Michelin fait des tests pour mesurer la durée de vie moyenne de leurs produits. 3M mesure la durée de vie moyenne de leurs produits pour la comparer à la durée de vie moyenne du marché. HP mesure le % de ses presses industrielles encore en fonction.

(Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur du nombre de minutes nécessaires à l'évaluation de la durée de vie restante des batteries du secteur automobile. (Jerome, 2022) a identifié deux indicateurs, soit *Longevity* (mesuré en temps) et *Circularity* (mesuré en nombres d'utilisations) pour évaluer la durée de vie circulaire des produits.

Le CTI suggère de comparer la durée de vie des produits par rapport aux durées de vies moyennes du marché.

L'ESRS demande de comparer la durée de vie des produits par rapport aux durées de vies moyennes du marché.

## *RÉUTILISATION ET REDISTRIBUTION*

---

### **Emballage :**

ABB cherche à réduire et réutiliser son emballage. GM mesure le % de ses emballages qui sont retournable, recyclable, réutilisable ou compostable.

### **Réutilisation :**

JLR, Michelin, SAFRAN et Volvo ont des programmes de réutilisation de pièces ou de produits. HP mesure le % de ses ventes et le **nombre** de produits qui sont réutilisés via son programme de retours.

(Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur du *Reused Component Index (Rco)*, qui se calcule en % de masse, en **nombre** de composantes ou en \$. (Jerome, 2022) a identifié deux indicateurs, soit le *Reusability Rate* et le *Potential Reusability rate*.

Circulytics suggère de mesurer le % de la masse totale des produits destinés à l'utilisation qui sont réutilisés ou recirculés ainsi que le nombre moyen de réutilisations possibles avant leurs fins de vies utiles.

### **Taux de régénération :**

(Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur du % de régénération des produits lors d'une réutilisation de composants. Cet indicateur est particulièrement applicable lors de la réutilisation de cellules dans des batteries reconditionnées, où le rendement de la batterie est comparé à celui d'une batterie neuve.

### **Programmes de retours :**

Alors qu'ABB et GM (batteries seulement) mentionnent avoir un programme de retours pour leurs produits, aucune mesure n'est présentée. HP mesure les retours en tonnes de produits, le nombre de produit (cartouches), le nombre de pays avec des points de dépôts et le % des produits retournés revalorisés. JLR mesure le nombre de pays touchés par son programme et le nombre de produits retournés par région. SAFRAN mesure le nombre d'avions et moteur traités par le programme de retours Tarmac Aerosave et spécifie le % par type d'avion et par fabricant. Volvo mesure le nombre de batteries collectées par son programme de retours.

(Kanellou, 2021) a identifier l'indicateur du % d'augmentation de collecte de pièces automobiles textiles.

## *REMISE À NEUF*

---

### **Produits touchés par des programmes de remise à neuf/reconditionnement :**

3M, Bridgestone et Michelin mentionnent avoir des programmes de remise à neuf, sans toutefois présenter de mesures particulières. Ford, GM et Volvo mesurent le nombre de pièces qui ont été remises à neuf. Ford précise également le tonnage que représente ces produits pour l'aluminium, l'acier et la fonte.

Circulytics suggère de mesure le % de la masse totale des produits qui sont remis à neuf ou reconditionnés. Le CTI suggère de mesure le % des produits touchés par des programmes de remise à neuf ou de reconditionnement.

### **Réparabilité :**

L'ESRS demande aux organisations de chercher à augmenter la réparabilité de leurs produits et si possible, de développer une échelle d'évaluation de la réparabilité de leurs produits.

### **Économies de remises à neuf :**

Bridgestone mesure et présente le % de matières vierges économisées par ses programmes de remise à neuf, tandis que Volvo mesure le nombre de tonnes épargnés par type de matériaux, soit l'aluminium, le cuivre et l'acier.

(Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur du % de réduction des coûts opérationnels et la réduction du délai de mise en œuvre engendrées par la remise à neuf des produits.

### **Acceptabilité :**

(Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur du % d'acceptabilité des produits remis à neuf.



## RECYCLAGE

---

### Recyclage (boucle ouverte) :

3M, ABB, Bridgestone, Ford (batteries), GM et JLR cherchent à améliorer la recyclabilité de leurs produits. GM (batteries) et HP mesurent le % de leurs produits qui est recyclé ainsi que le tonnage que cette portion représente. De son côté, Michelin mesure le pourcentage recyclé et le classe par trois catégories : matériel, combustible et terrassement. SAFRAN calcule le % du poids de l'avion qui est recyclé. Volvo évalue le % du véhicule qui est recyclable et le % qui est revalorisable, en plus de mesurer le tonnage de pièces qui ont été recyclées.

(Saidani, 2019) a identifié plusieurs indicateurs associés au recyclage : *Recycling Rates (RRs)*, *End-of-Life Recycling Rates (EoL-RRs)*, *Circular Economy Performance Indicator (CEPI)* aussi connu sous le *Recyclability Benefit Rate (RBR) indicator*, les *Recycling Indices (RIs)* pour l'économie circulaire et le *Circular Economy Index (CEI)*. (Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur du % de recyclage des techno-polymers dans le secteur automobile. (Shevchenko, 2022) a proposer un indicateur semi-qualitatif afin d'évaluer la conception pour la recyclabilité du produit. (Jerome, 2022) a identifié une série d'indicateurs relatifs au recyclage : *Old Scrap Collection Rate (OSCR)*, *Recycling Process Efficiency (Rate RPER)*, *End-of-life Recycling Rate (EOL-RR)*, *Old Scrap Ratio (OSR)*, *Recyclability Rate (Rrec)*, *Potential Recycling Index (PRI-rec)*, *Collection Rate (CR)*, *Recycling Rate (RR)*, *Recycle Benefit Ratio (RBR)*, *Recycle Yield Ratio (RYR)*, *Landfill to Recycle Ratio (LRR)*.

Circulytics suggère de mesurer le % de la masse des produits qui sont recyclés. Le CTI suggère d'évaluer le % des produits qui sont recyclés.

L'ESRS demande de spécifier le % de matières qui sont recyclables dans les produits et emballages.

### Recyclage (boucle fermée) :

Ford fait du recyclage en boucle fermée pour son aluminium et mesure en **lbs** la quantité recyclée et spécifie le % de matières premières verges économisées. GM mentionne faire du recyclage en boucle fermée pour le platine, le rhodium et le palladium contenu dans ses convertisseurs catalytiques. SAFRAN mentionne faire du recyclage en circuit court pour le titane, l'inconel et l'aluminium. Volvo calcule le % de l'aluminium utilisé qui circule en boucle fermée.

### Utilisation de matières recyclées :

JLR et LG cherchent à augmenter la quantité de matières recyclées utilisées. 3M mesure le % de papier recyclé utilisé. Bridgestone mesure le % de caoutchouc recyclé utilisé dans ses produits. Ford mesure le % de plastique recyclé utilisé dans ses produits. HP mesure en **tonnes** la quantité de plastique recyclé utilisé et le % que cette quantité représente par rapport au total utilisé dans les produits. HP mesure également le % de son catalogue de produits qui contient du plastique recyclé. Volvo mesure le % de matières recyclés utilisés pour l'acier, l'aluminium, les plastiques et les matériaux organiques.

(Kanellou, 2021) a identifié, pour le secteur automobile, les indicateurs suivants quant à l'utilisation de matières recyclées : le % d'augmentation des gisements de composites (techno-polymers) recyclés, le % d'augmentation du textile recyclé provenant d'applications intersectorielles et le % de réduction d'utilisation de matières textiles vierges (textiles).

(Shevchenko, 2022) propose de mesurer le % de matières recyclées utilisé dans un produit. (Jerome, 2022) a identifié deux indicateurs quant à l'utilisation de matières recyclées, soit le *Recycled Content Rate (RCR)* et le *Recycled Content (RC)*.

Circulytics suggère de mesurer la **masse** de matières recyclées utilisé.

L'ESRS demande de mesurer le **tonnage** et le % de matières recyclées qui sont utilisées dans les produits, incluant l'emballage.

### **Marché du recyclage :**

(Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur, qui doit augmenter, de la valeur du marché du recyclage des textiles en USD.

## *DÉCHETS*

---

### **Déchets de production :**

3M, JLR et Volvo mesurent le % de réduction de leurs déchets de production par rapport à une année de référence, tandis que ABB et SAFRAN mesurent en **tonnes** la quantité de déchets de productions qui ont été réduits. Volvo et ABB spécifient également le % que représente les déchets de productions par rapport à leurs déchets totaux. De son côté, HP mesure le % de de réduction de déchets de production envoyés à l'enfouissement. Pour la revalorisation des déchets, LG mesure le % de recyclage de ses déchets de production et SAFRAN mesure le % de valorisation de ses déchets métalliques et composites.

(Jerome, 2022) a identifié deux indicateurs pour les déchets de production, soit le *Waste Factor (WF)* et le *Circular Process Waste Factor (CPWF)*.

L'ESRS demande de fournir une description de la stratégie de gestion et de réduction des déchets productions pré-consommateurs.

### **Production sans déchets :**

3M mesure le % de ses usines qui font de la production sans déchet. LG se fait certifier par des tiers pour la production sans déchet.

### **Catégorisation des déchets :**

Volvo mesure en **tonnes** ses déchets métalliques et totaux.

L'ESRS demande d'identifier des cibles de gestion des déchets et que celles-ci soient exprimées selon la hiérarchie des déchets. Il est également demandé de fournir une description des types de matières retrouvées dans les déchets, considérant les types de déchets qui sont spécifiques au secteur d'activité de l'entreprise. Une description de la méthodologie de calcul doit être fournie.

### **Matières dangereuses ou radioactives :**

Volvo mesure en **tonnes** la quantité de matières dangereuses dans ses déchets.

L'ESRS demande de mesurer en **tonnes** la quantité de matières dangereuses ou radioactive dans ses déchets.

### Déchets totaux :

Volvo mesure ses déchets totaux par véhicule et ses déchets de productions par véhicule en **kg/vehicule** en plus de spécifier le % de ces déchets qui sont recyclés et le % qui va à l'enfouissement.

(Kanellou, 2021) a identifié l'indicateur qualitatif de la réduction des déchets totaux. (Jerome, 2022) a identifié deux indicateurs relatifs aux déchets et pertes totales, soit le *Net Loss per period (NLpF)* et le *Relative Net Loss (RNL)*.

Circulytics propose de mesurer en tonnes les déchets générés et de spécifier le % de ces déchets qui ne sont pas revalorisés.

L'ESRS demande de mesurer en tonnes les déchets générés. Il faut également spécifier le tonnage des déchets qui sont revalorisés et le tonnage des déchets envoyés à l'enfouissement ou l'incinération.

### Transformation en énergie :

(Jerome, 2022) a identifié un indicateur, le *Recoverability Rate (Rrecov)*, qui évalue à quel point un produit peut être revalorisé en énergie.

### Fournisseurs :

Volvo mesure le nombre et le % de ses fournisseurs qui ont des cibles de réduction des déchets.

## RESSOURCES

---

### Utilisation des ressources :

Volvo mesure en **kilotonnes**, et ce par types de véhicules et par % du poids d'un véhicule moyen, la quantité utilisée : d'acier & de fer, d'aluminium, de cuivre, de magnésium, de thermoplastiques, d'élastomères, d'autres polymères, du verre & des céramiques, de fluides et d'autres matières.

L'ESRS demande une description des flux de matières intrant, incluant l'emballage, dans ses opérations et dans la chaîne de valeur en amont. Cette description doit inclure les produits, les matériaux, les matériaux critiques, les terres rares, l'eau, les équipements et les propriétés. Il faut également spécifier, en **tonnes**, les quantités de matières utilisées, autant pour les matériaux techniques que les matières biologiques.

### Productivité des ressources :

Volvo mesure les revenus générés par tonne de matière technique vierge utilisée, tout au long de la chaîne de valeur.

Le CTI propose également deux indicateurs pour évaluer la performance économique de l'utilisation des ressources, soit le *Circular*

## SYNTHÈSE COMPARATIVE DES INDICATEURS CIRCULAIRE

La Figure 6 présente une synthèse des indicateurs trouvés dans le cadre de la revue. Le tableau ci-dessous présente la légende utilisée lorsque les indicateurs étaient déjà regroupés en catégories.

**Tableau 3: légende utilisée pour les groupements d'indicateurs**

Kanellou, 2021	Bleu	Chaine de création de valeur
	Blanc	Secteurs spécifiques
Jerome, 2022	Orange	Réductions des pertes de production
	Gris	Multi-focus
	Blanc	Mutli-focus avec inclusion du temps
	Jaune	Récupération d'énergie
	Vert	Changements dans la composition des matériaux
	Bleu	Utilisation/durée de vie/Remise à neuf
	Acier	Recyclage des matériaux
Circulytics	Bleu	Aspects relatifs à la gouvernance
	Blanc	Indicateurs de circularité
CTI	Bleu	Fermeture des boucles
	Vert	Optimisation des boucles
	Orange	Impact des boucles
	Jaune	Valeur des boucles
ESRS	Bleu	Aspects relatifs à la gouvernance
	Blanc	Indicateurs de circularité

		SM	AII	BridgeStone	Ford	GM	IP	LR	LC	Michelin	SAPRAH	TOYOTA	Valvol	Saidari, 2019	Karellu, 2021	Shrochewko, 2022	Markatos, 2022	Jemna, 2022	Circulytics	CEI	CISQ/MSR	
Gouvernance	Stratégie																		X		X	
	Actions et ressources dédiées																			X		X
	Innovation																		X			
	Partenariats																		X			
	Digitalisation																		X			
	Employés & compétences																		X			
	Opérations																		X			
	Engagements externes																		X		X	
	Revenus																		X			
	Actifs																		X			
Réduction / Conception	Impacts financiers																		X		X	
	Santé et sécurité																		X			
	Diffusion CC																		X			
	Économie																		X			
	Bourse																		X			
	Marketing																		X			
	Finance																		X			
	Réduction emballage	X	X																	X		
	Matériaux vieilles / circulaires		X	X	X			X	X		X	X	X	X					X	X		X
	Ressources critiques																		X			
Biocycles	Matériaux dangereux				X					X	X	X							X			
	Efficacité énergétique & matérielle									X	X	X	X	X				X				
	Conception ACV							X		X	X	X	X	X				X				
	Désassemblage									X	X	X	X	X				X				
	Réduction de fonctions (éléments)							X										X				
	Démarche de conception circulaire		X					X		X		X	X	X				X	X		X	
	Utilisation																	X				
	Produit-service							X	X			X	X	X				X				
	Réduction utilisation plastiques flexibles	X																	X			
	Maintenance & Prolongation	Réduction d'utilisation d'eau	X	X					X											X		
Utilisation d'eau																			X	X		X
Associement de Peau																			X			
Engagement des communautés à la gestion de Peau		X																	X			
Émissions de CO2				X															X			
Énergie																			X			
Utilisation énergie renouvelables				X			X	X				X	X	X					X			
Matériaux renouvelables				X	X						X	X	X	X					X			X
Composages/Assemblage démontable																			X			X
Réutilisation & Redistribution		Support aux consommateurs						X				X							X			X
	Durée de vie	X	X	X			X	X		X								X		X		X
Remise à neuf	Emballage		X			X												X				
	Taux régénération						X	X		X	X							X		X		
Recyclage	Programmes de retours		X			X	X	X		X	X							X				
	Produits touchés par des programmes Réparabilité	X			X	X	X	X		X	X							X		X		X
	Économies de remises à neuf			X															X			
	Acceptabilité																		X			
Déchets	Recyclage (boule ouverte)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Recyclage (boule fermée)				X	X					X								X			
	Utilisation de matières recyclées (produit)	X		X	X		X	X	X									X				X
	Nombre de matériaux par produit	X																	X			
Autre	Marché du recyclage																		X			
	Réduction des déchets de production	X	X				X	X	X		X							X				X
	Production sans déchets	X	X						X									X				X
	Production sans déchets																		X			X
Autre	Matériaux dangereux & radioactifs																		X			X
	Déchets totaux / pertes																	X				X
Autre	Transformation en énergie																	X				X
	Fluimoteurs																	X				X
Autre	Productivité des ressources																		X			X
	Utilisation des ressources																		X			X
Autre	Exigences cibles & mesures																		X			X

Figure 6: Synthèse des indicateurs circulaires

## RÉFÉRENCES

- Baxendale, S., E. K. Macdonald and H. N. Wilson (2015). "The impact of different touchpoints on brand consideration." Journal of Retailing **91**(2): 235-253.
- Bjørnbet, M. M., C. Skaar, A. M. Fet and K. Ø. Schulte (2021). "Circular economy in manufacturing companies: A review of case study literature." Journal of Cleaner Production **294**: 126268.
- Bocken, N. M., I. De Pauw, C. Bakker and B. Van Der Grinten (2016). "Product design and business model strategies for a circular economy." Journal of industrial and production engineering **33**(5): 308-320.
- Charpentier Poncelet, A., C. Helbig, P. Loubet, A. Beylot, S. Muller, J. Villeneuve, B. Laratte, A. Thorenz, A. Tuma and G. Sonnemann (2022). "Losses and lifetimes of metals in the economy." Nature Sustainability **5**(8): 717-726.
- Dagman, A. and R. Söderberg (2012). Toward a method for improving product architecture solutions by integrating designs for assembly, disassembly and maintenance. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, American Society of Mechanical Engineers.
- Dias, V. M. R., D. Jugend, P. de Camargo Fiorini, C. do Amaral Razzino and M. A. P. Pinheiro (2022). "Possibilities for applying the circular economy in the aerospace industry: Practices, opportunities and challenges." Journal of Air Transport Management **102**: 102227.
- Domone, J., P. Bliss and M. Copus (2021). "A circular economy for civil aerospace." ATKINS-Member of the SNC-Lavalin Group.
- Frishammar, J. and V. Parida (2019). "Circular business model transformation: A roadmap for incumbent firms." California Management Review **61**(2): 5-29.
- Go, T., D. Wahab, M. A. Rahman, R. Ramli and C. Azhari (2011). "Disassemblability of end-of-life vehicle: a critical review of evaluation methods." Journal of Cleaner Production **19**(13): 1536-1546.
- Goldsworthy, K. (2014). "Design for Cyclability: pro-active approaches for maximising material recovery." Making Futures **3**.
- Jerome, A., H. Helander, M. Ljunggren and M. Janssen (2022). "Mapping and testing circular economy product-level indicators: a critical review." Resources, Conservation and Recycling **178**: 106080.
- Kanellou, E., K. Alexakis, P. Kapsalis, P. Kokkinakos and D. Askounis (2021). "The DigiPrime KPIs' framework for a circular economy transition in the automotive industry." Procedia Manufacturing **54**: 302-307.
- Kayikci, Y., Y. Kazancoglu, C. Lafci and N. Gozacan (2021). "Exploring barriers to smart and sustainable circular economy: The case of an automotive eco-cluster." Journal of Cleaner Production **314**: 127920.
- Kirchherr, J., D. Reike and M. Hekkert (2017). "Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions." Resources, conservation and recycling **127**: 221-232.
- Kumar, V. and R. Venkatesan (2005). "Who are the multichannel shoppers and how do they perform?: Correlates of multichannel shopping behavior." Journal of Interactive marketing **19**(2): 44-62.
- Lieder, M. and A. Rashid (2016). "Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry." Journal of cleaner production **115**: 36-51.
- Markatos, D. N. and S. G. Pantelakis (2022). "Assessment of the impact of material selection on aviation sustainability, from a circular economy perspective." Aerospace **9**(2): 52.

- Mayyas, A., A. Qattawi, M. Omar and D. Shan (2012). "Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review." Renewable and sustainable energy reviews **16**(4): 1845-1862.
- Mont, O. (2002). "Functional thinking: the role of functional sales and product service systems for a function-based society."
- Morseletto, P. (2020). "Targets for a circular economy." Resources, Conservation and Recycling **153**: 104553.
- Okorie, O., F. Charnley, J. Russell, A. Tiwari and M. Moreno (2021). "Circular business models in high value manufacturing: Five industry cases to bridge theory and practice." Business Strategy and the Environment **30**(4): 1780-1802.
- Osterwalder, A. and Y. Pigneur (2010). Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers, John Wiley & Sons.
- Parkinson, H. and G. Thompson (2003). "Analysis and taxonomy of remanufacturing industry practice." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering **217**(3): 243-256.
- Pollard, J., M. Osmani, C. Cole, S. Grubnic and J. Colwill (2021). "A circular economy business model innovation process for the electrical and electronic equipment sector." Journal of cleaner production **305**: 127211.
- Pollard, J., M. Osmani, S. Grubnic, A. I. Díaz, K. Grobe, A. Kaba, Ö. Ünlüer and R. Panchal (2023). "Implementing a circular economy business model canvas in the electrical and electronic manufacturing sector: A case study approach." Sustainable Production and Consumption **36**: 17-31.
- Porter, M. E. (2011). Competitive advantage of nations: creating and sustaining superior performance, simon and schuster.
- Potting, J., M. P. Hekkert, E. Worrell and A. Hanemaaijer (2017). "Circular economy: measuring innovation in the product chain." Planbureau voor de Leefomgeving(2544).
- Reim, W., D. Sjödin and V. Parida (2021). "Circular business model implementation: A capability development case study from the manufacturing industry." Business Strategy and the Environment **30**(6): 2745-2757.
- Rosa, P., C. Sassanelli and S. Terzi (2019). "Towards Circular Business Models: A systematic literature review on classification frameworks and archetypes." Journal of cleaner production **236**: 117696.
- Shevchenko, T., B. Yannou, M. Saidani, F. Cluzel, M. Ranjbari, Z. S. Esfandabadi, Y. Danko and Y. Leroy (2022). "Product-level circularity metrics based on the "Closing–Slowing Future–Past" quadrant model." Sustainable Production and Consumption **34**: 395-411.
- Stahel, W. R. (2016). "The circular economy." Nature **531**(7595): 435-438.
- Tukker, A. (2004). "Eight types of product–service system: eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet." Business strategy and the environment **13**(4): 246-260.
- Tukker, A. (2015). "Product services for a resource-efficient and circular economy—a review." Journal of cleaner production **97**: 76-91.
- Urbinati, A., D. Chiaroni and V. Chiesa (2017). "Towards a new taxonomy of circular economy business models." Journal of Cleaner Production **168**: 487-498.
- Urbinati, A., P. Rosa, C. Sassanelli, D. Chiaroni and S. Terzi (2020). "Circular business models in the European manufacturing industry: A multiple case study analysis." Journal of cleaner production **274**: 122964.
- Williams, A. (2007). "Product service systems in the automobile industry: contribution to system innovation?" Journal of cleaner Production **15**(11-12): 1093-1103.
- Zhu, Q., Y. Geng and K.-h. Lai (2010). "Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications." Journal of environmental management **91**(6): 1324-1331.