



HAL
open science

Benchmark des indicateurs de circularité et liens avec l'ACV

Michael Saidani, Bernard Yannou, Stéphane Le Pochat, Aude Monteil

► **To cite this version:**

Michael Saidani, Bernard Yannou, Stéphane Le Pochat, Aude Monteil. Benchmark des indicateurs de circularité et liens avec l'ACV. [Rapport de recherche] 2020-03, SCORELCA. 2021. hal-03697510

HAL Id: hal-03697510

<https://hal.science/hal-03697510v1>

Submitted on 17 Jun 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

BENCHMARK DES INDICATEURS DE CIRCULARITE ET LIENS AVEC L'ACV

SYNTHESE

Juillet 2021

Responsables scientifiques :

- **Michael Saidani, Bernard Yannou**
CentraleSupélec, 3 Rue Joliot Curie, 91190 Gif-sur-Yvette



- **Stéphane Le Pochat, Aude Monteil**
EVEA, 11 rue Voltaire, 44000 Nantes



L'association SCORELCA est une structure d'étude et de recherche dédiée aux travaux relatifs à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et à la quantification environnementale. Elle vise à promouvoir et à organiser la collaboration entre entreprises, institutionnels et scientifiques afin de favoriser une évolution partagée et reconnue, aux niveaux européen et international, de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et de sa mise en pratique.

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

- ✓ Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs et ne traduisent pas nécessairement, sauf mention contraire, l'opinion de l'ensemble des membres de SCORELCA.

- ✓ Les informations et les conclusions présentées dans le présent document ont été établies au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

1 Introduction : contexte et enjeux de l'étude

Constat et enjeux actuels

Le concept d'économie circulaire appelle à une gestion plus durable et raisonnée des ressources tout au long du cycle de vie des produits et systèmes. Un tel paradigme économique se caractérise, du côté de la technosphère, par des bouclages de flux en promouvant les opérations de maintenance, de reconditionnement, de recyclage, tout en étant accompagné d'offres de services et de reprises qui rendent opérationnelles ces pratiques. La circularité a pour but de conserver la haute valeur et utilité des produits, matériaux et ressources à chaque instant, et ainsi de minimiser la génération de déchets et l'impact environnemental. En ce sens, un nombre croissant d'entreprises et de collectivités locales souhaitent s'engager dans la transition de leurs modèles économiques en faveur de modèles « circulaires ». Des deux côtés on voit donc émerger un besoin de pilotage, à moyen et long terme, d'investissements et de flux de matière et d'énergie à l'échelle des territoires et des organisations industrielles. Il est donc nécessaire de développer des méthodologies et outils basés sur des indicateurs pertinents d'investissements et de gestion des flux pour les différents acteurs concernés.

Dans le même temps, à ce jour, de nombreux outils, méthodes et indicateurs sont disponibles et activables pour diagnostiquer la performance environnementale des produits, des services, des projets et des activités d'une entreprise. Face à cette multitude d'outils, il est parfois difficile d'identifier les plus pertinents au regard de l'objectif et de la temporalité du projet. De même, si l'on privilégie une analyse basée sur le principe de l'économie circulaire, de nombreux indicateurs sont disponibles mais se limitent souvent à un diagnostic. Or, pour promouvoir des projets favorables à la transition écologique et qui sont créateurs de valeur pour l'entreprise, il faut mobiliser des indicateurs qui auront vocation à piloter des activités vers plus de circularité et de préservation de l'environnement (approche ACV) et les valoriser dans une logique de performance globale (incluant leurs impacts environnementaux et sociaux). Les décisions économiques d'investissement, de choix de projet devront être prises à l'aune des indicateurs de circularité, de performance environnementale et leur traduction en termes de création de valeur pour l'organisation.

Répondre à une demande émergente

Comme mentionné dans le texte de l'appel à projet SCORELCA n° 2020-03, de plus en plus d'organisations souhaitent atteindre des objectifs d'économie circulaire, et engagent des démarches dans ce sens. Afin notamment non seulement de suivre leurs progrès (en interne, de façon opérationnelle) mais aussi de communiquer leur avancement (ultérieurement, de façon crédible), ces organisations souhaitent disposer d'indicateurs (KPI) de circularité qui leur permettent d'atteindre leurs objectifs. L'utilisation d'indicateurs paraît a fortiori pertinente pour un concept aussi complexe – multi-échelles, multi-acteurs, préconisant une considération du cycle de vie et une pensée systémique – qu'est l'économie circulaire. Les indicateurs ont en effet la capacité de synthétiser la complexité de nos environnements mouvants dans une quantité d'information plus facilement compréhensible, gérable et exploitable. Plus généralement, de tels indicateurs de circularité peuvent être employés à des fins informatives (p. ex., benchmarking, aide à la prise de décision), amélioratives (identification de points de progrès), managériales (conduite du changement), communicatives, formatives, ou éducatives.

Une vision commune – partagé par les universitaires, industriels et instances politiques (Fondation Ellen MacArthur, 2015 ; Geissdoerfer et al., 2017 ; Saidani et al., 2017) – a émergé sur la nécessité de mesurer le progrès et les impacts de cette transition. Ainsi, de nombreux indicateurs de circularité ont été développés ces dernières années comme outils et catalyseurs vers des pratiques plus circulaires, sous la condition sine qua non que les acteurs impliqués dans cette transition puissent avoir accès et correctement employer les indicateurs qui leurs sont les plus appropriés, comme illustré sur la Figure 1. Or, la mise en place progressive, hors de tout contexte normatif, de ces indicateurs a abouti à l'existence d'une hétérogénéité d'approches pour mesurer la circularité (Saidani et al., 2019a). Bien que cette notion d'économie circulaire soit de plus en plus discutée et reconnue pour contribuer à la réalisation des objectifs du développement durable, on ne note toujours pas de consensus sur une définition stabilisée la concernant : 114 définitions de l'économie circulaire, retranscrites en 17 catégories, ont notamment été recensées par Kirchherr et al. (2017). On peut y voir ici une des raisons du flou et de la grande variété d'indicateurs développés en lien avec l'économie circulaire, que ce soit au niveau de leurs périmètres d'actions, de leurs objectifs premiers,

ou de leurs utilisations préférentielles. Le but étant ici à la fois d'apporter de la clarté sur cette multitude d'indicateurs disponibles, ainsi que d'aider à sélectionner le panel des quelques indicateurs qui soient les plus pertinents, spécifiques et opérationnels pour une organisation, de manière à lui permettre de couvrir ses objectifs associés à la circularité.

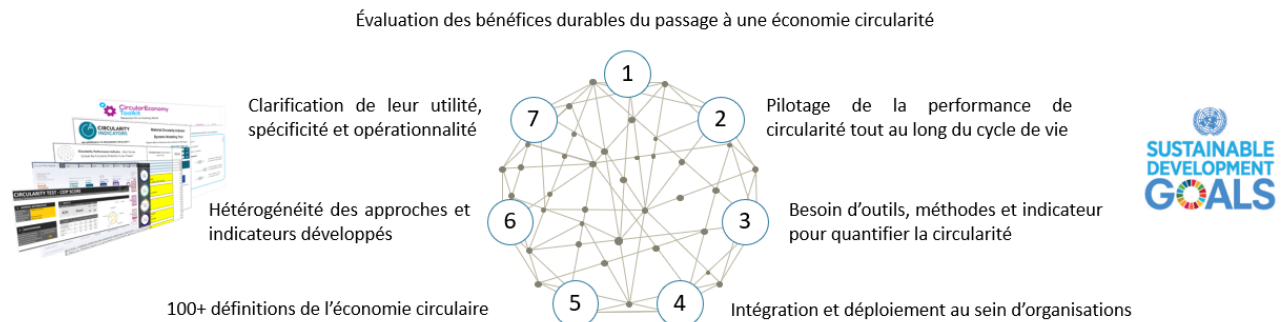


Figure 1 - Indicateurs de circularité : Défis actuels et opportunités

Positionnement et perspectives prometteuses

Complémentaire au projet SCORELCA (2019) sur les « boucles matière, boucles produits et ACV » (Étude N° 2018-02) qui a abouti à des recommandations concernant l'évaluation de la performance environnementale des boucles, ce projet vise à entrer plus en avant dans la circularité, et produire des recommandations d'indicateurs de circularité qui intègrent l'aspect environnemental. Elles seront fondées sur une analyse structurée des indicateurs existants et pourront servir de contribution à la normalisation à l'ISO/TC 323. Au-delà de produire des mesures, ces indicateurs de circularité doivent aussi amener à des actions utiles et justifiées de la part des acteurs industriels, au travers, par exemple, de plans de pilotage de la transition, d'amélioration ou de mitigation. L'information – au travers d'indicateurs appropriés – sur les moyens et activités peut aider à déterminer ce qui est nécessaire pour atteindre les objectifs de circularité. Bien que les indicateurs de circularité semblent être une bonne aide pour accompagner et guider ces praticiens dans la prise en compte des composantes de l'économie circulaire, il existe un fossé notable entre les indicateurs (théorique) développés par les universitaires et leur (faible) utilisation (pratique) dans la réalité industrielle. Réduire ce fossé et favoriser l'acceptation et l'intégration progressive de tels indicateurs au sein des processus de conception et de management est l'affaire de tous. Une co-construction de ces indicateurs est une voie d'avenir. Dans cet esprit, le recensement et la classification des indicateurs de circularité peut servir de base non seulement pour tester et valider (ou non) leur bonne compréhension par les concepteurs, ingénieurs, fabricants ou gestionnaires de projets, mais également identifier les manques des indicateurs actuels pour envisager leur consolidation, leur combinaison et/ou la construction d'indicateurs nouveaux (Saidani et al., 2019b).

En pratique, bien qu'une grande variété d'indicateurs ait été développée ces dernières années, il reste à jauger leur degré d'adoption et maturité d'utilisation par les acteurs industriels, notamment de façon intégrée au processus de conception et développement. Enfin, s'il semble que ces indicateurs de circularité – que l'on peut considérer comme des heuristiques ou KPI de haut niveau – et leurs outils associés sont plus rapidement déployables et plus facilement compréhensibles que certaines méthodes et indicateurs d'évaluation environnementale comme l'ACV, dans l'orientation de prises de décisions soutenables au sens du développement durable, il reste à fournir des preuves tangibles que ces indicateurs sont en corrélation avec un « mieux » économique, environnemental et/ou sociétal. Il convient alors d'être en mesure de valider si ce passage à des pratiques plus circulaires apporte un « mieux » vis-à-vis des trois piliers du développement durable, en mettant par exemple en regard ces indicateurs de circularité intrinsèques avec certains indicateurs conçus pour jauger la performance économique, environnementale et/ou sociale, évaluant ainsi la circularité conséquente des boucles de circularité existantes et vérifiant (ou non) la compatibilité de l'équation économie circulaire avec celle du développement durable.

2 Objectifs et contenu de l'étude

L'objectif principal de cette étude est de fournir aux membres de SCORELCA des indicateurs opérationnels et harmonisés permettant de mesurer la circularité de leur activité. L'objectif secondaire de cette étude est de faire le lien avec d'autres méthodes et en particulier l'ACV, afin d'intégrer si possible ces indicateurs dans les outils existants d'évaluation environnementale. L'étude est structurée en 3 parties : un état de l'art, une analyse détaillée et des recommandations (voir Figure 2).

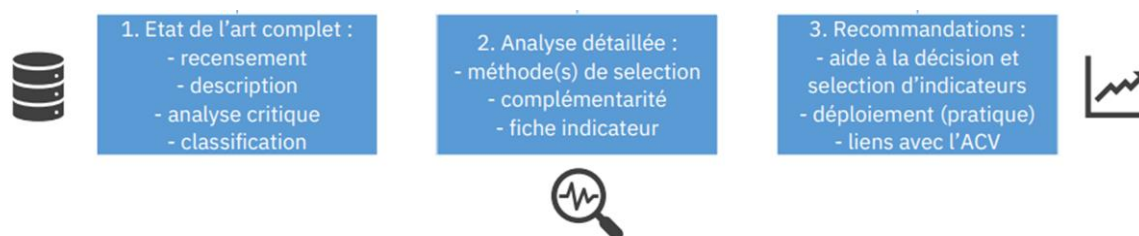


Figure 2 – Étapes de l'étude

1. Réaliser un état de l'art complet : recensement et analyse des indicateurs

- Préciser les objectifs que les organisations souhaitent atteindre avec des indicateurs de circularité ;
- Élaborer des spécifications pour que les indicateurs de circularité répondent de façon appropriée aux objectifs des organisations.

2. Mener une analyse approfondie de 10 indicateurs

- Proposer une méthodologie pour sélectionner les 10 indicateurs qui seront détaillés ;
- Développer un modèle de fiche pour ces indicateurs ;
- Mettre en avant les liens entre indices de circularité, flux de matières, indices de criticité et ACV.

3. Recommandations et propositions

- Produire des recommandations d'usage d'indicateurs de circularité appropriés, crédibles et opérationnels ;
- Fournir des recommandations sur la mise en œuvre des indicateurs les plus pertinents dans différents contextes, pour leur communication en interne et en externe, et pour les faire évoluer afin de répondre encore mieux aux objectifs des organisations.

3 Partie 1 : état de l'art

L'objectif de cette première partie est d'établir un état de l'art robuste concernant les indicateurs de circularité dont le nombre devient pléthorique. Cet état de l'art s'appuie notamment sur un recensement exhaustif des sources de la littérature, et sur l'examen approfondi d'un nombre plus restreint d'indicateurs, ceci afin de permettre une sélection et synthèse en 10 indicateurs notables.

3.1 Recensement et critères de sélection

Le travail de recensement bibliographique s'est appuyé sur le travail réalisé par Michaël Saidani en 2018 (Saidani, 2018 ; Saidani et al., 2019a) qui identifiait 55 indicateurs de circularité. Ce travail a abouti à la création d'un outil en ligne, le Circularity Indicators Advisor (CIA) (<http://circulareconomyindicators.com/>). Le recensement réalisé dans le cadre de cette étude a consisté à compléter ce travail avec les nouvelles publications parues sur la période 2019-2020. La recherche bibliographique ainsi effectuée, clôturée à la date de fin 2020, a permis de recenser un total de 105 références correspondant à autant de jeux d'indicateurs de circularité. Toutes ces sources ont été référencées dans un tableur Excel, fourni comme l'un des livrables principaux de cette étude.

Les articles universitaires traitant des c-indicateurs incluent, par exemple, la taxonomie de 55 jeux d'indicateurs de circularité (Saidani et al., 2019a) ou la revue critique de 74 approches, méthodes et outils pour évaluer la performance de circularité à une échelle micro (Roos Lindgreen et al., 2020). D'autres sources, non-académiques mais développées par des groupes de consulting pour entreprises (p. ex., les « Circular Transition Indicators ») et des organisations environnementales ou institutionnelles (p. ex., les 10 indicateurs clés pour piloter l'économie circulaire en France) ont également été considérées.

Chaque source a été caractérisée d'après les critères initiaux de l'outil « C-Indicators Advisor » (CIA) (Saidani et al., 2020), qui ont été complétés dans le cadre de cette étude. Les principaux critères de caractérisation des sources sont les suivants :

- Niveau (périmètre) considéré pour les indicateurs de circularité :
 - Micro : niveau matériau et/ou produit
 - Méso : entreprises, parcs d'activité (EIT)
 - Macro : zones économiques à l'échelle de régions, pays
- Le type de boucle d'économie circulaire :
 - Recyclage
 - Réutilisation, remanufacturing
 - Prolongation de la durée de vie
- La perspective : (rétrospective ou prospective)
 - Potentielle (i.e., potentiel de circularité d'un produit lors de sa conception)
 - Effective (i.e., circularité effective/réelle/actuelle d'un produit)
- La performance traduite par le(les) indicateur(s) d'économie circulaire :
 - Intrinsèque ou de flux (exprimant un taux de recirculation de ressources, en %)
 - Conséquentielle ou d'Impacts : impacts environnementaux, sociaux, économiques
- Le type de la source :
 - Académique
 - Entreprise ou consultant
 - Organisation gouvernementale ou environnementale

La Figure 3 ci-après indique l'ensemble des critères de classification utilisés. Cette figure montre une augmentation des catégories de la taxonomie d'indicateurs de circularité par rapport à (Saidani et al., 2019a), s'appuyant sur une revue de l'existant, un brainstorming, et le retour des membres SCORELCA.

Niveaux de mise en œuvre	Type de bouclage	Perspective de circularité	Performance évaluée	Unités
<ul style="list-style-type: none"> • Matière / Produit • Organisation / activité • Territoire 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance & durabilité • Réemploi / réutilisation • Recyclage 	<ul style="list-style-type: none"> • Effective (rétroactif) • Potentielle (proactif) 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacts (effets) • Intrinsèque (flux) 	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitatif • Qualitatif
Dimension	Usage (destination)	Type de source (auteur)	Transversalité de l'application	Format (accessibilité)
<ul style="list-style-type: none"> • Multicritères • Score unique 	<ul style="list-style-type: none"> • Information • Prise de décision • Communication • Education 	<ul style="list-style-type: none"> • Académique • Entreprises • Organismes 	<ul style="list-style-type: none"> • Générique • Spécifique secteur 	<ul style="list-style-type: none"> • Outil en ligne • Excel • Formules
Sphère de l'éco. circulaire concernée	Etapas du cycle de vie impactées	Cas d'application	Popularité	Transparence
<ul style="list-style-type: none"> • Technosphère • Biosphère • Les deux 	<ul style="list-style-type: none"> • Conception • Production • Utilisation • Fin de vie 	<ul style="list-style-type: none"> • Oui • Non 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnu • Intermédiaire • Marginal 	<ul style="list-style-type: none"> • Formules disponibles • Boîte noire

Figure 3 – Ensemble des critères de classification utilisés pour l'analyse des jeux d'indicateurs recensés (illustré, les 10 critères initiaux en bleu, les 5 nouveaux critères en doré)

3.2 Analyse et classification des indicateurs selon leur spécificité

Ces critères sont utilisés pour catégoriser ces 105 jeux d'indicateurs de circularité :

- Répartition des sources : académiques/consultants/gouvernementale (Figure 4)
- Répartition par transversalité sectorielle de l'application : générique/spécifique (Figure 5)
- Répartition par perspective de circularité : potentielle/réelle (Figure 6)
- Répartition par types de boucles de l'économie circulaire : recyclage/réparation/réutilisation (Figure 7)
- Répartition par types de performance : intrinsèque, conséquentielle (Figure 8)



Figure 4 – Répartition des sources académiques/consultants/gouvernementale

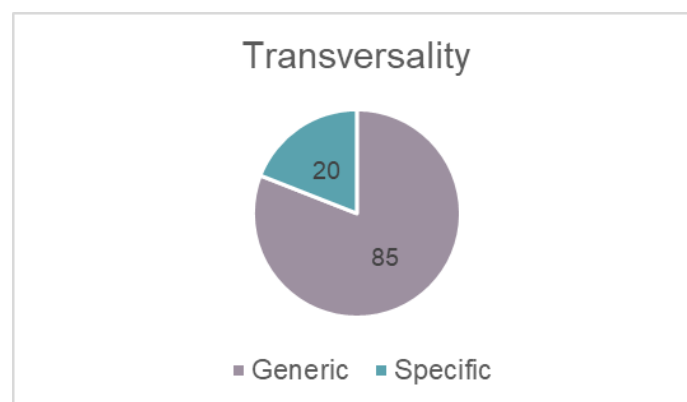


Figure 5 – Répartition par transversalité de l'application (générique ou spécifique à un secteur)

N.B. : Parmi les 20 jeux de c-indicateurs spécifiques à une industrie, le secteur du bâtiment et de la construction (et déconstruction) est le plus avancé en termes d'indicateurs *ad hoc* à un secteur.

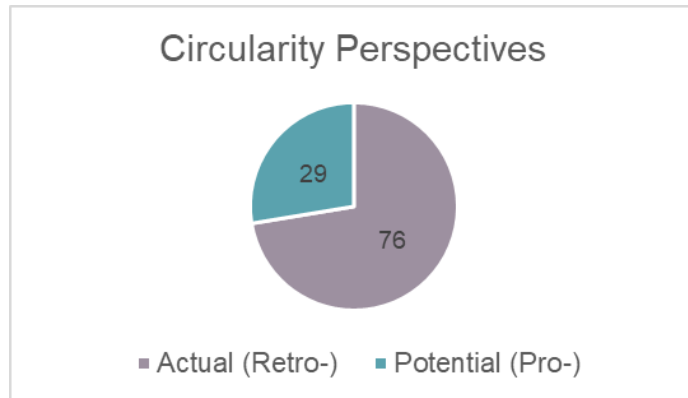


Figure 6 – Répartition par perspective de circularité (circularité potentielle ou circularité effective)

N.B. : Les indicateurs de circularité potentielle sont particulièrement développés à un niveau micro lors de la conception de nouveaux produits pour évaluer leur potentiel de circularité.

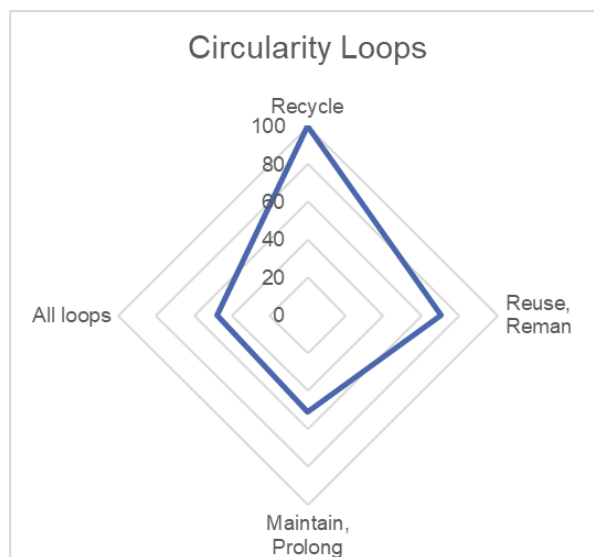


Figure 7 – Répartition (nombre de c-indicateurs) par boucles de l'économie circulaire : recyclage, réparation, réutilisation, etc.

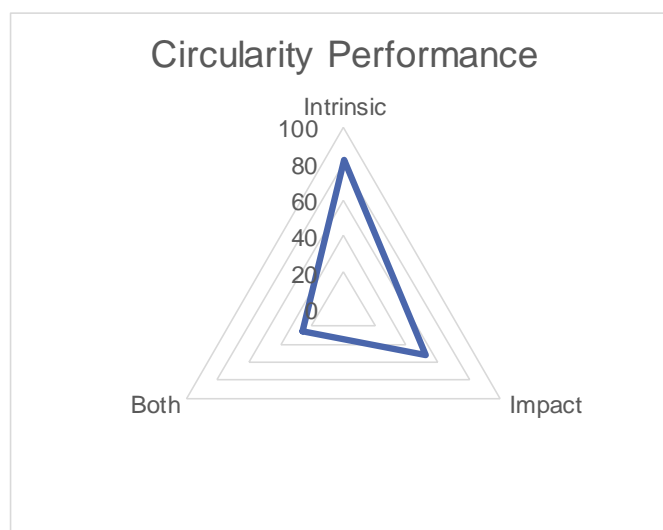


Figure 8 – Répartition par types de performance : intrinsèque (flux) vs conséquentielle (impact)

N.B. : Les jeux d'indicateurs couvrant à la fois circularité intrinsèque et conséquentielle se trouvent principalement à une échelle macro (région, pays).

3.3 Conclusion intermédiaire sur l'état de l'art : bilan et réflexion

À la suite de cette mise à jour du recensement des indicateurs de circularité et de l'étude statistique, nous pouvons constater les tendances suivantes : croissance continue depuis 2010, répartition plutôt homogène sur les trois échelles micro/méso/macro, indicateurs principalement développés par des académiciens/chercheurs universitaires (quid de leur applicabilité et praticabilité questionnées dans les parties suivantes), indicateurs transversaux pour la plupart mais récente tendance à la spécification (p. ex. évolution du Material Circularity Indicator de la Foundation Ellen MacArthur pour le secteur du bâtiment), le recyclage est la boucle de l'économie circulaire la plus considérée/quantifiée, les liens entre circularité inhérente (ou intrinsèque) et conséquence environnementale/économique/sociale ne sont pas systématiques.

D'autres aspects à explorer, dont certains ont été mentionnés et questionnés lors du séminaire de restitution annuel SCORELCA 2021, incluent : la répartition des indicateurs et leur capacité à couvrir à la fois la technosphère et la biosphère de façon à refléter les enjeux de chacune des sphères ; des indicateurs de circularité pouvant se substituer à l'ACV (étude de corrélation/validation) ; indicateurs pour les entreprises sans expertise en éco-conception ou économie circulaire, i.e. indicateurs ne nécessitant pas de grosses ressources internes, mais qui permettent d'avancer dans le bon sens ; indicateurs de circularité plus spécifiquement pour le secteur des services (pour faire ressortir des flux de matière potentiellement cachés). Plusieurs de ces aspects encore inexplorés de façon avancée ou synthétique, tel que le lien entre circularité et analyse de cycle de vie, sont abordés et approfondis dans les parties suivantes.

4 Partie 2 : Analyse approfondie de 10+ indicateurs

À la suite de l'état de l'art ayant permis le recensement des méthodes et indicateurs publiés, et qui a montré la grande diversité et hétérogénéité des approches, cette deuxième partie consiste à réaliser une analyse approfondie d'une dizaine d'indicateurs, *ad hoc* et complémentaires, parmi tous ceux recensés. Pour cela, il faut réaliser séquentiellement les tâches suivantes :

- Définir une méthode de sélection de cette dizaine de c-indicateurs et réaliser la sélection ;
- Définir un format de fiche d'analyse d'après les critères principaux que l'on veut voir analyser ;
- Réaliser l'analyse suivant chacun des critères clés.

4.1 Méthode de sélection des 10+ indicateurs

Nous avons adopté une méthode empirique et pragmatique pour la sélection de la dizaine de c-indicateurs sur lesquels mener une analyse détaillée.

Le premier critère de tri adopté est celui du type de méthode : parmi les 105 « jeux d'indicateurs », certaines méthodes sont prescriptives (elles donnent des recommandations ou des lignes directrices, pour la conception de produits ou pour la conduite d'une stratégie d'économie circulaire de l'entreprise), d'autres sont des indicateurs (méthode de calcul pour la mesure). Pour cette étude, seuls sont conservés les indicateurs de mesure. Le second critère de tri est celui de la transparence (i.e. formule pour calculer l'indicateur disponible) de la méthode (ou indicateur), qui rejoint le critère de l'opérationnalité. Une fois ces premiers tris effectués, nous avons opéré un tri en catégorisant :

- D'une part les attentes (besoins) des industriels membres de SCORELCA :
 - Besoin d'indicateurs sectoriels (spécifiques au secteur industriel)
 - Besoin d'indicateurs micro (à l'échelle des produits, des projets) et d'indicateurs méso (pour un reporting et pilotage à l'échelle de l'entreprise)
- Et d'autre part les caractéristiques objectives distinguant les indicateurs, telles que :
 - Indicateurs de recyclage/valorisation matière ;
 - Indicateurs de réutilisation produits ;
 - Indicateurs sur la circularité des matériaux/ressources à l'échelle du territoire ;
 - Indicateurs sur l'énergie ;
 - Indicateurs économiques ;
 - Indicateurs sociaux ;
 - Indicateurs de conception (pour la circularité) ;
 - Indicateur(s) agrégé(s) (« score » de circularité).

Le choix final d'un indicateur parmi l'ensemble correspondant (par exemple quel indicateur sur le recyclage choisir parmi tous les indicateurs portant sur le recyclage), jugé comme étant le « meilleur » indicateur, est *in fine* basé sur l'expertise de Michaël Saidani, et confronté à une discussion et validation auprès des industriels et partenaires SCORELCA ayant suivi ce projet. Enfin, un dernier critère, permettant de « boucler » la sélection des indicateurs, est celui de la complétude du jeu d'indicateurs au regard des différents enjeux de l'économie circulaire. Le synoptique illustrant la méthode de sélection est représenté au sein de la Figure 9.

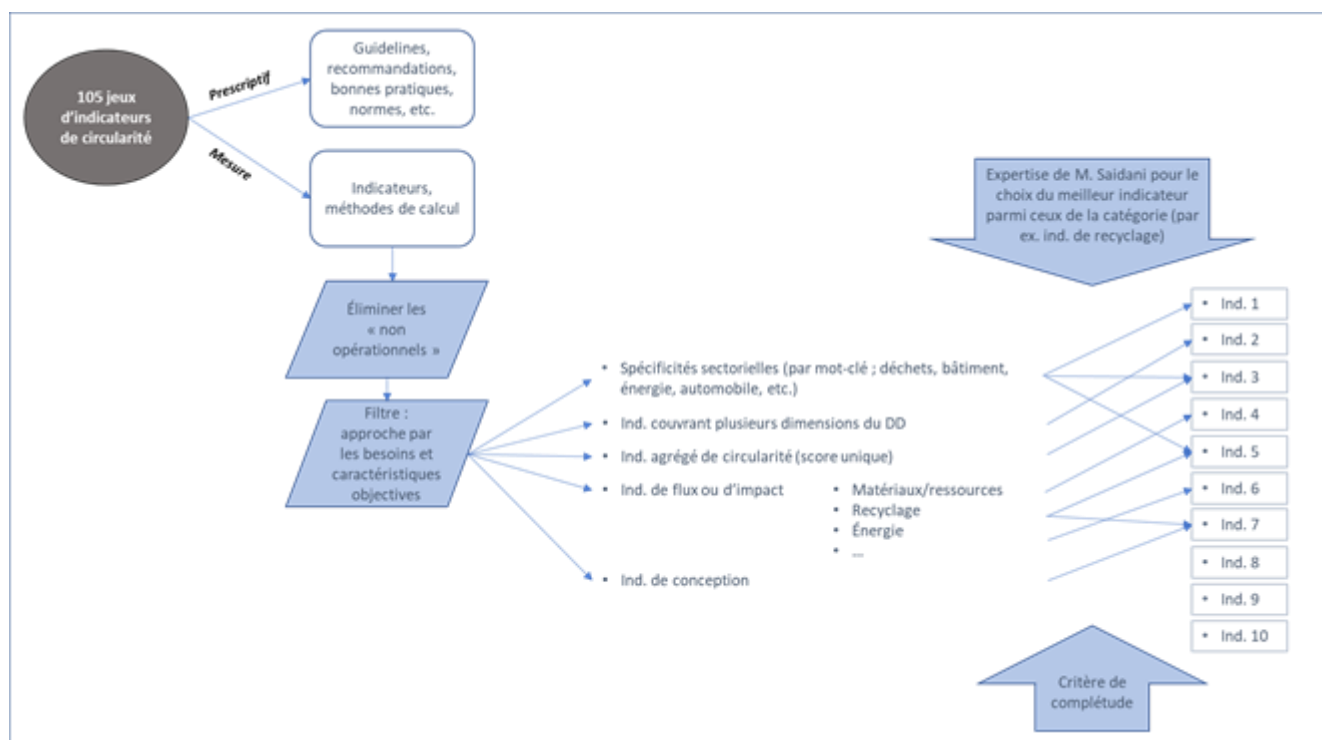


Figure 9 – Synoptique de la méthode de sélection des 10 indicateurs

4.2 Liste des indicateurs sélectionnés

Suivant le processus décrit à la sous-section précédente (méthode de sélection), est proposée ci-dessous une liste restreinte d'indicateurs classés selon les critères énoncés.

Deux indicateurs d'évaluation globale à l'échelle de l'entreprise : Circulytics et CTI

- Le *Circulytics* (outil de la Fondation Ellen MacArthur) : un outil qui vise à mesurer, via un jeu d'indicateurs, le degré de circularité d'une entreprise sur l'ensemble de ses activités. Onze thèmes sont étudiés. La circularité ainsi mesurée est classée en deux catégories : les potentiels (enablers), i.e. quels sont les leviers activés par l'entreprise pour l'EC, et les résultats (outcomes), i.e. la mesure des actions engagées sur les intrants, les matériaux, l'énergie, la réparabilité des produits, etc.).
- Le *Circular Transition Indicator* (CTI) : un outil en ligne, d'auto-évaluation de la performance de circularité d'une entreprise. Le CTI calcule dans quelle mesure une entreprise est capable de garantir des boucles de circularité de la matière dans la chaîne de valeur. La performance de circularité est une moyenne entre les pourcentages de flux entrants "circulaires" et le pourcentage de flux sortants "circulaires". Le CTI propose 3 modules : "boucler la boucle", "optimiser la boucle", et "valoriser la boucle".

Deux indicateurs d'évaluation de la circularité au niveau matière et produit : MCI et PCI

- Le *Material Circularity Indicator* (MCI) : développé par la Fondation Ellen MacArthur, est un score (compris entre 0 et 1) exprimant la recirculation de la matière. Il combine des critères de

durée de vie et d'intensité d'utilisation avec des critères de contenu en matière recyclée et de recyclabilité du produit.

- Le *Product Circularity Indicator* (PCI) : un indicateur agrégé traduisant la recirculation du produit. Il a été développé comme une version augmentée du MCI.

Un indicateur d'aide à la conception (circularité potentielle) : CCET (et deux alternatives : CEIP, CPI)

- Le *Concept Circularity Evaluation Tool* (CCET) : vise à évaluer le potentiel des produits en développement dans les premières phases du processus de conception.

Deux indicateurs de réutilisation/réemploi et d'allongement de la durée de vie des produits dans une perspective de circularité des ressources : RPI et CLI

- Le *Reuse Potential Indicator* (RPI) indique dans quelle mesure une matière doit être considérée plutôt comme une ressource ou comme un déchet en tenant compte des technologies disponibles.
- Les *Circularity & Longevity Indicators* (CLI) combinent deux approches - la fréquence (circularité) et la durée d'utilisation (longévité) des produits - pour déterminer l'efficacité des ressources.

Un jeu de 3 indicateurs de flux matière de type MFA : End-of-Life Recycling Rates (EoL-RRs)

- *End-of-Life Recycling Rate* (EoL-RR) : exprime la performance du recyclage via la proportion de matières réellement recyclées.
- *Recycled Content* (RC) : donne la part de matières "secondaires" dans le total des matières entrant dans un produit.
- *Old Scrap Ratio* (OSR) : donne la part de la fraction de matière recyclée dans le flux de recyclage.

Un indicateur de flux d'énergie : CI et Qc

- Le *Circularity Index* (CI) : exprimé par un score de la manière suivante :
 - $CI = F = \alpha\beta$, avec $\max(CI) = 1$
 - α = matière valorisée en fin de vie / demande totale en matière
 - $\beta = 1 - \text{énergie nécessaire pour la valorisation de la matière} / \text{énergie nécessaire pour la production primaire}$
- Le *Circularity of Material Quality* (Qc) : ratio qui prend en compte la qualité du recyclage via un bilan de masse et la présence de substances (lien avec *exergy* et *embodied energy*) :
 - Numérateur : économies nettes d'énergie dues au recyclage de la matière (MJ/kg)
 - Dénominateur : contenu énergétique de la matière (MJ/kg)

Un jeu d'indicateurs pour la circularité à l'échelle d'un territoire : RMFCE

- *Regional Material Flow tools for the Circular Economy* (RMFCE)

Deux indicateurs d'impacts environnementaux en lien avec l'ACV : RBR et RCBR

- Le *Recycle Benefit Rate* (RBR) et le *Recycled Content Benefit Rate* (RCBR) : tous deux indiquent les bénéfices environnementaux potentiels du recyclage comparés au non-recyclage (incinération ou enfouissement), selon une approche cycle de vie.

Des indicateur(s) d'impacts socio-économiques (en lien avec LCC et SLCA) : SEI-EoL, TCR et TCO

- Le *Socio-economic Indicator for EoL Strategies for Bio-based Products* (SEI-EoL) vise à identifier le meilleur procédé de fin de vie à appliquer à un produit biosourcé en tenant compte de l'impact socio-économique. Il est développé à partir d'un modèle intégré de processus de hiérarchie analytique et d'analyse décisionnelle multicritères basé sur la participation

d'experts, et est capable de mesurer et de comparer la performance socio-économique des alternatives fin de vie pour les produits biosourcés. Le SEI-EoL fournit une valeur finale pour chaque option de fin de vie selon une base de 25 critères relatifs aux travailleurs, aux consommateurs, à la société en général, à la communauté locale et aux acteurs de la chaîne de valeur.

- Total Circular Revenue (TCR), Total Cost of Ownership (TCO)

Afin de conserver le nombre maximal de 10 fiches, il est proposé de regrouper les indicateurs par "catégorie" (les indicateurs liés sont synthétisés au sein d'une même fiche, cf. Figure 10) :

Catégories	Indicateurs	Acronymes	Outils associés
Fiche 1 : Performance globale (corporate reporting, à l'échelle de l'entreprise)	Circulytics	Circulytics	Web-based
	Circular Transition Indicators	CTI	Web-based
Fiche 2 : Evaluation de la circularité au niveau matière	Material Circularity Indicator	MCI	Excel
Fiche 3 : Evaluation de la circularité au niveau produit manufacturé	Product Circularity Indicator	PCI	Excel
Fiche 4 : Aide à la conception (circularité potentielle)	Concept Circularity Evaluation Tool	CCET	Excel
Fiche 5 : Réutilisation/Réemploi/Allongement	Reuse Potential Indicator Circularity Longevity Indicators	RPI CLI	Formules
Fiche 6 : Flux matière (type MFA)	End-of-Life Recycling Rate Recycled Content Old Scrap Ratio	EoL-RR RC OSR	Formules
	Circularity Index	CI	
Fiche 7 : Flux d'énergie	Circularity of Material Quality	Qc	Formules
	Regional Material Flow tools for the Circular Economy	RMFCE	Formules Template Excel
Fiche 8 : Circularité d'un territoire	Recycle Benefit Rate Recycled Content Benefit Rate	RBR RCBR	Formules
Fiche 9 : Impacts environnementaux (hors ACV)	Socio-economic Indicator for EoL Strategies	SEI-EoL	Formules
Fiche 10 : Impacts socio-économiques	Total Circular Revenue	TCR	
	Total Cost of Ownership	TCO	

Figure 10 – 10 fiches associées aux indicateurs de circularité sélectionnés

4.3 Format de fiche pour la description des indicateurs de circularité

Les indicateurs sélectionnés sont transposés dans des fiches indicateurs autoportantes. Inspirées de fiches existantes et publiées dans la littérature, les nouvelles fiches ont été développées (complétées et illustrées) dans un souci didactique. Ces fiches originales sont constituées de différentes rubriques reprenant notamment les critères de classification énoncés dans la Partie 1.

Ci-après le nouveau modèle de fiche illustré au travers du MCI, qui est à ce jour l'un des indicateurs de circularité le plus utilisé, bien qu'il comporte quelques limitations. Les autres fiches sont disponibles au sein du rapport complet, et dans le format natif (PPT) pour les membres SCORELCA ("Fiche_C-indicateur_#_Nom"), ou sur demande.

Source :  &  &  - 2015

PRÉSENTATION

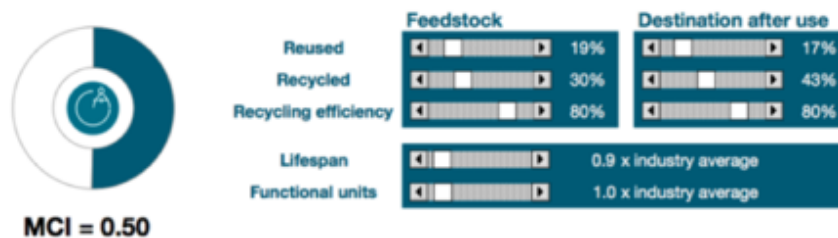
Le MCI combine les aspects de durée et d'intensité d'utilisation avec la proportion de contenu recyclé* et la répartition des matériaux recyclables dans un produit en un score unique, applicable au produit ou à l'échelle d'une entreprise. Il prend en compte les taux de recyclage et réutilisation, mesure comment les flux circulaires sont maximisés et les flux linéaires minimisés.

*contenu recyclé : matériau issu du procédé de recyclage (hors réutilisation, hors valorisation, recyclage matière uniquement)

Le MCI est une valeur entre 0 et 1, où 1 indique le plus haut niveau de circularité.

Le MCI a pour objectifs :

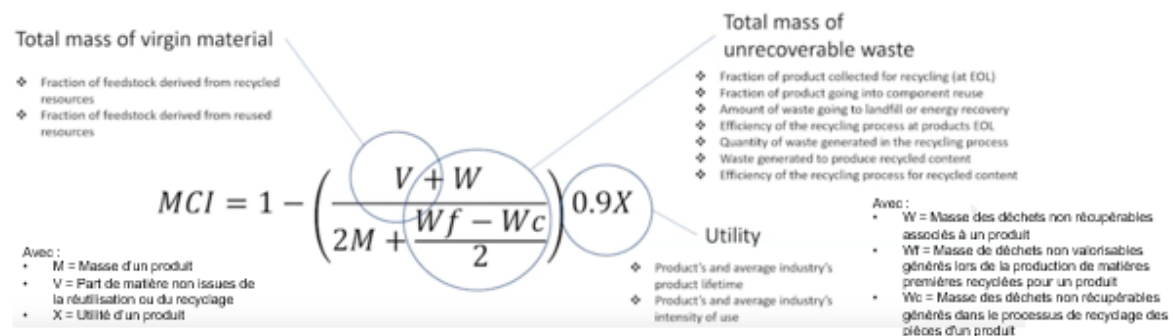
- De comparer différentes solutions de matériaux / produits
- De savoir de quelles ressources naturelles nous dépendons et dans quelle mesure



Aperçu de l'interface et du rendu

EXPRESSION ET CALCUL

Une description de chacun des éléments intervenant dans le calcul du MCI est disponible dans la documentation :



Expression générale (calcul automatique en fonction des paramètres renseignés dans l'interface)

PARAMÈTRES À RENSEIGNER

	Matière première	Destination après usage
% Réutilisé	Part de contenu réutilisé	Part de contenu réutilisable
% Recyclé	Part de contenu recyclé	Part de contenu recyclable
Efficacité du recyclage	Taux de perte lors du recyclage	Taux de perte du recyclage en fin de vie
Durée de vie	Durabilité comparée à la moyenne du marché	Compléter l'un ou l'autre de ces 2 paramètres
Unités fonctionnelles	Nombre de réutilisations comparée à la moyenne du marché	

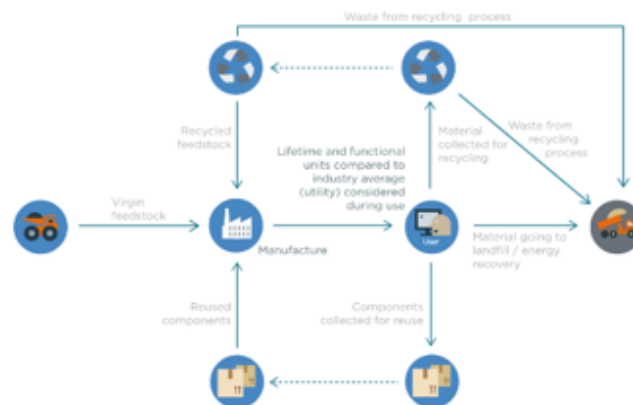
Crédits :  &  pour  - 2021

1/3

DONNÉES REQUISES

Une nomenclature détaillée est nécessaire, avec notamment les données suivantes :

- **Entrées du processus de production** : Quelle part de flux entrants proviennent de matériaux vierges, recyclés et réutilisés ?
- **Utilité pendant la phase d'utilisation** : Sur quelle durée et à quelle intensité le produit est-il utilisé en comparaison avec la moyenne des fabricants de produits similaires ?
- **Scénario de fin de vie** : Quelle part de matière va en décharge (ou récupération d'énergie), quelle part est collectée pour recyclage, quels composants sont collectés pour réutilisation ?
- **Efficacité du recyclage** : Dans quelle mesure le processus de recyclage est efficace pour produire de la matière première recyclée et pour recycler les matériaux après usage ?



Flux de matières pris en compte dans le calcul du MCI

FINALITÉ DE L'INDICATEUR

Perspective de circularité	Usage (destination)	Transversalité de l'application	Performance évaluée
<ul style="list-style-type: none"> • Effective (rétroactif) • Potentielle (proactif) 	<ul style="list-style-type: none"> • Information • Prise de décision • Communication • Education 	<ul style="list-style-type: none"> • Générique • Spécifique secteur 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacts (effets) • Intrinsèque (flux)

PÉRIMÈTRE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE COUVERT

Niveaux de mise en œuvre	Taille de la boucle	Étapes du cycle de vie impactées	Sphère de l'économie circulaire concernée
<ul style="list-style-type: none"> • Matière / Produit • Organisation / activité • Territoire 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance & durabilité • Réemploi / réutilisation • Recyclage 	<ul style="list-style-type: none"> • Conception • Production • Utilisation • Fin de vie 	<ul style="list-style-type: none"> • Technosphère • Biosphère

TRANSPARENCE

Documentation et méthodologie disponibles en téléchargement gratuit :

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/material-circularity-indicator>

Le calcul se fait à l'aide d'un fichier Excel téléchargeable gratuitement :

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/material-circularity-indicator>

POINTS FORTS ET LIMITES

+	-
Méthodologie de calcul disponible	Inclut uniquement les flux de matériaux, pas leur toxicité, CO2/énergie, rareté ni eau.
La réparation et le reconditionnement peuvent être inclus en adaptant les paramètres de durée de vie et de réutilisation, mais pas de modélisation détaillée	L'indicateur de circularité seul n'est pas suffisant, il doit être resitué dans un contexte et être utilisé avec d'autres indicateurs en complément
Indicateur facile à interpréter	Le software n'est pas en open source

POPULARITÉ

Reconnu	Intermédiaire	Marginal
---------	---------------	----------

MISE EN PERSPECTIVE DE L'INDICATEUR

Le MCI fait partie du set d'indicateurs Circulytics permettant de calculer en un score unique la performance circulaire d'une entreprise.

Le projet de recherche est en train de travailler sur la prise en compte dans le MCI des matériaux biosourcés, en adressant notamment les défis liés aux matériaux combinant biosourcé et technique, ainsi que des métriques permettant d'évaluer les risques complémentaires liés aux matériaux biosourcés.

CAS D'APPLICATION

- Exemple d'une tablette numérique

Paramètres renseignés		
	Baseline tablet	Redesigned tablet
Bill of materials	<ul style="list-style-type: none"> Plastic casing Front glass cover Electronic components 	<ul style="list-style-type: none"> Aluminium casing Front glass cover Electronic components
Mass	0.68 kg	0.74 kg
Feedstock materials	100% virgin materials 0% recycled materials 0% reused components	58.3% virgin materials 0% recycled materials 41.7% reused components
Destination after use	100% to landfill 0% to recycling 0% to reuse	58.3% to landfill 0% to recycling 41.7% to reuse

Comparaison des résultats

	Baseline tablet	Redesigned tablet
Material Circularity Indicator	0.10	0.46

LIEN AVEC L'ACV

Le logiciel GaBi propose un "circularity toolkit" intégrant le calcul du MCI :

<http://www.qabi-software.com/america/software/qabi-software/qabi-circularity-toolkit/>

http://www.qabi-software.com/uploads/media/GaBi-Circularity-Toolkit_flyer.pdf

5 Partie 3 : Liens avec l'Analyse de Cycle de Vie (ACV)

Dans cette troisième partie, il convient d'illustrer les différentes synergies et/ou conflits (compromis ou *trade-offs* en anglais) possibles entre ACV et indicateurs de circularité, et cela de façon pratique (avec des exemples concrets) pour les membres SCORELCA, comme illustré de manière schématique sur le graphe bi-dimensionnel de la Figure 11. Alors que nous adoptons le postulat que l'économie circulaire reste (ou doit rester) un moyen pour atteindre les objectifs environnementaux, sociétaux et économiques du développement durable, il serait notamment intéressant de voir quand la circularité va et ne va pas dans le sens du développement durable et quels paramètres (dans les boucles) sont critiques. On peut *a priori* imaginer 3 pistes à explorer sur les liens ACV/indicateurs de circularité :

- Les données de sortie de l'ACV (flux/mid/endpoints) sont utilisées comme données d'entrée pour le calcul d'indicateurs de circularité ;
- Un/des indicateurs de circularité sont intégrés en données de sortie de l'ACV sous forme d'indicateur flux midpoint/endpoint ;
- L'ACV est utilisée pour vérifier le bien-fondé d'un jeu d'indicateurs de circularité (à valider sur des produits connus, pour gagner du temps par rapport à la réalisation d'une ACV)

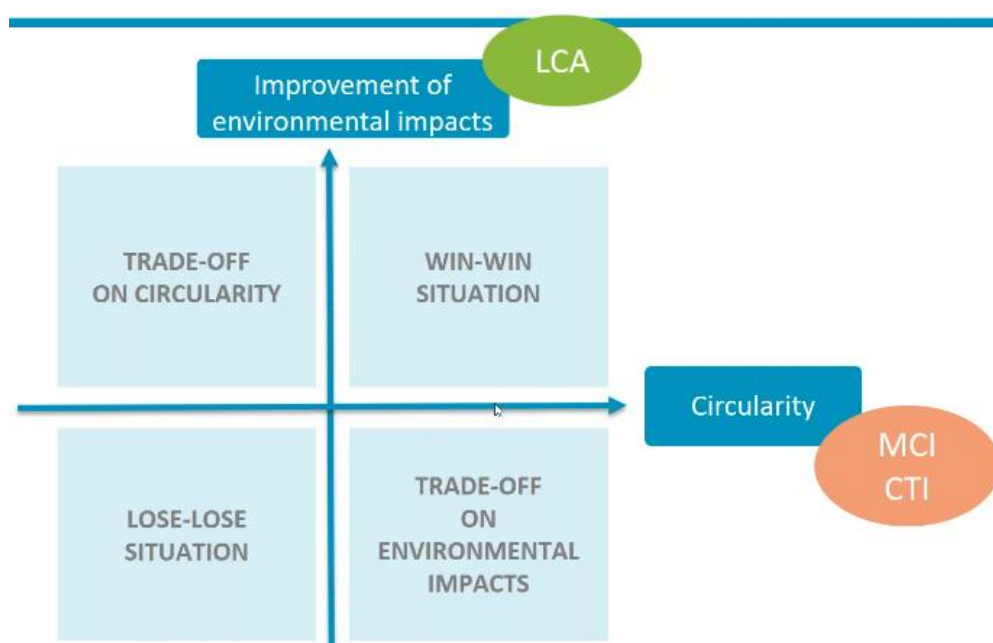


Figure 11 – Compromis potentiel entre ACV et circularité. Source : Saunier, 2019, Webinar ACLCA

5.1 Considérations générales

D'une part, l'EC se concentre sur le maintien (la préservation et l'augmentation) de la valeur des ressources pour l'économie. Ce faisant, l'EC considère également différents niveaux d'application : au niveau macro, elle se concentre sur les échanges de matières entre l'économie et l'environnement, ainsi qu'au niveau international ; au niveau structurel ou méso, l'accent est mis sur les flux de matières dans les systèmes industriels, en distinguant non seulement les catégories de matières, mais aussi les secteurs et les branches industrielles ; au niveau micro ou commercial, elle se concentre sur les entreprises et leurs produits. Les stratégies d'EC partent souvent du principe qu'il est toujours bon de conserver les ressources individuelles dans l'économie, soit en les utilisant le plus longtemps possible, soit en les faisant passer par des boucles de cycles techniques ou biologiques (Pena et al., 2021).

D'autre part, l'ACV se concentre principalement sur le niveau du produit et sur tous les impacts associés au cycle de vie du produit, c'est-à-dire non seulement sur les impacts liés à l'utilisation des matériaux et des ressources, mais aussi sur tous les impacts qui peuvent être pertinents pour une

catégorie de produits. L'ACV ne préconise aucune stratégie spécifique, mais fournit simplement un cadre d'évaluation pour comprendre les implications environnementales, sociales et économiques de différentes options pour fournir une fonction ou un service. De cette façon, l'ACV peut servir de méthodologie scientifique pour quantifier les avantages ou inconvénients de stratégies spécifiques d'EC, et aussi les occasions où le maintien des ressources dans l'économie pendant plus longtemps peut être contre-productif (par exemple, en raison des coûts d'élimination des substances toxiques contaminant ces ressources) (Pena et al., 2021 ; Saidani et al., 2019c).

En particulier, il est important de rappeler ici que chercher à maximiser la performance ou le score/taux de circularité n'est pas toujours la meilleure option en termes de coûts et énergie à déployer (p. ex., lié à la logistique inverse pour collecter tous les produits, au traitement de certains matériaux). Effectivement, atteindre une circularité de 100% est souvent incompatible avec la réalité économique industrielle actuelle, des filières de fin de vie, et des technologies disponibles. En ce sens, il convient d'utiliser et d'optimiser la performance de circularité (curseur à ajuster) comme un levier pour garantir des bénéfices économiques et environnementaux. En pratique, ces compromis entre performance économique, environnementale et de circularité sont à considérer et optimiser simultanément. Par exemple, un modèle d'optimisation mathématique (Saidani et al., 2019d) a été proposé pour trouver la ou les performance(s) de circularité maximisant le profil et minimisant l'empreinte carbone (voir la frontière de Pareto de « circular green profit » sur la figure 12).

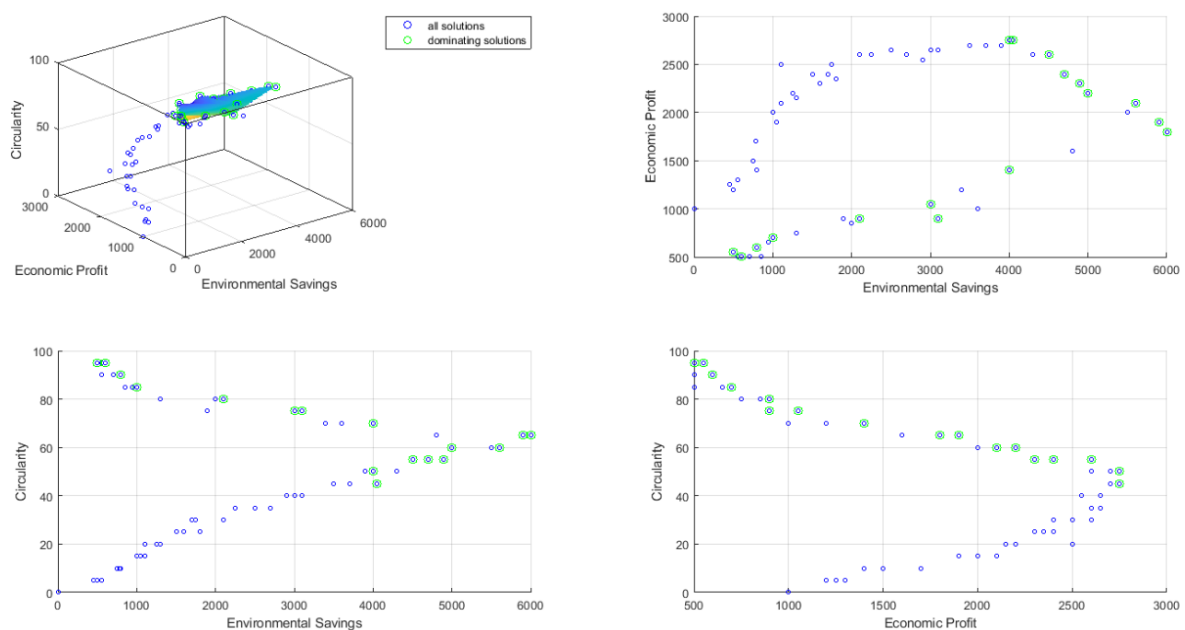


Figure 12 – Illustrations des relations et compromis entre performances de circularité, économique, et environnementale à optimiser (Saidani et al., 2019d)

5.2 Cas d'étude 1 & 2 : Comparaison ACV / EC (Saunier, 19 ; Lonca et al., 18)

Pour apporter un nouvel éclairage à la question "Les indicateurs de circularité et l'ACV fournissent-ils les mêmes résultats dans l'évaluation des stratégies circulaires ?", le CIRAIG (Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services, Polytechnique Montréal et Université du Québec à Montréal) a comparé les indicateurs de circularité et d'analyse du cycle de vie pour les stratégies d'économie circulaire sur deux études de cas industrielles : (i) l'augmentation de la circularité pour une entreprise de produits plastiques (étude de cas #1), (ii) les deux options principales de revalorisation pour des pneus usagés (étude de cas #2). Un troisième cas d'étude (Saidani et al., 2021) est disponible dans le rapport complet.

L'objectif de l'étude de cas #1 est d'évaluer la pertinence environnementale des initiatives et des stratégies pour améliorer la circularité d'une entreprise de produits plastiques : proposition de stratégies de circularité et de scénarios pour améliorer le score de circularité (MCI et CTI), évaluation du cycle de vie organisationnel et évaluation de la circularité pour mieux comprendre le lien entre la maximisation de la circularité et la minimisation des impacts du cycle de vie.

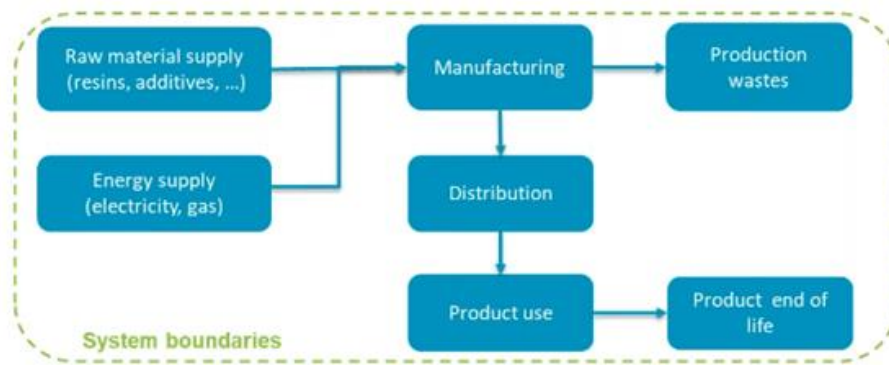


Figure 13 – Frontière du système pour le cas d'étude #1. Source : Saunier, 2019, Webinar ACLCA

Circularity strategies:

1. Baseline
2. Improving recycled content
3. Applying a closed loop business model
4. Using a blend of fossil and biobased resins (PE & TPS)
5. Using only biobased resins (bioPE)
6. Using biodegradable biobased resins (PHA and TPS) with current end of life (more than 80% landfilling)
7. Using biodegradable biobased resins (PHA and TPS) and ensuring composting at the end of life

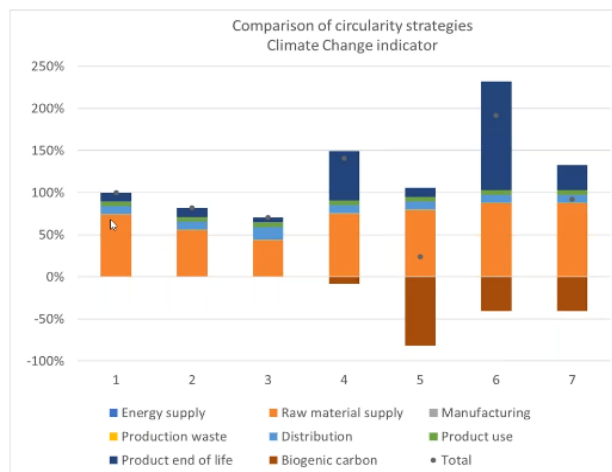


Figure 14 – Impact carbone des stratégies circulaires. Source : Saunier, 2019, Webinar ACLCA

Strategies	% circular inflow	% circular outflow	% circularity
1	3,9%	1,8%	2,8%
2	50,0%	1,8%	25,9%
3	52,8%	42,8%	47,8%
4	33,3%	1,9%	17,6%
5	89,6%	1,8%	45,7%
6	89,6%	2,2%	45,9%
7	89,6%	90,1%	90,2%

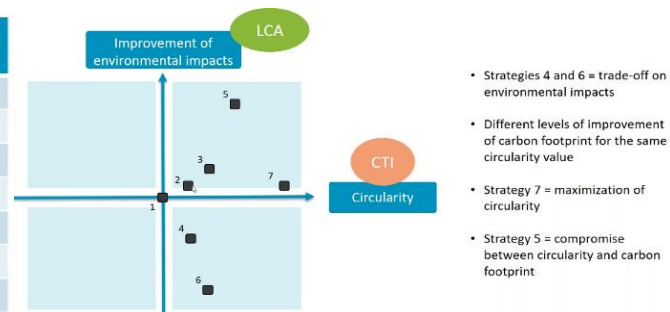


Figure 15 – Score de circularité (CTI) et compromis environnementaux. Source : Saunier, 2019, Webinar ACLCA

Comme l'illustrent les Figures 13, 14 et 15 sur le cas d'étude #1, alors que les six stratégies d'économie circulaire permettent d'augmenter sensiblement le score de circularité (dans différentes proportions), seules quatre de ces stratégies (2, 3, 5, et 7) permettent d'engendrer des bénéfices environnementaux (réduction de l'empreinte carbone). Sur ce cas d'étude, il n'y a pas de corrélation claire entre les deux indicateurs.

Pour l'étude de cas #2, Lonca et al. (2018) ont utilisé l'ACV et le MCI pour évaluer le potentiel des stratégies de gestion des pneus usagés pour (i) éviter le transfert de charge, et (ii) améliorer la circularité des matériaux. Les résultats des deux études de cas donnent un bon aperçu aux fabricants de pneus sur la façon de gérer les pneus usagés pour mieux contribuer à l'objectif de l'EC. L'étude révèle que le MCI est pertinent pour soutenir la conception circulaire afin de préserver les matériaux spécifiques qui composent le produit. Mais l'ACV fournit une perspective complémentaire sur une portée plus large en termes de limites du système et d'indicateurs complémentaires nécessaires pour mesurer l'impact sur la pollution - aidant ainsi à éviter le transfert de charge, comme illustré dans les figures 16 et 17 ci-après.



BASELINE	
Context	Brazilian haulage trucks in 2012
Functional unit	Provide haulage truck's tires for 600 000 km and manage tires EoL
Reference flows	83 tires 72 240 l Biofuel B5

Circularity strategies:

REGROOVING	RETREADING
<ul style="list-style-type: none"> • Lifetime : +30.5% • Fuel consumption : -5.4% 	<ul style="list-style-type: none"> • Lifetime (casing) : +50% • Fuel consumption : +6.8%

Figure 16 – Description du cas d'étude #2. Sources : Saunier, 2019, Webinar ACLCA ; Lonca et al., 2018.

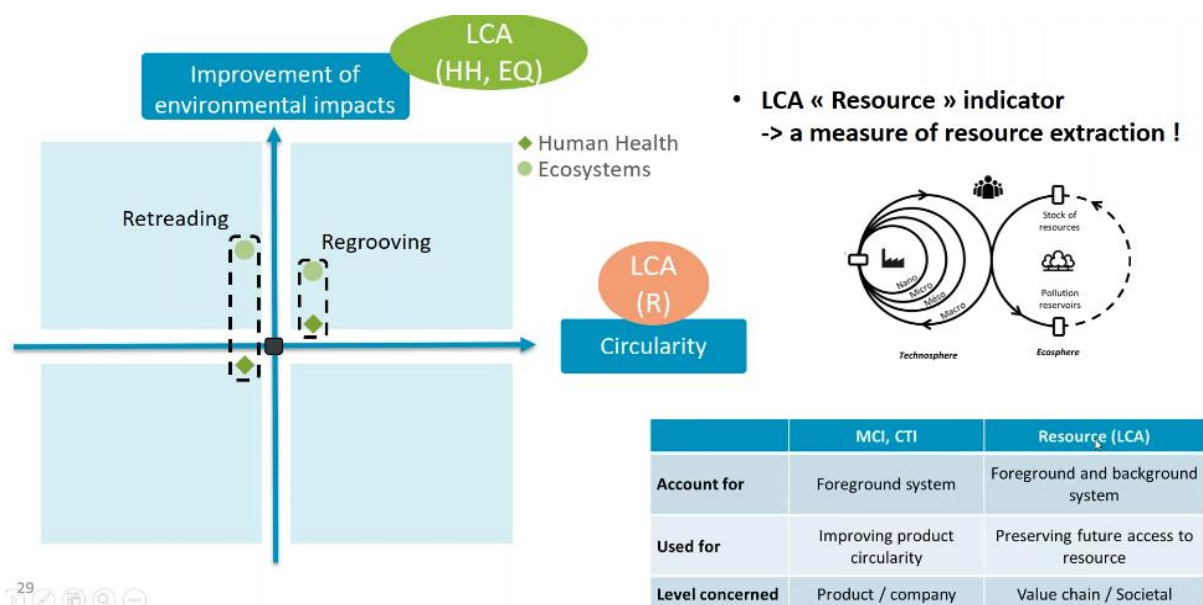


Figure 17 – Résultats pour le cas d'étude #2. Sources : Saunier, 2019, Webinar ACLCA ; Lonca et al., 2018.

6 Conclusion et perspectives

Identifier, sélectionner et déployer les indicateurs de circularité les plus appropriés est essentiel pour à la fois évaluer et améliorer la performance des produits, des entreprises et des régions dans une perspective d'économie circulaire et soutenable. Les différentes contributions, analyses et recommandations – par exemple, la base de données de plus d'une centaine d'indicateurs de circularité – peuvent servir de fondement solide pour recombinaison des indicateurs sur la base de leur complémentarité, ainsi que pour les enrichir de leurs spécificités respectives pour construire de nouveaux indicateurs répondant aux problématiques d'industriels valorisant davantage l'analyse de cycle de vie. En pratique, la méthodologie de sélection d'indicateurs de circularité, couplée au graphe bi-dimensionnel performance de circularité et impacts environnementaux, peut servir de modèle pour développer un jeu d'indicateurs, couplé à un tableau de bord, permettant de rendre compte de l'impact environnemental (lien avec l'ACV) direct et indirect (externalités) d'un projet, du potentiel de circularité des projets en phase amont et de piloter le projet en phase d'exécution. Les résultats issus de ce projet pourront également servir de contribution à la normalisation à l'ISO/TC 323 (cf. Figure 18), et une présentation de ces résultats au sein du groupe miroir « GT Metrics » de la Commission AFNOR X30M est également une perspective.

Le comité technique économie circulaire (ISO TC 323)

LE PROGRAMME DE TRAVAIL



ETUDE ECONOMIE CIRCULAIRE

07/12/2020

Figure 18 – Groupes de travail en cours pour une série de normes ISO sur la circularité. AFNOR.

Afin d'aider l'utilisateur dans la sélection d'indicateurs appropriés, un outil de requête a été développé (Saidani et al., 2019a) dans le but de rendre cette taxonomie plus facilement exploitable et opérationnelle pour, par exemple, des organisations travaillant sur des projets et stratégies de développement en lien avec l'économie circulaire et étant à la recherche d'indicateurs de pilotage. Cet outil est destiné aussi bien aux praticiens industriels (concepteurs de produits, ingénieurs en bureau d'études) qu'aux décideurs (gestionnaires de projets, responsables financiers). Par souci de simplicité d'utilisation et de diffusion, l'outil est développé sur Microsoft Excel avec l'utilisation de macros. L'outil de sélection est flexible et sera mis à jour avec les nouveaux c-indicateurs. Une version internet de cet outil est également disponible : la plateforme « The C-indicators Advisor (CIA) » (<http://www.circulareconomyindicators.com/>) est une plateforme en ligne de portée internationale développée par CentraleSupélec pour à la fois sélectionner et mettre en œuvre le(s) bon(s) indicateur(s) d'économie circulaire et débloquer et suivre les performances de circularité des produits (cf. Figure 19). C'est une plateforme gratuite mais qui demande une inscription volontaire.

Circularity Indicators _ The Advisor
Target the Right C-Indicators
Unlock the C-Potential of your Products

Home The C-Indicators Advisor (CIA) The CIA Web-based Tool The C-Potential Indicator Tool Publications Contribute Contact

The C-Indicators Advisor

Circular Economy (CE) Implementation Level

- Macro
- Meso
- Micro

CE Loops

- Maintain/Prolong
- Reman/Reuse
- Recycling
- All the Loops

CE Perspective (Retro- or Pro-)

- Potential

Material Circularity Indicator (MCI)
Scope: Materials and Products
Loops: All the Loops
Perspective: Actual (Effective)
Performance: Intrinsic (Recirculation of materials)
Format: Dynamic Excel Spreadsheet
Authors: Ellen MacArthur Foundation (2015)

Circularity Potential Indicator (CPI)
Scope: Product-centric
Loops: All the Loops
Perspective: Potential
Performance: Intrinsic (Recirculation of resources)
Format: Excel and/or Online Spreadsheet
Authors: Saidani et al. (2017)

Circular Economy Indicator Toolkit (CET)
Scope: Product and Company
Loops: All the Loops
Perspective: Potential
Performance: Intrinsic (Recirculation of resources)
Format: Web-based questionnaire
Authors: Evans and Boeken (2013)

Circular Economy Indicator Prototype (CEIP)
Scope: Product-centric
Loops: All the Loops
Perspective: Potential
Performance: Intrinsic (Recirculation of resources)
Format: Dynamic Excel Spreadsheet
Authors: Cayzer et al. (2017)

Figure 19 – Plateforme « The C-indicators Advisor (CIA) », <http://www.circulareconomyindicators.com>

7 References

1. ACLCA Webinar. (2019) Explore the use of LCA to better inform decision making in a circular economy context. CIRAIG.
2. De Oliveira, C. T., Dantas, T. E. T., & Soares, S. R. (2020). Nano and Micro Level Circular Economy Indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments. *Sustainable Production and Consumption*, Volume 26, April 2021, Pages 455-468.
3. Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Circularity Indicators – An Approach to Measure Circularity. Methodology & Project Overview*. Cowes, UK.
4. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy–A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.
5. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, 127, 221-232.
6. Kristensen, H. S., & Mosgaard, M. A. (2020). A review of micro level indicators for a circular economy–moving away from the three dimensions of sustainability?. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118531
7. Lonca, G., Muggéo, R., Tétréault-Imbeault, H., Bernard, S., & Margni, M. (2018). A bi-dimensional assessment to measure the performance of circular economy: a case study of tires end-of-life management. In *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies* (pp. 33-42). Springer, Cham.
8. Pena, C., Civit, B., Gallego-Schmid, A., Druckman, A., Caldeira-Pires, A., Weidema, B., ... & Motta, W. (2021). Using life cycle assessment to achieve a circular economy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(2), 215-220.
9. Roos Lindgreen, E., Salomone, R., & Reyes, T. (2020). A critical review of academic approaches, methods and tools to assess circular economy at the micro level. *Sustainability*, 12(12), 4973.
10. Saidani, M. (2018). *Monitoring and advancing the circular economy transition – Circularity indicators and tools applied to the heavy vehicle industry*. PhD Thesis, Université Paris-Saclay.
11. Saidani, M., Cluzel, F., Leroy, Y., Yannou, B. (2019b). Des indicateurs catalyseurs de l'économie circulaire ? *Revue Technologie et Innovation*, Vol. 19, pp. 1-19.
12. Saidani, M., Kendall, A., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F. (2019c). Closing the loop on platinum from catalytic converters: Contributions from material flow analysis and circularity indicators. *Journal of Industrial Ecology*, 23 (5), 1143-1158.
13. Saidani, M., Kim, H., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F. (2019d). Framing Product Circularity Performance for Optimized Green Profit. *Proceedings of the ASME 2019 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. Volume 4: 24th Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference, Anaheim, California, USA. August 18–21, 2019.
14. Saidani, M., Kim, H., Cluzel, F., Leroy, Y., Yannou, B. (2020). Product circularity indicators: what contributions in designing for a circular economy? *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, DESIGN2020*, 1, 2129-2138, Oct. 2020, Dubrovnik, Croatia.
15. Saidani, M., Kravchenko, M., Cluzel, F., Pigosso, D. C., Leroy, Y., Kim, H. (2021). Comparing life cycle impact assessment, circularity and sustainability indicators for sustainable design: results from a hands-on project with 87 engineering students, *ICED 21*, Aug. 2021.
16. Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., & Cluzel, F. (2017). How to assess product performance in the circular economy? Proposed requirements for the design of a circularity measurement framework. *Recycling*, 2(1), 6.
17. Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., Kendall, A. (2019a). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 207, pp. 542-559.
18. SCORELCA. (2015). *Circular Economy: Concepts and Evaluation Methods*. SCORELCA, Villeurbanne, France. Study N° 2014-02.
19. SCORELCA. (2019). *Boucles matière, boucles produites et ACV*. SCORELCA, Villeurbanne, France. Study N° 2018-02.