

Des indicateurs catalyseurs de l'économie circulaire ?

New Circularity Indicators as Enablers of the Circular Economy?¹

Michael Saidani¹, Bernard Yannou¹, Yann Leroy¹, François Cluzel¹

¹ Laboratoire Génie Industriel, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, michael.saidani@centralesupelec.fr

RÉSUMÉ. Être capable de mesurer, améliorer et piloter la performance de circularité des produits industriels est d'importance capitale dans une période de transition vers des pratiques industrielles plus circulaires, en phase avec les objectifs du développement durable. Toutefois, sans définition stabilisée de l'économie circulaire, le nombre d'indicateurs de circularité, d'ambitions inégales, est toujours croissant, créant un flou autour de leur bonne utilisation et appropriation par les praticiens industriels. Après avoir mis en exergue les bénéfices offerts par l'emploi de tels indicateurs, une revue systématique de 55 jeux d'indicateurs aboutit à une première typologie d'indicateurs de circularité, apportant ainsi une clarification sur leurs possibles usages. A partir de là, nous proposons un jeu de cinq indicateurs de circularisation pour accompagner les industriels, à un niveau micro, dans leur transition vers des pratiques plus circulaires. Ce travail suggère de futurs chantiers clés pour évoluer vers une économie circulaire, de manière effective, efficiente et durable.

ABSTRACT. Managing the circularity performance of technical products is of utmost importance in a context of transition to more circular industrial practices that are in line with the objectives of sustainable development. Yet, in the absence of a stabilized definition of circular economy, a growing number of inconsistent circularity indicators have been recently developed, leading to some ambiguity in their use and implementation by industrialists. Through a systematic analysis of a set of 55 circularity indicators, a classification is proposed to bring clarification as to their appropriate use. We then propose a synthetic set of five indicators to accompany industrial practitioners in their transition towards more circularity. We suggest key avenues for future research to evolve towards a circular economy in an effective, efficient and sustainable way.

MOTS-CLÉS. Economie circulaire, circularité, mesure, indicateurs, conduite du changement, application industrielle.

KEYWORDS. Circular economy, circularity, measure, indicators, transition, change management, industrial application.

1. Contextualisation – Une économie circulaire en transition

1.1. Entre facilitateurs, verrous actuels et clés potentielles d'une circularité augmentée

« De combien l'économie mondiale est-elle circulaire ? » est la traduction littérale d'un article paru dans *Journal of Industrial Ecology* en 2015 par Haas et al. [HAA 15]. S'il est

¹ Cet article est connexe et complémentaire à une publication dans *Journal of Cleaner Production* [SAI 19] présentant en détail la construction et le contenu d'une classification ordonnée d'indicateurs de circularité. Cet article utilise cette typologie pour orienter vers les indicateurs les plus propices à piloter la circularité de produits techniques et des pratiques industrielles. Cet article discute et illustre comment certains indicateurs peuvent être mobilisés comme outils de transition vers une économie plus circulaire.

maintenant admis qu'une transition vers des pratiques industrielles plus circulaires est primordiale dans le contexte social, économique et environnemental actuel [FEL 16], il n'est pas possible d'exprimer sur une échelle le degré de transition vers une économie circulaire (EC) des entreprises, collectivités territoriales, ou États. Ce qui est certain, c'est que l'économie européenne ou même mondiale – dont le degré de circularité est estimé à 6 % [HAA 15 ; HAG 17] – est encore loin d'une économie totalement circulaire. Au-delà des mesures législatives mises en place, par exemple par la Commission Européenne, il est important de s'interroger sur les outils, moyens et indicateurs nécessaires à la construction une économie circulaire durable et contrôlée.

Une économie linéaire, classique, se résume en la succession des verbes « extraire, fabriquer, distribuer, consommer, jeter ». A l'inverse, une économie circulaire préconise un bouclage des flux de matières en favorisant la maintenance, la réparation, la réutilisation ou encore le recyclage. Cette dernière est à l'évidence plus économique, elle permet d'espérer décorrérer croissance économique et consommation de ressources non renouvelables. Cela apparaît de plus en plus comme « la bonne chose à faire », dans une perspective de développement durable, auprès des institutions, entreprises et universitaires [GEL 13] [CE 14]. La mise en place de pratiques d'économie circulaire paraît en effet pertinente dans la réalisation des objectifs du développement durable [SCH 18]. En outre, dans son manifeste pour une (r)évolution industrielle, [FEL 16] analyse les leviers que l'industrie peut activer en vue de s'inscrire dans une démarche d'innovation pérenne, pour répondre aux défis complexes du développement durable tout en y intégrant des aspects technologiques, opérationnels et managériaux. L'économie circulaire y est vue comme une alternative économique de premier plan à mettre au cœur du secteur industriel, accompagnée des deux ingrédients suivants : l'économie de la connaissance et l'état d'esprit entrepreneurial.

Toutefois, entreprendre et mettre en œuvre des pratiques circulaires est moins aisé que la simplicité d'un cercle ne le laisserait paraître. Effectivement, bien que le paradigme d'économie circulaire attire de plus en plus l'attention des industriels, universitaires et politiciens, [DUR 17] et [KAS 18] mettent en évidence les caractères interprétables et incomplets de sa définition et de son opérationnalisation ainsi que la complexité d'une telle transition dans la mesure où elle implique des transformations simultanément à plusieurs échelles : aux niveaux micro (produits, processus de l'entreprise), méso (organisation de la filière, création et partage de la valeur, symbioses industrielles) et macro (enjeux nationaux et globaux). Ainsi, bon nombre d'acteurs et praticiens industriels ont besoin d'être accompagnés dans cette transition. Institutions politiques, organismes privés et laboratoires de recherche s'accordent alors sur le besoin de développer des outils, méthodes et instruments de mesures pour faciliter, superviser et évaluer l'évolution vers une économie circulaire, ainsi que les conséquences induites par ce changement de modèle économique [FEM 15] [CE 15].

Alors que la transition vers une économie davantage circulaire est ralentie par divers obstacles, évoqués fréquemment dans la littérature, [VOY 17] s'intéresse au rôle des gouvernements pour lever ces derniers afin de catalyser et structurer cette transition. Au niveau de la politique française, l'Article 69 du Titre IV de la loi pour la transition énergétique de 2015 [LOI 15] précise que le Gouvernement doit soumettre au Parlement, tous les cinq ans, « une stratégie nationale de transition vers l'économie circulaire, afin d'utiliser

plus efficacement les ressources stratégiques en volume ou en valeur et de dégager les actions nécessaires pour protéger l'économie française ». La définition d'objectifs quantifiés et réalistes, au travers d'indicateurs appropriés, apparait alors comme un levier clé de la réussite et de la validation des stratégies d'économie circulaire.

La transition vers une EC peut s'effectuer au travers de stratégies multiples mais nécessite en particulier le développement, la promotion et l'utilisation de nouvelles approches, méthodes et outils, aussi bien technologiques que managériaux [FEL 16]. Des modèles d'affaires innovants – incluant des modèles dits circulaires, durables et en boucle fermée – apparaissent comme le moteur du mouvement et la clé du succès vers cette EC [LEW 16] [OGH 18]. Perçus au cœur de l'EC, ces modèles d'affaires circulaires doivent être accompagnés, pour être effectifs, d'une (re)conception de produits et de chaînes de valeur permettant le bouclage des flux en facilitant la maintenance, la récupération, la réutilisation, le désassemblage, le reconditionnement et le recyclage. Il convient également d'évaluer la performance de ces nouveaux modèles d'affaires comparée à celle des modèles linéaires plus traditionnels, c'est-à-dire leurs dimensions économiques et leurs supposés bénéfices environnementaux. Des indicateurs de circularité peuvent alors servir, en principe, de mesures et d'objectifs pour le pilotage du changement vers une économie circulaire. Il s'agit là de l'objectif de notre article.

Une première difficulté est qu'il n'existe pas, à ce jour, de définition normalisée, ni même stabilisée de l'EC (p. ex. un article paru en 2017 dans la revue internationale *Resources, Conservation and Recycling* recense et analyse 114 définitions de l'EC [KIR 17]). Et même si toutes ces définitions de l'EC partagent de nombreux points communs, tendent à se formaliser et convergent vers un même paradigme, en l'absence actuelle de définition stabilisée et reconnue par tous de la notion d'EC, la quantité d'indicateurs prétendant évaluer une certaine « circularité » se multiplie. Cela dit, jusqu'à présent, il n'existe aucun indicateur, méthode, ou outil établi officiellement permettant de mesurer dans sa totalité l'efficacité d'une organisation dans sa transition d'un modèle économique linéaire à un modèle circulaire [CE 15] [FEM 15]. Dans la prolifération actuelle de nouveaux indicateurs développés par les académiques, consultants et pouvoirs publics, il devient important de se demander (i) en quoi ces indicateurs servent-ils à aller vers des pratiques plus circulaires ; et plus particulièrement : (ii) dans quelles mesures et sous quelles conditions certains indicateurs peuvent-ils être mobilisés comme outils de gestion et d'aide à la décision au moment de la conception, du développement et du pilotage de stratégies ou projets de transition vers une économie circulaire ?

1.2. Méthodologie et synopsis de l'article

Les matériels et méthodes déployés pour fournir des éléments de réponses pertinents aux questions ci-dessus sont les suivants :

- un état de l'art des outils et indicateurs développés par les chercheurs académiques, les consultants, ainsi que par certaines entreprises et institutions publiques ;
- une analyse systématique de ces indicateurs au regard, entre autres, des composantes et définitions de l'EC, de leurs utilisations possibles et améliorations potentielles ;

- une première proposition de typologie d’indicateurs de circularité, tirée par les usages, afin de faciliter la sélection et l’utilisation d’indicateur(s) approprié(s) à un besoin ;
- une expérimentation et analyse critique – individuelle puis en groupe lors d’un atelier de travail réunissant une dizaine de jeunes chercheurs lors d’une école doctorale d’été EcoSD – de plusieurs indicateurs de circularité à un niveau micro, sur un cas d’étude industriel.

La contribution principale de cet article, dont le synopsis est illustré *Figure 1*, est axée sur l’intérêt de l’emploi de certains jeux d’indicateurs (et outils associés) comme vecteur de transition vers une économie plus circulaire à un niveau micro – produits, composants, matériaux et processus de l’entreprise. Des aspects théoriques de l’utilité des indicateurs, ainsi que leurs implications managériales et éducatives sont décrits, au travers d’indicateurs de circularité existants et d’exemples d’applications.

Après avoir fait part de l’engouement et du besoin actuel (*section 2.1*) autour de cette nouvelle catégorie d’indicateurs, dits de circularité (*section 2.2*), les fonctions et avantages variés de l’utilisation de tels indicateurs seront indiqués, tout en mettant en exergue leurs usages potentiels au service de l’EC. Cette partie se termine par un état du grand nombre d’indicateurs de circularité développés depuis 2010 et disponibles en 2018.

Une certaine clarté sera apportée sur les 55 jeux d’indicateurs de circularité recensés, tous niveaux confondus. Avec une focalisation au niveau micro de l’EC, il s’agira de savoir quels indicateurs peuvent être utilisés comme outils de conduite du changement et de management de la transition. Tout d’abord, une relation entre (i) le nombre grandissant d’indicateurs de circularité d’ambitions et périmètres inégaux, et (ii) la diversité des définitions de l’EC sera discutée (*section 3.1*). Cela débouchera sur l’émergence d’une classification entre ces indicateurs, résumée au sein d’une première proposition de typologie d’indicateurs de circularité (*section 3.2*).

Notre attention se portera au niveau micro (*section 4.1*) – c’est-à-dire à l’échelle des processus industriels et de la circularité des produits industriels. Nous discuterons l’intérêt d’utiliser certains indicateurs (*section 4.2*) à un niveau opérationnel et managérial dans le but d’accompagner les praticiens industriels dans l’activation et le suivi de leurs projets d’EC. Bien que complexe, gérer la circularité des produits industriels est un point de grande importance dans cette transition. Et l’adoption du découpage de l’EC en trois niveaux systémique [GHI 16] fait ici sens pour traiter un concept aussi vaste qu’est celui de l’économie circulaire et des indicateurs associés – tout en gardant en tête que des liens entre ces trois niveaux systémiques sont essentiels pour éviter des effets rebonds, ou transferts d’impacts, et ainsi mesurer effectivement la circularité de produits et systèmes dans leur globalité [ARN 16].

Pour finir, cet article ouvrira (*section 5*) sur certains enjeux importants et perspectives futures pour mener au mieux cette transition comme les conditions d’adoption des indicateurs de circularité par les praticiens, ainsi que sur des recommandations pour le nouveau développement d’indicateurs complémentaires.

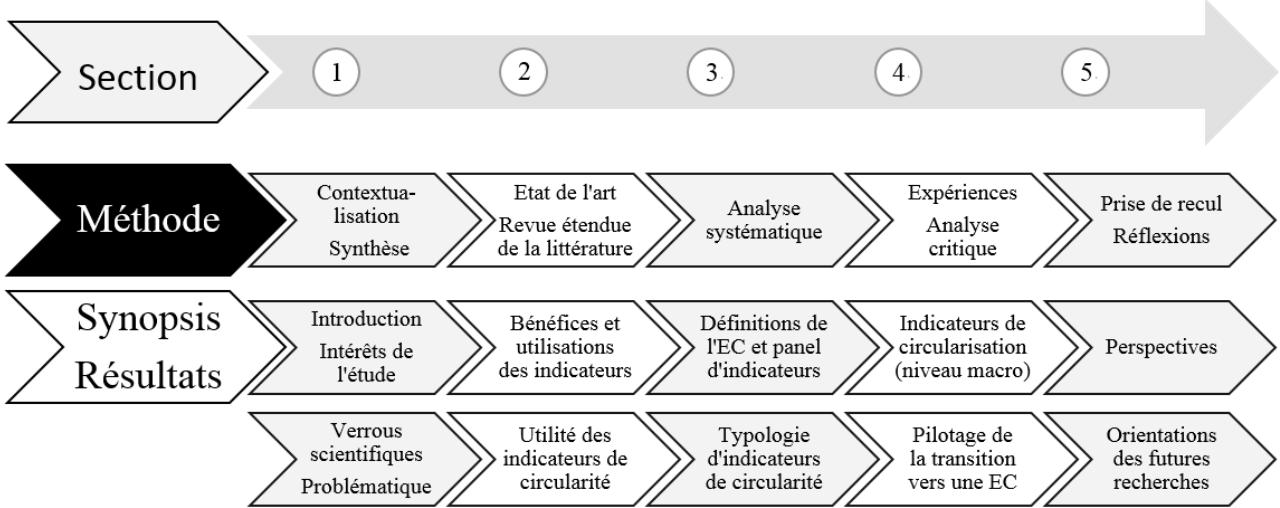


Figure 1. Méthodologie, structure et articulation de l'article

2. Etat de l'art et rôle des indicateurs dans le développement de l'économie circulaire

2.1. Vers un besoin grandissant et reconnu d'indicateurs de circularité

Un rapport de la Commission Européenne, daté du 2 Décembre 2015 à Bruxelles, mentionne que « dans le but de mesurer le progrès vers une économie plus circulaire et l'efficacité des actions aux niveaux européen et des nations membres, il est important de posséder un ensemble d'indicateurs fiables » [CE 15]. Le Titre IV de la loi pour la transition énergétique de 2015 en France [LOI 15] intitulée « lutter contre les gaspillages et promouvoir l'économie circulaire : de la conception des produits à leur recyclage » définit plusieurs objectifs en phase avec la transition vers une économie circulaire (p. ex. « réduire de 50 % les quantités de produits manufacturés non recyclables mis sur le marché avant 2020 »). Afin de réaliser, attendre et valider ces objectifs quantifiés, il convient d'être en mesure d'évaluer la circularité à des échelles plus locales, ceci dans différents secteurs industriels.

Pour [HAA 15], il est en effet important de déterminer l'état actuel de la circularité dans l'optique de disposer d'un point de référence pour suivre les améliorations et témoigner de l'effet des efforts individuels ou collectifs dans cette transition. En vue de déterminer les niveaux actuels de circularité, un modèle simple des flux de matières à l'échelle de l'économie mondiale a été réalisé. Au sein de ce modèle, le degré de circularité de l'économie mondiale, considérant la part de matériaux réellement recyclés parmi le total des matériaux mis en forme (sur l'année 2005), est évalué à seulement 6 %. Quand 66 % des matières transformées ont quitté l'économie mondiale sous forme de déchets et d'émissions, 27 % ont été ajoutées aux stocks de bâtiments, d'infrastructures et à d'autres biens et produits à longue durée de vie.

L'agence européenne pour l'environnement [AEE 16] tente d'améliorer cette estimation de circularité pour lui permettre de répondre à des questions telles que : La consommation de matières premières diminue-t-elle en termes absolus ? La conception prend-elle en compte la réutilisation et le recyclage ? La proportion de substances dangereuses dans les produits

diminue-t-elle ? Les produits sont-ils utilisés plus souvent, ou pendant de plus longues périodes ? Les matériaux conservent-ils leur valeur ou bénéficient-ils d'un recyclage de haute qualité ?

En outre, institutions politiques, industriels et chercheurs s'accordent sur le besoin de mesurer cette circularité à plusieurs niveaux systémiques. Par exemple, dans le milieu académique et universitaire, en 2016, le numéro 145 de *la Revue de l'OFCE* consacre une partie importante à s'interroger sur « quels indicateurs pour l'économie circulaire ? » en y publiant trois articles : un premier apporte une réflexion sur les fondements d'un indicateur de circularité pour une économie authentiquement circulaire dite permacirculaire [ARN 16] ; un second, à une échelle plus meso, s'intéresse à la mesure de l'économie circulaire à une échelle territoriale [KAM 16] ; et un troisième, plus macro, traite des indicateurs de l'économie circulaire en Chine [AUR 16].

2.2. Quid de l'intérêt des indicateurs ? Pour quels usages ? Pour quels acteurs ?

Le substantif indicateur est défini par l'organisation de coopération et de développement économiques [OCD 14] comme une grandeur quantitative ou qualitative fournissant un moyen simple et fiable de mesurer le progrès, de refléter les changements liés à une intervention et d'évaluer la performance des composantes du développement. L'intérêt principal des indicateurs réside dans leur capacité à résumer la grande complexité de notre environnement dynamique afin de concentrer et communiquer une quantité d'information significative. Cela fait sens au regard de l'économie circulaire quand on sait la complexité technique, scientifique et organisationnelle de ce paradigme – multi-échelles et impliquant de nombreuses parties prenantes tout au long du cycle de vie [FEM 13].

De plus, les indicateurs sont également un moyen de mesurer le changement et peuvent donc être utilisés pour accompagner l'évolution vers une EC [CAY 17], en réalisant une ou plusieurs des fonctions (complémentaires ou supplémentaires) suivantes : évaluation de la performance de circularité (réutilisation de ressources, perte de ressources), performance de durabilité (économique, environnementale, sociale), déplacements d'impacts (directs et indirects), arbitrages, différentiation, gestion, amélioration, optimisation, aide à la décision [ARN 16] [ELI 17]. Enfin, la prise en compte des indicateurs de circularité et de leurs impacts (environnementaux, sociaux) dans la responsabilité sociale des entreprises (RSE) est un enjeu stratégique (par exemple pour mesurer l'atteinte des objectifs de réduction de l'empreinte environnementale) [FEL 16].

En plus des répercussions (détaillées en *section 3.1*) de l'absence de définition stabilisée de l'EC sur la multiplicité des indicateurs dits de circularité disponibles, une des difficultés de leur mise en œuvre réside dans le fait que certains indicateurs sont plus à même d'être utilisés comme moyens et outils de :

- management de la transition et de conduite du changement dans l'entreprise, par exemple lors d'une mesure du progrès au regard de l'EC ;
- comparaison, par exemple lors d'un benchmarking ou diagnostic industriel ;
- pilotage des opérations, par exemple lors du suivi des stratégies et projets d'EC mis en place ;

- aide à la décision, par exemple lors des phases de conception et développement de produits et services ;
- éducation ou de sensibilisation en interne, par exemple pour les concepteurs, ingénieurs ou marketeurs et faciliter l’acquisition de savoirs et compétences liés à l’EC ;
- communication publique, par exemple pour diffuser une bonne image ou comme avantage concurrentiel.

Il est vrai que depuis 2015, un nombre considérable d’indicateurs dits de circularité a vu le jour – plus de 50 jeux d’indicateurs de circularité ont été identifiés lors notre état de l’art, et recensés au sein de la typologie proposée – mesurant chacun une ou plusieurs composantes de l’économie circulaire, de manière plus ou moins explicite, et ce pour différents acteurs et utilisations possibles [CE 15] [FEM15] [AZE 17] [ELI 17] [SAI 17a]. Notons une différentiation de ces indicateurs avec ceux de l’éco-conception [SCH 11] dans la mesure où la pensée systémique, tout au long du cycle de vie, y est accrue (incluant en plus des phases de conception et développement – propres à l’éco-conception – les modèles d’affaires circulaires, la logistique inverse et activités de recyclage ou autres options de fin de vie [FEM 13]). D’où la nécessité de clarifier cette multitude d’indicateurs de circularité possibles, à un moment où le concept d’économie circulaire n’est pas figé et n’a pas de définition unique.

3. Des indicateurs de circularité aux multiples facettes

3.1. Entre flou et utilité dans une nébuleuse d’indicateurs

Le manque de consensus et de convergence sur une définition de l’EC, principalement lié à la variété des champs épistémologiques d’où l’EC tire son origine et des controverses autour de ces derniers [SAC 18], se retrouve dans la multitude d’indicateurs de circularité développés en conséquence ces dernières années. En effet, la difficulté de trouver une définition commune provient notamment du fait que l’EC a été fondée sur des bases différentes. Il s’agit ici de comprendre les différentes définitions de l’économie circulaire au regard des jeux d’indicateurs de circularité disponibles aujourd’hui. En considérant l’emploi varié de ces indicateurs, avoir accès à une multitude d’indicateurs peut sembler utile, voire nécessaire, à condition bien entendu d’être réellement conscient de ce que tel indicateur mesure, pour quelle(s) application(s), utilisateur(s), etc. La juxtaposition des diverses utilisations possibles des indicateurs, couplée avec les différentes composantes de l’EC, a conduit à une distinction classifiée et organisée entre ces indicateurs. Cela a ainsi fait émerger une première proposition de typologie d’indicateurs de circularité. Le but étant, à terme, d’être en mesure d’identifier quels indicateurs de circularité, ou plus précisément de circularisation, sont les plus propices à catalyser et superviser cette transition, notamment à l’échelle micro de l’EC, afin de faciliter leurs sélections et usages appropriés par les praticiens industriels.

L’analyse des 114 définitions de l’EC effectuée par [KIR 17] fournit une preuve tangible que l’EC signifie différentes choses selon différents acteurs. Par exemple, pour certains, l’EC est réduite à la pratique du recyclage, alors que d’autres la décrivent par une combinaison des activités de mitigation, réutilisation et recyclage. Après analyse et synthèse de ces 114 définitions, ils proposent une sorte de méta-définition de l’EC qui semble

pertinente pour notre étude. L'économie circulaire y est définie comme un système économique substituant la notion de « fin de vie » aux activités de réduction, récupération, réutilisation, recyclage et valorisation dans les processus de production, distribution et usage. Elle opère à un niveau micro (produits, entreprises, consommateurs), meso (symbioses industrielles) et macro (ville, région, pays et au-delà) avec l'objectif d'accomplir un développement durable, par la création simultanée d'un environnement de qualité, d'une prospérité économique et d'une équité sociale, aux bénéfices des générations actuelles et futures. Elle est mise en place, puis activée par de nouveaux modèles d'affaires, une consommation responsable et une implication politique [KIR 17]. Ce cadre de l'EC peut être considéré comme une définition de type plus grand dénominateur commun dans le sens où elle agrège les principales composantes et thèmes récurrents de l'EC, orientant ainsi la définition de catégories pour classifier les indicateurs de circularité.

Il n'est bien entendu pas question ici de réduire ou d'assimiler l'EC à un ensemble d'indicateurs, mais de montrer que certains indicateurs de circularité, bien choisis, peuvent servir à accompagner et accélérer l'opérationnalisation des pratiques d'EC. En raison du flou actuel autour des définitions de l'EC, il s'agit d'apporter de la clarté sur ce que les indicateurs de circularité existants mesurent, afin de faciliter le pilotage de l'EC par les indicateurs les plus appropriés. Les thèmes récurrents de l'EC que l'on retrouve au travers du prisme de [KIR 17] servent donc ici de support pour définir de façon pertinente et justifiée les catégories #1 à #4 de la taxonomie proposée ci-après (*section 3.2*).

Des premières distinctions et classifications apparaissent alors entre indicateurs de circularité. D'une part, la *catégorie #1* de la typologie présentée au *Tableau 1*, différencie ces indicateurs de circularité selon leur considération des trois niveaux systémiques de l'EC. D'autre part, la *catégorie #2* caractérise ces indicateurs selon leur prise en compte ou non de la recirculation des ressources au sein des différentes boucles de maintenance, de réutilisation, de reconditionnement ou de recyclage.

Ensuite, les interrogations posées par [POT 16], autour de la mesure du progrès et de la transition vers une économie circulaire, permettent de compléter cette différenciation entre indicateurs de circularité. Il y paraît nécessaire d'évaluer les progrès *ex-ante*, *durante* et *ex-post* du processus de transition, justifiant ainsi la *catégorie #3*, témoin du caractère statique ou dynamique des indicateurs. Une évaluation *ex-ante* est pertinente pour explorer si les transitions proposées ont effectivement le potentiel de produire les effets souhaités. L'évaluation *durante* est importante pour contrôler si un processus de transition vers une EC suit la route prévue et conduit aux effets désirés. Les évaluations *ex-post* devraient déterminer si les effets du processus de transition vers l'EC sont conformes aux objectifs fixés et s'ils sont le résultat des activités de transition et des réalisations accomplies ou s'ils ont été produits par des facteurs externes.

Aussi, le suivi des progrès vers une économie circulaire devrait aborder à la fois le processus de transition (connaissances, rôle de l'innovation, stratégies de circularité, entrepreneuriat, technologies) et ses effets (valeur ajoutée, conséquences pour l'environnement). D'où la *catégorie #4*, différenciant (i) une performance de circularité intrinsèque – correspondant au degré de bouclage inhérent, par exemple, à un produit ou à une chaîne de valeur industrielle ; et (ii) une circularité conséquentielle – correspondant aux

impacts économiques, environnementaux et/ou sociaux des boucles de l'EC, incluant les coûts et les ressources nécessaires pour effectuer ces bouclages.

3.2. Une première typologie des indicateurs de circularité et son outil de recherche associé

En plus des 4 premières catégories propres aux caractéristiques et composantes de l'EC (énoncées *section 3.1*), 6 autres catégories complètent et définissent une première typologie d'indicateurs de circularité, tirée par les usages et besoins de mesure de l'EC, afin de faciliter l'identification d'indicateurs les plus appropriés à un contexte. Notamment, en phase avec leurs différentes utilisations, la *catégorie #5* permet d'orienter l'utilisateur vers le jeu d'indicateurs correspondant à des objectifs précis (management de la transition, pilotage, communication, éducation...) distinguant notamment les indicateurs orientés sur l'action des indicateurs orientés sur l'information [LÜT 17]. Par analogie avec les classifications d'outils d'éco-conception [ROU 17], le caractère transversal ou spécifique des indicateurs est retracé via la *catégorie #6*. Les indicateurs dits génériques ont vocation et l'avantage d'être applicables à différents secteurs industriels, alors que les indicateurs dits spécifiques ont un champ d'application plus réduit mais peuvent fournir des réponses plus opérationnelles. Les *catégories #7* et *#8* précisent la dimensionnalité et le caractère quantitatif ou qualitatif des indicateurs de circularité existants, indiquant ainsi plusieurs niveaux d'intelligibilité pour, par exemple, différents acteurs pouvant être experts ou novices en matière d'économie circulaire. Pour faciliter leur mise en œuvre, certains indicateurs sont intégrés au sein d'outils en ligne ou de feuilles de calcul dynamique (*catégorie #9*). Enfin la *catégorie #10* classe ces indicateurs en fonction de leur développement par des chercheurs universitaires, praticiens industriels ou institutions politiques. Toutes les catégories permettant le choix d'indicateurs les plus pertinents à une situation sont synthétisées au sein du *Tableau 1*.

Catégories (critères)	#1 - Niveaux (<i>micro, meso, macro</i>)	#2 - Bouclages (<i>maintenance, réutilisation, recyclage</i>)	#3 - Perspective (<i>effective, potentielle</i>)	#4 - Performance (<i>intrinsèque, conséquentielle</i>)	#5 - Usages (<i>p. ex. amélioration, comparaison, communication</i>)
	#6 - Transversalité (<i>générique, spécifique</i>)	#7 - Dimension (<i>simple, multiple</i>)	#8 - Unités (<i>quantitatif, qualitatif</i>)	#9 – Format (<i>p. ex. outil en ligne, feuille de calcul, formules</i>)	#10 - Sources (<i>académiques, entreprises, organismes</i>)

Tableau 1. Les 10 catégories de la typologie d'indicateurs de circularité proposée

Au total, 55 ensembles d'indicateurs de circularité – développés entre 2010 et début 2018 et utilisés par les académiques, entreprises industrielles, cabinets de consultants, organisations environnementales et agences gouvernementales – ont été recensés et classifiés au sein de ces 10 catégories. Puis, de manière à orienter les utilisateurs vers les indicateurs de circularité les plus appropriés à leurs contextes et besoins, nous avons

développé une base de données et un outil de recherche sur tableur [SAI 18]. Agissant comme un système expert, huit questions sont posées en entrée de l'outil : (i) niveau d'implémentation de l'EC ; (ii) perspective (retro- ou pro-) ; (iii) performance ; (iv) boucles de circularité ; (v) dimensionnalité ; (vi) usages et objectifs ; (vii) transversalité ; (viii) format. En sortie, les indicateurs adaptés à la situation sont identifiés et les informations suivantes sont affichées : (i) nom de l'indicateur ; (ii) principe de fonctionnement ; (iii) détails sur le niveau systémique ; (iv) détails sur le type de circularité ; (v) détails sur la dimensionnalité et les unités ; (vi) données nécessaires pour calculer l'indicateur ; (vii) utilisations possibles ; (viii) auteurs et références ; (ix) lien d'accès à l'indicateur, *via* son outil ou article associé en ligne.

Pour information, plusieurs exemples d'indicateurs sont disponibles au sein du *Tableau 2*, selon le découpage micro (parmi les 21 indicateurs recensés à ce niveau), méso (14) et macro (17) de l'EC.

Niveaux	Applications	Exemple n°1	Exemple n°2	Exemple n°3
Macro	Villes, Régions, Nations	Evaluation of CE Development in Cities (ECEDC) [LI 10]	Regional CE Development Index (RCEDI) [GUO 11]	National CE Indicator System (NCEIS) [GEN 12]
Méso	Inter-Entreprises, Symbioses	Sustainable Circular Index (SCI) [AZE 17]	Circular Economic Value (CEV) [FOG 17]	Circle Assessment (CA) [CIR 14]
Micro	Produits, Matériaux	Circular Economy Indicator Prototype (CEIP) [CAY 17]	Product-Level Circularity Metric (PCM) [LIN 17]	Material Circularity Indicator (MCI) [FEM 15]

Tableau 2. Exemples d'indicateurs de circularité, classés selon la catégorie #1 de la typologie proposée

Il ne s'agit pas ici de décrire en détail ou de passer en revue l'intégralité des 55 jeux d'indicateurs de circularité, mais d'utiliser cette typologie dans l'optique de discuter de cas concrets d'utilisation d'indicateurs appropriés pour accompagner et superviser le progrès, ainsi que d'orienter vers des perspectives de développement d'indicateurs futurs. En nous concentrant sur les indicateurs au niveau micro, on débouchera sur l'identification et la proposition d'un ensemble clair d'indicateurs de circularité adaptés aux praticiens industriels (concepteurs, ingénieurs, managers) pour intégrer – évaluer, améliorer et gérer – la prise en compte de la performance potentielle de circularité lors des phases de conception et développement de produits industriels.

4. Pilotage de la circularité des produits et des pratiques industrielles

4.1. Les indicateurs de circularisation à l'échelle micro

Du côté de la technosphère et à un niveau micro de l'EC, une vingtaine de jeux d'indicateurs de circularité – inventoriés par ordre alphabétique dans l'*Encadré 1* – ont été identifiés, regroupés et différenciés *via* la typologie proposée.

Building Circularity Indicators (BCI) ; Circular Economy Index (CEI) ; Circular Economy Indicator Prototype (CEIP) ; Circular Economy Performance Indicator (CEPI) ; Circular Economy Toolkit (CET) ; Circular Pathfinder (CP) ; Circularity Calculator (CC) ; Circularity Index (CI) ; Circularity Potential Indicators (CPI) ; Closed Loop Calculator (CLC) ; Eco-efficient Value Ratio (EVR) ; End-of-Life Recycling Rates (EoL-RRs) ; Input-Output Balance Sheet (IOBS) ; Material Circularity Indicator (MCI) ; Material Reutilization Part (C2C) ; Product-Level Circularity Metric (PCM) ; Recyclability Benefit Rate (RBR) indicator ; Recycling Indices (RIs) for the CE ; Recycling Rates (RRs) ; Resource Duration Indicator (RDI) ; Reuse Potential Indicator (RPI)

Encadré 1. Indicateurs de circularité à un niveau micro de l'économie circulaire

Parmi ces 21 ensembles d'indicateurs, 20 sont génériques dans le sens où ils peuvent être appliqués à un grand panel de produits ; composants et matériaux industriels afin d'évaluer leur performance de circularité. Le dernier est réservé à une utilisation industrielle précise : le BCI qui est une version spécifiée du MCI – indicateur à la base générique et développé par la Fondation Ellen MacArthur – pour le secteur du bâtiment et de la construction. D'autre part, 14 ont été développés dans le milieu académique, 4 par des cabinets de consultants, 2 dans le cadre de projets européens et 1 par une entreprise industrielle. Des analyses critiques et expérimentations plus poussées de ces indicateurs au travers de cas d'études industriels sont disponibles [AZE 17] [ELI 17] [SAI 17a] [WAL 18]. Pris individuellement, la plupart de ces indicateurs présentent bien des limites : certains sont peu clairs, discutables ou ne conduisent pas à des décisions intelligibles ou entièrement justifiées dans la mesure où ils échouent à rendre compte de la performance de l'économie circulaire dans son intégralité. Par exemple, pour le MCI [FEM 15], en se plaçant uniquement à l'échelle des matériaux contenus dans les produits, de nombreux aspects nécessaires pour tendre effectivement vers un modèle plus circulaire ne sont pas inclus dans cet indicateur. Citons, entre autres, la modularité, la facilité de désassemblage, la maintenance préventive des produits que l'on peut considérer comme facilitateurs d'une économie circulaire, ou encore, les liens entre le réseau d'acteurs, la logistique inversée et les technologies connectées souvent mentionnées comme éléments indispensables d'une économie circulaire effective. Autre exemple, malgré les quelques points forts du CEIP – comme sa facilité d'utilisation et sa rapidité de mise en œuvre même pour des acteurs non spécialistes en économie circulaire – les auteurs [CAY 17] reconnaissent que l'interprétation de l'indicateur au travers d'un score unique cache la réelle complexité de l'économie circulaire, ainsi qu'un engagement superficiel avec les preneurs de décisions.

Somme toute, il est clair que certains indicateurs ont des caractéristiques et qualités que d'autres n'ont pas. D'où l'intérêt de combiner ces indicateurs – sous réserve de leur bonne association et complémentarité – pour considérer de façon plus systémique les différentes facettes de l'EC, afin d'englober sa réelle complexité, ou de les employer dans des cas d'utilisations plus précis afin de répondre à des besoins spécifiques, locaux ou ponctuels et ainsi accompagner les acteurs industriels dans leur transition vers des modèles plus circulaires. Au travers de l'analyse systématique des 21 indicateurs au niveau micro de l'EC, il apparaît que la majorité de ces indicateurs retrouvent une circularité statique en régime établi. Néanmoins, il ressort de cette typologie 5 indicateurs de circularisation, accompagnant la phase de transition à une échelle de production industrielle, pour lesquels nous nous intéressons plus particulièrement au sein de ce numéro spécial portant sur la transition vers une économie circulaire [BOL 17]. Nous évoquerons également la possibilité d'un continuum – *a priori* plus adéquat pour un mouvement durable vers cette économie circulaire – entre indicateurs potentiels et effectifs, intrinsèques et conséquentiels, au travers de l'illustration d'un secteur industriel.

4.2. Utilisation et applicabilité de ces indicateurs dans la gestion de la transition vers l'EC

Nous proposons de détailler, dans cette sous-partie, un ensemble clair de 5 jeux d'indicateurs de circularisation conçus principalement pour le pilotage et l'amélioration des performances de circularité dans les pratiques et processus industriels lors des étapes de conception et développement de produits : le CET, le CP, les CPI, le RDI et le RPI (acronymes détaillés dans l'*Encadré 1*).

Tout d'abord, le CET [EVA 13] est un outil d'évaluation rapide relié à des indicateurs semi-quantitatifs indiquant les potentiels d'améliorations circulaires d'un produit à trois niveaux – fort, moyen et faible. Déployant un questionnaire ternaire couvrant l'ensemble du cycle de vie, il analyse les produits et services vendus par une entreprise et donne des conseils sur les domaines d'amélioration potentielle, en phase avec le paradigme d'EC, au sein d'une organisation concevant produits et services. Le CP, développé en 2017 dans le cadre du projet européen ResCoM [RCM 17] et également disponible gratuitement en ligne, permet d'identifier en quelques minutes le(s) chemin(s) circulaire(s) les plus propices à un produit donné. En effet, selon un questionnaire dynamique interrogeant les caractéristiques du produit (matériaux, technologies, durée de vie, marché) et les stratégies commerciales qui y sont associées, le CP fournit des recommandations parmi les 8 options de circularité suivantes : allongement de la durée de vie, mise à niveau, réutilisation, réparation, reconditionnement, remise à neuf, recyclage, biodégradation. Sans donner plus de précisions et conseils d'améliorations, ces deux outils et indicateurs associés permettent toutefois d'obtenir rapidement une première tendance des opportunités et zones d'améliorations.

Les CPI [SAI 17b] visent aussi à évaluer le potentiel de circularité de produits industriels ainsi qu'à fournir des clés pour l'amélioration et le suivi de la circularisation de ces produits lors des phases de conception, de re-conception ou de benchmarking (comparaison avec d'autres produits concurrents). En particulier, ces indicateurs cherchent à aller plus loin en proposant des informations quantifiées à différents niveaux d'intelligibilité des composantes de l'EC, suivant une approche verticale – décrite au sein du *Tableau 3* – tirée par l'objectif initial de circularité. Au sommet de la pyramide est défini un indicateur de performance clé

(IPC) de haut niveau. Décomposant le concept d'EC selon ses 4 composantes clés (conception circulaire, modèle d'affaires circulaire, logistique inverse, facilitateurs et conditions favorables) au sens de la Fondation Ellen MacArthur [EMF 13], 4 indicateurs précisent leurs contributions dans le score global de circularité potentielle. A la base de ce système de notation, un score est donné aux 5 attributs précisant chacune des composantes clés de l'EC (donc 20 attributs au total), évaluées sur plusieurs questions associées à une échelle de Likert.

Approche descendante	Dimensions	Types	Intelligibilité	Objectifs	Destinataires, utilisateurs
Score de circularité	Score unique (indice agrégé de 4 indicateurs)	Indicateur clé	Haute, intuitif	Communication, prise de décision stratégique	Haute direction, administration, politiciens
Composantes de base de l'EC	Système de notation à 4 dimensions	Indicateurs de pilotage et de suivi	Moyenne, accessible	Pilotage, contrôle	Responsables, chefs de projet
Attributs des composantes de base	5 attributs pour chacune des 4 composantes de base	Indicateurs d'action	Faible, vision expert	Analyse et recherche d'amélioration	Ingénieurs, concepteurs, chercheurs, experts métier

Tableau 3. Approche descendante du développement d'indicateurs de circularité (ex. de [SAI 17b])

Le CET et les CPI (ainsi que le MCI et le CEIP) ont été expérimentés une demi-journée, lors de l'école doctorale EcoSD « Eco-design of Complex System » en 2017, sur un cas d'étude industriel, dans le but d'évaluer le potentiel de circularité d'un composant clé de l'industrie des véhicules lourds et d'y apporter des solutions d'améliorations. Il a notamment été demandé aux 12 participants : (i) de critiquer la pertinence de ces indicateurs au regard de leur utilisation pour des praticiens industriels et (ii) de suggérer d'autres usages propices de ces indicateurs. Bien qu'ayant mentionné leur facilité et rapidité de prise en main, leur trop grande généricité a été notée comme un possible frein à une amélioration spécifique, plus poussée et opérationnelle d'un composant donné lors des phases de conception et de développement propres à chaque industriel. Aussi, leur simplicité de mise en œuvre (comparée aux outils d'évaluation environnementale par exemple) a été soulignée comme un point positif, permettant l'utilisation de ces indicateurs – associés à leurs outils digitalisés (en ligne ou sur une feuille de calcul dynamique) – dans un cadre éducatif (formation scolaire initiale ou continue en entreprise) pour introduire de manière illustrée et concrète la complexité du paradigme d'EC et faciliter l'acquisition de nouvelles compétences.

L'indicateur de performance de longévité RDI [FRA 16] apparaît comme un indicateur complémentaire dans cette mesure de (re)circularisation évaluant la contribution du maintien d'un matériel au sein des flux bouclés propres à l'EC par la considération des trois aspects suivants : longévité initiale, longévité augmentée par le reconditionnement et la

réutilisation, longévité augmentée par le recyclage. Sa mesure est en effet composée de ces trois composantes complémentaires : la durée de vie initiale, la durée de vie gagnée grâce au reconditionnement et la durée de vie gagnée grâce aux activités de recyclage. Cet indicateur est particulièrement en phase avec la définition de l'EC de la Commission Européenne [CE 14] « où la valeur des produits, matériaux et ressources est maintenue le plus longtemps possible dans le système économique ». Quant au RPI [PAR 14], il indique à quel degré un matériau inclus dans un composant ou produit est propice à être réutilisé comme ressource ou à devenir un déchet selon les technologies disponibles. En ce sens, il permet de quantifier par un ratio la réutilisation technique des matériaux utilisés lors de la conception d'un produit. Il sert ainsi à renseigner objectivement les praticiens quant au potentiel de recircularisation, dans le commerce, des matériaux de leurs produits, selon les capacités techniques existantes. Selon les auteurs [PAR 14], en dépit de leur valeur intrinsèque, certains matériaux sont « éliminés » parce que nous ne savons pas comment les réutiliser. Effectivement, ce qui détermine la possibilité de réutilisation pour un matériau est l'étendue des connaissances techniques accumulées à son sujet. Et concrètement, ce qui va transformer ce potentiel de circularité est le partage, l'application et la bonne mise en œuvre de ces connaissances et savoir-faire, tout en favorisant l'innovation technologique en faveur de la réutilisation pour augmenter ce potentiel de recircularisation. En ce sens, ces nouveaux indicateurs de circularité permettent de piloter des projets avec objectifs de circularité et d'orienter la prise de décision afin de catalyser la transition vers des pratiques plus circulaires.

5. Discussion et perspectives – Pistes pour une circularité intégrée, opérationnelle et durable

Dans la mise en place de stratégies, pratiques ou projets d'économie circulaire à échelle industrielle, il paraît de plus en plus utile d'évaluer la performance de circularité des produits et composants. L'utilisation d'indicateurs de circularité apparaît comme une solution pratique et pertinente pour y arriver. En effet, sans métrique il est difficile de tirer des conclusions quantitatives parlantes, tout en gardant à l'esprit qu'avec la mauvaise métrique il est possible de tirer des conclusions inappropriées et de choisir des actions menant à des effets non désirés ou à des résultats trompeurs, notamment lors de la prise de décisions. Ainsi, cet article contribue à faire le point à un instant t (c'est-à-dire au début de l'année 2018) sur les indicateurs existants (plus de 50 indicateurs recensés tous niveaux confondus) et de clarifier leurs utilisations possibles au travers d'un début de typologie, notamment dans l'objectif de faciliter leur sélection et mise en œuvre au sein de pratiques industrielles évoluant vers plus d'EC.

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. Le processus de transition vers une EC consiste en effet en des moyens, des activités et des réalisations [POT 17] organisationnelles, managériales et technologiques. 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. D'autre part, le contrôle des réalisations indique si les activités ont effectivement mené aux effets et changements initialement recherchés. [POT 17] rappelle également qu'une grande partie de cette information est

difficile à mesurer et doit être fournie par et pour les acteurs de la chaîne de valeur en question. Un produit conçu pour l'économie circulaire est différent de celui développé en économie linéaire en ayant une considération accrue de la fin de vie lors des phases de conception et développement, de modèles d'affaires innovants, du réseau d'acteurs et des logiques de logistique inverse. Ces évolutions complexifient la tâche des concepteurs [BOL 17] et posent la question d'un éventuel réajustement des méthodologies de conception [AIT 13] afin d'être en adéquation avec ce paradigme d'économie circulaire. 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'EC, il existe un fossé notable entre les indicateurs développés par les universitaires et leur (faible) utilisation 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 au sein de la présente taxonomie 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 ou la construction d'indicateurs nouveaux.

Dans ce sens, en supplément des critères guidant le développement d'indicateurs, sous les acronymes anglophones de RACER (pertinence, acceptabilité, crédibilité, facilité, robustesse) ou de SMART (spécifiques, mesurables, réalisables, pertinents et limités dans le temps), [BRG 08] fournit des recommandations quant à la bonne définition d'indicateurs en général. Le défi étant de trouver ou développer des indicateurs de performance qui soient utiles tout au long du cycle de vie, du site de production à la fin de vie. Il est également souligné [BRG 08] l'importance que les indicateurs soient utiles aux parties prenantes dans le cadre de la prise de décision, en donnant des directions et en étant associés à des objectifs. Plus spécifiquement sur les indicateurs de circularité, la Commission Européenne [EC 17] a émis des directives pour la mise en place d'indicateurs à un niveau macro pour évaluer les progrès de l'Union Européenne vers la réalisation des objectifs du développement durable par le biais de stratégies d'EC. A une échelle plus micro [SAI 17a], des spécifications sont proposées pour le bon développement de futurs indicateurs mesurant la performance de circularité de produits industriels.

En pratique, bien que nous ayons montré qu'une grande variété d'indicateurs a 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. Les champs d'applications sont vastes – par exemple industries aéronautique, aérospatiale, automobile, de l'énergie, textile – et la généricité de la plupart des indicateurs de circularité existants à l'échelle micro peut être, dans une première approche, un point positif à leur mise en oeuvre. Toutefois, en s'intéressant par exemple au secteur des véhicules lourds et légers [SAI 17c], les indicateurs utilisés (quand ils le sont) et communiqués par les principaux constructeurs, pour mesurer et communiquer leur progrès vers des pratiques d'EC, sont des indicateurs spécifiques, alignés avec leurs pratiques, leurs marchés, en régime établi (c'est-à-dire statique et mesuré à une échéance annuelle par exemple) et reflétant surtout la fin de vie de leurs produits. Ces indicateurs semblent néanmoins très utiles pour définir des objectifs quantifiés de progrès en phase avec l'EC.

Par exemple, l'entreprise Caterpillar a, grâce à une base évaluée à 2 millions de composants remanufacturés chaque année, comme objectif de développement durable d'augmenter de 20 % les ventes de pièces reconditionnées. Pour le Groupe Renault, chez qui l'EC est un des trois objectifs de *leadership* – au même niveau que les défis technologiques que sont le véhicule électrique et les véhicules autonomes sans chauffeur – on trouve des indicateurs de circularité intrinsèques comme le nombre de composants remanufacturés et remis en circulation, évalués à 15 000 moteurs annuels à l'usine de Choisy le Roi. Un autre point intéressant, dans les indicateurs communiqués par Renault, est qu'ils incluent les conséquences environnementales de cette circularité, comme les 80 % d'énergie économisée, pour un moteur reconditionné, comparée à la fabrication de pièces d'origines.

Enfin, s'il semble que ces indicateurs de circularité – que l'on peut considérer comme des heuristiques ou des IPC 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'Analyse de Cycle de Vie, dans l'orientation de prises de décisions soutenables au sens du développement durable [WAL 18], il reste à fournir des preuves tangibles que ces indicateurs sont en corrélation avec un mieux économique, environnemental et/ou sociétal. Il convient 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, jaugeant ainsi la circularité conséquentielle des boucles de circularité existantes et vérifiant (ou non) la compatibilité de l'équation économie circulaire avec celle du développement durable. Dans cette perspective, effectuer un bouclage entre indicateurs de circularité et indicateurs de performances économiques, environnementales et sociales, apparaît comme un axe de travail important pour de futures recherches.

Bibliographie

- [AEE 16] AGENCE EUROPEENNE POUR L'ENVIRONNEMENT (AEE), « More from Less – Material Resource Efficiency in Europe », 151 p., Copenhague, Danemark, 2016.
- [AIT 13] AÏT-EL-HADJ S., « Éco-conception et méthodologie de conception, quelle convergence ? », *Marché et organisations*, n° 17, p. 31-50, 2013.
- [ARN 16] ARNSPERGER C., BOURG D., « Vers une économie authentiquement circulaire : Réflexions sur les fondements d'un indicateur de circularité », *Revue de l'OFCE*, 2016, vol. 145, n° 1, p. 91-126, 2016.
- [AUR 16] AUREZ V., GEORGEAULT L., « Les indicateurs de l'économie circulaire en Chine », *Revue de l'OFCE*, vol. 145, n° 1, p. 127-160, 2016.
- [AZE 17] AZEVEDO S.G., GODINA R., MATIAS J. C. O., « Proposal of a Sustainable Circular Index for Manufacturing Companies », *Resources*, n° 6, p. 1-24, 2017.
- [BOL 17] BOLDRINI J.-C., ANTHEAUME N., « Appel à communication : Conduire la transition vers l'économie circulaire », *Revue Technologie et Innovation*, 2017.
- [BRG 08] BRGM, « Etude bibliographique sur les indicateurs de l'Ecologie Industrielle », Document de travail, Groupe de travail ARPEGE, BRGM/RP-56698-FR, Décembre 2008.
- [CAY 17] CAYZER S., GRIFFITHS P., BEGHETTO V., « Design of indicators for measuring product performance in the circular economy », *International Journal of Sustainable Engineering*, n° 10, p. 289-298, 2017.

- [CE 15] COMMISSION EUROPÉENNE (CE), « Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy », EU-COM (2014) 398, Bruxelles, 2015.
- [CE 17] COMMISSION EUROPÉENNE (CE), « Development of a Monitoring Framework for the Circular Economy », Department Directorate-General for Environment, Roadmap, Bruxelles, 2017.
- [CIR 14] CIRCLE ECONOMY AND PGGM, « Circularity Assessment for Organizations: Draft Indicators v. 0.2 », 2014.
- [DUR 17] DURAND M., BAHERS J.-B., BERAUD H., « La mise en territoire de l'économie circulaire : comment mettre en oeuvre la proximité dans la circulation des déchets ? », *Géocarrefour*, n° 91/3, p. 1-22, 2017.
- [ELI 17] ELIA V., GNONI M.G., TORNESE F., « Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis », *Journal of Cleaner Production*, n° 142, p. 2741–2751, 2017.
- [FEL 16] FELEZEU T., « Manifeste pour une évolution industrielle », *Revue Technologie et Innovation*, n° 16/1, p. 1-17, 2016.
- [FEM 13] FONDATION ELLEN MACARTHUR (FEM), « Towards the Circular Economy – Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition », Cowes, UK, 2013.
- [FEM 15] FONDATION ELLEN MACARTHUR (FEM), « Circularity Indicators – An Approach to Measure Circularity. Methodology & Project Overview », Cowes, UK, 2015.
- [FOG 17] FOGARASSY C., KOVÁCS A., HORVÁTH B., BÖRÖCZ, M., « The development of a circular evaluation (CEV) tool », *Hungarian Agricultural Engineering*, n° 31. p. 10-20, 2017.
- [FRA 16] FRANKLIN-JOHNSON E., FIGGE F., CANNING L., « Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance », *Journal of Cleaner Production*, n° 133, p. 589-598, 2016.
- [GEL 13] ALAIN G., « Economie Circulaire : Notions, Fiche Technique », ADEME Angers, Direction Consommation durable et déchets, Octobre 2013.
- [GEN 12] GENG Y., FU J., SARKIS J., XUE B., « Towards a national circular economy indicator system in China: An evaluation and critical analysis », *Journal of Cleaner Production*, n° 23, p. 216–224, 2012.
- [GHI 16] GHISELLINI P., CIALANI C., ULCIATI S., « A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems », *Journal of Cleaner Production*, n° 114, p. 11-32, 2016.
- [GUO 11] GUO-GANG J., « Empirical Analysis of Regional Circular Economy Development », *Energy Procedia*, n° 5, p. 125–129, 2011.
- [HAA 15] HAAS W., KRAUSMANN F., WIEDENHOFER D., HEINZ, M., « How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the World in 2005 », *Journal of Industrial Ecology*, n° 19, p. 765-777, 2015.
- [HAG 17] HAGELÜKEN C., « Strategies to manage future resource needs », G20 Resource Efficiency Dialogue, Berlin, 28 November 2017.
- [KAM 16] KAMPELMANN S., « Mesurer l'économie circulaire à l'échelle territoriale : Une analyse systémique de la gestion des matières organiques à Bruxelles », *Revue de l'OFCE*, vol. 145, n° 1, p. 161-184, 2016.
- [KAS 18] KASMI F., « Le milieu “éco-innovateur” - Écologie industrielle et diversification de l'économie territoriale », *Revue Technologie et Innovation*, n° 18/3, p. 1-17, 2018.
- [KIR 17] KIRCHHERR J., REIKE D., HEKKERT M., « Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions », *Resources, Conservation and Recycling*, n° 127, p. 221-232, 2017.
- [LEW 16] LEWANDOWSKI M., « Designing the business models for circular economy – Towards the conceptual framework », *Sustainability*, 8(1), p. 43-71, 2016.

- [LI 10] LI H., BAO W., XIU C., ZHANG Y., HONGBIN XU H., « Energy conservation and circular economy in China's process industries », *Energy*, n° 35, p. 4273-4281, 2010.
- [LIN 17] LINDER M., SARASINI S., VAN LOON P., « A Metric for Quantifying Product-Level Circularity », *Journal of Industrial Ecology*, n° 21, p. 545–558, 2017.
- [LOI 15] LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, JORF n°0189, p. 14263, 18 août 2015.
- [LÜT 17] LÜTZKENDORF T., BALOUKTSI M., « Assessing a Sustainable Urban Development: Typology of Indicators and Sources of Information », *Procedia Environmental Sciences*, 38, p. 546-553, 2017.
- [MOI 14] LE MOIGNE R., *L'économie circulaire. Comment la mettre en œuvre dans l'entreprise grâce à la reverse supply chain ?*, Paris, Dunod, 2014.
- [OCD 14] ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES (OCDE), “Measuring and managing results in development cooperation”, Novembre 2014.
- [OGH 18] OGHAZI P., MOSTAGHEL R., « Circular Business Model Challenges and Lessons Learned – An Industrial Perspective », *Sustainability*, n° 10(3), p. 739-758, 2018.
- [PAR 14] PARK J., CHERTOW M., « Establishing and testing the "reuse potential" indicator for managing wastes as resources », *Journal of Environmental Management*, n° 137, p. 45-54, 2014.
- [PLA 15] PLANING P., « Business model innovation in a circular economy Reasons for non-acceptance of circular business models », *Open journal of business model innovation*, n° 1, p. 1-11, 2015.
- [POT 16] POTTING J., HEKKERT M., WORRELL E., HANEMAAIJER A., « Circular Economy: Measuring innovation in product chains », PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, 2016.
- [RCM 17] RESOURCE CONSERVATIVE MANUFACTURING PROJECT (RESCom), « Circular Pathfinder », disponible en ligne : <https://rescomd58.eurostep.com/idealco/pathfinder/>
- [ROU 17] ROUSSEAUX P., GREMY-GROS C., BONNIN M., HENRIEL-RICORDEL C., BERNARD P., FLOURY L., STAIGRE, G. VINCENT, P., « “Eco-tool-seeker”: A new and unique business guide for choosing ecodesign tools », *Journal of Cleaner Production*, 151, p. 546-577, 2017.
- [SAC 18] SACCHI HOMRICH A., GALVÃO G., GAMBOA ABADIA L., CARVALHO M., « The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways », *Journal of Cleaner Production*, n° 175/20, p. 525-543, 2018.
- [SAI 17a] SAIDANI M., YANNOU B., LEROY Y., CLUZEL F., « How to Assess Product Performance in the Circular Economy? Proposed Requirements for the Design of a Circularity Measurement Framework », *Recycling*, n° 2(1), p. 6-24, 2017.
- [SAI 17b] SAIDANI M., YANNOU B., LEROY Y., CLUZEL F., « Hybrid top-down and bottom-up framework to measure products' circularity performance », International Conference on Engineering Design, Vancouver, Canada, 2017.
- [SAI 17c] SAIDANI M., YANNOU B., LEROY Y., CLUZEL F., « Heavy vehicles on the road towards the circular economy: Analysis and comparison with the automotive industry », *Resources, Conservation and Recycling*, n° 135, p. 108-122, 2017.
- [SAI 18] SAIDANI M., YANNOU B., LEROY Y., CLUZEL F., « Circularity Indicators: The Advisor », Proceedings of the ASME 2018 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, IDETC/CIE 2018, Quebec, Canada, 2018.
- [SAI 19] SAIDANI M., YANNOU B., LEROY Y., CLUZEL F., KENDALL A., « A taxonomy of circular economy indicators », *Journal of Cleaner Production*, n° 207, p. 542-559, 2019.
- [SCH 11] SCHIESSER P., *Éco-conception : Indicateurs. Méthodes. Réglementation*, Dunod, Paris, 2011.
- [SCH 18] SCHROEDER P., ANGGRAENI K., WEBER U., « The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals », *Journal of Industrial Ecology*, à paraître, 2018.

[VOY 17] VOYER-POITRAS S., « Vers un cadre politico-juridique structurant pour catalyser la transition du Québec vers l'économie circulaire », Essai, Maitrise en environnement, Université de Sherbrooke, Septembre, 2017.

[WAL 18] WALKER S., COLEMAN N., HODGSON P., COLLINS N., BRIMACOMBE L., « Evaluating the Environmental Dimension of Material Efficiency Strategies Relating to the Circular Economy », *Sustainability*, n° 10(3), p 666-680, 2018.