Piloter la circularité et la soutenabilité des organisations – Focus sur quelques briques du Cockpit Digital Circulaire

Bernard Yannou[a], Michael Saidani [a, b], Ghada Bouillass[a], Erwan de Bantel[a], Lauren Durivault[a,c], Marija Jankovic[a]

[a] *Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, Laboratoire Genie Industriel, 91190 Gif-sur-Yvette, France*

[b] *Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), RDI unit on Environmental Sustainability Assessment and Circularity (SUSTAIN), 4362 Esch-Belval Esch-sur-Alzette, Luxembourg*

[c] *General Electric Medical Systems, 283 Rue de la Minière, 78530 Buc, France*

Auteur correspondant : bernard.yannou@centralesupelec.fr

Nous nous sommes donnés pour objectif de permettre aux organisations industrielles et territoriales de piloter leur circularité dans le but d'améliorer leur soutenabilité par une approche de gestion des données, de définition d'indicateurs, de conception et mise en œuvre de plans d'action, et d'adoption d'une gouvernance adaptée.

Ainsi, sur le périmètre d'une organisation, soit une entreprise sur sa chaine de valeur ou soit une collectivité territoriale (communauté d'agglomération) sur son territoire, nous contribuons à développer un cadre dit de « Cockpit Digital Circulaire » (CDC, [1-3]) composé de briques méthodologiques et logicielles permettant d'outiller un processus IDAR : Information / Décision / Action / Résultat (Fig. 1), impliquant les acteurs internes et externes de l'organisation concernée.

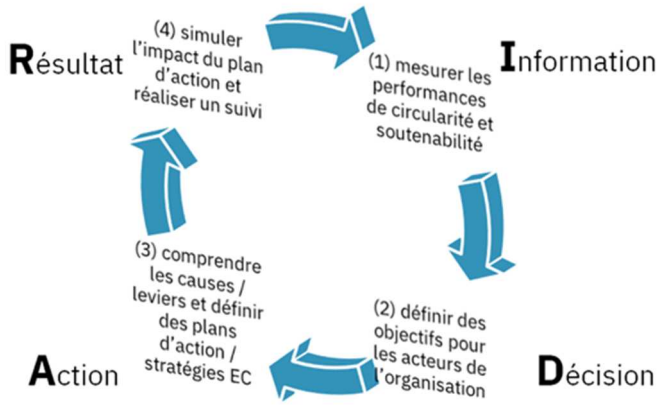

Fig. 1. Le processus Information / Décision / Action / Résultat mis en œuvre par le Cockpit Digital Circulaire

Nous utiliserons la science des données et les technologies du numérique pour mesurer et agir [4-7] au niveau des stratégies de circularité dans l'objectif d'améliorer la soutenabilité. Mesurer, au sein d'une organisation les performances de (non-)circularité et de (non-)soutenabilité, est indispensable pour prendre conscience et décider d'améliorer. De même, lier les actions ou stratégies de mitigation ou d'amélioration, causalement et par la simulation aux résultats escomptés est également primordial.

Quatre grandes problématiques doivent donc être adressées au niveau du CDC, qui correspondent aux 4 e-modules du CDC (cf. Fig. 2) :

- (i) *Données circulaires* : Comment relier les données d'une organisation aux indicateurs de circularité et de soutenabilité et aider les différents acteurs à gérer les compromis potentiels entre les différentes dimensions de soutenabilité ?
- (ii) *C-Indicateurs :* Quels sont les indicateurs de circularité les plus pertinents pour l'organisation [8-9] ? Mais comme nous considérons l'économie circulaire comme un moyen pour atteindre la soutenabilité [10], nous nous intéresserons à savoir combiner l'Analyse de Cycle de Vie avec la Circularité et les Limites Planétaires ?
- (iii) *Actions circulaires* : Comment définir les actions ou les stratégies les plus efficaces pour améliorer les objectifs déterminés ? Pour cela il est impératif de bien maitriser la chaine et les mécanismes causaux qui mènent des actions aux objectifs de performances
- (iv) *Impacts soutenables* : Peut-on simuler à l'avance l'efficacité d'un plan d'actions (exemples des Plans Climat – PCAET - et Economie Circulaire d'un territoire) pour valider et déployer en sécurité ce plan d'action ? Quelles sont les limites des modèles prédictifs, de la multi-simulation et des jumeaux numériques ?

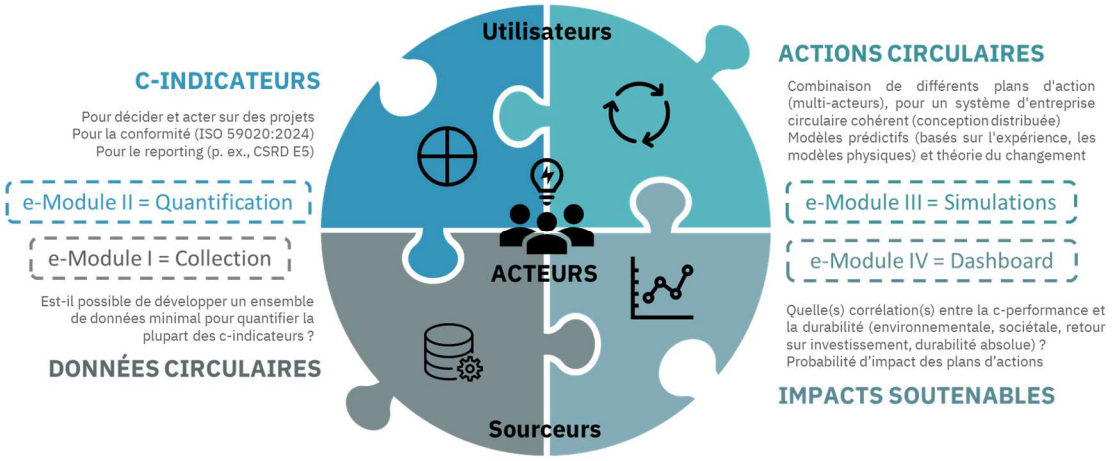

Fig. 2. Connexion entre les modules numériques, en développement, du Cockpit Digital Circulaire

Nos travaux de recherche s'opèrent à deux niveaux : une contribution théorique aux 4 e-modules suscités, et une contribution pratique dans des secteurs aussi variés que l'industrie des véhicules lourds, le numérique décarboné, le réemploi et le recyclage dans la construction, la contribution des territoires aux plans Climat et Economie Circulaire, et la décarbonation et la circularité des activités de santé.

Cette présentation sera l'occasion d'approfondir trois développements réalisés dans les 3 premiers e-modules de la Fig. 2.

Pour l'e-module *Données circulaires*, nous présenterons l'ensemble des questions de recherche qui se posent quand on veut logiquement lier les données existantes, disponibles ou désirées d'une organisation avec des indicateurs de circularité et de soutenabilité qui découlent d'un ensemble d'attentes et d'exigences législatives. Nous présenterons notre processus de construction du système d'information de données circulaires que nous avons appliqué au contexte de l'entreprise GE Healthcare.

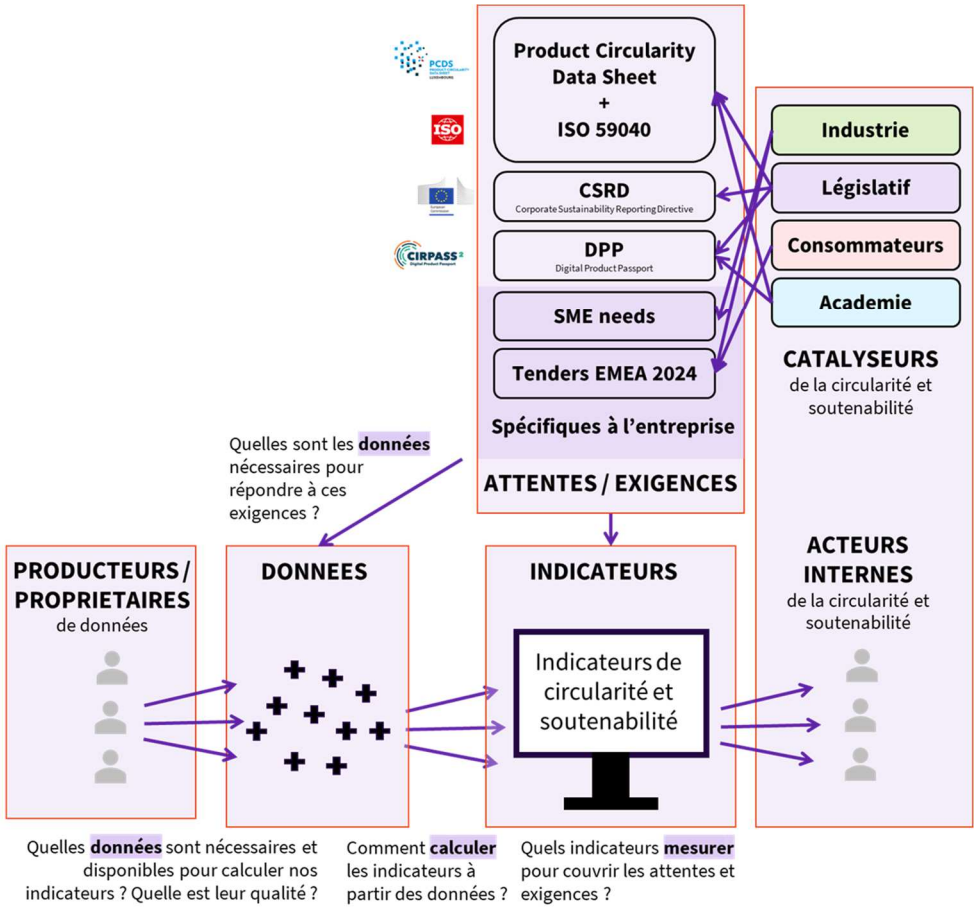

Fig. 3. Les questions de recherche autour du flux de données circulaires

Pour l'e-module *C-Indicateurs*, nous présenterons notre application du cadre de l'*Absolute Environmental Sustainability Assessment* (AESA) [11-13] pour déterminer si les stratégies d'économie circulaire peuvent réellement contribuer à la soutenabilité. Cette méthode aide à fixer des plafonds environnementaux et à évaluer dans quelle mesure et selon quels paramètres les stratégies d'économie circulaire pourraient (ou non) contribuer à les respecter.

Les auteurs proposent donc un cadre pour l'évaluation des stratégies circulaires à l'aide d'une approche axée sur les objectifs. L'élaboration d'un tel cadre nécessite d'intégrer l'impact des stratégies circulaires sur les parts allouées au sein des limites planétaires. En effet, comme les stratégies circulaires peuvent modifier substantiellement les unités fonctionnelles des produits, les parts allouées devraient refléter ces évolutions par des boucles de rétroaction. Les approches traditionnelles existantes, telles que les *Science-Based Targets* (SBT Initiatives), ne parviennent pas à saisir les avantages potentiels des stratégies d'économie circulaire, car elles ne tiennent pas compte de ces changements dans les flux de référence des produits. En outre, un tel cadre doit intégrer des aspects temporels, en particulier dans la modélisation du système sous-jacent (*background system*) et de ses évolutions futures. En effet, une solution qui n'est pas viable aujourd'hui ne le sera pas nécessairement à l'avenir, de même que la meilleure solution (ou la moins nocive) aujourd'hui peut ne pas rester la même à l'avenir, en fonction de l'évolution du système de référence. Une étude de cas sur les dispositifs médicaux est actuellement menée pour tester le cadre sur des données réelles et identifier ses limites.

Pour l'e-module *Actions circulaires*, nous avons étudié dans [14] 477 plans climat (PCAET) de collectivités territoriales françaises (EPCI), et montré que ceux-ci étaient très disparates quant à leur contribution à la réduction des GES et qu'ils ne suffisaient pas à contribuer aux cibles de la Stratégie Nationale Bas Carbone.

Nous nous sommes ensuite intéressés aux Plans Economie Circulaire de 12 Communautés d'Agglomération françaises, en procédant à une interview approfondie d'acteurs locaux et une analyse détaillée et un codage de toutes leurs actions. Ces actions ont été analysées au travers de la méthode de définition des objectifs de planification (Fig. 4) d'après J. Baltazar [15] qui met l'accent sur une continuité dans la causalité entre des cibles quantifiées d'objectifs tactiques et des cibles quantifiées d'objectifs environnementaux (ou de soutenabilité). Un exemple d'une action de mitigation parfaitement définie est donné en Fig. 5 pour bien comprendre les 3 niveaux d'objectif *Environnemental* (ou *soutenabilité*) au plus haut niveau, objectif de *Performance de circularité* au niveau intermédiaire, et objectif *Tactique* au plus bas niveau opérationnel. Les résultats en Fig. 6 montrent très clairement qu'il n'y a que 3,3% des actions qui ont défini tous les niveaux d'objectifs avec des valeurs cibles, ce qui signifie que dans les autres cas on peut légitimement s'interroger sur l'influence effective de l'action sur un objectif environnemental donné.

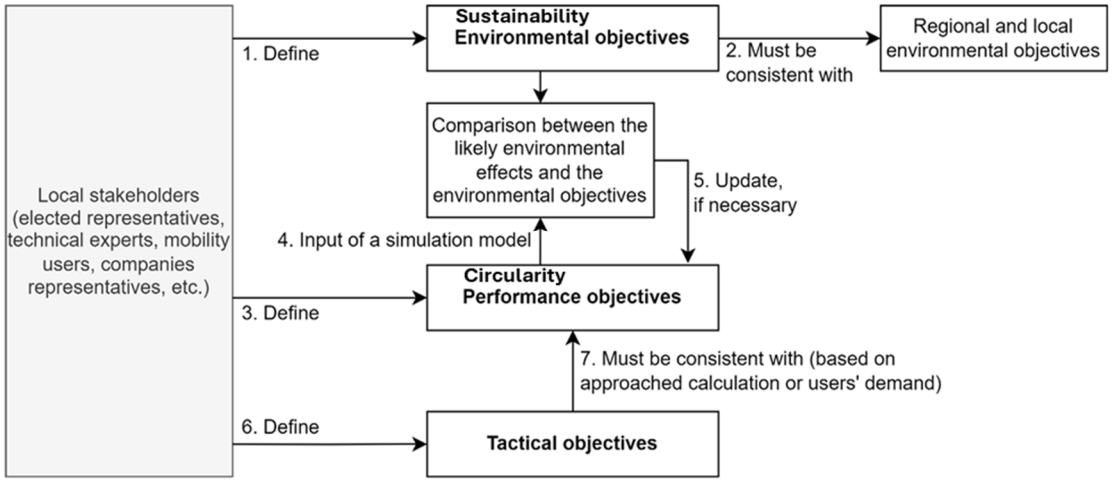

Fig. 4. Méthode de définition des objectifs de planification d'après J. Baltazar [15]

Type of objective	Criteria	Indicators	Target values*	Time horizon	Flexibility
Environmental objective	Reduce passenger transport GHG emissions	GHG emissions from inhabitants' trips (cf. Chapter 5 for methods to estimate them)	-15 %	2035	Very low
Performance objective	Increase the bike modal share	Bike modal share	8 %	2035	Low
Tactical objective for the action "install parking spots for bikes"	Have enough bike parking spots	Number of new spots for bikes	Min. 10k	2030	Medium
	Have some secured bike lockers at rail stations	Number of new bike lockers at rail stations	Min. 200	2030	Medium
		Share of rail stations equipped with at least 10 bike lockers	100 %	2030	Medium
	Inhabitants consider that parking their bikes is convenient in the EPCI	Share of inhabitants who answer "convenient" or "very convenient" to the question "Do you consider that parking your bike is convenient in the EPCI?" (from a survey conducted every five years)	75 %	2030	Low

*This table, particularly the values, are arbitrary examples and are not based on a real case study. The criteria are not comprehensive.

Fig. 5. Example of a complete mitigation action in the context of the design of a mobility plan, from J. Baltazar [15]

Notre presentation s'achèvera avec le positionnement de nos recherches en cours sur le quadrant du CDC (Fig. 2), et sur une réflexion sur l'aptitude des plans d'actions à être simulables par des modèles issus de la physique ou de l'apprentissage par les données.

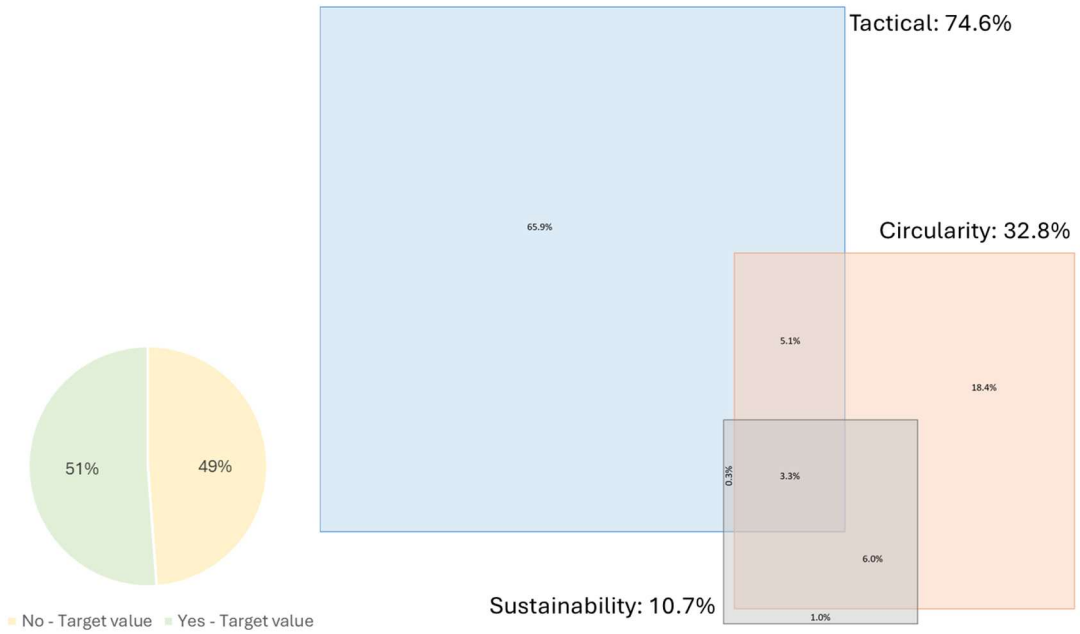

Fig. 6. A gauche : pourcentage d'actions avec ou sans valeur cible - A droite : pourcentage d'actions avec valeur cible par niveaux d'objectifs

Remerciements :

Ces travaux de recherche sont réalisés au sein de l'Alliance CircularIT qui est une chaire de recherche coopérée par CentraleSupélec et SystemX. Les partenaires de CircularIT sont : Manitou Group, GE Healthcare, Mews Partners, Agglomération Paris-Saclay, SIOM, CSTB.

Références :

[1] Yannou, B., Bouillass, G., Saidani, M., & Jankovic, M. (2024). The Circular Digital Cockpit: Towards an actionable framework for life cycle circularity assessment and decision. Procedia CIRP, 122, 467-472. https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.068

[2] Durivault, L., Saidani, M., Bouillass, G., Yannou, B., & Heidsieck, R. (2024). Leading questions towards building a digital cockpit for circularity in the healthcare industry. Paper presented at the CONFERE : 31ème Colloque des Sciences de la Conception et de l'Innovation, Porto, Portugal.

[3] de Bantel, E., Bouillass, G., Jankovic, M., & Yannou, B. (2024). Recommendations for designing a circularity assessment framework. Paper presented at the CONFERE : 31ème Colloque des Sciences de la Conception et de l'Innovation, Porto, Portugal.

[4] Bouillass, G., Saidani, M., Lameh, J., & Yannou, B. (2022). Digital technologies to advance circular economy at territorial level: challenges and solutions. Paper presented at the IEEE 28th International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) & 31st International Association For Management of Technology (IAMOT) Joint Conference, Nancy, France.

[5] Han, Y., Shevchenko, T., Yannou, B., Ranjbari, M., Shams Esfandabadi, Z., Saidani, M., . . . Li, G. (2023). Exploring How Digital Technologies Enable a Circular Economy of Products. Sustainability,

15(3), 2067. https://doi.org/10.3390/su15032067

[6] Piedra-Muñoz, L., García-Granero, E., Tarpani, R. and Gallego-Schmid, A. (2025), Digital Technologies: Description, Classification, and Links to Circular Economy. Bus Strat Env. https://doi.org/10.1002/bse.4312

[7] Rusch, M., Schöggl, J. P., & Baumgartner, R. J. (2023). Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review. Business strategy and the environment, 32(3), 1159-1174.

[8] Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. Journal of Cleaner Production, 207, 542–559. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.014

[9] Saidani, M., Shevchenko, T., Esfandabadi, Z. S., Ranjbari, M., Mesa, J. A., Yannou, B., & Cluzel, F. (2024). The future of circular economy metrics: Expert visions. Resources, Conservation and Recycling, 205, 107565. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107565

[10] Saidani, M., Le Pochat, S., Monteil, A., Yannou, B., Garcia, J., & Osset, P. (2022). Benchmark of Circularity Indicators and Links with Life Cycle Assessment. E3S Web of Conferences, 349, 01004. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234901004

[11] Kara, S., Hauschild, M. Z., & Herrmann, C. (2018). Target-driven Life Cycle Engineering: Staying within the Planetary Boundaries. Procedia CIRP, 69, 3–10. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.142

[12] Bjørn, A., Chandrakumar, C., Boulay, A.-M., Doka, G., Fang, K., Gondran, N., Hauschild, M. Z., Kerkhof, A., King, H., Margni, M., McLaren, S., Mueller, C., Owsianiak, M., Peters, G., Roos, S., Sala, S., Sandin, G., Sim, S., Vargas-Gonzalez, M., & Ryberg, M. (2020). Review of life-cycle based methods for absolute environmental sustainability assessment and their applications. Environmental Research Letters, 15(8), 083001. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab89d7

[13] Kara, S., Herrmann, C., & Hauschild, M. (2023). Operationalization of life cycle engineering. Resources, Conservation and Recycling, 190, 106836. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106836

[14] G. Bouillass, J. Baltazar, and B. Yannou, 'On the path towards carbon neutrality? A comprehensive analysis of local climate plans in France', Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 212, p. 115240, Apr. 2025, https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115240

[15] J. Baltazar, Integrating environmental issues into territorial strategies: a methodological contribution to the design of mobility plans, PhD thesis, Université Paris-Saclay (2024)