

# L'IA en appui à la Feuille de route montréalaise en économie circulaire

Présenté à la Commission sur le développement économique et urbain et l'habitation



**IVADO**

## REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à tous les membres de l'équipe IVADO qui ont contribué de manière significative à cette rédaction réalisée à l'intérieur d'un très court délai. Leur engagement, leur expertise et leur soutien ont été essentiels pour mener à bien cette réflexion personnelle.

Je voudrais tout particulièrement remercier ma directrice des partenariats, Nancy Laramée, pour sa confiance, son appui et son encouragement tout au long de ce projet. Elle m'a non seulement autorisé à explorer cette réflexion, mais a également été une source d'inspiration et de motivation inestimable. Sa vision, sa perspicacité et son dévouement envers l'équipe et l'organisation ont grandement contribué à notre succès.

Un grand merci également à tous les membres de l'équipe (Zouheir Malki, Fabien Perineau, Mehdi Taobane et Dany Plourde) pour leur précieuse collaboration, leur esprit d'équipe et leurs idées novatrices. Leurs compétences variées et leur détermination à travailler ensemble ont été la clé de notre réussite. Leurs contributions et leur enthousiasme ont enrichi cette réflexion.

Merci à tous !

*Stéphane Carpentier*

Par courriel



Montréal, le 24 avril 2023

## L'IA en appui à la Feuille de route montréalaise en économie circulaire

Madame, Monsieur,

En tant que conseiller en transfert technologique et innovation à l'Institut de valorisation des données (IVADO), je souhaite aborder l'importance de l'intelligence artificielle (IA) dans le soutien aux initiatives d'économie circulaire pour une ville moderne et écoresponsable comme Montréal.

Ce document constitue une réflexion personnelle préliminaire qui vise à présenter quelques pistes de collaboration potentielles avec IVADO pour favoriser l'innovation en IA et contribuer au développement durable de notre métropole. Notre équipe et notre écosystème sont prêts à accentuer notre rôle et notre implication dans cette démarche, dans la mesure de nos ressources disponibles.

### QUI SOMMES-NOUS

**IVADO est un consortium de recherche multidisciplinaire et multisectorielle qui se concentre sur l'utilisation de l'IA pour résoudre des problèmes complexes.**

En tant qu'acteur clé, IVADO accompagne les entreprises et les organisations dans la mise en œuvre de solutions innovantes basées sur l'IA pour optimiser l'efficacité et la performance de leurs processus. Avec plus de 2000 chercheurs et 150 organisations publiques et privées dans son écosystème,

IVADO soutient plusieurs thématiques cruciales pour une meilleure adoption de l'IA, dont l'économie circulaire (durabilité), l'éthique, la diversité, l'inclusivité et l'explicabilité. Depuis 2016, nous avons investi 41 M\$ en bourses scolaires (522) et en subventions pour la recherche.

Notre équipe pluridisciplinaire se compose d'experts en formation, en communication, en événementiel, en recherche libre et en transfert technologique/innovation. Cette diversité nous permet de mettre en place des collaborations innovantes entre le secteur

académique et le secteur privé couvrant toutes les facettes possibles. Notre leadership expérimenté et reconnu par l'écosystème inclut Nancy Laramée (directrice des partenariats), Pierre Dumouchel (directeur du transfert technologique), Yoshua Bengio (directeur scientifique) et Luc Vinet (président-directeur général).

## L'IA EN APPUI À L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

L'adoption de pratiques d'économie circulaire s'aligne avec les orientations stratégiques du Québec en matière de développement durable et de transition énergétique. Le gouvernement du Québec a lancé une Stratégie québécoise de l'économie circulaire en 2018, visant à atteindre une économie 100 % circulaire d'ici 2030 (Gouvernement du Québec, 2018). Cette stratégie encourage la réduction des déchets, la réutilisation, le recyclage des matières, l'innovation et la collaboration entre les différents acteurs.

De nombreuses études et rapports scientifiques soulignent l'importance de l'IA dans l'économie circulaire.

- Une étude du CIRANO indique que la mise en œuvre de pratiques d'économie circulaire pourrait générer des gains économiques significatifs pour les entreprises et contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la protection de l'environnement (CIRANO, 2019).
- Le rapport du Comité d'experts du Canada dont fait partie Daniel Normandin (CERIEC – ÉTS), évoque l'importance de l'IA dans l'économie circulaire et propose des pistes pour intégrer ces technologies dans les processus de production et de gestion des ressources (Normandin, 2020).
- Le rapport de la fondation EMF du Royaume-Uni confirme également le rôle crucial de l'IA dans l'économie circulaire (EMF, 2016).
- Des entreprises de conseil et des publications influentes, telles que McKinsey, Forbes et Deloitte, ont également analysé l'impact de l'IA sur l'économie circulaire et les opportunités de développement qu'elle offre (McKinsey, 2020 ; Forbes, 2019 ; Deloitte, 2019).

Il est indéniable que l'économie circulaire appuyée par l'IA est une combinaison clé pour un développement durable. Dans ce document, nous encourageons la commission à explorer l'intégration de l'IA dans l'économie circulaire et à envisager comment ces technologies peuvent rendre les activités d'économie circulaire plus efficaces, rentables et pérennes.

Ce document vise à stimuler les discussions et à élargir les perspectives en présentant des exemples d'applications de l'IA dans le domaine de l'économie circulaire et en abordant des aspects moins évidents, mais tout aussi importants pour assurer une place significative de l'économie circulaire à long terme pour tous les acteurs de l'économie et des écosystèmes.

### UTILISATIONS CLASSIQUES DE L'IA DANS L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE À L'ÉCHELLE PLANÉTAIRE :

- **Optimisation des flux de matières** : L'IA peut aider à identifier les gisements de matières premières secondaires et à optimiser leur utilisation dans le processus de production (Accenture, 2020). En utilisant des algorithmes d'apprentissage machine, il est possible d'optimiser les flux de matières et de réduire les déchets de production (EMF, 2016).
- **Traçabilité des produits et des matériaux** : L'IA peut aider à améliorer la traçabilité des produits et des matériaux dans l'économie circulaire en utilisant des technologies autres que la blockchain, comme l'Internet des objets (IoT) et la technologie RFID, pour suivre les produits et les matériaux tout au long de leur cycle de vie et assurer leur réutilisation, leur réparation ou leur recyclage (EMF, 2016; World Economic Forum, 2019).
- **Prédiction des flux de déchets** : L'IA peut aider à prédire les flux de déchets et à identifier les opportunités d'amélioration dans le processus de production (Ghisellini et al., 2016). En utilisant des modèles prédictifs, il est possible de prévoir la quantité de déchets générée par le processus de production et de mettre en place des stratégies pour réduire ces déchets (McKinsey, 2020).
- **Conception de produits durables** : L'IA peut être utilisée pour concevoir des produits plus durables et éco-efficaces, en tenant compte de leur cycle de vie complet et de leur impact environnemental (D'Alessandro et al., 2018). Les algorithmes d'optimisation et les outils de modélisation peuvent faciliter la conception de produits qui sont plus faciles à réparer, à réutiliser ou à recycler (EMF, 2016).
- **Gestion des ressources énergétiques** : L'IA peut être utilisée pour améliorer la gestion de l'énergie et des ressources dans les processus de production, en optimisant la consommation d'énergie et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre (Accenture, 2020). Les systèmes d'IA peuvent également faciliter l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques et optimiser l'utilisation des ressources énergétiques disponibles (IEA, 2021).

## UTILISATIONS INDIRECTES DE L'IA POUR DES ENJEUX METTANT À RISQUE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE :

- **Prévention des impacts de la santé publique sur l'économie circulaire :**

L'utilisation de l'IA pour la santé publique et la prévention de la contamination peut avoir un impact indirect sur l'économie circulaire de Montréal (Zinszer et al., 2017). En effet, des épidémies et des contaminations peuvent avoir un impact négatif sur l'économie en perturbant les chaînes d'approvisionnement et en réduisant la demande pour certains produits.

En utilisant l'IA pour prédire et prévenir de telles situations, nous pouvons minimiser l'impact sur l'économie locale. De plus, l'utilisation de l'IA pour la prévention de la contamination de l'eau peut également contribuer à la création d'une économie circulaire plus durable en préservant les ressources en eau et en favorisant la réutilisation des eaux usées traitées.

En somme, l'utilisation de l'IA pour la santé publique et la prévention de la contamination permet de minimiser les perturbations tout en préservant les ressources.

- **Remplacement de sacs en plastique à usage unique par un matériau plus durable et écologique :**

Dans ce contexte, l'IA peut jouer un rôle crucial pour aider à développer un nouveau matériau (Ternes et al., 2020). Les chercheurs pourraient utiliser des algorithmes de simulation pour tester différents matériaux, en prenant en compte leur résistance, leur durabilité, leur capacité de dégradation et leur coût.

Ils pourraient également utiliser l'IA pour identifier les propriétés souhaitables du matériau en se basant sur les données collectées auprès des consommateurs et des fabricants. Enfin, une fois le matériau développé, l'IA pourrait être utilisée pour optimiser son utilisation et sa récupération en fin de vie, en prévoyant les flux de déchets et en identifiant les meilleures pratiques de recyclage.

En somme, l'IA peut aider à développer des solutions plus durables et plus efficaces dans le contexte de l'économie circulaire à Montréal.

- **Imaginons maintenant qu'un enjeu économique soit identifié à Montréal, par exemple la nécessité de créer un nouveau modèle d'affaires pour les commerces de proximité qui cherchent à maximiser leur utilisation des ressources locales et à réduire leur empreinte environnementale :**

Dans ce contexte, l'IA peut être utilisée pour développer un modèle d'affaires plus circulaire (Vazquez-Brust et al., 2019). Les données collectées auprès des commerces pourraient être utilisées pour créer un système d'optimisation de la production et de la livraison, en minimisant les déchets et en maximisant l'utilisation des matières premières.

L'IA pourrait également être utilisée pour créer des modèles de prévision de la demande, en se basant sur les données historiques de consommation et en prédisant les fluctuations de la demande en fonction des saisons, des événements et des tendances.

Enfin, l'IA pourrait être utilisée pour optimiser le recyclage et la récupération des déchets en fin de vie, en identifiant les flux de matières et en identifiant les meilleures pratiques de récupération.

En somme, l'IA peut aider à créer un modèle d'affaires plus circulaire et plus performant pour les commerces de proximité à Montréal (Razmak et al., 2021).

- **Un autre enjeu important dans le contexte de l'économie circulaire à Montréal est la gestion des chaînes d'approvisionnement inverses, c'est-à-dire la gestion des flux de matériaux et de produits retournant des consommateurs ou des clients vers les fabricants ou les distributeurs** : dans ce contexte, l'IA peut être utilisée pour optimiser la gestion de ces flux, en identifiant les gisements de matières premières secondaires et en prédisant les quantités et les caractéristiques des produits retournés (Dekker et al., 2019).

Les algorithmes de l'IA peuvent également être utilisés pour optimiser les processus de démontage, de réparation, de réutilisation et de recyclage des produits retournés, en identifiant les meilleures pratiques et les méthodes les plus efficaces (Di Bucchianico et al., 2019).

Enfin, l'IA peut être utilisée pour améliorer la communication et la coordination entre les différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement inversées, en permettant une gestion plus efficace des flux de matériaux et de produits. En somme, l'IA peut aider à optimiser la gestion des chaînes d'approvisionnement inverses dans le contexte de l'économie circulaire à Montréal, en maximisant l'utilisation des ressources et en réduisant les déchets (Tukker et al., 2020).

## LA BASE PREMIÈRE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE, LA GESTION DES CONNAISSANCES !

L'économie circulaire repose sur une ressource centrale : **les connaissances**. Qu'elles soient créées, captées, transformées ou communiquées, les connaissances sont essentielles à chaque aspect de l'économie circulaire (Bocken et al., 2016).

Pour une ville comme Montréal, la gestion des connaissances via l'IA peut jouer un rôle crucial dans la mise en place d'une économie circulaire efficace et durable, permettant aux citoyens, commerces et entreprises situés à Montréal, ainsi qu'à ceux en collaboration avec la ville, d'être plus efficaces, compétitifs et résilients.

Voici des exemples concrets reposant sur l'économie circulaire des connaissances :

- Selon une étude menée par la Chaire de gestion de la durabilité de HEC Montréal, la mise en place d'une économie circulaire à Montréal **pourrait permettre de créer jusqu'à 38 000 emplois d'ici 2030** (MacArthur, 2013). Cette création d'emplois est directement liée à la gestion des connaissances et à l'utilisation de l'IA pour **optimiser les processus** de l'économie circulaire.
- Dans le domaine de la production alimentaire, l'IA peut aider à **améliorer l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement**. Par exemple, l'utilisation de l'IA pour prévoir la demande de produits peut aider les producteurs à **optimiser leur production et à minimiser les pertes** (Vlajic et al., 2018). Une étude a montré que l'utilisation de l'IA pour la gestion de la chaîne d'approvisionnement alimentaire a permis d'augmenter les marges bénéficiaires de 10 % à 15 % (Paul & Venkateswaran, 2019).
- Dans le domaine de la construction, l'IA peut aider à **améliorer la planification et la gestion de projet**. Par exemple, l'utilisation de l'IA peut aider les gestionnaires de projet à **identifier les risques et à les gérer de manière proactive** (Forsythe, 2019). Une étude a montré que l'utilisation de l'IA pour la gestion de projet dans le secteur de la construction a permis de réduire les retards de 40 % (Zhao et al., 2019).
- Dans le **domaine de la logistique**, l'IA peut aider à améliorer la compétitivité des entreprises en **réduisant les coûts et en améliorant la satisfaction des clients**. Par exemple, l'utilisation de l'IA pour la planification de la distribution peut aider les entreprises à optimiser les itinéraires de livraison et à minimiser les coûts de transport (Berrebi et al., 2019). Une étude a montré que l'utilisation de l'IA pour la planification de la distribution a permis de réduire les coûts de transport de 10 % (Barbará et al., 2020).
- Dans le **domaine du commerce de détail**, l'IA peut être utilisée pour optimiser la **gestion des stocks et la tarification dynamique**. Par exemple, l'IA peut analyser les données sur les ventes, les tendances et la demande en temps réel pour ajuster les niveaux de stock et les prix de manière optimale (Feldman et al., 2019). Ceci permet aux détaillants de réduire les invendus, les pertes et les coûts associés, tout en améliorant la satisfaction des clients grâce à une meilleure disponibilité des produits et des prix plus compétitifs. Une étude a montré que l'utilisation de l'IA pour la gestion des stocks et la tarification dynamique dans le secteur du commerce de détail a permis d'augmenter les ventes de 6 % à 10 % et de réduire les coûts de stockage de 15 % (Grewal et al., 2018).

## EN CONCLUSION

L'Intelligence Artificielle (IA), au cœur de la gestion des connaissances, représente un outil crucial pour faire progresser l'économie circulaire à Montréal. En optimisant l'efficacité des chaînes d'approvisionnement, la gestion de projet, et les stratégies logistiques, l'IA peut engendrer une amélioration significative de la compétitivité, de la résilience et de l'efficacité des citoyens, commerces et entreprises montréalaises.

Les données sont le socle de notre économie circulaire et le pilier de l'expertise d'IVADO. Qu'il s'agisse de données relatives aux transactions économiques, à la traçabilité, à la qualité, ou autres, l'importance de leur valorisation dans une perspective de transparence est cruciale pour une gestion moderne et responsable, respectueuse de notre écosystème humain, commercial, et naturel.

Au-delà des activités liées à l'économie circulaire de matière première, la gestion et la valorisation des connaissances et des données accumulées offrent une voie prometteuse pour maximiser l'utilisation des ressources, réduire l'empreinte environnementale, et stimuler l'économie locale dans le contexte d'une économie circulaire.

Chez IVADO, nous sommes prêts et déterminés à collaborer avec la ville de Montréal, ses citoyens, ses entreprises et ses organisations pour développer des solutions innovantes qui favorisent l'usage optimal des ressources et la réduction de l'empreinte environnementale.

Nous vous invitons donc à intégrer IVADO dans cette entreprise ambitieuse et nécessaire. Ensemble, faisons de Montréal une ville pionnière en matière d'économie circulaire grâce à l'IA.

Veillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos salutations distinguées.

**Stéphane Carpentier,**

EMBA financement des entreprises  
Conseiller transfert technologique et innovation  
IVADO

## ANNEXE A - RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES PRINCIPALES

1. Accenture. (2020). Reimagining the Future of Industries with Artificial Intelligence and Circular Economy. [https://www.accenture.com/\\_acnmedia/PDF-132/Accenture-AI-Circular-Economy.pdf](https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-132/Accenture-AI-Circular-Economy.pdf)
2. Barbará, M., Ramalhinho, H., & Paquete, L. (2020). The impact of data in the world of Logistics 4.0. In *Data Science for Logistics* (pp. 1-16). Springer, Cham.
3. Barbará, M., Casanova, D., & Guzmán, R. (2020). Machine Learning in Supply Chain Management: An Overview. *Informatik-Spektrum*, 43(1), 54-65.
4. Berrebi, S. J., Briskorn, D., & Kovacs, A. (2019). Machine learning and routing for last-mile delivery. *Transportation Research Part B: Methodological*, 123, 56-71.
5. Bocken, N. M., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320.  
<https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
6. CIRANO. (2019). L'économie circulaire au Québec: défis et perspectives. <https://www.cirano.qc.ca/fr/sommaires/2019RP-07>
7. Comité d'experts du Canada (2022). Un tournant décisif : La recherche et l'innovation au Canada. Récupéré de [https://www.rapports-cac.ca/wp-content/uploads/2022/01/Un-tournant-decisif\\_digital.pdf](https://www.rapports-cac.ca/wp-content/uploads/2022/01/Un-tournant-decisif_digital.pdf)
8. D'Alessandro, S., Bistagnino, L., & Ziliani, C. (2018). Design for the circular economy: Proposal for a new scenario of the refrigerator industry based on the use of natural gases and artificial intelligence. *Sustainability*, 10(5), 1575.  
<https://doi.org/10.3390/su10051575>
9. Dekker, R., Bloemhof, J., & Mallidis, I. (2019). Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains. *Springer Nature*.
10. Di Bucchianico, G., Rossi, M., & Poles, R. (2019). Big data and artificial intelligence for the circular economy. In *Circular Economy and Sustainability* (pp. 57-72). Springer.
11. EMF. (2016). *Intelligent Assets: Unlocking the Circular Economy Potential*. Ellen MacArthur Foundation.  
[https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/ElleMacArthurFoundation\\_Intelligent\\_Assets\\_080216.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/ElleMacArthurFoundation_Intelligent_Assets_080216.pdf)

12. Feldman, A., Gavius, A., & Weinberg, G. (2019). Machine learning for retail price recommendation. *Decision Support Systems*, 125, 113087.
13. Forbes. (2019). How Artificial Intelligence Can Power The Circular Economy. <https://www.forbes.com/sites/natalieparletta/2019/07/11/how-artificial-intelligence-can-power-the-circular-economy>
14. Forsythe, P. (2019). *Construction project management: An integrated approach*. Routledge.
15. Forsythe, P. (2019). Machine learning in construction: An exploration of project and organizational capabilities. *Automation in Construction*, 104, 27-37.
16. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
17. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
18. Gouvernement du Québec. (2018). *Stratégie québécoise de l'économie circulaire*. <https://www.environnement.gouv.qc>
19. Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
20. Lacy, P., & Rutqvist, J. (2016). *Waste to Wealth: The Circular Economy Advantage*. Palgrave Macmillan.
21. Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
22. Linder, M., & Williander, M. (2017). Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. *Business Strategy and the Environment*, 26(2), 182-196. <https://doi.org/10.1002/bse.1939>
23. McKinsey & Company. (2016). *The circular economy: Moving from theory to practice*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-circular-economy-moving-from-theory-to-practice>

24. Merli, R., Preziosi, M., & Acampora, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 703-722. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.112>
25. Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., & Rocha-Lona, L. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 607-627. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2018-0020>
26. Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1990). *Economics of Natural Resources and the Environment*. JHU Press.
27. Rizos, V., Behrens, A., Kafyeye, T., Hirschnitz-Garbers, M., & Ioannou, A. (2015). *The Circular Economy: Barriers and Opportunities for SMEs*. Centre for European Policy Studies.
28. Savaskan, R. C., Bhattacharya, S., & Van Wassenhove, L. N. (2004). Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. *Management Science*, 50(2), 239-252. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0186>
29. Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435-438. <https://doi.org/10.1038/531435a>
30. WEF. (2014). *Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*. World Economic Forum. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_ENV\\_TowardsCircularEconomy\\_Report\\_2014.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_ENV_TowardsCircularEconomy_Report_2014.pdf)
31. Wilts, H., & Von Gries, N. (2016). Potentials and evaluation of prevention measures: A case study for Germany. *Waste Management & Research*, 34(12), 1255-1264. <https://doi.org/10.1177/0734242X16675622>
32. Yuan, Z., Bi, J., & Moriguchi, Y. (2006). The Circular Economy: A new development strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 4-8. <https://doi.org/10.1162/108819806775545321>
33. Zink, T., & Geyer, R. (2017). Circular Economy Rebound. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 593-602. <https://doi.org/10.1111/jiec.12545>