

2024

# Environnement et changements climatiques

– Matériaux



**Baromètre  
de l'innovation**  
du Québec

Conseil de  
l'innovation  
du Québec

# Table des matières

---

3 Auteur.rices

---

4 Introduction

---

8 Indicateur 1 - Consommation de ressources matérielles

---

9 Indicateur 2 - Indice de circularité  
Indicateur 3 - Énergie totale consommée

---

10 Conclusion

---

# Auteur·rices

---

## Rapport préparé sous la direction du Conseil de l'innovation du Québec

- LUCIANA GONDIM DE ALMEIDA GUIMARÃES – Université Laval, Universidade Potiguar et CIRODD
  - THIERRY LEFÈVRE – Université Laval, CERMA et CIRODD
  - PIERRE BLANCHET – Université Laval, CERMA, CRM, CIRODD et CERIEC
  - LUC STAFFORD – Université de Montréal et projet CLAD
  - SOPHIE LANGLOIS-BLOUIN – RECYC-QUÉBEC
- 

En partenariat avec

Québec 

# Introduction

Le Baromètre de l'innovation du Québec (le Baromètre) est une initiative du Conseil de l'innovation du Québec mise en place en collaboration avec plus d'une vingtaine d'organisations dans une démarche de coconstruction. Dans un premier temps, le Baromètre vise à broser un portrait de l'innovation sous toutes ses formes grâce à des analyses, des indicateurs et des études sur son évolution par secteur clé et par région. Dans un second temps, par l'entremise d'un outil interactif et dynamique, le Baromètre transmet aux gouvernements et aux leaders de communautés l'information pertinente afin de les appuyer dans la prise de décisions pour améliorer la performance des écosystèmes en matière d'innovation au Québec.

La construction du Baromètre s'articule autour de quatre objectifs.

- 1 La mesure** : mesurer la vitalité de l'écosystème québécois d'innovation et son efficacité; décrire les intrants qu'il consomme et les extrants qu'il produit.
- 2 L'évolution** : suivre l'évolution de cet écosystème dans sa capacité à atteindre des objectifs clairs.
- 3 La comparaison** : permettre une comparaison entre les secteurs d'activités et les régions québécoises, ainsi qu'avec les autres provinces canadiennes et, dans la mesure du possible, les autres pays.
- 4 L'action** : mobiliser les acteurs à travers tout le cycle d'innovation et les aider à développer des plans d'action basés sur des données probantes.

**Quatre grands thèmes ont été retenus pour coconstruire le Baromètre de l'innovation du Québec :**

- Économie;
- Innovation sociale;
- Emploi et capital humain;
- Environnement et changements climatiques.

Les travaux publiés en 2021 [sur le site Web du Baromètre](#) présentaient les premiers indicateurs relativement à l'environnement et aux changements climatiques. La présente publication s'inscrit dans la continuité de ces travaux en proposant de nouveaux indicateurs dans divers secteurs afin de mesurer l'innovation au Québec dans une perspective environnementale.

**S'inscrivant dans le thème « Environnement et changements climatiques », la présente publication est le fruit du travail collaboratif d'un comité formé d'expert-es reconnu-es et a permis de déterminer plusieurs enjeux prioritaires, notamment ceux liés aux matériaux, dont il est ici question.**

**Les organisations suivantes ont collaboré à la présente publication.**

- Centre interdisciplinaire de recherche en opérationnalisation du développement durable (CIRODD)
- Centre de recherche sur les matériaux avancés de l'Université Laval (CERMA)
- Centre de recherche sur les matériaux renouvelables de l'Université Laval (CRMR)
- Centre d'études et de recherches intersectorielles en économie circulaire (CERIEC)
- RECYC-QUÉBEC
- Université de Montréal
- Universidade Potiguar

Les matériaux sont présents dans toutes les sphères de notre vie, puisqu'ils entrent dans la composition des biens de l'ensemble des secteurs économiques : bâtiment, numérique, communications, énergie, transport, agroalimentaire, santé, etc. Puisqu'ils sont directement liés à la production, au stockage,

au transport, à la distribution et à la consommation d'énergie, nous devons absolument les prendre en compte si nous souhaitons accélérer nos efforts de lutte contre les changements climatiques<sup>1</sup>.

Les innovations dans le domaine des matériaux jouent, et continueront de jouer, un rôle important dans la réduction de la quantité de ressources matérielles que nous consommons. Elles contribueront à améliorer l'efficacité énergétique et la dématérialisation. Autrement dit, elles permettront d'utiliser moins – ou peu – de matériaux pour fournir le même niveau de fonctionnalité.

L'économie circulaire est un modèle économique en expansion qui nécessite également d'inventer de nouveaux procédés de fabrication et de traitement, et de substituer certains matériaux par des sous-produits d'autres industries afin de les incorporer dans les chaînes de valeur. De plus, l'économie circulaire est liée à la valorisation, à l'optimisation, à la réduction et au développement de certaines alternatives déjà existantes, sans nécessairement qu'il y ait une innovation de rupture. Ces améliorations doivent par ailleurs être accompagnées d'innovations dans les modèles d'affaires afin de concrétiser les avancées technologiques et d'en susciter de nouvelles.

---

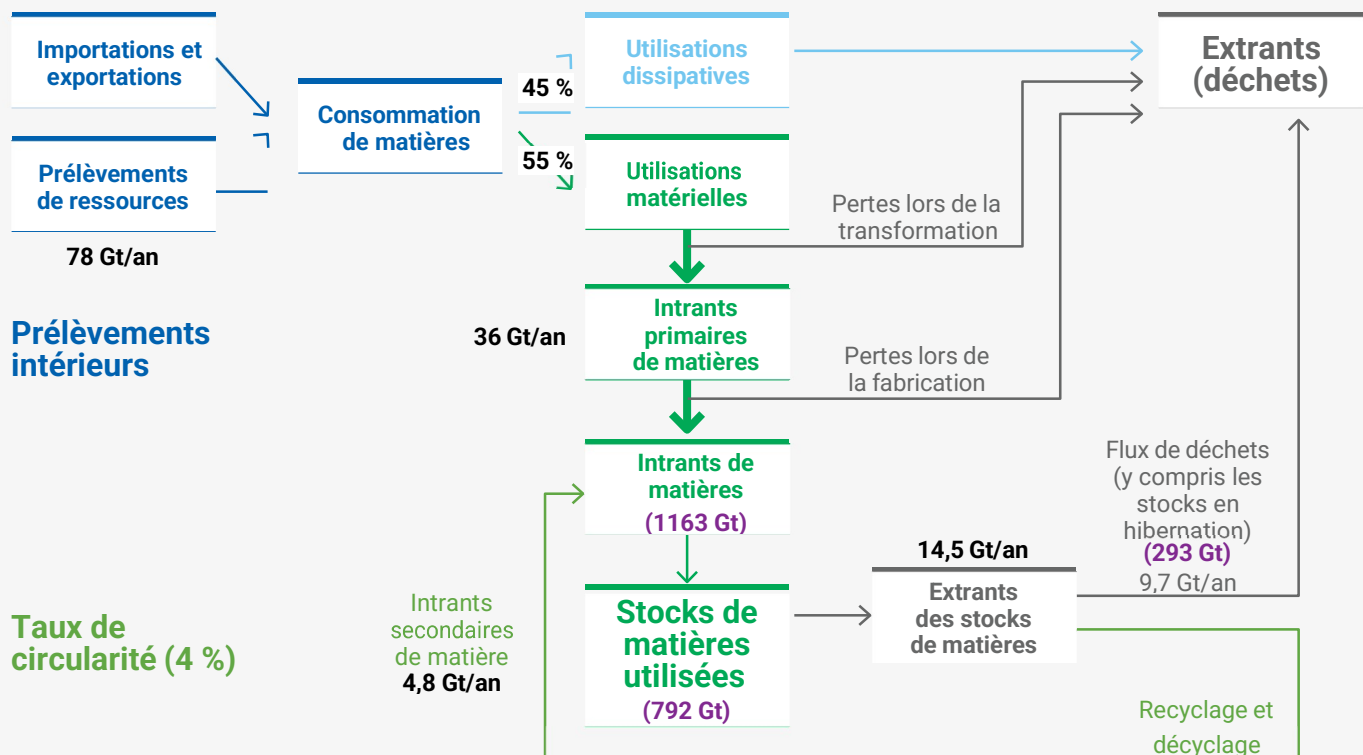
<sup>1</sup> Stantec Experts-conseils Itée (2022). *Matériaux de la transition énergétique : État de la situation et pistes de solution*. À la demande de RECYC-QUÉBEC. En ligne : <https://www.recyq-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/etude-materiaux-transition.pdf>.

Pour évaluer l'efficacité globale des innovations au Québec dans le secteur des matériaux, et mieux situer la province aux niveaux national et international, nous proposons les trois indicateurs suivants.

- 1 Consommation de ressources matérielles
- 2 Indice de circularité
- 3 Énergie totale consommée

Les deux premiers concernent la consommation de ressources matérielles, aussi appelée « empreinte matérielle », de leur réutilisation et de leur circularité. Le troisième indicateur concerne l'énergie totale consommée par la province et par secteur industriel. Les deux premiers indicateurs sont issus d'analyses dites « de flux de matières » qui évaluent les intrants de matières d'une nation, les extrants (déchets et pertes), les matières recyclées et réutilisées, ainsi que les matières qui entrent dans la composition des biens manufacturés et des infrastructures (voir la figure 1) au niveau mondial. Ces analyses s'attachent ainsi à broser un portrait du « métabolisme socioéconomique ».

**FIGURE 1. ANALYSE DES FLUX DE MATIÈRES DANS LE MONDE**



**Remarque :** Les valeurs annuelles, indiquées en caractères noirs, sont pour l'année 2010, tandis que les valeurs cumulées, indiquées en caractères mauves, concernent la période 1900-2010. Sources : [2].

<sup>2</sup> Thierry Lefèvre (2021). *Consommation de ressources et découplage* (chap. 6), dans *L'économie des ressources minérales et le défi de la soutenabilité 2*. ISTE Group, p. 147-167.

**Dans ces calculs, les matières sont réparties en quatre catégories<sup>3</sup> :**

- 1** Biomasse;
- 2** Métaux (fer, aluminium, cuivre, etc.);
- 3** Minéraux non métalliques (sable, gravier, béton, briques, etc.);
- 4** Combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon, plastique, asphalte, etc.).

En outre, ces trois indicateurs tiennent compte, ou non, des matières qui constituent les biens importés et exportés, ainsi que les matières secondaires nécessaires en amont à la production des biens importés et exportés (matières dites « incorporées au marché »). Ils ont été déterminés pour le Québec en 2021 dans un rapport<sup>4</sup> commandé par RECYC-QUÉBEC auprès de l'organisme Circle Economy. Grâce à l'homogénéité méthodologique adoptée par cet organisme, les performances du Québec pourront être comparées avec d'autres États (p. ex. : Norvège, Pays-Bas, Écosse, Irlande du Nord, Autriche).

Enfin, le troisième indicateur semble essentiel puisque l'utilisation de matériaux est fortement liée à la consommation énergétique. En effet, l'ensemble des biens manufacturés et des infrastructures déterminent l'utilisation de l'énergie qui est

nécessaire à leur fabrication, leur utilisation, leur entretien et leur remplacement. Les matériaux ont donc des répercussions directes et substantielles sur la consommation énergétique. Ainsi, afin d'obtenir un portrait complet de cet impact, nous proposons de suivre la consommation totale d'énergie de même que la fraction exportée, et celle des matériaux. L'innovation dans ce secteur doit pouvoir contribuer à réduire la consommation énergétique, soit en réduisant les besoins, soit en augmentant la productivité énergétique.

Cette approche macro, centrée sur les ressources primaires et la consommation énergétique, permet de rendre compte de la pression que la société québécoise exerce sur le plan des matériaux. Cependant, cette approche ne discrimine pas chacun des secteurs économiques couverts par les matériaux.

Ces indicateurs englobent également, sans les distinguer, les champs proprement dits de la production et de l'innovation du secteur des matériaux (les matériaux avancés).

Néanmoins, puisque le domaine des matériaux a des applications innombrables – il couvre l'ensemble des secteurs économiques –, il apparaît difficile de s'affranchir de tels indicateurs, qui sont couramment utilisés par les scientifiques du domaine ainsi que par certaines agences dédiées au développement durable ailleurs dans le monde.

---

<sup>3</sup> Fridolin Krausmann, Heinz Schandl, Nina Eisenmenger, Stefan Giljum et Tim Jackson (2017). *Material flow accounting: measuring global material use for sustainable development. Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 42, p. 647-675. En ligne: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060726>.

<sup>4</sup> Laxmi Haigh, Alex Colloricchio, Caspar von Daniels et coll. (2021). *Rapport sur l'indice de circularité de l'économie*. RECYC-QUÉBEC et Circle Economy. En ligne: <https://www.reycyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/rapport-indice-circularite-fr.pdf>.

## INDICATEUR 1 – CONSOMMATION DE RESSOURCES MATÉRIELLES

Il est couramment admis que les innovations technologiques ont entre autres pour objectif de décarboner et de dématérialiser la société québécoise<sup>5</sup>. Les matériaux étant à la base de l'ensemble des biens et des infrastructures, un suivi fréquent de l'utilisation des matières permet d'évaluer la capacité des innovations technologiques à : améliorer l'efficacité matérielle ; réduire l'utilisation de matières; à nous aider à comprendre quelle(s) catégorie(s) de matières contribuent au bilan global.

Ce premier indicateur mesure les quantités totales de matières qu'utilise une nation, quantités qui sont calculées par les analyses de flux de matières. Ces analyses permettent d'estimer quantitativement quatre catégories :

- Matériaux prélevés sur le territoire (extractions intérieures);
- Matériaux consommés, incluant le bilan des biens importés et exportés (consommation nette de matières ou consommation intérieure);
- Matériaux consommés, incluant le bilan de ceux qui sont mobilisés lors de la production des biens importés et exportés (consommation brute de matières ou empreinte matérielle);
- Matériaux qui s'accumulent au sein de la société (ajouts nets aux stocks).

La quantité de matériaux extraits sur le territoire donnent une idée de la pression exercée à l'échelle nationale sur les ressources. La consommation nette de matières permet d'évaluer la part des matériaux qui entrent dans la constitution des biens importés et exportés. L'empreinte matérielle, pour sa part, estime la quantité de matériaux qui sont mobilisés en amont dans la fabrication des biens importés et exportés. Enfin, les ajouts nets aux stocks, qui représentent la part des matériaux mobilisés à plus ou moins long terme au sein de la société québécoise, permettent de faire le lien avec l'indicateur 3 sur l'énergie.

Pour chaque indicateur, l'innovation doit permettre de réduire l'impact matériel de la société québécoise et de faire progresser la dématérialisation. En somme, ces quatre indicateurs permettront conjointement de mieux comprendre l'origine de l'empreinte matérielle du Québec et son métabolisme socioéconomique, notamment son impact local et extranational.

### DONNÉES REQUISES

Extractions intérieures (tonnes [t] et tonnes per capita [t/cap])



Consommation nette de matières (consommation intérieure, t/cap)

Consommation brute de matières (empreinte matérielle, t/cap)

Ajouts nets aux stocks

### BASE DE DONNÉES REQUISE

[Rapport sur l'indice de circularité de l'économie, RECYC-QUÉBEC et Circle Economy](#)

<sup>5</sup> Gouvernement du Québec (2023). *Plan pour une économie verte 2023 – Projets collaboratifs d'innovation pour réduire les émissions de GES : 19,3 M\$ accordés au CRIBIQ*. En ligne : <https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/plan-pour-une-economie-verte-2023-projets-collaboratifs-dinnovation-pour-reduire-les-emissions-de-ges-193-m-accordes-au-cribiq-46861>.



## INDICATEUR 2 – INDICE DE CIRCULARITÉ

La circularité de l'économie repose en grande partie sur les innovations, qu'elles aient trait à la technologie, aux procédés ou aux modèles d'affaires. En effet, les innovations doivent permettre de trouver des procédés visant à récupérer les matières premières dans les déchets, et à découvrir ou optimiser des procédés pour réutiliser ces matières résiduelles dans les mêmes – ou dans de nouvelles – filières économiques.

En outre, l'indice de circularité mesure la quantité de matières ayant atteint la fin de leur vie utile qui sont réutilisées, recyclées, infrarecyclées (*downcycled*) ou suprarecyclées (*upcycled*). Cette mesure est ensuite divisée par la quantité totale de matières utilisées dans la constitution des biens dits « durables » (intrants). Il s'agit d'un indicateur destiné à évaluer les progrès réalisés en faveur d'une économie circulaire.



### DONNÉES REQUISES

Indice de circularité global  
(en pourcentage)

### BASE DE DONNÉES REQUISE

[Rapport sur l'indice de circularité de l'économie](#), RECYC-QUÉBEC et Circle Economy

## INDICATEUR 3 – ÉNERGIE TOTALE CONSOMMÉE

Sur le plan de la consommation, les matériaux et l'énergie sont liés. En effet, afin de mieux comprendre l'impact de l'utilisation des matériaux, il apparaît important de faire le lien avec l'utilisation d'énergie. Comme cela a été expliqué plus haut, la production, l'utilisation, l'entretien et le remplacement des matériaux qui entrent dans la constitution de la sphère matérielle de la société (c.-à-d., les infrastructures, les équipements et les biens matériels) nécessitent de l'énergie. Les ajouts nets aux stocks (indicateur 1) constituent ici un complément aux données sur l'énergie.

Dans ce contexte, afin de bien distinguer la consommation d'énergie permettant de combler les besoins propres au Québec de celle d'autres provinces et/ou pays, il faut connaître la quantité d'énergie directement exportée ainsi que celle qui est utilisée sur le territoire pour produire des biens destinés à l'exportation. Cet indicateur reflètera en partie les progrès de la production industrielle au Québec.

### DONNÉES REQUISES

Énergie totale consommée  
au Québec (Gigawattheure [GWh],  
ou pétajoules [PJ])

Énergie exportée (GWh ou PJ)

Énergie utilisée pour la  
production des biens  
exportés (GWh ou PJ)

Énergie utilisée par le secteur  
industriel (GWh ou PJ)

### BASE DE DONNÉES REQUISE

[État de l'énergie au Québec – Édition 2023](#), Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal



## LIMITES DES DONNÉES

Les données nécessaires pour les indicateurs 1 et 2 sont basées sur les rapports de RECYC-QUÉBEC, mais ces derniers ne sont pas disponibles pour toutes les années.

À titre indicatif, la prochaine mise à jour de l'indice de circularité est prévue en 2025 et sera basée sur des données de 2023. Il faudrait mettre en place un mécanisme dynamique de suivi de la circularité pour éviter d'être en mode « réaction ». L'idéal serait de disposer d'une base de données ouverte permettant de mesurer annuellement les indicateurs et, ainsi, d'effectuer un suivi dynamique.

En ce qui concerne l'indicateur sur l'énergie totale consommée, il faudra, à l'avenir, distinguer la consommation d'énergie dans la production des

matériaux de la consommation d'énergie industrielle. En effet, la production industrielle n'est pas uniquement liée à des matériaux. Par exemple, les entreprises impliquées dans l'assemblage sont incluses dans le bilan énergétique, bien qu'elles ne produisent pas de matériaux.

## INDICATEUR NON ANALYSÉ DANS LE PRÉSENT DOCUMENT

L'indice de circularité pour chaque type de matériau (en pourcentage) est un indicateur suggéré pour vérifier le comportement de chaque matière séparément (biomasse, métaux, minéraux non métalliques, combustibles fossiles), mais le rapport de RECYC-QUÉBEC ne présente pas ces données.

## Conclusion

Bien que plusieurs autres paramètres – politique fiscale, incitatifs, réglementation, normes sociales et valeurs, conjoncture économique, etc. – les influencent, l'empreinte matérielle et l'indice de circularité dépendent également des progrès et du succès des innovations. Ils permettront ainsi d'évaluer de façon tangible la dématérialisation de la société québécoise et la proportion de matières qui est réinjectée dans la fabrication de nouveaux biens et de nouvelles infrastructures. En ce qui a trait à la consommation totale d'énergie, les innovations dans la production de matériaux peuvent contribuer à décarboner l'économie québécoise, à accroître l'efficacité énergétique et à assurer le développement du secteur.

