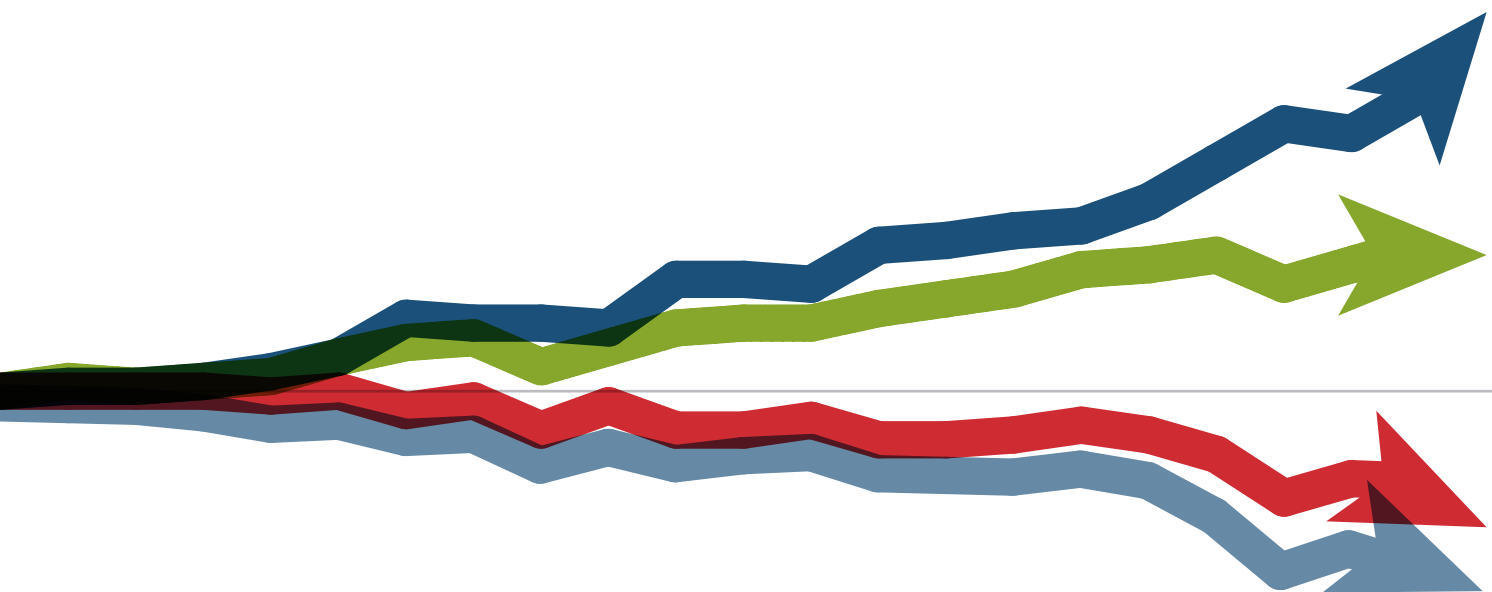


PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE

UN LEVIER STRATÉGIQUE POUR LA TRANSITION
ÉNERGÉTIQUE ET LA COMPÉTITIVITÉ ÉCONOMIQUE



AVEC LE SOUTIEN DE

Québec

AVEC LA COLLABORATION DE

JHARVEY
Énergie & décarbonation industrielle

AUTEURS

Johanne Whitmore, HEC Montréal

Pierre-Olivier Pineau, HEC Montréal

Jacques Harvey, J.Harvey Consultant & Associés inc.

À PROPOS DE LA CHAIRE DE GESTION DU SECTEUR DE L'ÉNERGIE, HEC MONTRÉAL

La Chaire de gestion du secteur de l'énergie de HEC Montréal a pour mission d'accroître les connaissances sur les enjeux liés à l'énergie dans une perspective de développement durable, d'optimisation et d'adéquation entre les sources d'énergie et les besoins de la société. Les activités de la Chaire sont rendues possibles grâce au soutien de ses partenaires : Boralex, Enbridge, Énergie Brookfield, Énergir, Hydro-Québec, La Caisse, Schneider Electric, Valero et WSP.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le gouvernement du Québec pour son soutien financier à la réalisation du présent rapport et les personnes suivantes pour leur collaboration aux contenus des études de cas : Valérie Gourde (Eldorado Gold Québec); Kim Girard (Scierie Girard); Alexandre Gosselin (Les Brasseries Labatt du Canada); Alain Boutet (Greenfield Global Québec).

RELECTEURS

Nous remercions les organisations et personnes suivantes pour leur relecture et leurs suggestions : Bureau de la transition climatique et énergétique (BTCE-MELCCFP); Unité Vision commerciale affaires (Hydro-Québec); Geneviève Gauthier (Econoler); Simon Langlois-Bertrand (IET). Cependant, le rapport ne reflète pas nécessairement leurs positions. Toute interprétation ou erreur demeure la seule responsabilité des auteurs.

HEC Montréal | Chaire de gestion du secteur de l'énergie

3000, chemin de la Côte-Sainte-Catherine

Montréal (Québec) H3T 2A7 Canada

energie.hec.ca

Pour citer ce rapport : Whitmore, J., Pineau, P.-O., Harvey, J., 2025. *Productivité énergétique : un levier stratégique pour la transition énergétique et la compétitivité économique*, rapport préparé pour le gouvernement du Québec, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal.

Dépôt légal : Novembre 2025

ISBN 978-2-925295-05-1 (version PDF)

©2025 Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal

Infographie et mise en page : Brigitte Ayotte (Ayograph)

Table des matières

Résumé	i
CHAPITRE 1 La productivité énergétique au service de l'économie et de la transition climatique et énergétique.....	1
État des lieux et contexte.....	1
Vers une stratégie fondée sur la productivité énergétique	5
CHAPITRE 2 Indicateur et outil de suivi de la productivité énergétique	8
Concept de base	8
L'effet rebond : concept et options pour son atténuation	9
Comment atténuer l'effet rebond ?	11
Outil de suivi du découplage	12
Productivité du carbone	16
CHAPITRE 3 Comparaisons internationale et provinciale	18
Comparaison internationale	18
Comparaison entre les provinces canadiennes	24
CHAPITRE 4 Principales stratégies pour améliorer la productivité énergétique	29
Stratégies d'amélioration de la productivité énergétique des États	30
Fondement de l'amélioration continue : la gestion de l'énergie	32
Stratégies pour l'amélioration de la productivité énergétique en entreprise	35
Nouveau paradigme pour accroître la productivité énergétique	38
CHAPITRE 5 Études de cas d'amélioration de la productivité énergétique en entreprise	42
Conclusion et pistes d'action	58
ANNEXE 1 Rétrospective de la gouvernance en efficacité énergétique au Québec, 1977-2025	60
ANNEXE 2 Sommaire des principaux indicateurs de productivité énergétique et du carbone. ...	62

Résumé

Dans un contexte économique marqué par l'incertitude et la pression croissante des coûts énergétiques, les entreprises québécoises doivent renforcer leur compétitivité en optimisant l'usage de leurs ressources. L'investissement dans la productivité énergétique, visant un découplage entre la création de richesse et la consommation d'énergie, s'impose comme un levier stratégique pour relever ces défis. L'étude vise à faire connaître ce concept, qui peut être mesuré par des indicateurs, et à démontrer son potentiel pour orienter les décisions stratégiques des entreprises.

L'énergie est indispensable au fonctionnement de l'économie. Toutefois, les dommages environnementaux liés à son usage sont à l'origine de la crise écologique actuelle. Le recours aux énergies renouvelables, bien que nécessaire, soulève des défis en raison de leur coût plus élevé et de leur rendement inférieur comparé aux hydrocarbures¹.

Pour réussir cette transition tout en maîtrisant les coûts, les entreprises et les gouvernements doivent prioritairement **réduire la consommation globale d'énergie en améliorant sa productivité** et **remplacer progressivement les hydrocarbures par des sources non émettrices** de gaz à effet de serre (GES). Autrement dit, il faut apprendre à mieux consommer et produire, avec moins d'énergie et de ressources.

La productivité énergétique : un indicateur de performance stratégique

L'intégration de la productivité énergétique (PÉ) dans les outils de gestion permettrait de mieux orienter les décisions des entreprises et des gouvernements, en valorisant l'énergie comme un déterminant de la performance. Contrairement à l'efficacité énergétique, qui vise à réduire la consommation à service égal, le suivi de la PÉ s'intéresse à **maximiser la valeur économique générée par unité d'énergie consommée** (ex., \$/GJ, voir l'annexe 2). **Lorsqu'elle est analysée dans une logique de découplage entre la valeur produite, la consommation d'énergie et les émissions de GES, la PÉ devient un indicateur clé de performance (ICP)** au service de la transition énergétique et climatique.

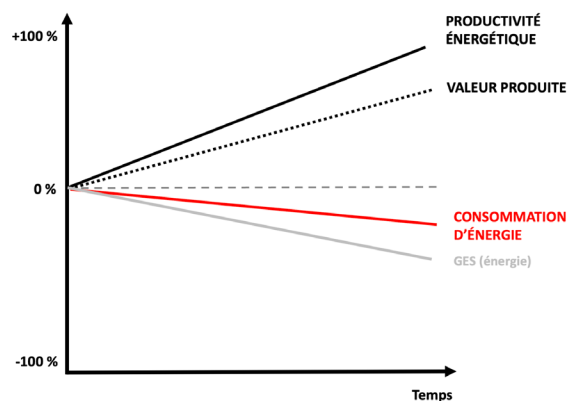
Découplage absolu vs relatif : comprendre les nuances

L'amélioration de la PÉ ne garantit pas automatiquement une meilleure performance environnementale. Cette amélioration peut être absolue ou relative (voir le graphique ci-dessous et le chapitre 2). Dans le cas d'un découplage absolu, une augmentation de la valeur économique produite est accompagnée d'une diminution de la consommation énergétique et des émissions par rapport à l'année de référence. Dans le cas d'un découplage relatif, la valeur produite augmente, mais la consommation d'énergie et les émissions de GES croissent également, mais à rythme plus lent que la valeur produite.

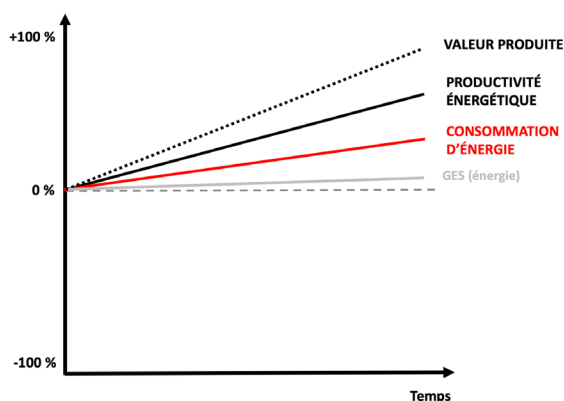
¹ Tremblay, H., 2013. *Présentation du rendement énergétique net comme principe directeur d'une politique énergétique québécoise*, mémoire déposé à la Commission sur les enjeux énergétiques du Québec, 12 septembre 2013, https://www.cubiq.ribo.gouv.qc.ca/notice?id=p%3A%3Ausmarcdef_0001155498&locale=fr.

GRAPHIQUE | SCHÉMAS CONCEPTUELS DE DÉCOUPLAGES ABSOLU ET RELATIF ASSOCIÉS À L'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE

a) Découplage absolu



b) Découplage relatif



Source : Les auteurs.

Dans une perspective environnementale, le scénario idéal est celui du découplage absolu car il limite l'effet rebond — soit l'augmentation de la consommation d'énergie liée à une amélioration de l'efficacité. La société découple alors véritablement la croissance économique de son impact environnemental.

Pour répondre efficacement aux défis de la transition énergétique, il est essentiel de suivre la PÉ en lien avec ces autres indicateurs (valeur produite, consommation d'énergie et GES). Cette approche intégrée renforce la pertinence de la PÉ comme outil de suivi des progrès vers la décarbonation, pour viser à limiter les effets rebonds à différentes échelles (projet, usine, secteur industriel, région et pays).

Comparatif Québec-Ontario : un retard à combler

Le Canada se classe parmi les pays les moins performants de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) en matière de PÉ. Le Québec quant à lui affiche une PÉ **inférieure de 35 % à celle de l'Ontario**, en lien avec sa structure industrielle mais en partie aussi en raison de prix énergétiques peu incitatifs (voir chapitre 3). **L'analyse de l'évolution de la PÉ en lien avec la consommation d'énergie et le PIB révèle toutefois que les gains de productivité ne s'accompagnent pas toujours d'une amélioration équivalente sur le plan environnemental.** L'Ontario présente un découplage absolu, c'est-à-dire une hausse du PIB accompagnée d'une baisse absolue de la consommation énergétique, tandis que le Québec affiche un découplage relatif. La croissance du PIB québécois s'est accompagnée d'une augmentation de la consommation énergétique.

Une transformation industrielle à initier

L'amélioration de la PÉ, dans une perspective de découplage exige une approche systémique d'amélioration continue (de la valeur produite, incluant la qualité des produits), intégrant l'usage optimal de toutes formes d'énergie dans les opérations. L'intégration de ces stratégies — **gestion énergétique, circularité des ressources, innovation dans les procédés, électrification et technologies avancées** — constitue un vecteur essentiel de transformation industrielle vers une production plus sobre, plus rentable et plus durable (voir chapitre 4). **Ce découplage permettra également aux entreprises de générer les revenus pour absorber les investissements requis et les coûts énergétiques croissants liés à la transition énergétique.**

Des exemples inspirants, mais encore trop rares

Malgré son potentiel stratégique, l'indicateur de PÉ et les stratégies associées restent peu répandus au Québec. **Les politiques publiques se concentrent souvent sur les coûts des projets, au détriment de la performance énergétique globale.** Certaines entreprises innovantes qui sont documentées dans des études de cas (voir chapitre 5) — *Eldorado Gold, Greenfield Global Québec, Scierie Girard, Les Brasseries Labatt du Canada* — démontrent toutefois qu'il est possible d'améliorer la performance environnementale grâce à ces stratégies, même sans avoir adopté explicitement une stratégie d'amélioration de la productivité énergétique.

Pistes d'action

À partir d'expériences et de stratégies déjà éprouvées deux grandes pistes d'action se dessinent pour le Québec :

- 1. Définir une cible et une stratégie de productivité et d'efficacité énergétiques.** À l'image de l'Allemagne, le Québec doit se doter d'une vision claire, de cibles et d'une stratégie cohérente pour faire de l'efficacité et de la productivité énergétiques des piliers de sa compétitivité et de sa performance environnementale, dans une logique de découplage entre croissance économique et consommation d'énergie. Cette cible et stratégie doivent être adaptées au Québec et inclure les éléments suivants :
 - a. Intégrer des indicateurs de productivité énergétique** dans les processus décisionnels et les mécanismes de reddition de comptes, et encourager les entreprises à les suivre dans leurs rapports d'indicateurs clés de performance (ICP), pour les optimiser.
 - b. Cibler les résultats et la performance globale en entreprise.** Des programmes devraient avoir pour but d'inciter les entreprises à mettre en œuvre des plans stratégiques d'amélioration de la PÉ. Ces programmes devraient s'appuyer sur un suivi structuré et transparent, une reddition de compte publique et une vérification indépendante des résultats. Les subventions devraient être conditionnées à l'amélioration mesurable de la PÉ et de la consommation d'énergie, plutôt qu'à la simple réalisation de projets.
 - c. Lier productivité énergétique et économie circulaire.** L'intégration d'un indicateur de PÉ dans les processus décisionnels peut faciliter la transition vers des modèles d'affaires circulaires qui recherchent l'optimisation continue de la productivité des ressources et la réduction des pertes. En plus de la Feuille de route gouvernementale en économie circulaire², qui inclut un indicateur de productivité des matières, le Québec devrait renforcer ses mesures d'économie circulaire dans le cadre du Plan pour une économie verte (PEV) et du Plan de gestion intégrée des ressources énergétiques (PGIRE).
 - d. Déployer un écosystème collaboratif de soutien à la productivité énergétique.** Favoriser l'engagement des entreprises dans un réseau collaboratif consacré à l'amélioration continue de la performance énergétique. Cet écosystème offrirait :
 - un accompagnement structuré, fondé sur la gestion de l'énergie et les meilleures pratiques internationales (ex., ISO 50001) ;
 - un audit énergétique approfondi, servant de base à un plan intégré d'efficacité et de productivité énergétiques ;
 - un soutien technique sur mesure pour la mise en œuvre des projets et le suivi des résultats ;
 - des outils pratiques adaptés aux réalités industrielles (ex., guides, plateformes numériques, indicateurs, répertoire d'experts) ;
 - un programme de reconnaissance valorisant les meilleures performances et stimulant l'émulation sectorielle (ex., gala de reconnaissance).

² MELCCFP, 2025. *Feuille de route gouvernementale en économie circulaire 2024-2028*.

2. Baliser l'effet rebond et renforcer les mécanismes de contrôle. Le gouvernement doit anticiper l'effet rebond lié aux gains d'efficacité énergétique. Le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission (SPEDE) constitue une base solide, mais doit être élargi et renforcé pour couvrir l'ensemble de l'économie et éviter les fuites de carbone. En l'absence de tels mécanismes de contrôle, des trajectoires crédibles de réduction des émissions de GES devraient être suivies par tous les secteurs et devraient être liées aux programmes afin d'encourager un découplage absolu entre la création de valeur économique et la consommation totale d'énergie, ainsi que les émissions de GES tout en évitant les effets pervers pouvant nuire à la croissance et au maintien du tissu industriel québécois.

Un **dialogue structurant et indépendant** entre les acteurs clés est essentiel pour dépasser les consultations ponctuelles et bâtir une démarche crédible, fondée sur des données fiables et des résultats vérifiables, garantis par des vérifications indépendantes. La productivité énergétique peut devenir un **levier stratégique**, transformant la lutte climatique en **opportunité de performance** pour les entreprises et la société.

Ce rapport est une mise à jour de celui publié en 2019 par les auteurs.

CHAPITRE 1 | La productivité énergétique au service de l'économie et de la transition climatique et énergétique

Au cours des dernières années, les initiatives sur la productivité énergétique se sont multipliées. Ce concept met en relation la création de valeur économique avec la consommation d'énergie. Maîtriser et augmenter cette productivité est essentiel pour accélérer la transition énergétique et renforcer la compétitivité. Cette étude vise à mieux faire connaître ce concept et à montrer comment une approche axée sur la productivité énergétique peut aider les entreprises à intégrer les considérations énergétiques dans leurs décisions stratégiques.

Le Québec souhaite réaliser une transition énergétique dans un contexte de développement économique. Cette transformation nécessitera l'électrification de nombreux usages, l'augmentation de la production d'électricité et le recours à des sources d'énergie plus coûteuses, telles que les biocarburants et l'hydrogène vert. Face à une hausse prévisible des prix de l'énergie, il devient crucial de réduire la consommation existante et de mieux gérer les pointes.

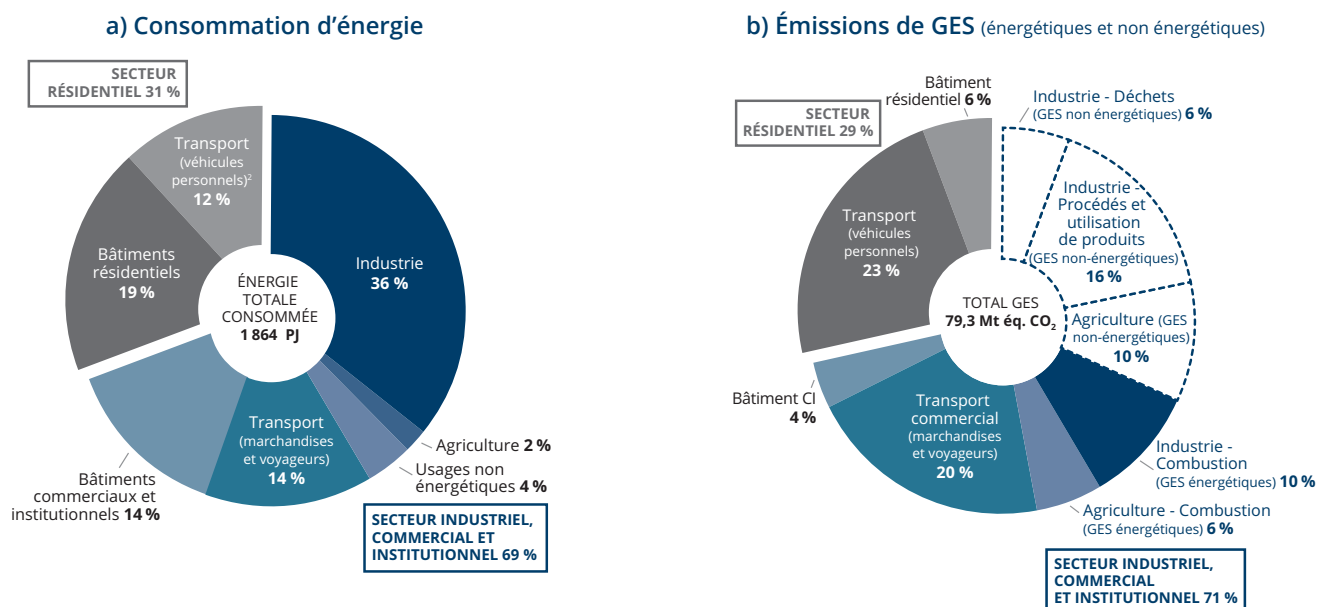
Jusqu'à présent, l'économie québécoise a bénéficié de tarifs énergétiques avantageux. Cependant, la production de nouvelles capacités et l'extension du réseau, comme prévu dans le Plan d'action 2035 d'Hydro-Québec, ainsi que l'obligation réglementaire des distributeurs gaziers de transporter une quantité minimale de gaz de source renouvelable (GSR) dans leur réseau auront inéluctablement des impacts sur le prix de l'énergie livrée. À cela s'ajoutent d'autres incertitudes externes susceptibles d'affecter la compétitivité des entreprises.

Pour pallier ces augmentations et bien se positionner, les secteurs économiques devront revoir leur approche à la consommation d'énergie. Dans l'industrie, cela signifie produire davantage de valeur économique (valeur ajoutée dans les entreprises, PIB pour les secteurs) par unité d'énergie consommée (GJ, kWh). Ce ratio est mesuré par la productivité énergétique. Analysée dans une logique de découplage entre la valeur produite et la consommation énergétique, la productivité énergétique devient un indicateur stratégique de performance au service de la transition énergétique et climatique.

État des lieux et contexte

En 2022, près des deux tiers de l'énergie consommée au Québec était consacrée à des usages industriels, commerciaux ou institutionnels. Cette énergie a servi à produire, transformer ou livrer des biens et des services, ainsi qu'à assurer le bon fonctionnement des bâtiments et bureaux (voir graphique 1a). Ces usages représentaient 71 % des émissions de GES totales de la province, dont plus de la moitié étaient attribuables à la combustion d'hydrocarbures (voir graphique 1b). La manière dont les entreprises géreront l'énergie et leurs émissions de GES aura donc d'importantes répercussions sur la réussite de la transition climatique du Québec.

GRAPHIQUE 1 | CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET ÉMISSIONS DE GES PAR SECTEUR D'ACTIVITÉ AU QUÉBEC, 2022



Source : Whitmore et Pineau, 2025; MELCCFP, 2025

Le Québec, grâce à son électricité propre, affiche un bilan énergétique décarboné enviable : près de 50 % de son énergie provient d'approvisionnement local de sources renouvelables (32 % d'hydro, 7 % de biomasse, 6,6 % d'éolien)³. Toutefois, sa consommation énergétique par habitant reste élevée. La moyenne canadienne dépasse celle du Québec dans les secteurs industriel, commercial et institutionnel, mais tous les pays auxquels nous nous comparons consomment moins par habitant (voir le graphique 2). Ainsi, l'Allemagne consomme deux fois moins d'énergie pour ces secteurs par habitant.

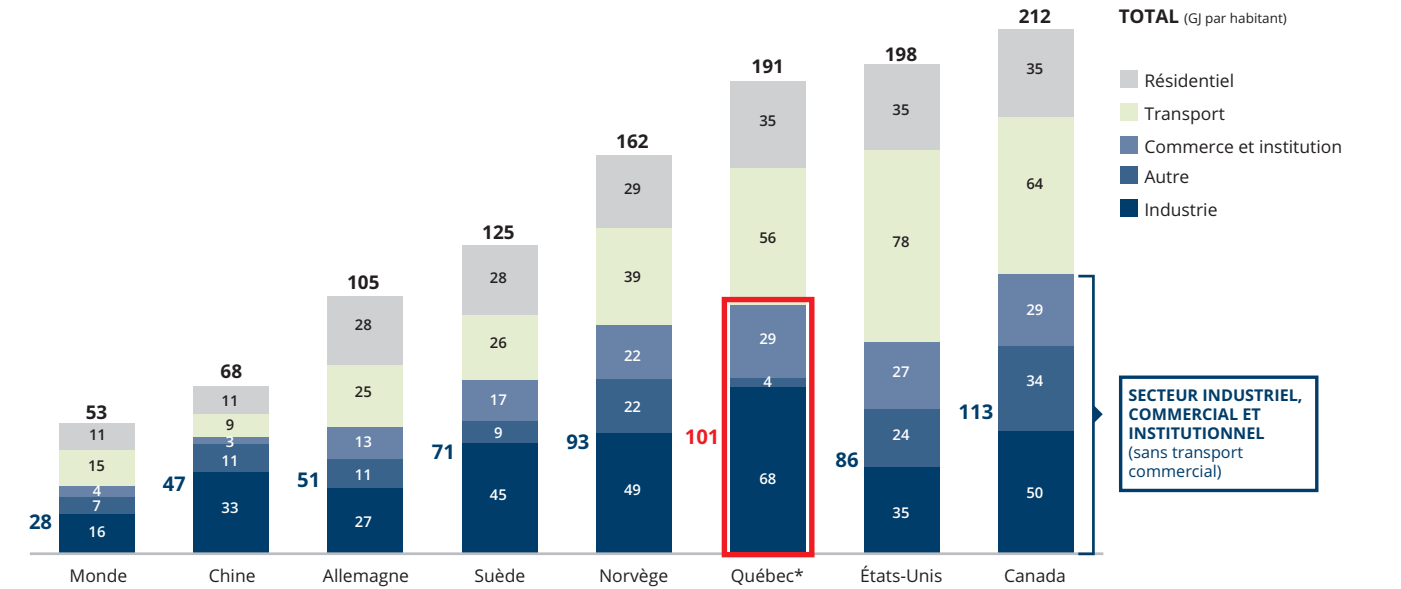
Cette grande consommation s'explique en partie par l'implantation d'industries énergivores à moindre valeur ajoutée, historiquement attirées par une large disponibilité d'électricité à bon marché. De plus, l'intensité des émissions de GES par unité d'énergie consommée dans l'industrie n'a que peu diminué depuis 1990 (–10%), indiquant une faible décarbonation des sources d'énergie⁴. Les pertes énergétiques sont aussi préoccupantes : pour chaque unité d'énergie utile, 1,3 unités sont perdues sans valorisation (graphique 3).

Ces constats révèlent que l'abondance énergétique à faible coût, combinée à un encadrement réglementaire et fiscal peu contraignant, n'ont pas favorisé l'émergence d'une culture de gestion rigoureuse de l'énergie, ni accéléré la transition vers des sources à faible teneur en carbone au Québec. Dans ce contexte, les entreprises québécoises se retrouvent avec peu d'incitatifs pour améliorer leur performance énergétique et amorcer une véritable transition.

³ Whitmore et Pineau, 2025. *État de l'énergie au Québec, 2025*.

⁴ Whitmore et Pineau, 2025. *État de l'énergie au Québec, 2025*.

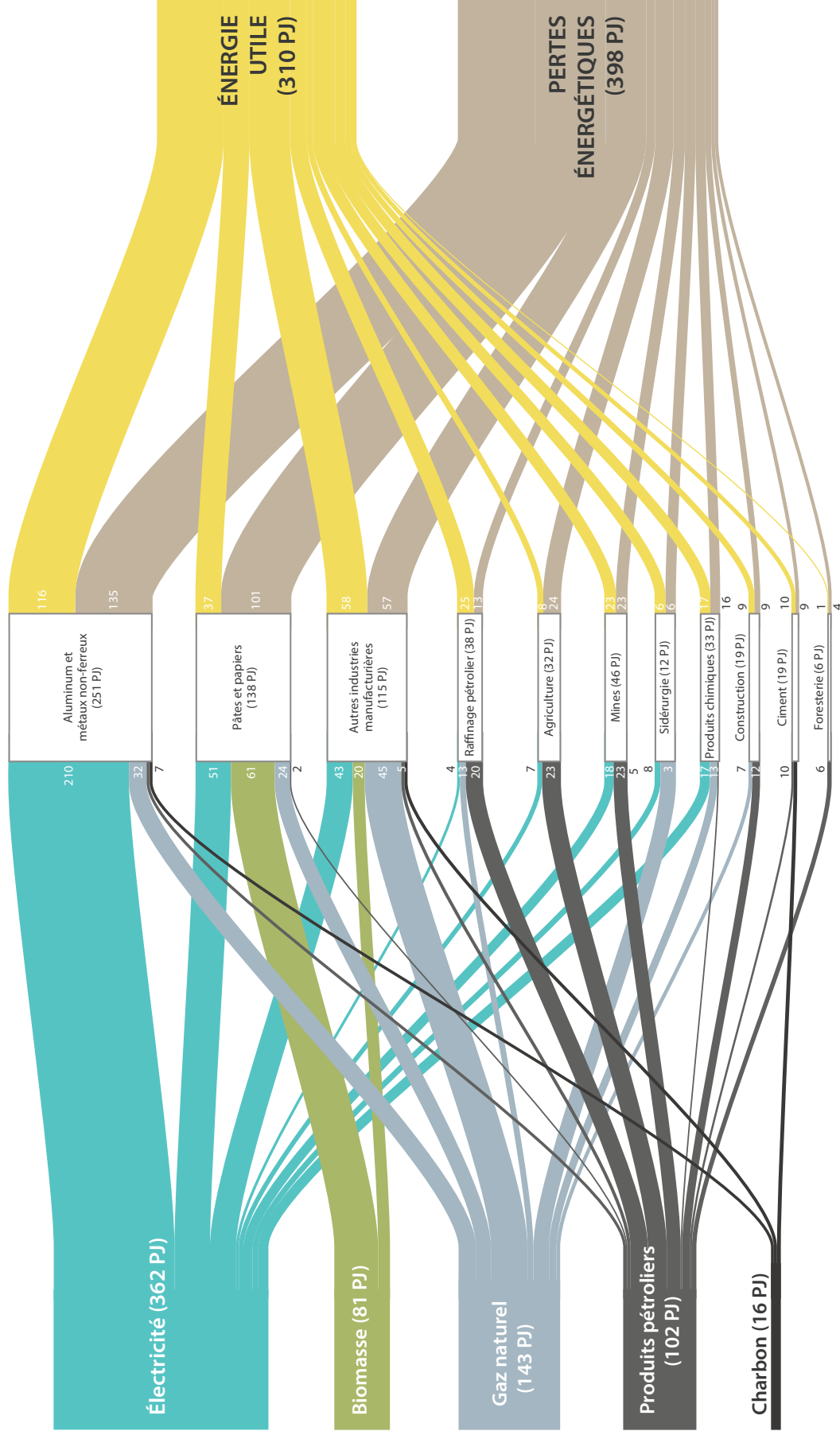
GRAPHIQUE 2 | COMPARAISON DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR HABITANT DU QUÉBEC AVEC CELLE D'AUTRES PAYS, 2022



Sources : Whitmore et Pineau, 2025 ; AIE, 2024; Banque mondiale, 2024; sauf * pour le Québec, Statistique Canada, 2024 (tableau 25-10-0029-01).

Note : Le graphique illustre la consommation énergétique de certains pays du monde. Seuls quatre petits pays ont une consommation par habitant supérieure à celle du Canada : Trinité-et-Tobago, le Qatar, l'Islande et le Luxembourg.

GRAPHIQUE 3 | ESTIMATION DES PERTES ÉNERGÉTIQUES DANS LES SOUS-SECTEURS INDUSTRIELS AU QUÉBEC



Sources : OÉÉ, 2025⁵ ; US DOE, 2018.

Note : Certains totaux ne s'additionnent pas parfaitement en raison d'arrondissements et du fait que les flux énergétiques inférieurs à 2 PJ ne sont pas affichés sur le diagramme. Les données de l'OÉÉ ne contiennent pas de données pour l'utilisation de la biomasse dans le secteur agricole. La catégorie « Autres (vapeur et résidus du ciment) » n'est pas affichée pour gagner en lisibilité (et aussi parce que la majorité de ses flux sont inférieurs à 2 PJ). Les facteurs d'efficacité énergétique proviennent du Manufacturing Energy Consumption Survey (MECS) du Department of Energy des États-Unis (US DOE). Les hypothèses suivantes sont utilisées pour les secteurs pour lesquels le MECS ne fournit pas de facteurs d'efficacité : les secteurs agricoles et forestiers utilisent un facteur de 25 % en raison de l'utilisation principale de moteurs thermiques pour leurs activités; les secteurs des mines et de la construction utilisent un facteur de 50,2%, représentant l'efficacité moyenne de l'industrie américaine.

⁵ OÉÉ, 2018.

Vers une stratégie fondée sur la productivité énergétique

La gestion de l'énergie constitue un enjeu transversal mobilisant un large éventail de compétences. Elle exige une gouvernance stratégique et durable, impliquant une diversité d'acteurs. Or, la succession de politiques et d'organismes consacrés à l'efficacité énergétique (voir Annexe 1) et le morcellement du secteur ont créé un manque de pérennité, de coordination intersectorielle et de reddition de comptes, limitant ainsi l'impact des efforts déployés^{6,7}.

Au Québec, les investissements en efficacité énergétique demeurent modestes. Selon *Efficiency Canada*⁸ et l'*American Council for an Energy-Efficient Economy*⁹ (ACEEE), ils représentent à peine 1 % des dépenses énergétiques annuelles, comparativement à 2,9 % à 7 % dans les juridictions nord-américaines les plus performantes (électricité seulement).

Si certains programmes demandent un plan de surveillance et des rapports de vérification pour mesurer les économies d'énergie réelles (ex., EcoPerformance), d'autres programmes offerts aux consommateurs ne sont que des aides financières. Ils misent sur le remplacement d'équipements par des versions plus efficaces (ex., chaudières, compresseurs, éclairage) et ces programmes sont surtout évalués en fonction des sommes investies, plutôt que par les gains énergétiques réels obtenus. Les initiatives visant l'optimisation des procédés et de la gestion de l'énergie, pourtant cruciales pour améliorer durablement la productivité énergétique, sont encore peu ciblées. Les pertes thermiques, les rejets de matières, la surproduction ou le fonctionnement inutile d'équipements illustrent une surutilisation sans valeur ajoutée¹⁰.

Face aux limites de l'approche actuelle pour transformer les marchés, modifier les comportements et encourager les investissements — notamment en raison d'un signal-prix de l'énergie trop faible — de nouvelles stratégies doivent être explorées. Pour combler ces lacunes, la Chaire de gestion du secteur de l'énergie a publié en 2019 une première étude proposant une approche axée sur la productivité énergétique (PÉ)¹¹. Celle-ci vise à accélérer simultanément la transition énergétique et l'amélioration de la performance économique des entreprises.

Depuis cette publication, la PÉ et ses indicateurs associés ont gagné en visibilité auprès du gouvernement, des médias et du secteur privé (voir tableau 1). Toutefois, les auteurs constatent des définitions divergentes, souvent détachées du principe fondamental de découplage entre création de valeur et consommation énergétique. Ces incohérences limitent l'efficacité de l'indicateur comme levier de transition. Pour y remédier, la Chaire actualise son rapport en intégrant un outil de visualisation des scénarios de découplage et des études de cas illustratives.

⁶ Whitmore, Pineau, 2025. *Financement de l'efficacité énergétique au Québec : quelles options pour accélérer la décarbonation de l'économie?*, Rapport de synthèse d'un atelier tenu le 2 mai 2025, préparé pour le gouvernement du Québec, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, <https://energie.hec.ca/atelier-financement-ee>

⁷ Whitmore, Pineau, 2016. *Portrait global de l'efficacité énergétique en entreprise au Québec*, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, <https://energie.hec.ca/pgeeeq2016>

⁸ Nippard, A., Gaede, J., 2023. *The 2023 Energy Efficiency Programs Update: Provinces and Territories*, Efficiency Canada, Carleton University, p.19 et35, www.efficiencycanada.org/wp-content/uploads/2024/02/Energy-Efficiency-Programs-Update.pdf

⁹ Subramanian, S., et cie., 2022. *2022 State Energy Efficiency Scorecard*, ACEEE, tableaux 10 et 11, www.aceee.org/sites/default/files/pdfs/u2206.pdf

¹⁰ TEQ, 2018. *Fiche diagnostic/enjeux – Industrie, gouvernement du Québec*, <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/consultation/Fiche-diagnostic-Consultation-TEQ-Industrie.pdf>

¹¹ Whitmore, J., Pineau, P.-O., Harvey, J., 2019. *Productivité énergétique – Amorcer la décarbonisation en stimulant l'économie*, rapport préparé pour Transition énergétique Québec, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal., <https://energie.hec.ca/productiviteenergetique>

TABEAU 1 | RÉTROSPECTIVE DES INITIATIVES LIÉES À LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE (PÉ) AU QUÉBEC, 2019-2025

2019	Première publication universitaire. Publication du rapport sur la productivité énergétique par la Chaire de gestion du secteur de l'énergie, avec le soutien du gouvernement du Québec, amorçant une réflexion structurée sur son usage dans le secteur industriel ¹² . Une publication antérieure (2016) abordait la PÉ, mais ne l'avait pas positionnée aussi clairement comme levier de la transition énergétique ¹³ .
2022	Premier engagement gouvernemental. Intégration de l'indicateur de la PÉ, et de l'effet rebond, dans la mise à niveau 2026 du Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétiques du MERN. Proposition d'intégrer le suivi de la PÉ dans « les feuilles de route du plan directeur » ¹⁴ .
2023	Première annonce industrielle. Les Brasseries Labatt du Canada annoncent un investissement de « 6 M \$ dans la productivité énergétique et la récupération de chaleur » à son site de Montréal ¹⁵ , avec l'objectif de réduire ses émissions de GES de 30 %. Le communiqué ne précise pas la définition de la PÉ.
2024	Médiatisation et comparaison (février). À la suite de la publication de l'État de l'énergie au Québec 2024, en février, qui comparait la PÉ du Québec à celle d'autres régions, La Presse et Radio-Canada relaient des analyses soulignant les disparités dans l'utilisation de l'énergie pour générer de la richesse. Orientations gouvernementales et incitatifs (juin). Le MELCCFP, dans son Plan de mise en œuvre 2024–2029 du Plan pour une économie verte (PMO-PEV)¹⁶, propose des mesures pour inciter les entreprises à adopter des cibles de PÉ. Cela inclut un système volontaire de déclaration publique pour les grandes industries, des conditions d'accès au financement basées sur l'éco-conditionnalité, et un investissement de 15 M \$ pour améliorer la PÉ des grandes industries pour « limiter l'utilisation sous-optimale des ressources afin de maximiser la création de richesse ». Le lancement de la mesure est prévu entre 2026 et 2029, avec un budget de 1 M \$ pour développer le calendrier de divulgation. Mobilisation des acteurs économiques et de l'innovation (sept.). Dans le cadre de son mémoire sur le projet de loi 69, la Fédération des chambres du commerce du Québec (FCCQ) recommande l'intégration d'indicateurs de PÉ dans le processus de reddition de comptes du Plan de gestion intégrée des ressources énergétiques (PGIRE)¹⁷. Parallèlement, le Conseil de l'innovation du Québec collabore avec Ouranos et Québec Net Positif pour inclure la PÉ dans le tableau de bord de l'innovation, via son Baromètre de l'innovation¹⁸. Aucune définition précise de l'indicateur de PÉ n'est fournie, ce qui laisse place à diverses interprétations. Investissement dans la productivité durable (oct.). Investissement Québec (IQ) lance l'initiative grand V, visant à stimuler les investissements en innovation et « productivité durable »¹⁹, dont la PÉ. Une cible d'investissement de 4,5 G \$ est prévue sur trois ans pour accompagner les entreprises dans leur virage stratégique. Aucune définition précise de l'indicateur de PÉ n'est fournie.
2025	Recommandations pour la relance économique (mars). En réaction aux contraintes tarifaires imposées par l'administration Trump, la FCCQ publie son <i>Livre bleu de la productivité</i>, proposant 40 recommandations. Certaines portent sur la décarbonation, l'efficacité énergétique et la gestion des ressources, soulignant l'importance de la PÉ comme levier économique²⁰. Accélération des actions et mobilisation sectorielle (juin). Le Sommet sur l'énergie Les Affaires accueille un panel sur l'adaptation à la productivité énergétique comme opportunité économique²¹. CEI Montréal lance une offensive de transformation numérique liée à l'énergie. Nouvel engagement gouvernemental (juin). Le MELCCFP intensifie ses efforts avec un investissement de 1,7 G \$ sur cinq ans pour améliorer de 22 % la PÉ et réduire les émissions du secteur industriel québécois dans le PMO 2025-2030 (action R2-070)²². Cette stratégie vise à promouvoir la PÉ comme facteur de performance et de compétitivité avec l'élaboration d'un calendrier de divulgation de la PÉ en industrie.

¹² Whitmore, J., Pineau, P.-O., Harvey, J., 2019. *Productivité énergétique – Amorcer la décarbonisation en stimulant l'économie*, rapport préparé pour le gouvernement du Québec, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, <https://energie.hec.ca/productiviteenergetique>

¹³ Whitmore, J. et Pineau, P.-O., 2016. *Portrait global de l'efficacité énergétique en entreprise au Québec*, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, <https://energie.hec.ca/pgeeeq2016>

¹⁴ MERN, 2022. *Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétique - Mise à niveau 2026*, Gouvernement du Québec, voir p.3 (Figure 1), p.8 et p.71, <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/plan-directeur/MERN-Mise-niveau-2026-plan-directeur-transition-energetique.pdf>

¹⁵ Les Brasserie Labatt du Canada, 2023. *Labatt invest six millions de dollars dans la productivité énergétique et la récupération de chaleur dans sa brasserie de Montréal*, communiqué de presse, 12 décembre 2023, www.newswire.ca/fr/news-releases/labatt-investit-six-millions-de-dollars-dans-la-productivite-energetique-et-la-recuperation-de-chaleur-dans-sa-brasserie-de-montreal-827714616.html

¹⁶ Gouvernement du Québec, 2024. *Plan pour une économie verte : Plan de mise en œuvre 2024-2029*, voir p.23, 25 et 47, <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-mise-oeuvre-2024-2029.pdf>

¹⁷ FCCQ, 2024. *Une réforme cruciale dont le coût doit être réparti de manière équitable - Mémoire déposé dans le cadre des Consultations particulières et auditions publiques sur le projet de loi n° 69*, voir p.24-25, www.fccq.ca/app/uploads/2024/09/2024-09-11-memoire-fccq-pl69-energie.pdf

¹⁸ CIQ 2024. *De nouveaux indicateurs clés en environnement pour suivre l'innovation au Québec*, page web, <https://conseilinnovation.quebec.ca/agir-au-niveau-de-ladaptation-et-lattenuation>

¹⁹ IQ, 2024. *Initiative grandV* (2024-2027), PDF, <https://grandv.investquebec.com/medias/iw/FichetechniquegrandV.pdf>

²⁰ FCCQ, 2025. *Livre bleu de la productivité*, www.fccq.ca/40-recommandations-pour-relancer-la-productivite-au-quebec/

²¹ Les Affaires, 2025. « L'adaptation à la productivité énergétique : une occasion d'affaires et d'économie », panel dans le cadre de la conférence *Avenir Énergie – stratégie pour gérer l'incertitude énergétique et tarifaire*, Les Affaires, 15 avril 2025, https://evenements.lesaffaires.com/products/2025-04-15-avenir-energie?srsltid=AfmBOoqUA6QPTswa2g3_7PQPpyVRkX8RseVH05DTmjcRUSETOvpWgzJbu

²² Gouvernement du Québec, 2025. *Plan pour une économie verte : Plan de mise en œuvre 2025-2030*, voir p.4-6, 19, 23 et 50, <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-mise-oeuvre-2025-2030.pdf>

Adopter une approche axée sur la PÉ dans les stratégies et les processus décisionnels des entreprises permet de lier la consommation de ressources à la création de valeur économique²³. Par exemple, si une entreprise double ses revenus par unité d'énergie consommée, elle augmente la valeur ajoutée de son usage énergétique. C'est dans cette logique que le gouvernement américain a visé en 2014 un doublement de la PÉ d'ici 2030 par rapport à 2010 dans son initiative *Accelerate Energy Productivity 2030*²⁴. Le *Department of Energy* (DOE) avait alors estimé les retombées à 922 G \$, soit une hausse de 4,3 % du PIB, et une réduction de 25 % de la consommation d'énergie.

La présente étude propose une approche actualisée pour aider les décideurs à mieux intégrer l'énergie dans leurs choix stratégiques. Elle offre :

- Une description de l'indicateur et de l'outil de suivi du découplage, tenant compte de l'effet rebond (chapitre 2)
- Une comparaison internationale et nationale de la PÉ (chapitre 3)
- Des stratégies d'amélioration de la PÉ en entreprise (chapitre 4)
- Des études de cas d'entreprises québécoises ayant amélioré leur PÉ (chapitre 5)

En conclusion, elle propose des pistes d'action pour instaurer au Québec une culture de la PÉ fondée sur le découplage entre croissance économique et consommation énergétique.

²³ Von Weizsäcker, E., 2019. « La productivité des ressources – passage obligé de la transition énergétique », *Revue Gestion HEC Montréal*, vol. 44, no 1, printemps 2019, p. 88-91.

²⁴ U.S. Department of Energy, (2015). *Accelerate Energy Productivity 2030 : A Strategic Roadmap for American Energy Innovation, Economic Growth, and Competitiveness*. Prepared by Keyser, D.; Mayernik, J., M.; McMillan, C. of National Renewable Energy Laboratory; Agan, J.; Kempkey, N.; Zweig, J. of U.S. Department of Energy, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-E-PURL-gpo76905/pdf/GOVPUB-E-PURL-gpo76905.pdf>

CHAPITRE 2 | Indicateur et outil de suivi de la productivité énergétique

La productivité énergétique mesure la création de valeur économique produite par unité d'énergie consommée. Lorsqu'elle est analysée dans une logique de découplage entre la valeur produite et la consommation d'énergie et les émissions de GES, elle devient un indicateur clé de performance au service de la transition énergétique et climatique. Cette approche permet d'orienter les efforts vers un développement plus durable et compétitif qui permet d'éviter ou limiter les effets rebond.

En raison de sa nature relative, l'amélioration de productivité énergétique (PÉ) ne garantit pas une amélioration de la performance environnementale. La PÉ peut s'accroître alors que la consommation d'énergie reste stable ou même augmente. **Pour répondre aux enjeux de la transition énergétique, il est donc essentiel d'en faire le suivi en relation avec deux autres valeurs : la consommation d'énergie et les émissions de GES liées à l'énergie.** Cette approche intégrée renforce la pertinence de la PÉ en tant qu'outil de suivi des progrès vers la décarbonation, tout en contribuant à contenir l'effet rebond à différentes échelles (projet, usine, secteur industriel, région et pays) – c'est à dire un changement non intentionnel qui augmente la consommation d'énergie suite à un gain d'amélioration de l'efficacité énergétique.

Ce chapitre offre une introduction au concept de la PÉ, discute de l'effet rebond et présente un outil visuel destiné au suivi de ses indicateurs dans une perspective de découplage. L'objectif est de maximiser les retombées positives au service de la transition énergétique tout en renforçant la compétitivité de l'économie et des entreprises. Un aperçu de l'indicateur de la productivité énergétique et de ses limites est présenté à la fin du chapitre.

Concept de base

Contrairement aux mesures d'efficacité énergétique qui sont plus ciblées et opérationnelles, le concept de la PÉ se veut global et stratégique, car il vise à stimuler l'atteinte d'objectifs économiques en faisant simultanément appel à une amélioration continue des moyens et des pratiques de production industrielle et de consommation d'énergie²⁵. L'Annexe 1 présente un sommaire des principaux indicateurs de productivité énergétique et du carbone. Cette amélioration passe aussi par l'excellence opérationnelle²⁶, une démarche stratégique permettant à une entreprise d'améliorer sa performance globale en optimisant ses processus, tout en réduisant les coûts et en maximisant la productivité et la qualité de manière durable.

D'un point de vue **macroéconomique**, (ex., sous-secteur d'activité, région, pays) la PÉ mesure la valeur produite à partir d'une consommation d'énergie donnée (ex., \$PIB/GJ). L'indicateur de PÉ est l'inverse de celui d'intensité

²⁵ Clancy, H., 2016. « What does energy productivity mean? », *GreenBiz 101*, publié le 5 juillet 2016, www.greenbiz.com/article/greenbiz-101-energy-productivity-mean (consulté le 25 juillet 2019).

²⁶ Issar, G. et Navon, L.R., 2016. *Operational Excellence A Concise Guide to Basic Concepts and Their Application*, Springer, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-20699-8.pdf>

énergétique qui est plus couramment utilisé²⁷ et reflète l'énergie utilisée par unité de PIB (GJ/ \$PIB). L'atteinte d'une plus grande PÉ est donc le résultat d'une croissance économique rendue possible grâce à des gains d'efficacité et d'optimisation obtenus par à des innovations liées à la consommation énergétique.

À cette échelle, une hausse de la PÉ peut également résulter de transformations structurelles de l'économie. Par exemple, une réduction des activités dans des secteurs à faible PÉ, comme le ralentissement ou la fermeture d'usines, peut contribuer à une amélioration globale de l'indicateur si ces secteurs sont moins performants que la moyenne sectorielle, régionale ou nationale.

Sur le plan **microéconomique** (ex., projet, usine, entreprise), la PÉ mesure la valeur produite par unité d'énergie consommée, qu'elle soit mesurée en termes physiques ou économiques. Lorsqu'elle est associée à la production physique, elle mesure le nombre d'unités produites par rapport à la quantité d'énergie nécessaire à leur fabrication (ex., tonnes/MJ, litres/MJ, total d'unités produites/MJ). Si l'analyse repose sur la valeur économique, elle traduit le revenu ou la valeur ajoutée générée par l'entreprise par unité d'énergie consommée (\$/MJ)²⁸.

L'effet rebond : concept et options pour son atténuation

L'amélioration de l'efficacité et de la PÉ ne garantit pas une réduction globale de la consommation énergétique ni des émissions de GES liées aux activités économiques. Bien que la PÉ s'améliore au fil du temps, principalement en raison de progrès technologiques, la consommation énergétique et la pression environnementale continuent d'augmenter globalement.

L'effet rebond (lié au paradoxe de Jevons²⁹) désigne l'augmentation de la consommation de ressources, par rapport à ce qu'il aurait été techniquement possible de réaliser, qui découle d'une amélioration de l'efficacité énergétique. Il s'agit d'un effet de rétroaction positif : en rendant l'usage de l'énergie plus efficient, on en facilite l'accès et l'usage, ce qui peut en accroître la demande.

À l'échelle microéconomique, la baisse des coûts de production peut stimuler l'offre, faire baisser les prix et accroître la demande^{30,31,32}. Lorsque les économies d'énergie sont peu coûteuses, l'effet rebond peut aussi se manifester par le réinvestissement des sommes économisées, qui sont dépensées ou réinjectées dans l'activité, entraînant indirectement une hausse de la consommation énergétique et des émissions³³.

L'ampleur de cet effet varie selon les différents secteurs et technologies, soit entre des niveaux relativement faibles (0-20 %) à très élevés (plus de 50 %), voire parfois contreproductif (plus de 100 %), inversant ainsi les économies d'énergie techniquement réalisables en augmentation absolue de la consommation énergétiques³⁴.

²⁷ IRENA, UNSD, World Bank, WHO. 2024. « Chapter 4 - Energy Efficiency », Dans *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report*, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/cdd62b11-664f-4a85-9eb6-7f577d317311/SDG7-Report2024-0611-V9-highresforweb.pdf>

²⁸ La valeur ajoutée manufacturière est plus représentative que les revenus ou la valeur des ventes pour exprimer la productivité énergétique, puisqu'elle mesure la contribution nette des activités de l'entreprise à la valeur économique produite, excluant contrairement au revenu, la valeur des intrants non produits par l'entreprise, dont les matières premières.

²⁹ Sorrell, S., 2009. « Jevons' Paradox revisited : The evidence for backfire from improved energy efficiency », *Energy Policy*, Volume 37, Issue 4, Pages 1456-1469, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508007428>.

³⁰ AIE, 2011. *Energy Efficiency Policy and Carbon Pricing. Information Paper* – août 2011, Agence internationale de l'énergie, www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE_Carbon_Pricing.pdf.

³¹ Van der Bergh, J., 2011. *Industrial energy conservation, rebound effects and public policy*, Working Paper 12/2011, ONUDI, <https://pdfs.semanticscholar.org/ecc2/5b0199599a9f54b2308bbd6fc57e3b50851c.pdf>.

³² Font Vivanco, D., Kemp, R., van der Voet, E., 2016. « How to deal with the rebound effect ? A policy-oriented approach », *Energy Policy*, vol. 94, p. 114-125.

³³ Antal, M., Van den Bergh, J., 2014. « Re-spending rebound : A macro-level assessment for OECD countries and emerging economies », *Energy Policy*, Vol. 68, p.585-590, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513011233?via%3Dihub>

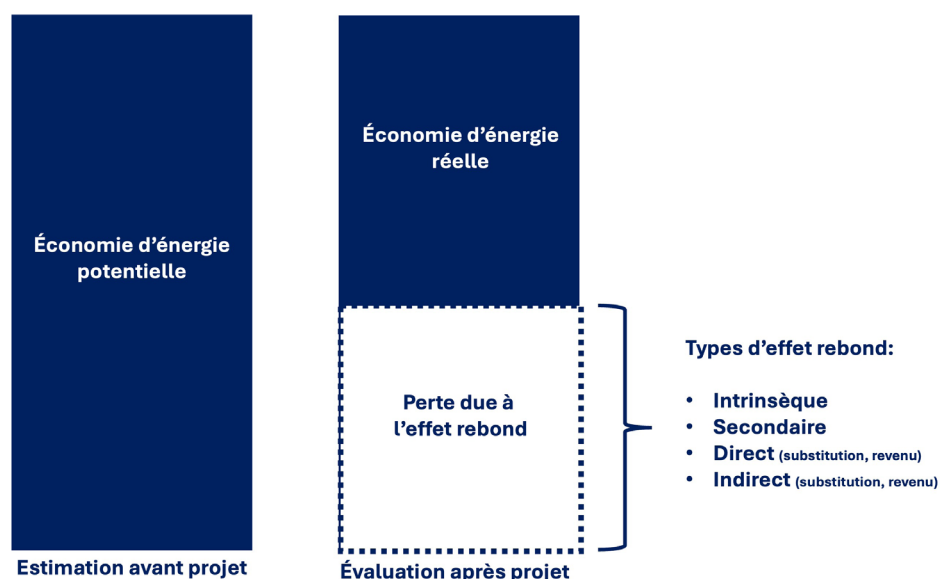
³⁴ On parle dans ce cas de « backfire ». Voir Sorrell, S., 2009. « Jevons' Paradox revisited : The evidence for backfire from improved energy efficiency », *Energy Policy*, Volume 37, Issue 4, Pages 1456-1469, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508007428>.

Ces écarts dépendent des situations particulières où un effet rebond survient. Ils peuvent aussi s'expliquer parfois, en partie, par des différences méthodologiques d'évaluation et les limites du périmètre d'analyse (ex., temporelle, géographique, cycle de vie).

Il existe plusieurs formes d'effet rebond (ex., direct, indirect, intrinsèque) qui réduisent les gains attendus et entraînent une réduction de la consommation d'énergie inférieure aux économies potentielles initialement estimées (voir graphique 4). Cette perte réduit l'efficacité des investissements sur le plan environnemental et de la transition énergétique. Malgré les incertitudes sur son ampleur, le phénomène est largement reconnu et son intégration dans les politiques énergétiques est jugée essentielle pour en limiter les effets.

Selon une étude de l'Organisation des Nations unies pour le développement industriel (ONUDI), l'effet rebond est généralement plus faible lorsque les dépenses énergétiques des entreprises représentent une faible part des dépenses totales³⁵. À l'inverse, les secteurs à forte intensité énergétique, comme les procédés industriels et le transport commercial, sont plus exposés à un effet rebond élevé à la suite de gains d'efficacité et de productivité (voir tableau 2).

GRAPHIQUE 4 | ILLUSTRATION DE L'IMPACT DE DIFFÉRENTS TYPES D'EFFET REBOND SUR LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE D'UN PROJET D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE



Source : graphique adapté de Sorrell, Gatersleben, Druckman, 2018³⁶.

³⁵ Van der Bergh, J., 2011. *Industrial energy conservation, rebound effects and public policy*, Working Paper 12/2011, ONUDI, p. 9, <https://pdfs.semanticscholar.org/ecc2/5b0199599a9f54b2308bbd6fc57e3b50851c.pdf>.

³⁶ Sorrell, S., Gatersleben, B., Druckman, A., 2018. *Energy sufficiency and rebound effects*, Concept Paper, European Council for an Energy Efficient Economy [ECEEE], p. 15, www.energysufficiency.org/static/media/uploads/site-8/library/papers/sufficiency-rebound-final_formatted_181118.pdf.

TABEAU 2 | ÉVALUATION QUALITATIVE DU POTENTIEL D'EFFET REBOND LIÉ À L'AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE D'ACTIVITÉS INDUSTRIELLES

Activités industrielles	Part d'énergie consommée	Potentiel d'économie d'énergie (ratio des dépenses énergétiques totales)	Risque d'effet rebond lié à une amélioration d'efficacité énergétique	
			Utilisation plus intensive d'équipements existants (effet rebond direct)	Effet sur la productivité (effet rebond sur d'autres facteurs de production)
Éclairage	Faible	Faible	Moyen	Faible
Réfrigération	Moyen	Faible	Faible	Faible
Climatisation d'espace	Moyen	Moyen	Faible	Faible
Chauffage d'espace	Moyen	Élevé	Faible	Faible
Chauffage d'eau	Moyen	Faible	Faible	Faible
Procédés industriels	Élevée	Élevé	Moyen	Élevé
Transport et logistique	Élevée	Élevé	Élevée	Moyen

Source : Adaptation du tableau de Van den Bergh, 2011³⁷. Traduction par les auteurs.

Comment atténuer l'effet rebond ?

L'effet rebond ne remet pas en cause la pertinence des mesures visant à améliorer la productivité et l'efficacité énergétiques. Cependant, il constitue un frein significatif à l'atteinte des objectifs climatiques en réduisant l'impact absolu des mesures. Les décideurs doivent donc en tenir compte dans la conception des politiques publiques afin d'éviter que l'effet sur la consommation d'énergie totale des gains d'efficacité ne soient annulés par une augmentation de la demande énergétique³⁸.

Parmi les leviers les plus efficaces pour atténuer cet effet, les instruments économiques occupent une place centrale. En internalisant pleinement les coûts des externalités négatives comme les émissions de GES et les autres types de pollution, notamment par la tarification de la pollution ou de l'énergie, ces mesures incitent à une utilisation plus rationnelle des ressources et freinent la surconsommation.

Selon l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI), les mesures pour limiter l'effet rebond doivent augmenter le coût par unité d'énergie tout en limitant les émissions de GES (voir tableau 3). Les approches sans impact sur ce coût (ex., comme la sensibilisation, les subventions ou les actions volontaires) risquent d'amplifier l'effet rebond, même si elles ont un rôle à jouer. En revanche, la taxation des carburants ou des émissions, bien qu'exigeant des ajustements dans le temps, permet de mieux le contrôler. Les systèmes de plafonnement et d'échange de droits d'émissions, comme le SPEDE au Québec, combinent limitation des émissions et hausse du coût, offrant ainsi une efficacité optimale.

Dans le cas des programmes d'efficacité énergétique, l'effet rebond peut être minimisé en versant une aide financière conditionnelle aux économies d'énergie mesurées au niveau de l'usine ou du bâtiment et non au niveau des projets.

Dans une perspective idéale, le Québec devrait élargir la portée du SPEDE aux secteurs encore non assujettis, notamment l'agriculture et la gestion des matières résiduelles. Il conviendrait également d'éliminer progressivement les allocations gratuites accordées à certains grands émetteurs et de revoir les tarifs aux frontières afin d'imposer un prix sur le carbone aux émissions associées à la production des biens échangés qui échappent actuellement à la tarification du carbone.

³⁷ Van den Bergh, J., 2011. *Industrial energy conservation, rebound effects and public policy*, Working Paper 12/2011, ONUDI, p. 9, <https://pdfs.semanticscholar.org/ecc2/5b0199599a9f54b2308bbd6fc57e3b50851c.pdf>.

³⁸ Umweltbundesamt, 2014. *Rebound effects*, gouvernement de l'Allemagne, page web, www.umweltbundesamt.de/en/topics/waste-resources/economic-legal-dimensions-of-resource-conservation/rebound-effects

En l'absence de tels mécanismes et d'un prix du carbone suffisamment élevé pour induire un changement de comportement chez les consommateurs, le SPEDE devra être renforcé par des mesures complémentaires : réglementation ciblée, incitatifs financiers avec écoconditionnalité, programmes d'information.

TABEAU 3 | IMPACTS DE MESURES GOUVERNEMENTALES SUR L'EFFET REBOND

Mesures gouvernementales pour encourager l'efficacité énergétique et/ou la réduction des GES	Maîtrise de l'effet rebond par...	
	...un impact sur le coût par unité d'énergie consommée?	...un plafonnement de la consommation totale d'énergie (ou d'émissions de GES)
1. Information, sensibilisation et actions volontaires	Non	Non
2. Réglementation/normes (ex., normes pour les bâtiments ou technologies)	Non	Non
3. Subventions pour l'efficacité énergétique	Non	Non
4. Fiscale/réglementation des prix (ex., taxes, frais)	Oui	Non
5. Permis échangeables (ex., mécanismes de prix avec plafond)	Oui	Oui

Source : Adaptation du tableau de Van den Bergh, 2011³⁹. Traduction par les auteurs.

Outil de suivi du découplage

Pour que la productivité énergétique soit utilisée de façon pertinente comme un indicateur de performance environnementale, elle doit être suivie en lien avec la valeur produite (VP), la consommation énergétique et les émissions de GES. La valeur produite correspond à la richesse générée par une activité économique (ex., PIB, valeur ajoutée) ou les résultats d'un processus industriel (ex., nombre d'unités ou volumes fabriqués).

Sans cette approche intégrée, un suivi centré uniquement sur la PÉ risque d'entraîner des effets rebonds et de compromettre l'atteinte des objectifs de transition énergétique et climatique.

Le découplage des indicateurs économiques, énergétiques et environnementaux (3E) fait l'objet d'études depuis plus de vingt ans. Dès 2002, l'OCDE proposait déjà d'analyser le lien entre les impacts environnementaux et les bénéfices économiques⁴⁰. Le Programme des Nations-Unies sur l'environnement (PNUE) définit le découplage comme une réduction des ressources utilisées pour générer de la croissance, tout en dissociant le développement économique de la dégradation environnementale⁴¹. Depuis, de nombreuses recherches économiques ont tenté de mesurer, modéliser et hiérarchiser des scénarios de découplage^{42, 43, 44}. L'indicateur de la productivité énergétique reste toutefois peu utilisé dans ces analyses^{45, 46}.

³⁹ Van der Bergh, J., 2011. Industrial energy conservation, rebound effects and public policy, Working Paper 12/2011, ONUDI, p. 12, <https://pdfs.semanticscholar.org/ecc2/5b0199599a9f54b2308bbd6fc57e3b50851c.pdf>

⁴⁰ OECD, 2002. *Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth*, SG/SD(2002)/FINAL, https://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/idsd/pdf/decoupling_environment_&_economy.pdf

⁴¹ PNUE, 2011. *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*, <https://www.unep.org/resources/report/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth>

⁴² Conte Grand, M., 2016, « Carbon emission targets and decoupling indicators », *Ecological Indicators*, vol 67, p. 649-656, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.042>

⁴³ Napolitano, O., et cie., 2023. « The impact of energy, renewable and CO₂ emissions efficiency on countries' productivity », *Energy Economics*, 125, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106795>

⁴⁴ Guo, Q., You, W., 2025. « Decoupling analysis of economic growth, energy consumption and CO₂ emissions in the industrial sector of Guangdong province », *International Journal of Low-Carbon Technologies*, Vol 18, p. 494-506, <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctad040>

⁴⁵ Koji, N., 2019. *Energy Productivity Improvement and Invisible Structural Changes*, RIETI, www.rieti.go.jp/en/columns/a01_0524.html

⁴⁶ Romero-Jordan, D., del Rio, P., Pinto, F., 2025. « Does energy productivity boost total factor productivity? », *Energy Policy*, vol 206, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114766>

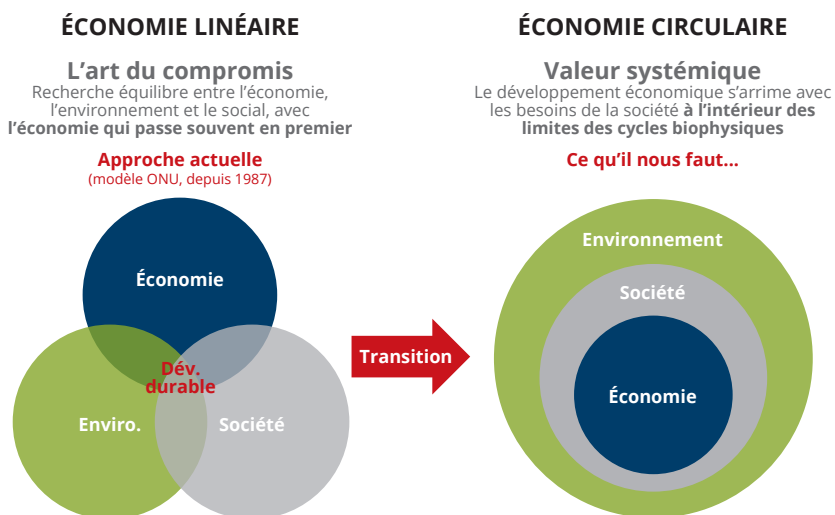
Les modèles économiques de découplage sont souvent complexes. **L'approche présentée ici est volontairement simplifiée afin de faciliter l'utilisation et d'accompagner les décideurs vers un suivi visuel de la PÉ axé sur le découplage entre la valeur produite et la consommation d'énergie.**

L'examen de l'évolution de la PÉ en relation avec la valeur produite et la consommation d'énergie permet d'identifier différents scénarios de découplage. De plus, lorsque les sources utilisées comprennent des énergies fossiles (ex., gaz naturel, pétrole), il est essentiel de suivre également les émissions de GES liées à l'énergie qui peuvent diminuer par réduction de la consommation ou substitution par des sources moins émettrices (ex., électrification, gaz renouvelable).

Le tableau 4 illustre trois scénarios de découplage entre la valeur produite et la consommation énergétique, reflétant une hausse de la PÉ. À l'inverse, les scénarios sans découplage ou présentant un découplage négatif renforcent le lien entre production de valeur et consommation d'énergie, sans aucune retombée pour la transition énergétique. L'outil de visualisation s'applique à diverses échelles (ex., projet, usine, secteur industriel, région, province ou pays) et permet d'évaluer, pour chaque scénario, trois critères : le risque d'effet rebond, le niveau de retombée économiques et le niveau de retombées pour la transition énergétique.

Dans un contexte de transition, l'objectif de long terme à privilégier est un **découplage absolu** : la PÉ et la VP augmentent par rapport au niveau de l'année de référence, tandis que la consommation d'énergie et les émissions de GES liées à l'énergie diminuent sous ce seuil. Autrement dit, on génère plus de richesse avec moins d'énergie. **Ce scénario, bien que difficile à atteindre, est le plus souhaitable selon les trois critères définis. Il constitue une condition essentielle pour contenir l'effet rebond et maintenir l'activité économique dans les limites biophysiques et climatiques établies par la science⁴⁷** (voir graphique 5).

GRAPHIQUE 5 | TRANSITION DU MODÈLE ÉCONOMIQUE FACE AUX LIMITES BIOPHYSIQUES



Source : adaptée de Future-Fit Foundation, 2017.

⁴⁷ Pilat, D., 2024. « Climate Change and Productivity : Exploring the Links », *Productivity Insights Paper No. 032*, The Productivity Institute, p.48, www.productivity.ac.uk/research/climate-change-and-productivity-exploring-the-links/

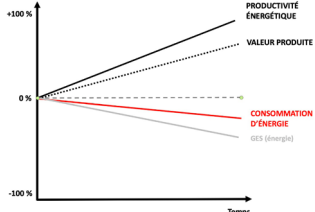
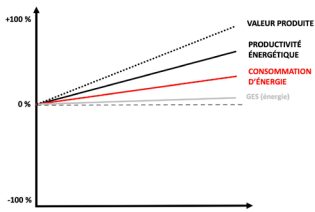
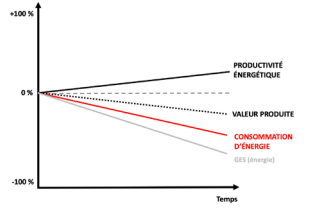
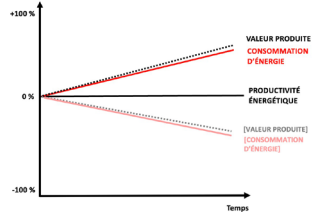
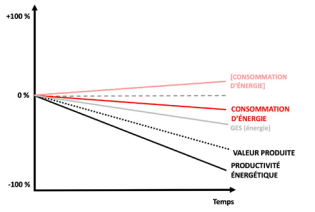
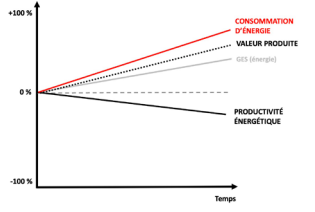
Le **découplage relatif** est le cas le plus fréquemment observé à la suite d'un projet d'amélioration de l'efficacité énergétique. Il se caractérise par une hausse de la PÉ et une augmentation de la consommation d'énergie, mais à un rythme inférieur à celui de la VP. Si ce découplage n'est pas directement problématique pour les entreprises, prises individuellement, il ne permet pas de faire des gains environnementaux collectifs. Les retombées pour la transition énergétique sont variables et généralement moins significatives que dans un découplage absolu, où la consommation d'énergie diminue tout en soutenant la création de richesse.

Le scénario de **découplage inversé** survient lorsque ni la VP ni la consommation d'énergie n'augmentent : la VP stagne ou diminue, mais moins vite que la consommation d'énergie. Cela entraîne une hausse de la PÉ. Bien qu'il ressemble au découplage relatif, il s'en distingue par une VP en déclin ou stable. Ce cas est plus souvent observé à l'échelle d'un projet ou d'une entreprise confrontée à des défis qui entravent la production — tels qu'une baisse de la demande, des pénuries de la main-d'œuvre, un manque d'expertise, des contraintes logistiques ou techniques, des instabilités économiques ou financières. Dans ces situations, des interventions ciblées, souvent indépendantes de la consommation d'énergie, peuvent devenir nécessaires pour redresser la création de valeur.

Dans le scénario **sans découplage** entre la VP et la consommation d'énergie, la PÉ reste inchangée par rapport à l'année de référence. La progression parallèle des deux variables, qu'elle soit croissante, décroissante ou stable, maintient leur lien proportionnel. En cas de croissance de la consommation d'énergie et de la VP, ce couplage entraîne des retombées défavorables pour la transition énergétique.

Les derniers scénarios, caractérisés par un **découplage négatif**, vont à l'encontre des objectifs de la transition énergétique. Ils renforcent la dépendance entre la création de richesse et la consommation d'énergie, entraînant une baisse de la PÉ par rapport à l'année de référence. Le cas où la VP diminue plus rapidement que l'énergie consommée est plus courante lorsque la production d'une entreprise diminue, notamment en période de repli de la demande. Dans cette situation, la baisse de la consommation d'énergie reste limitée en raison de la perte des économies d'échelle et de la persistance de consommations d'énergie incompressibles, comme le maintien des services utilitaires, tels les réseaux de vapeur ou d'air comprimé.

TABEAU 4 | SCÉNARIOS DE SUIVI DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE EN RELATION AVEC LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET LA VALEUR PRODUITE

Scénarios	Description	Risque d'effet rebond	Retombée économique	Retombée positive pour la transition	Schéma
Découplage absolu	La PÉ et la VP augmentent par rapport à l'année de référence, tandis que la consommation d'énergie est inférieure à son niveau de référence	Faible	Élevée	Élevée	
Découplage relatif	La PÉ et la VP augmentent par rapport à l'année de référence, tandis que la consommation d'énergie , bien qu'en diminution relative, demeure supérieure à son niveau de référence	Moyen	Moyenne à faible	Faible	
Découplage inversé	La PÉ augmente par rapport à l'année de référence, tandis que la consommation d'énergie diminue plus rapidement que la VP	Faible	Faible	Faible à moyenne	
Aucun découplage	La PÉ reste stable par rapport à l'année de référence, tandis que la VP et la consommation d'énergie progressent de façon proportionnelle, soit en croissance, [en décroissance] ou stable par rapport au niveau de référence.	Élevé [Faible]	Élevée [Faible]	Faible [Élevée]	
Découplages négatifs					
	La PÉ diminue par rapport à l'année de référence, tandis que la VP diminue plus rapidement que la consommation d'énergie qui pourrait même être en croissance.	Faible	Faible	Moyenne à aucune	
	La PÉ diminue par rapport à l'année de référence, tandis que la consommation d'énergie augmente plus rapidement que la VP (ex., économie de l'Alberta).	Élevé	Élevée	Faible à aucune	

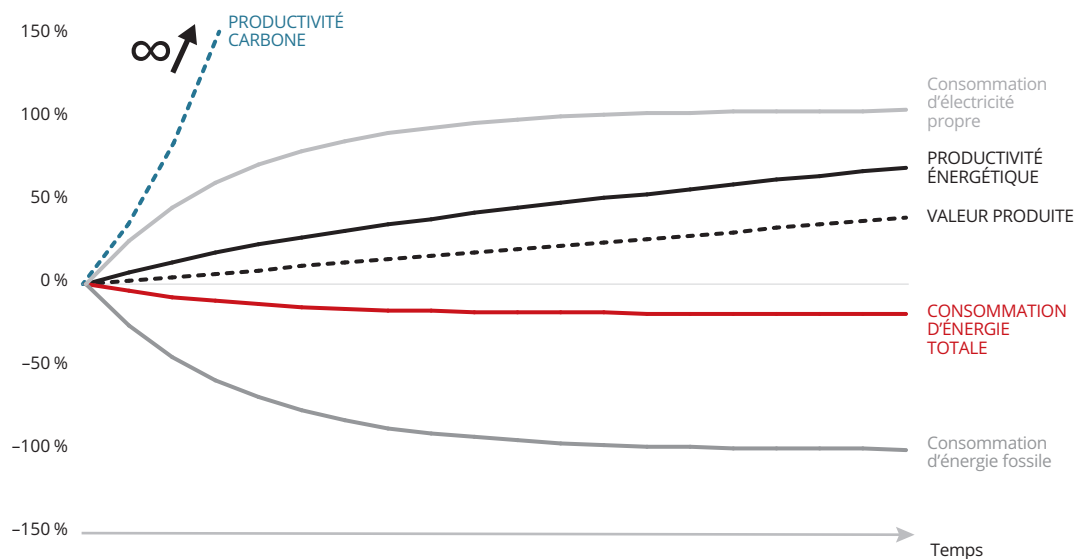
Source : préparé par les auteurs.

Le suivi de la **valeur produite** (VP) dans les graphiques est particulièrement important lors du suivi de la PÉ à l'échelle d'un projet ou d'une usine (voir chapitre 5). Puisque la PÉ repose sur le rapport entre la valeur produite et la consommation d'énergie, accroître la valeur produite peut constituer un levier stratégique pour améliorer la PÉ lorsque son potentiel d'amélioration dépasse celui de la réduction énergétique. **Cette augmentation permet non seulement d'améliorer la PÉ, mais aussi d'aider à compenser les coûts additionnels liés à des hausses tarifaires, à l'adoption de technologies avancées ou de sources d'énergie renouvelable, renforçant ainsi la rentabilité des projets d'amélioration énergétique.**

Productivité du carbone

La productivité du carbone (PC) désigne la richesse générée par tonne de GES émise (voir Annexe 2), en tenant compte à la fois des sources énergétiques et non énergétiques, telles que les procédés industriels, les pratiques agricoles ou la gestion des déchets. La PC est l'inverse de l'intensité carbone. Contrairement à la productivité énergétique (PÉ), la PC ne mesure pas la productivité économique classique, mais l'impact des externalités environnementales négatives⁴⁸. Sa pertinence dépend du contexte : elle est utile pour comparer les grands émetteurs au sein d'un même sous-secteur industriel, mais demeure peu adaptée au suivi de la décarbonation. En effet, lorsque les émissions de GES diminuent fortement, la PC tend vers une valeur « infinie », le dénominateur se rapprochant de zéro (voir graphique 6).

GRAPHIQUE 6 | COMPARAISON ILLUSTRATIVE DU SUIVI DES PRODUCTIVITÉS CARBONE ET ÉNERGÉTIQUE LORS DE SUBSTITUTION D'UNE CONSOMMATION D'ÉNERGIE FOSSILE PAR DE L'ÉLECTRICITÉ DÉCARBONÉE



Source : préparé par les auteurs.

Note : Le graphique illustre une réduction annuelle de 20 % de l'énergie fossile, compensée par une électrification offrant un gain de rendement de 30 %, combinée à une croissance annuelle de 5 % de la valeur produite. La valeur produite (VP) augmente alors que l'énergie totale diminue, un découplage absolu, générant ainsi une amélioration de la productivité énergétique. Dans ce contexte, la productivité du carbone (PC) augmente rapidement et tend vers l'infini, indépendamment des unités utilisées, en raison d'un dénominateur approchant zéro.

Lorsqu'une entreprise ou une région dépend fortement de combustibles fossiles, la PC n'évolue pas en parallèle avec la PÉ. L'élimination des GES peut en effet survenir en raison d'un remplacement de la consommation d'énergie fossile par une consommation d'énergie renouvelable, entraînant des économies d'énergie. La PÉ augmente (ex., découplage relatif), mais la PC tend plutôt vers une croissance exponentielle, parfois jusqu'à l'infini, ce qui reflète mal les efforts réels de décarbonation. La réduction de la consommation énergétique ou le recours à des sources d'énergie décarbonées améliore la PC, mais son suivi temporel demeure peu représentatif des progrès structurels. Un suivi des émissions totales est plus indiqué. Dans les secteurs où les émissions sont

⁴⁸ Lu, M., Wang, X., Cang, Y., 2018. « Carbon Productivity : Findings from Industry Case », *Energies*, MDPI, Open Access Journal, vol. 11, n° 10, p. 4, 2796; <https://doi.org/10.3390/en11102796>

principalement non énergétiques, comme l'agriculture, le ciment ou la gestion des déchets, les gains en PC proviennent essentiellement d'innovations technologiques et de l'évolution des pratiques.

Le suivi de la PC est complexifié par des mécanismes de vente d'attributs environnementaux et la compensation d'émissions dans le cadre de programmes comme le SPEDE ou le règlement fédéral sur les combustibles propres. En l'absence de protocole d'attribution des émissions évitées entre les parties, il est préférable de se baser sur les émissions totales déclarées dans les registres officiels (ex., MELCCFP, ECCC).

Les recherches sur la PC sont principalement à l'échelle macroéconomiques⁴⁹. Les pays développés affichent une PC plus élevée grâce à une économie plus axée sur le secteur des services, moins émetteurs que les secteurs industriels, aux avancées technologiques, aux investissements en R&D et aux politiques environnementales. Des facteurs comme le profil énergétique et l'ouverture commerciale exercent une influence, mais les mesures fiscales ont l'impact le plus marqué sur l'amélioration de la PC⁵⁰.

Pour améliorer la PC, plusieurs leviers sont préconisés : réglementations plus strictes pour l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, incitations fiscales pour les technologies vertes, accords commerciaux axés sur l'innovation propre et la planification urbaine durable⁵¹. Ces mesures s'avèrent toutefois plus efficaces lorsque des réglementations intergouvernementales contraignantes, telles que l'Accord de Paris, sont en vigueur⁵².

À l'échelle des entreprises, les facteurs favorables à une PC plus élevée incluent la tarification du carbone (taxe ou marché), l'adoption de technologies à faible intensité carbone et l'intégration d'une expertise environnementale au sein des équipes. Les études microéconomiques confirment les grandes tendances observées au niveau macro, tout en révélant des différences dans la gestion énergétique et les pratiques organisationnelles.

Enfin, le rôle du changement structurel au niveau de la production, la distribution et la consommation dans la transition verte reste peu exploré. Les résultats sectoriels peuvent masquer des dynamiques de marché et la réallocation des ressources entre les entreprises individuelles⁵³. À l'échelle sectorielle, la PC peut augmenter si les entreprises les moins performantes sont évincées du marché au profit de celles qui sont plus performantes⁵⁴. Au niveau macroéconomique, le déclin de la PC d'un secteur peut être compensé par l'amélioration d'un autre. De faibles effets au niveau agrégé peuvent dissimuler des impacts hétérogènes entre les entreprises, ainsi que des réallocations au sein même des secteurs.

Une étude récente révèle que les entreprises stables qui améliorent leur performance environnementale, sans changement de secteur, constituent les principaux moteurs de la productivité verte⁵⁵.

Ces constats soulignent l'importance de politiques ciblées pour dynamiser le marché, stimuler la compétitivité en période de crise et améliorer la réallocation des ressources grâce à des incitatifs comme une tarification carbone plus ambitieuse.

⁴⁹ Kuosman, N., Maczulskij, T., 2024. « Going green while getting lean : Decomposing carbon and green total factor productivity », *Journal of Environmental Management*, vol. 352, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120046>

⁵⁰ Jung, H., et cie., 2021. « Effects of emission trading schemes on corporate carbon productivity and implications for firm-level responses », *Scientific Reports*, vol. 11, www.nature.com/articles/s41598-021-91193-4

⁵¹ Mehmood, B., Raza, M., Pervaiz, M., 2024. « Socio-economic Development and Carbon Productivity : A Panel Data Analysis of the World's Largest Carbon-Emitting Countries », *Environ Model Assess*, vol. 30, p. 37–52, <https://doi.org/10.1007/s10666-024-09992-8>

⁵² Jung, H., Lee, J., Song, C.-K., 2023. « Carbon productivity and volatility », *Finance Research Letters*, vol. 56, <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104052>

⁵³ Mawson, D., 2024. « The Impact of the Green Transition on Productivity », PPT presentation at *2024 Annual Conference of the OECD Global Forum on Productivity*, Paris, Octobre 15-16, 2024, www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/programmes/global-forum-on-productivity/events/paris-2024/ppts/Session_3_1_Daniel_MAWSON_UK.pdf

⁵⁴ Institut climatique du Canada, 2020. *11 façons de mesurer la croissance propre*, https://institutclimatique.ca/wp-content/uploads/2020/10/11-FACONS-DE-MESURER-LA-CROISSANCE-PROPRE_rapport_01.pdf

⁵⁵ Kuosman, N., Maczulskij, T., 2024. « Going green while getting lean : Decomposing carbon and green total factor productivity », *Journal of Environmental Management*, vol. 352, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120046>

CHAPITRE 3 | Comparaisons internationale et provinciale

L'énergie est un moteur essentiel de la croissance économiques et de la productivité. Pourtant, elle est rarement prise en compte comme un facteur de productivité⁵⁶, contrairement au travail et au capital. La définition scientifique de l'énergie comme « capacité à produire du travail » plaide pour son intégration systématique dans l'analyse de la productivité des économies.

Comparaison internationale

Le Canada et le Québec gagneraient à approfondir leur compréhension de la productivité énergétique (PÉ), car elle est parmi les plus faibles à l'échelle mondiale. Le Canada génère moins de 150 \$PIB/GJ, un niveau inférieur à celui de tous les pays dont le PIB par habitant dépasse 30 000 US \$PPA, à l'exception de pays du Moyen-Orient et de Singapour (voir graphique 7).

Cette faible performance s'explique en partie par une consommation énergétique par habitant très élevée, dépassant 300 GJ en 2023. À l'inverse, les pays affichant une PÉ supérieure se caractérisent par une consommation par habitant plus faible, en partie grâce à une économie dominée par le secteur des services, moins énergivore.

L'évolution de la PÉ du Canada soulève également des préoccupations. Comme l'illustre le graphique 8, sa progression demeure inférieure à la moyenne mondiale ainsi qu'à celle des principaux pays de référence, notamment les États-Unis et les pays européens. Le niveau actuel du Canada se rapproche de celui observé en Chine, en Arabie saoudite et en Russie.

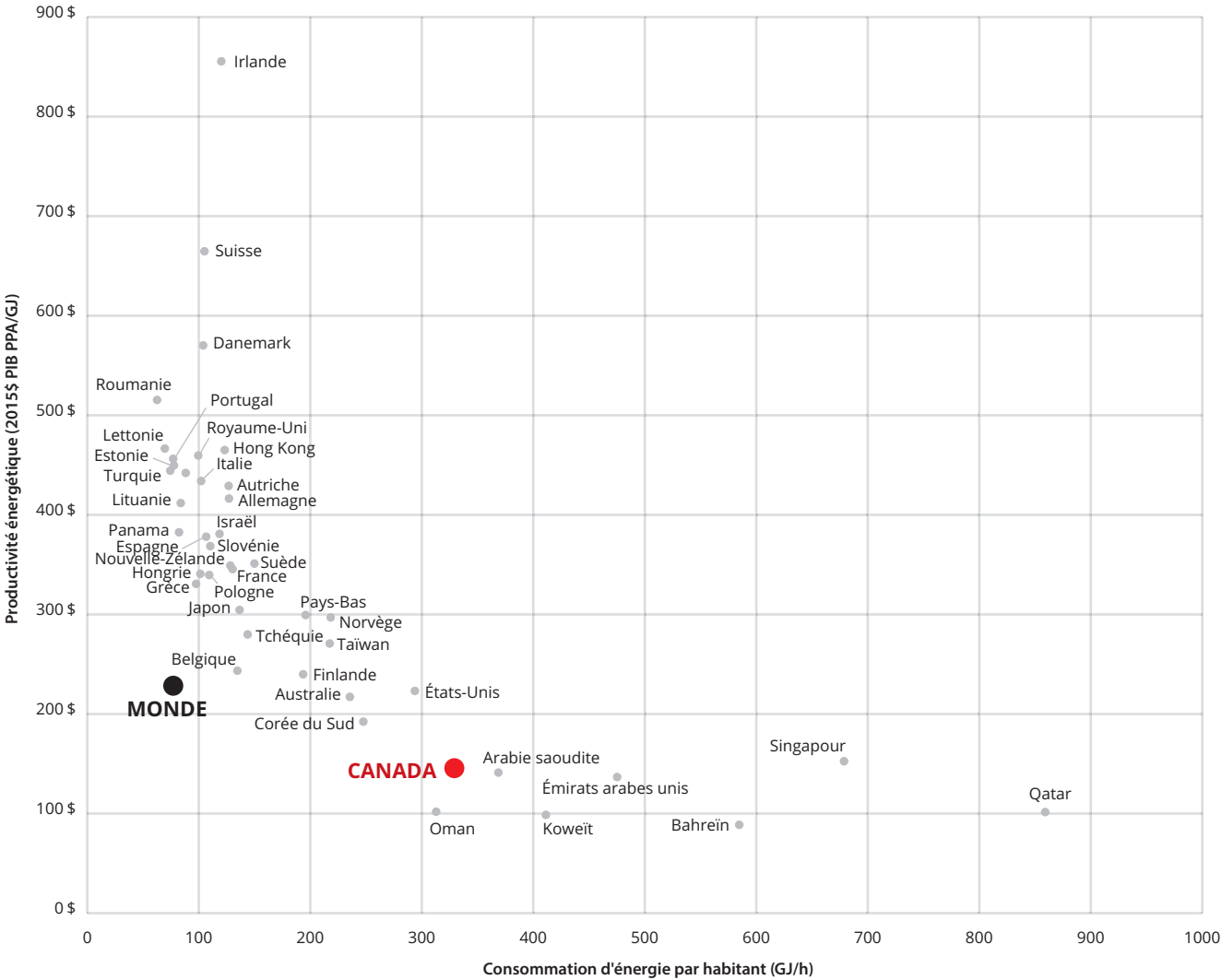
Lorsqu'on examine l'évolution de la PÉ en lien avec la consommation d'énergie et le PIB des pays (voir Chapitre 2), les gains de productivité ne s'accompagnent pas toujours d'une amélioration équivalente sur le plan environnemental (voir graphique 9). Par exemple, l'Allemagne et les États-Unis présentent un découplage absolu : leur PÉ et leur PIB ont augmenté par rapport à l'année de référence, tandis que leur consommation énergétique a diminué en valeur absolue. En revanche, le Canada et la Norvège affichent un découplage relatif : leur PIB a progressé plus rapidement que leur consommation énergétique (qui a cependant augmenté), ce qui a permis l'amélioration de leur PÉ.

Le cas de la Chine illustre un découplage relatif singulier, distinct des deux autres pays. Sa PÉ a progressé de 56 %, mais cette amélioration est faible en regard de l'augmentation spectaculaire du PIB (+523 %), de la consommation d'énergie (+299 %) et des émissions de GES (+250 %). Ce déséquilibre s'explique en partie par son statut de pays en développement, où l'effet rebond peut prendre une forme particulière. Contrairement aux pays développés, où cet effet se traduit souvent par une surconsommation, en Chine, il constitue une amélioration du niveau de vie pour une partie de la population. De plus, une part importante de l'augmentation de la consommation d'énergie et des émissions de GES de la Chine est attribuable à la relocalisation d'activités industrielles des économies développées vers les économies émergentes, contribuant ainsi à externaliser les impacts environnementaux des pays industrialisés vers ceux en développement.

⁵⁶ Stern, D.I., Kander, A., 2012. « The Role of Energy in the Industrial Revolution and Modern Economic Growth », *The Energy Journal*, vol. 33, n° 3, 125-152.

L'Arabie saoudite illustre un cas de découplage négatif jusqu'en 2014, dans lequel la croissance économique est demeurée fortement corrélée avec une hausse plus marquée de la consommation énergétique. Cette trajectoire a renforcé la dépendance entre la création de richesse et l'utilisation intensive de ressources énergétiques. Depuis 2014, la croissance du PIB en Arabie saoudite a été un peu plus élevée que celle de la consommation d'énergie, ce qui eut un impact sur la PÉ.

GRAPHIQUE 7 | PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE POUR LES PAYS DE PLUS D'UN MILLION D'HABITANTS ET AYANT UN PIB PAR HABITANT D'AU MOINS 30 000 US \$PPA*, SELON LE NIVEAU DE CONSOMMATION D'ÉNERGIE PAR HABITANT, 2023

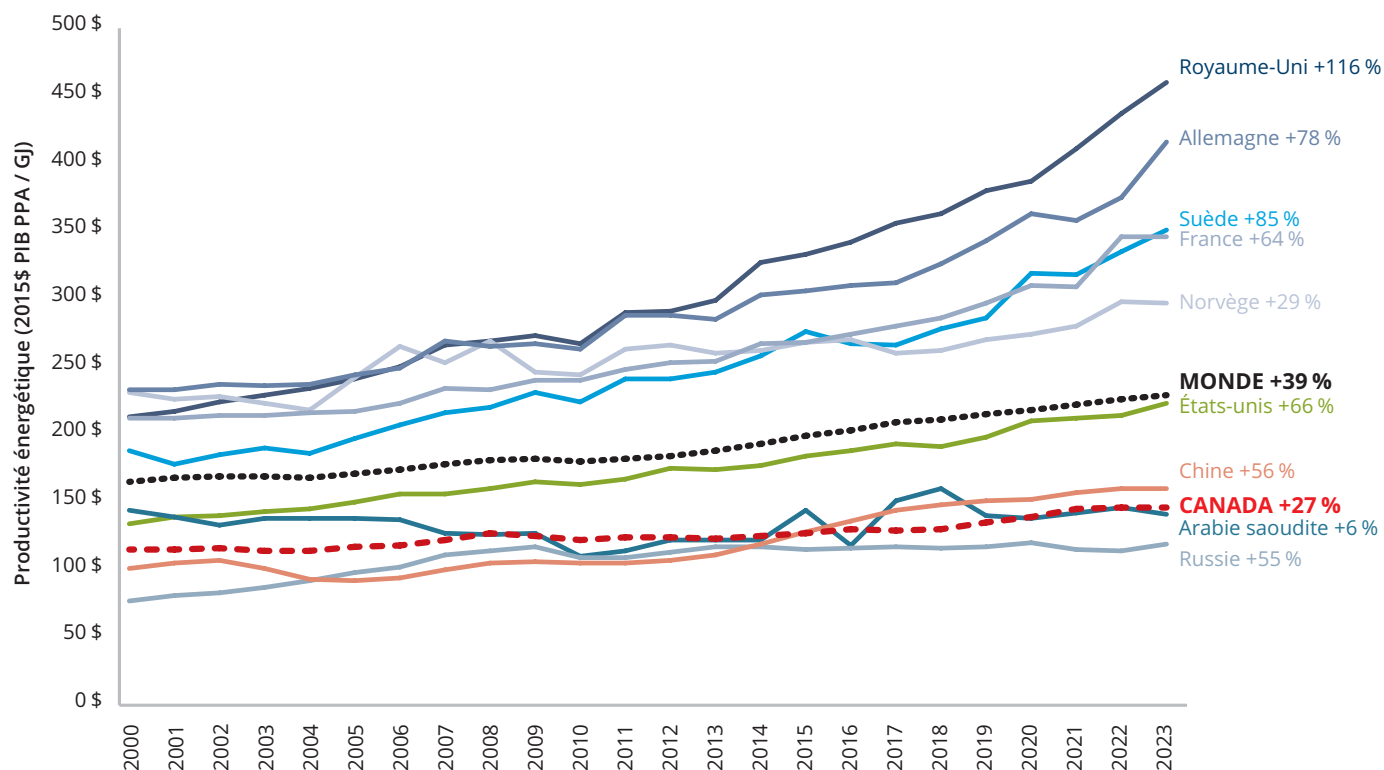


Source : EIA, 2025⁵⁷.

Note : *Les \$PPA sont des dollars américains ajustés pour refléter la parité du pouvoir d'achat.

⁵⁷ EIA, 2025. *International data*, U.S. Energy Information Administration, www.eia.gov/international/data/world

GRAPHIQUE 8 | COMPARAISON DE L'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE AU CANADA AVEC CELLE D'AUTRES ÉCONOMIES, 2000-2023



Source : EIA, 2025⁵⁸.

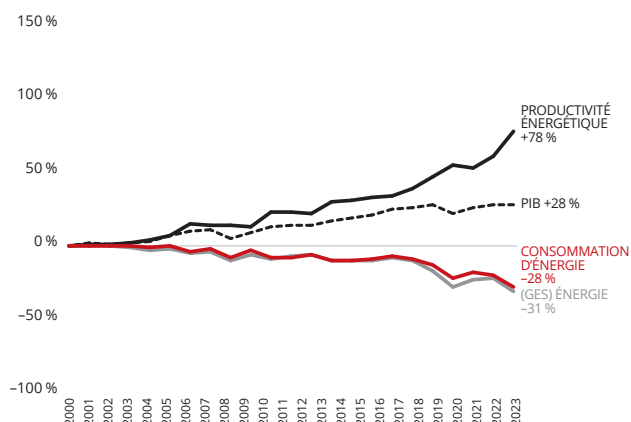
Note : *Les \$PPA sont des dollars américains ajustés pour refléter la parité du pouvoir d'achat.

⁵⁸ EIA, 2025. *International data*, www.eia.gov/international/data/world

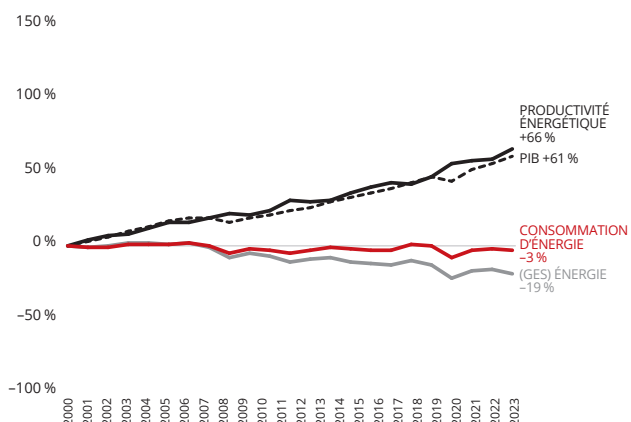
GRAPHIQUE 9 | EXEMPLES DE COMPARAISON DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DE PAYS EN RELATION AVEC LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET LE PRODUIT INTÉRIEUR BRUT SUR LA PÉRIODE 2000-2023

Découplage absolu : PÉ↗, PIB↗ et CÉ↘

Allemagne

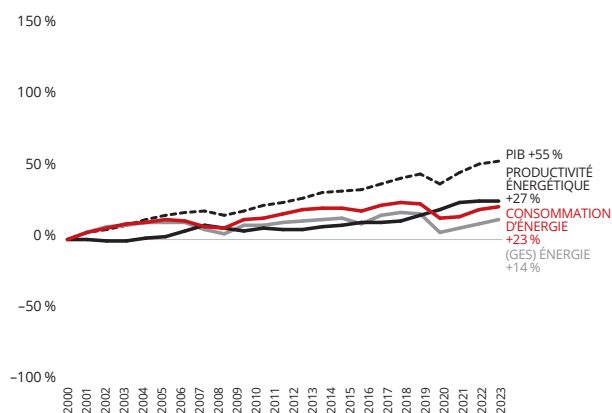


États-Unis

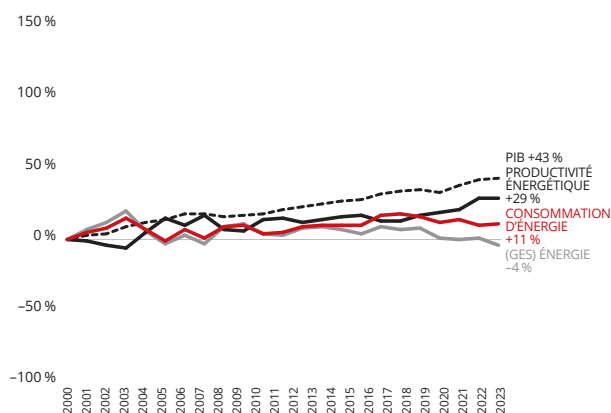


Découplage relatif : PÉ↗, PIB↗ et CÉ↗

Canada

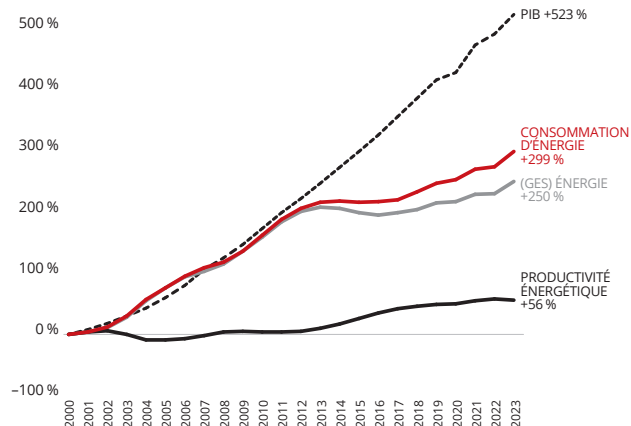


Norvège



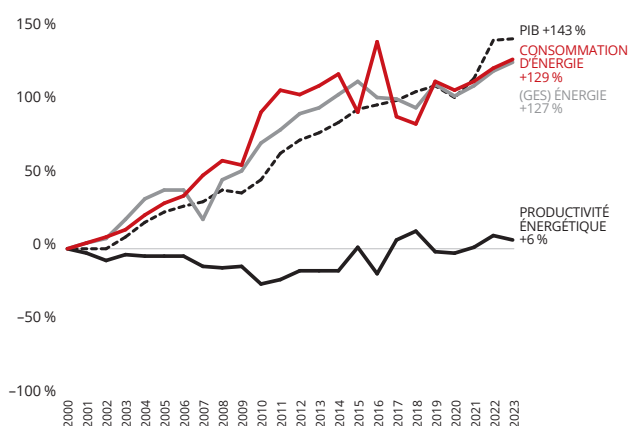
Découplage relatif : PÉ↗, PIB↗ et CÉ↗

Chine



Découplage négatif (avant 2014) : PÉ↘, PIB↗ et CÉ↗

Arabie saoudite

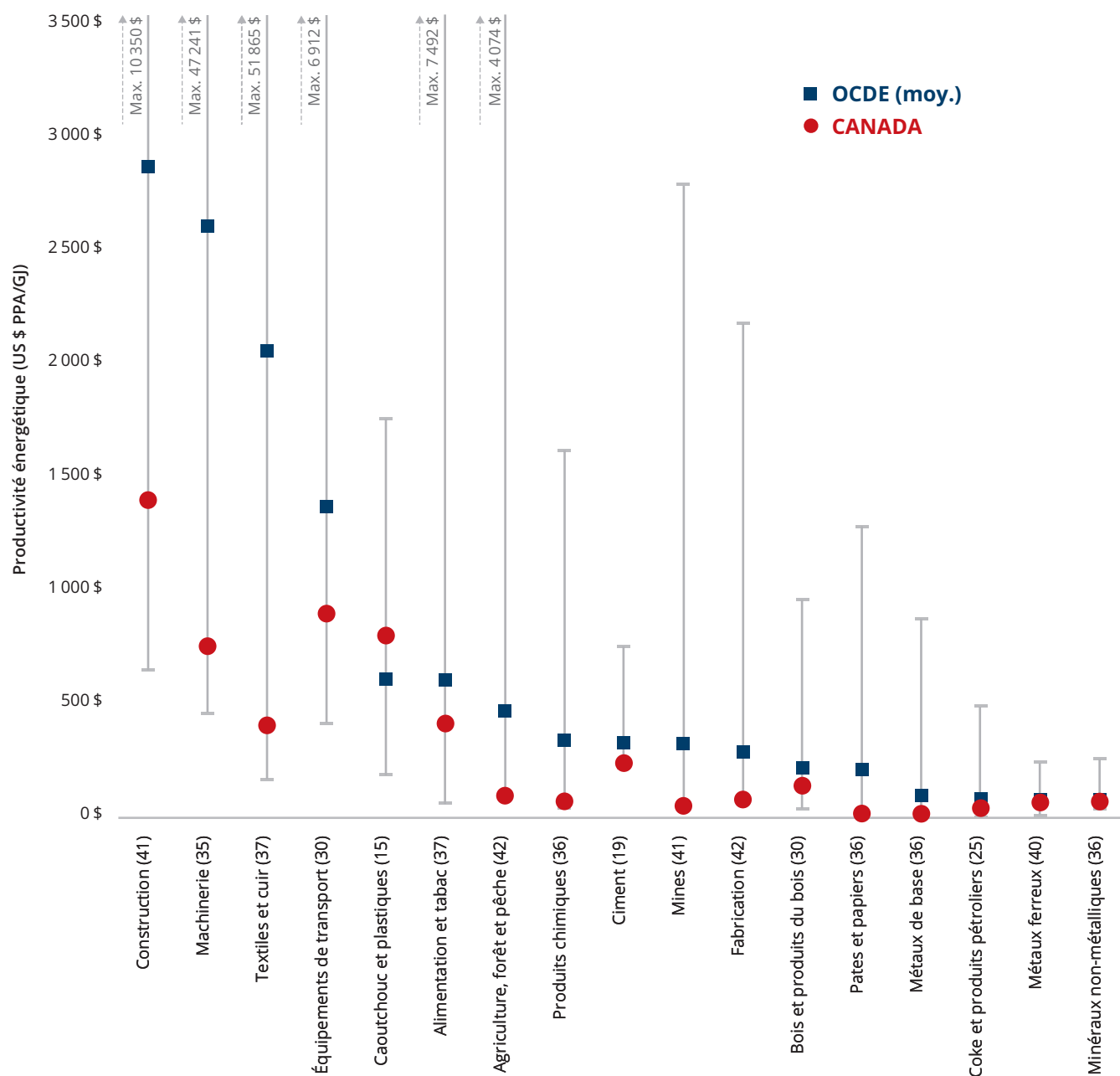


Source : EIA, 2025⁵⁹.

⁵⁹ EIA, 2025. *International data*, www.eia.gov/international/data/world

La faible PÉ du Canada n'est pas uniquement le fruit d'une structure industrielle très axée sur les ressources naturelles et l'énergie. En effet, le Canada se distingue également par une PÉ inférieure dans la majorité de ses sous-secteurs industriels et manufacturiers, lorsqu'on le compare aux autres pays membres de l'OCDE (voir graphique 10). À l'exception du sous-secteur du caoutchouc et des plastiques, où sa PÉ dépasse légèrement la moyenne, les sous-secteurs industriels du pays affichent une PÉ systématiquement sous la moyenne des pays, et la plus faible dans plusieurs cas. En effet, les sous-secteurs canadiens génèrent une valeur ajoutée nettement moindre par unité d'énergie consommée, comparativement aux autres nations comparables.

GRAPHIQUE 10 | PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DES SOUS-SECTEURS INDUSTRIELS ET MANUFACTURIERS CANADIENS ET AUTRES PAYS DE L'OCDE*, 2021



Source : AIE, 2024⁶⁰.

Note : *Le total du nombre de pays comparés par sous-secteur est indiqué entre parenthèses.

⁶⁰ AIE, 2024. *IEA Energy end-use and efficiency indicators database (December 2024 edition)*, www.iea.org/statistics/efficiency/index.html.

Qu'est-ce qui explique le retard du Canada ? Dans les sous-secteurs industriels et manufacturiers, le climat et la structure industrielle peuvent expliquer une partie de cette moins bonne performance. Il est en effet fort probable que des sous-secteurs plus énergivores se soient davantage installés au pays. Un des facteurs déterminants reste le prix de l'énergie⁶¹. S'il est bas, il permet initialement à des industries à forte consommation d'énergie de s'établir. Par la suite, s'il reste peu élevé, il incite moins les acteurs économiques à innover et à accroître leur efficacité énergétique pour réduire leur facture énergétique. Cette dynamique des bas prix favorise ainsi une plus faible productivité énergétique.

Le graphique 11 met en évidence cette corrélation en comparant la PÉ de divers pays avec les prix de l'électricité et du gaz naturel. La tendance générale indique que des bas prix sont associés à une plus faible PÉ. D'autres facteurs explicatifs sont évidemment présents, par exemple le climat, les distances et les infrastructures de transport, les normes, les incitatifs ou la culture. Les prix n'expliquent ainsi pas tout, mais jouent clairement un rôle. Au Canada, et particulièrement au Québec pour l'électricité, ces prix figurent parmi les plus bas à l'échelle mondiale. Cette accessibilité, bien qu'avantageuse à court terme sur le plan économique, tend à freiner l'adoption d'une culture rigoureuse de gestion énergétique, ce qui se reflète dans une PÉ relativement faible.

GRAPHIQUE 11 | PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE NATIONALE EN FONCTION DU PRIX DE L'ÉLECTRICITÉ (INDUSTRIEL) ET DU GAZ NATUREL (COMMERCIAL) POUR LES PAYS DE L'OCDE, 2023

a) Prix de l'électricité



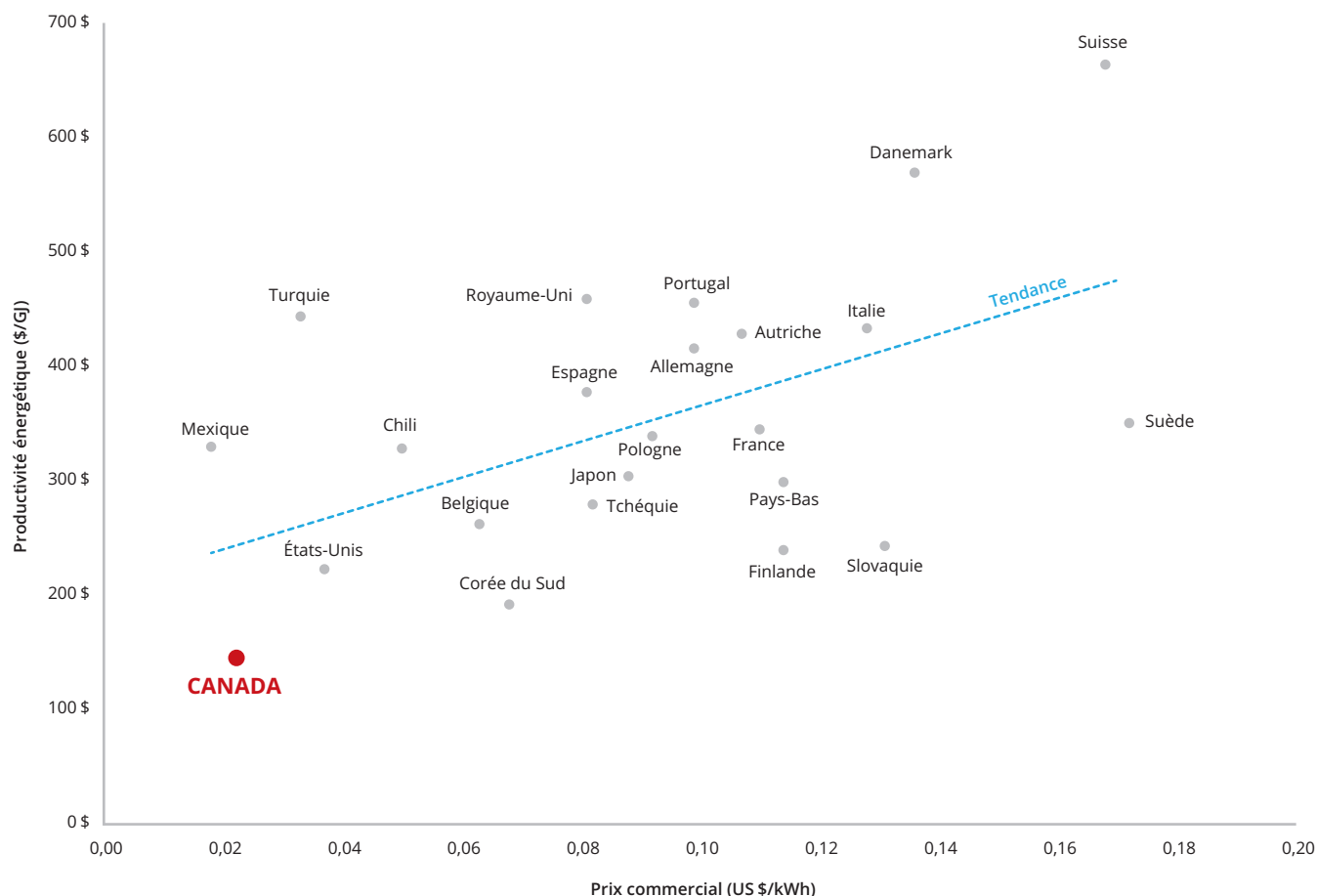
Sources : EIA, 2025⁶²; Global Petrol Price, 2025⁶³.

⁶¹ Atalla et Bean, 2017. « Determinants of energy productivity in 39 countries : An empirical investigation », *Energy Economics*, vol. 62, p. 217-229, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988316303498

⁶² EIA, 2025. *International data*, www.eia.gov/international/data/world

⁶³ Global Petrol Price, 2025. www.globalpetrolprices.com

b) Prix du gaz naturel



Comparaison entre les provinces canadiennes

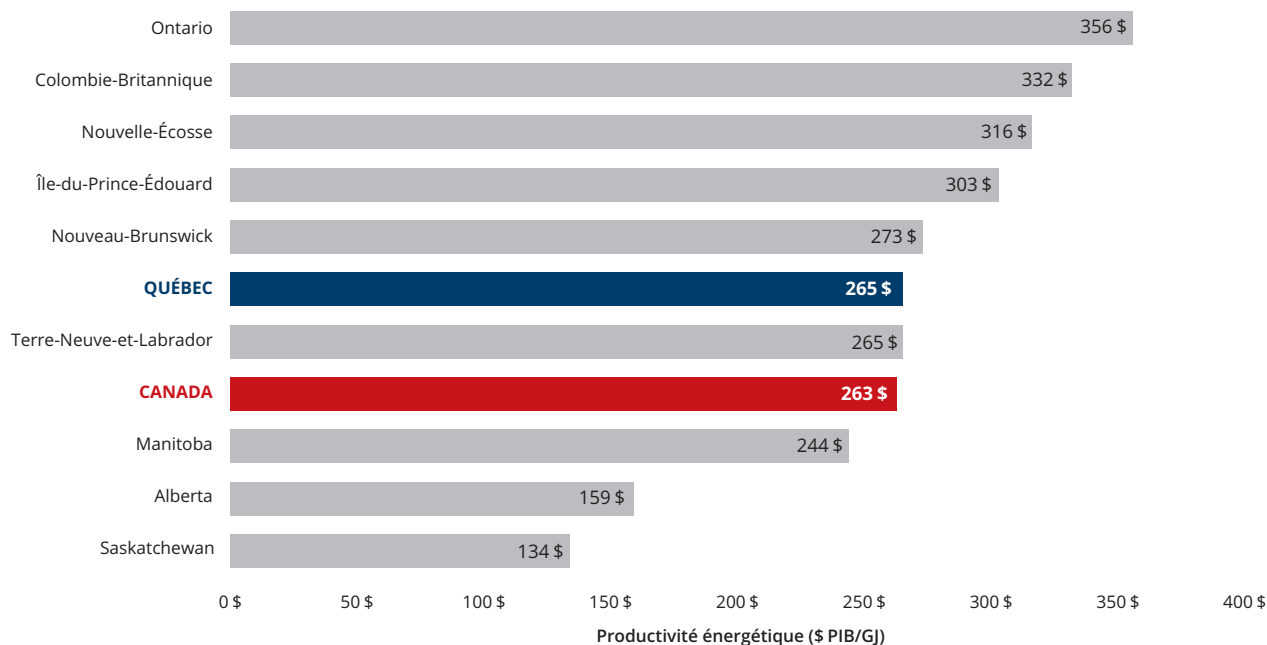
La productivité énergétique de l'économie du Québec affiche une performance de 265 \$/GJ, soit un niveau semblable à la moyenne canadienne (263 \$/GJ) (voir graphique 12). Toutefois, elle reste 35 % inférieure à celle de l'Ontario qui atteint 356 \$/GJ. Même si cette province possède une structure industrielle différente de celle du Québec, elle constitue un point de comparaison souvent utilisé en raison de la proximité des deux provinces et de leurs similitudes.

Entre 2000 et 2023, la PÉ au Québec a progressé de 32%, une hausse notablement moins marquée que celle de l'Ontario (+56%) et de la Colombie-Britannique (+80%) (voir graphique 13). Elle se compare à l'augmentation moyenne canadienne (+34%), qui est freinée par les performances de l'Alberta (-2%) et de la Saskatchewan (11%).

L'analyse de l'évolution de la PÉ à travers ses composantes (consommation énergétique et produit intérieur brut [PIB]) révèle des dynamiques contrastées entre les provinces. L'Ontario et la Nouvelle-Écosse présentent un découplage absolu, c'est-à-dire une hausse du PIB accompagnée d'une baisse absolue de la consommation énergétique (voir graphique 14). Ce type de découplage est généralement associé à des bénéfices environnementaux plus marqués.

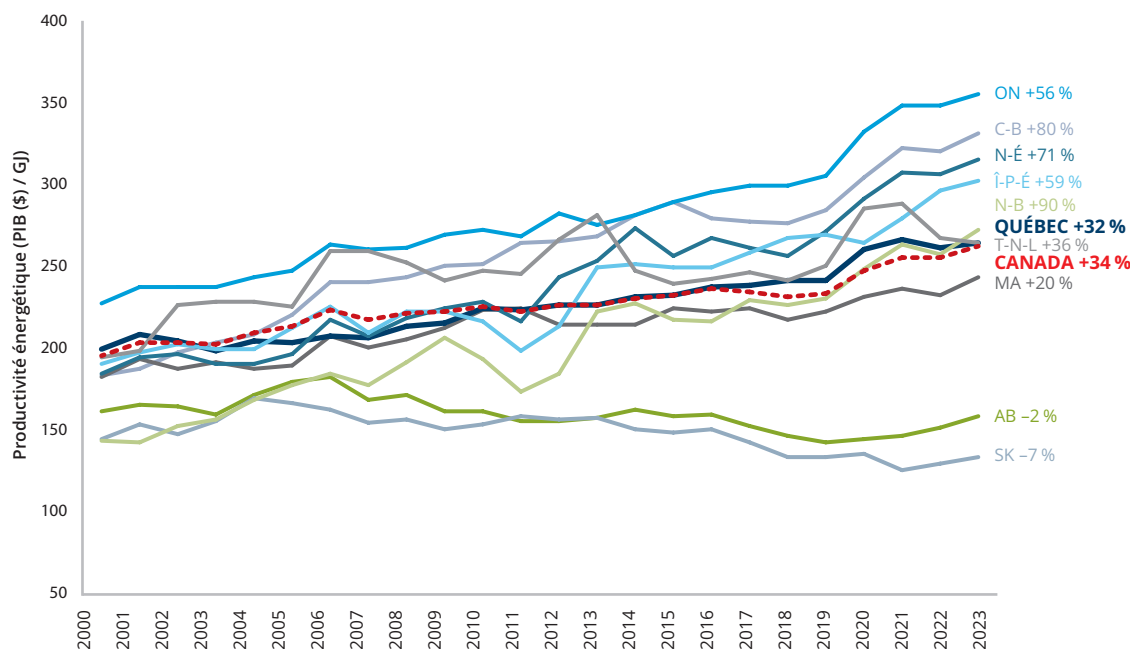
Le Québec et la Colombie-Britannique, quant à elles, affichent un découplage relatif, où la croissance du PIB s'accompagne d'une augmentation de la consommation énergétique, mais plus modérée. Enfin, l'Alberta et la Saskatchewan ne présentent aucun découplage (ou des découplages négatifs), similaires à celui observé en Arabie saoudite jusqu'en 2014 (voir graphique 9) : la croissance économique est inférieure à celle de la consommation d'énergie, ce qui réduit la PÉ.

GRAPHIQUE 12 | COMPARAISON DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DES PROVINCES CANADIENNES, 2023



Sources : Statistique Canada, 2025 (tableaux 36-10-0402-01 et 25-10-0029-01).

GRAPHIQUE 13 | ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DES PROVINCES CANADIENNES, 2000-2023



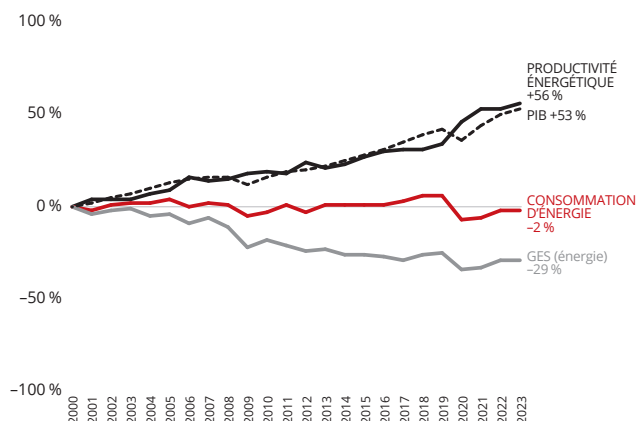
Sources : Statistique Canada, 2025 (tableaux 36-10-0402-01 et 25-10-0029-01).

Note : La PÉ est calculée à partir des données pour la « Consommation énergétique finale » et du « PIB aux prix de base, par industries » des provinces.

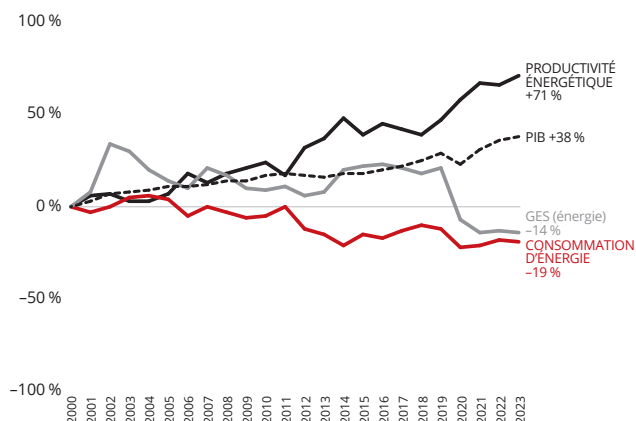
GRAPHIQUE 14 | EXEMPLES DE COMPARAISON DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DES PROVINCES EN RELATION AVEC LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET LA VALEUR PRODUITE

Découplage absolu : PÉ↗, PIB↗ et CÉ↘

Ontario

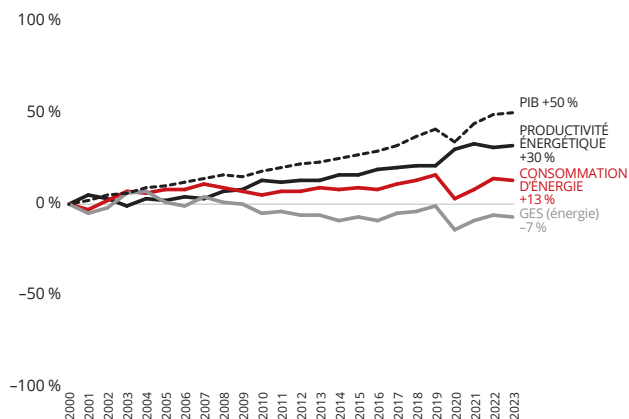


Nouvelle-Écosse

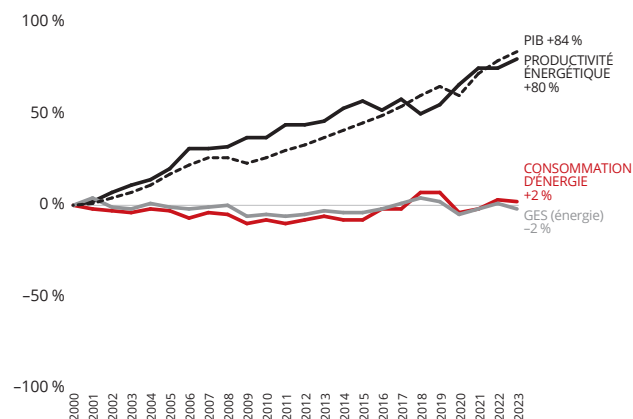


Découplage relatif : PÉ↗, PIB↗ et CÉ↗

Québec

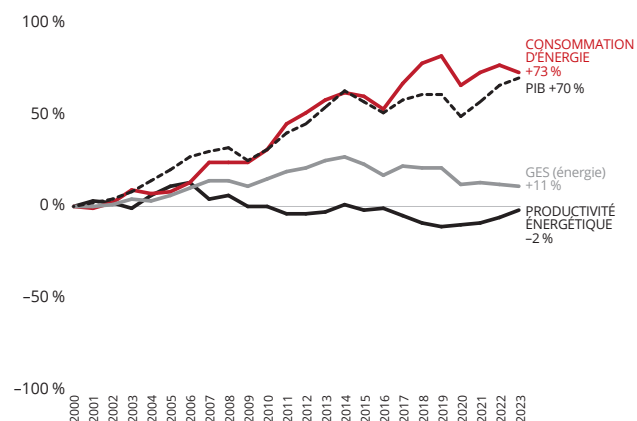


Colombie-Britannique

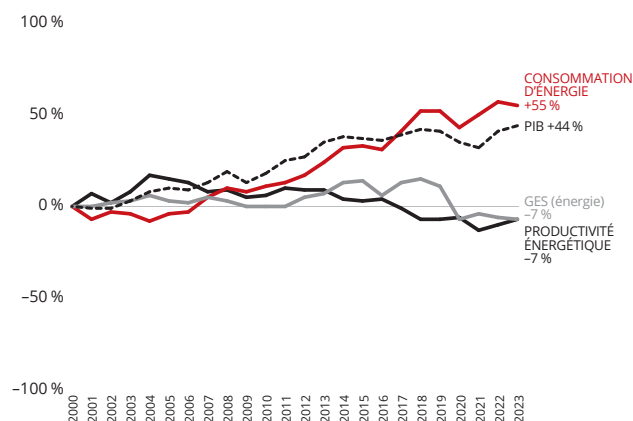


Découplage négatif : PÉ↘, PIB↗ et CÉ↗

Alberta



Saskatchewan



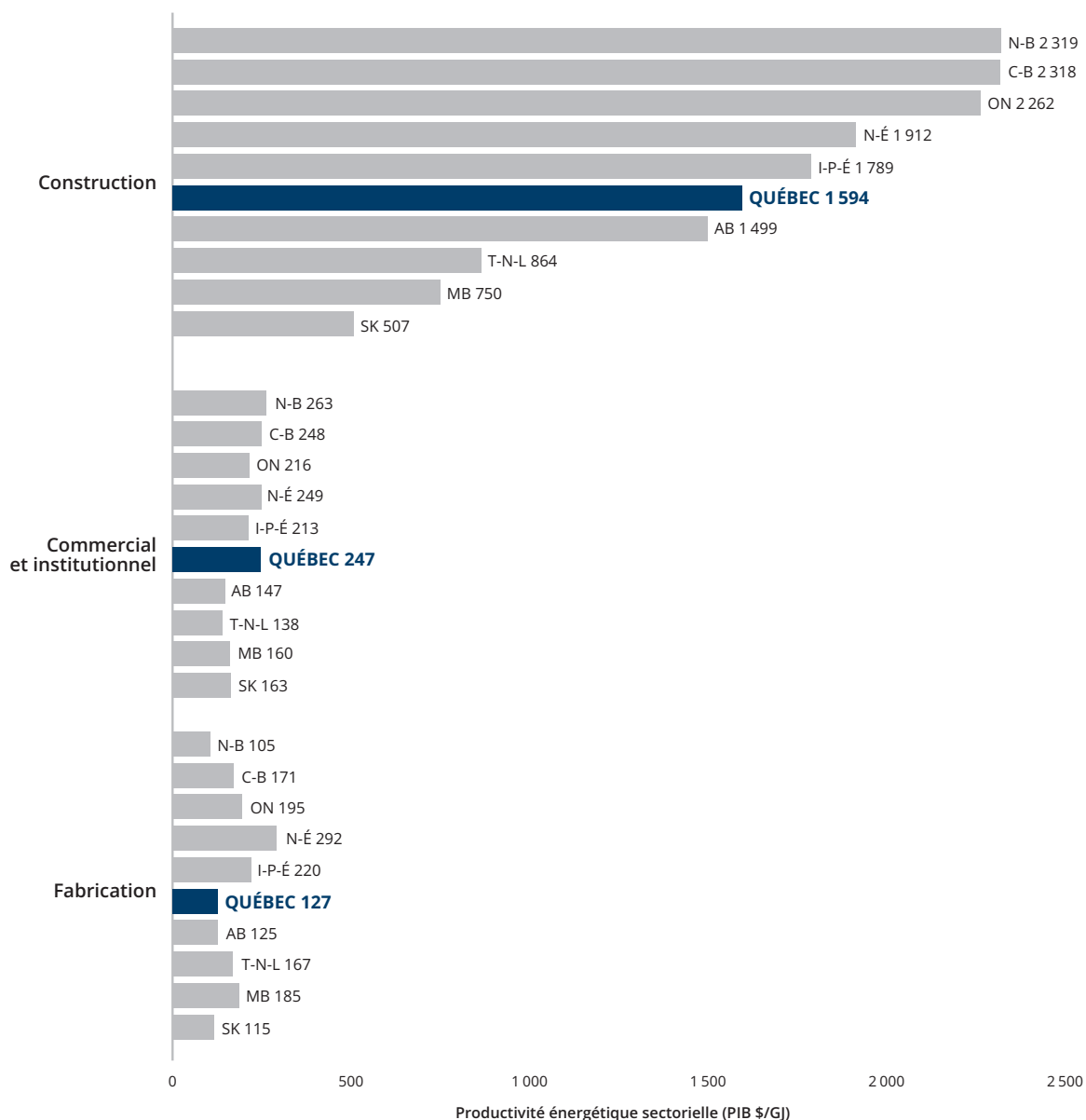
Sources : Statistique Canada, 2025 (tableaux 36-10-0402-01 et 25-10-0029-01); ECCC, 2025.

L'économie québécoise repose principalement sur les secteurs de la fabrication, du commerce et de la construction qui génèrent environ la moitié du PIB de la province. La productivité énergétique de ces activités constitue donc un indicateur clé à analyser pour suivre la compétitivité globale du Québec.

La PÉ du secteur commercial au Québec est la deuxième plus élevée parmi les provinces canadiennes, avec 248 \$/GJ (voir graphique 15). Cependant, la situation est différente dans le secteur de la fabrication, qui représente une part plus importante de l'économie québécoise. Dans ce secteur, la productivité énergétique (127 \$/GJ) est nettement inférieure à celle de l'Ontario (195 \$/GJ), soit un écart d'environ un tiers. Encore une fois, le type de fabrication est différent entre les deux provinces, et l'intensité énergétique joue un rôle pour expliquer la différence. Mais ce constat met tout de même en lumière un retard de PÉ pour le Québec.

Dans le secteur de la construction, qui représente la plus faible contribution au PIB parmi les trois secteurs analysés, le Québec affiche une productivité de 1 594 \$/GJ. Une performance qui reste inférieure à celle de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick, ses voisins immédiats. Toutefois, il dépasse l'Alberta, Terre-Neuve-et-Labrador, le Manitoba et la Saskatchewan.

GRAPHIQUE 15 | COMPARAISON DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DE TROIS SOUS-SECTEURS CLÉ DES ÉCONOMIES PROVINCIALES AU CANADA, 2021



Ce portrait comparatif met de l'avant plusieurs points saillants sur la PÉ, tant du Canada à l'échelle mondiale que du Québec à l'échelle canadienne. Le constat est clair : la PÉ du Canada est faible.

Il est difficile d'expliquer exactement les causes de ce constat, et cela dépasse le mandat de ce rapport.

La faible performance énergétique du Canada peut néanmoins être liée à la structure industrielle du pays, davantage axée sur l'exploitation de ressources naturelles et les industries à forte intensité énergétique, et à son climat. Le prix relativement bas de l'énergie au Canada, grâce à l'abondance des ressources naturelles, joue aussi sans doute un rôle. D'autres facteurs explicatifs pourraient être la régulation peu contraignante, une gouvernance fragmentée, l'adoption tardive des technologies efficaces, un sous-investissement en innovation, ainsi qu'un déficit de réseaux collaboratifs et de cadres de gestion intégrée.

Le Québec, pour sa part, se situe au-dessus de la moyenne canadienne en matière de productivité énergétique, mais seulement parce que la moyenne nationale se trouve tirée vers le bas par les performances extrêmement faibles de l'Alberta et de la Saskatchewan. Avec une PÉ de 265 \$/GJ, l'économie québécoise affiche un retard par rapport à la Colombie-Britannique (332 \$/GJ) et l'Ontario (356 \$/GJ). De plus, ce retard s'est accentué au cours des vingt dernières années.

D'un point de vue concurrentiel, il est souhaitable pour le Québec de rejoindre, voire dépasser, les niveaux de productivité de l'Ontario, dont plusieurs industries sont en concurrence sur les mêmes marchés. Le secteur de la fabrication, qui constitue la plus importante composante du PIB québécois, accuse ainsi un retard notable, avec une productivité de 127 \$/GJ, contre 195 \$/GJ pour l'Ontario.

Toutefois, ces constats, ne doivent pas être perçus uniquement sous un angle négatif. L'analyse de la PÉ met en lumière des occasions pour renforcer la compétitivité et la résilience des entreprises et de l'économie. Les prochains chapitres présenteront des stratégies, enrichies d'études de cas, destinées aux décideurs – gouvernements et entreprises – afin d'aller au-delà de l'efficacité énergétique et d'adopter une approche plus stratégique pour améliorer leur PÉ.

CHAPITRE 4 | Principales stratégies pour améliorer la productivité énergétique

Les stratégies d'amélioration de la productivité énergétique ne se limitent pas à des mesures techniques, mais impliquent des changements plus profonds dans les modes de production, les modèles d'affaires et la culture organisationnelle. Pour maximiser leur impact, ces stratégies doivent être déployées de manière intégrée, dans un cadre propice à l'innovation, à la collaboration et à l'amélioration continue.

En 2023, près de 200 pays ont conclu un accord historique à la 28^e Conférence des Parties (COP28) prévue dans la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Cette conférence visait entre autres à doubler le rythme d'amélioration de l'efficacité énergétique d'ici 2030, soulignant son rôle crucial dans la transition énergétique. Les progrès restent toutefois modestes : en 2024, l'amélioration n'a été que d'environ 1%⁶⁴. Pour atteindre les objectifs fixés, des améliorations substantielles en matière de productivité énergétique (PÉ) et de réduction de la consommation d'énergie seront nécessaires pour y parvenir.

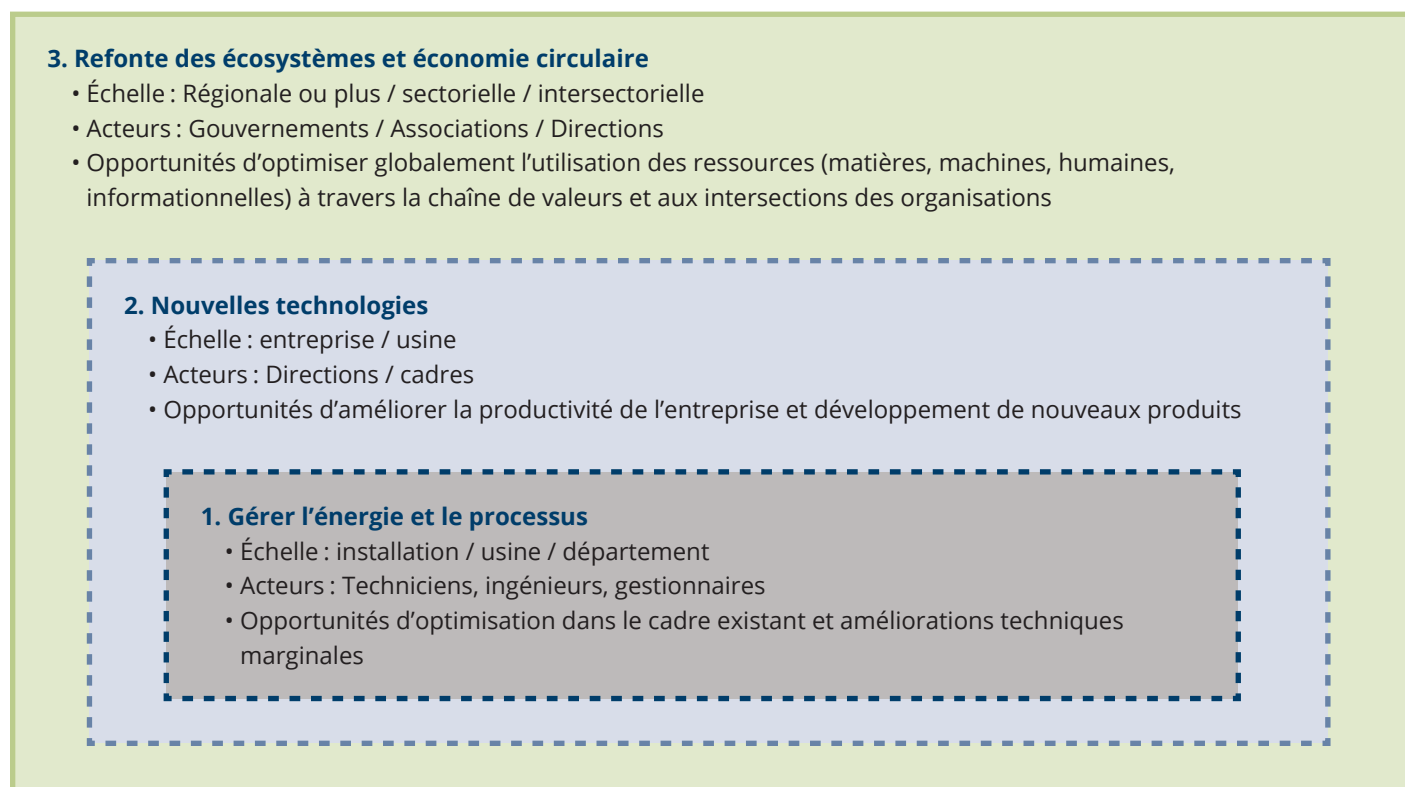
Trois niveaux d'intervention complémentaires sont à envisager pour à la fois améliorer la PÉ, réduire la consommation d'énergie et décarboner l'économie⁶⁵ (voir graphique 16) :

1. optimiser la gestion de l'énergie et des processus;
2. intégrer des technologies innovantes; et
3. transformer en profondeur les systèmes, à travers la chaîne de valeur, en adoptant des stratégies plus avancées d'économie circulaire.

Le recours à des sources d'énergie non émettrices est transversal à ces trois axes. Leur mise en œuvre simultanée est essentielle, car plus l'intervention est ambitieuse, plus les investissements requis, financiers et humains, sont élevés. Toutefois, les bénéfices sont également plus durables et systémiques, tant pour l'entreprise que pour l'économie.

⁶⁴ IEA, 2024. *Energy Efficiency 2024*, www.iea.org/reports/energy-efficiency-2024

⁶⁵ Pineau, P.-O., et coll., 2019. *Portrait et pistes de réduction des émissions industrielles de gaz à effet de serre au Québec : Volet 1 - Projet de recherche sur le potentiel de l'économie circulaire sur la réduction de gaz à effet de serre des émetteurs industriels québécois*, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, <https://energie.hec.ca/gesindustriels>



Source : Graphique tiré de Pineau et coll., 2019.

Les propositions de ce chapitre s'inscrivent dans cette approche intégrée, dans un premier temps, des stratégies d'amélioration de la PÉ qui ont été adoptées par des gouvernements pour améliorer la productivité de l'ensemble de l'économie d'un pays ou d'une région. Dans un deuxième temps, on y présente des exemples de stratégies et de techniques utilisées en entreprise pour repérer des occasions d'améliorer la PÉ.

Stratégies d'amélioration de la productivité énergétique des États

L'Allemagne, l'Australie et les États-Unis ont été parmi les premiers pays à mettre en place des cibles et des stratégies visant à accroître la PÉ de leur économie. Les principales mesures adoptées sont présentées dans le tableau 5. Les États-Unis ont interrompu cette démarche après l'arrivée de la première administration Trump (2017-2021). En 2025, le gouvernement du Québec estime que les actions du Plan de mise en œuvre 2025-2030 du Plan pour une économie verte 2030 (PMO-PEV) contribuera à augmenter la PÉ des entreprises québécoise de 22 % et générera une hausse de plus de 700 M \$ du PIB québécois par rapport à 2019 à l'horizon 2030⁶⁶.

Parmi l'ensemble de ces engagements, seule l'Allemagne associe explicitement son objectif de PÉ à une cible de réduction globale de sa consommation énergétique. Cette approche intégrée permet de mieux suivre le découplage entre la création de richesse et la consommation d'énergie pour minimiser l'effet rebond et renforcer la durabilité des gains.

⁶⁶ MFQ et MELCCFP, 2025. Analyse d'impact sur les émissions de GES et l'économie - Plan de mise en œuvre 2025-2030 - Plan pour une économie verte 2030, Gouvernement du Québec, https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/finances/publications-adm/economie-verte/AUTFR_analyse_impact_GES_economique_plan_mise_oeuvre_2025-2030.pdf

TABEAU 5 | EXEMPLES DE STRATÉGIES D'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE D'ÉTATS

États	Plan stratégique	Objectifs 2030	Progrès	Principales mesures pour l'industrie
Allemagne	Plan d'action national allemand pour l'efficacité énergétique (<i>Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz</i>)	Amélioration annuelle de la PÉ de 2,1 % jusqu'en 2050. Réduire la consommation d'énergie totale de 30 % par rapport à 2008, d'ici 2030 ⁶⁷ .	En 2019, amélioration annuelle de la PÉ de 1,4 % et une réduction de la consommation globale de 11 % ⁶⁸ .	Mesures législatives et non législatives ⁶⁹ . Mise en place d'une ligne d'assistance téléphonique consacrée à l'efficacité énergétique; obligation aux grandes industries de réaliser des audits énergétiques réguliers; conditionnalité renforcée pour l'accès au financement, notamment par l'adoption de système de gestion d'énergie normée; déploiement de plus de 200 réseaux favorisant le partage de bonnes pratiques (<i>Energy Efficiency and Climate Protection Networks</i>) ^{70, 71}
Québec	Plan pour une économie verte : Plan de mise en œuvre 2025-2030	Estimation de 22 % de l'amélioration de la PÉ par rapport à 2019, d'ici 2030 ^{72, 73} . Aucune cible de réduction de la consommation d'énergie totale.	Pas encore de résultat.	Effet conjoint du PEV, dont des investissements en entreprises totalisant 1 G \$; mise en place d'un calendrier de divulgation de la PÉ en industrie. Hydro-Québec soutient aussi le déploiement de systèmes de gestion de l'énergie (SGE) en industrie.
Australie	<i>National Energy Productivity Plan 2015-2030</i>	Amélioration de 40 % la PÉ par rapport à 2015, d'ici 2030 ⁷⁴ . Aucune cible de réduction de la consommation d'énergie totale.	En 2016-17, amélioration de la PÉ de 0,9 % et une hausse de la consommation globale de 1,1 % (liée à l'essor du gaz naturel et de l'électricité lié aux exportations de GNL) ⁷⁵ .	34 mesures couvrant l'efficacité énergétique des équipements, des bâtiments, de l'industrie et des transports, ainsi que des réformes du marché de l'énergie ⁷⁶ , dont une réforme de la tarification reflétant les coûts réels; établir un système de référence (benchmark) sectorielle; déploiement de compteurs intelligents et de nouveaux mécanismes de marché pour gérer la demande; améliorer l'échange de données du marché. L' <i>Australian Alliance for Energy Productivity</i> collabore activement avec plus de 90 représentants d'entreprises et milieux de la recherche pour développer des initiatives ^{77, 78, 79} .
États-Unis	<i>Accelerate Energy Productivity 2030</i>	Doubler la PÉ par rapport à 2010, d'ici 2030. Aucune cible de réduction de la consommation d'énergie totale.	Mise en œuvre des programmes BetterPlants, Better Building, Better Climate Challenge et des projets des Smart Manufacturing Centers	Adopter des systèmes de gestion de l'énergie et faire la transition vers des technologies de fabrication de pointe. Développer de nouveaux produits innovants pour assurer l'amélioration de la PÉ des clients et des fournisseurs ⁸⁰ . Plusieurs programmes suspendus sous l'administration Trump.

⁶⁷ Ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie, 2019. *Energy Efficiency Strategy 2050 (EffSTRA)*, Gouvernement de la fédération de l'Allemagne, https://rise.esmap.org/data/files/library/germany/Energy%20Efficiency/Germany_Germany%20Energy%20Efficiency%20Strategy%202050_2021.pdf

⁶⁸ Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2021. *The Energy of the Future - 8th Monitoring Report on the Energy Transition - Reporting Years 2018 and 2019*, p. 69, www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/EN/Publikationen/8th-monitoring-report-the-energy-of-the-future.pdf?__blob=publicationFile&v=1

⁶⁹ Ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie, 2025. *L'Allemagne rend les choses plus efficaces*, Gouvernement de la fédération de l'Allemagne, page web, www.bundeswirtschaftsministerium.de.translate.google/Redaktion/EN/Dossier/energy-efficiency.html?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=fr&_x_tr_hl=en

⁷⁰ DENA, 2025. *The 400th energy efficiency and climate protection network*, page web, www.dena.de/en/infocenter/the-400th-energy-efficiency-and-climate-protection-network

⁷¹ Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke Initiative, 2025. Site web, www.effizienznetzwerke.org

⁷² Gouvernement du Québec, 2025. *Plan pour une économie verte : Plan de mise en œuvre 2025-2030*, voir p.5-6, 19, 23 et 50, <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-mise-oeuvre-2025-2030.pdf>

⁷³ MELCCFP, 2025. *Analyse d'impact sur les émissions de GES et l'économie - Plan de mise en œuvre 2025-2030 - Plan pour une économie verte 2030*, Gouvernement du Québec, p.20, https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/finances/publications-adm/economie-verte/AUTFR_analyse_impact_GES_economique_plan_mise_oeuvre_2025-2030.pdf

⁷⁴ Gouvernement australien, 2015. *National Energy Productivity Plan 2015-2023* Boosting competitiveness, managing costs and reducing emissions, Australian Government/CAOG Energy Council, www.dcccew.gov.au/sites/default/files/documents/national-energy-productivity-plan.pdf

⁷⁵ Gouvernement australien, 2019. *National Energy Productivity Plan Annual Report 2018*, PDF, p.9, <https://www.energy.gov.au/sites/default/files/NEPP%20Annual%20Report%202018.pdf>

⁷⁶ Gouvernement australien, 2019. *National Energy Productivity Plan Annual Report 2018*, PDF, <https://www.energy.gov.au/sites/default/files/NEPP%20Annual%20Report%202018.pdf>

⁷⁷ Alliance to Save Energy, n.d. *Energy Productivity Playbook. Roadmaps for an Energy Productive Future*, p. 4, www.ase.org/sites/ase.org/files/gaep_playbook-energy-productivity_alliance-to-save-energy.pdf

⁷⁸ Australian Alliance for Energy Productivity, 2025. *Improving energy productivity in manufacturing to reduce costs and decarbonise*, page web, www.a2ep.org.au/manufacturing

⁷⁹ Australian Alliance for Energy Productivity, 2017. *Innovation to Improve Energy Productivity in the Shelter Value Chain*, p. 11, https://www.a2ep.org.au/_files/ugd/c1ceb4_d8d100abef014bd99dd6d8be1dae7fb.pdf?index=true

⁸⁰ U.S. DOE, 2015. *Accelerate Energy Productivity 2030. Executive Summary of a Strategic Roadmap for American Energy Innovation, Economic Growth, and Competitiveness*, prepared by US Department of Energy and NREL, www.energy2030.org/wp-content/uploads/Executive-Summary.pdf

Fondement de l'amélioration continue : la gestion de l'énergie

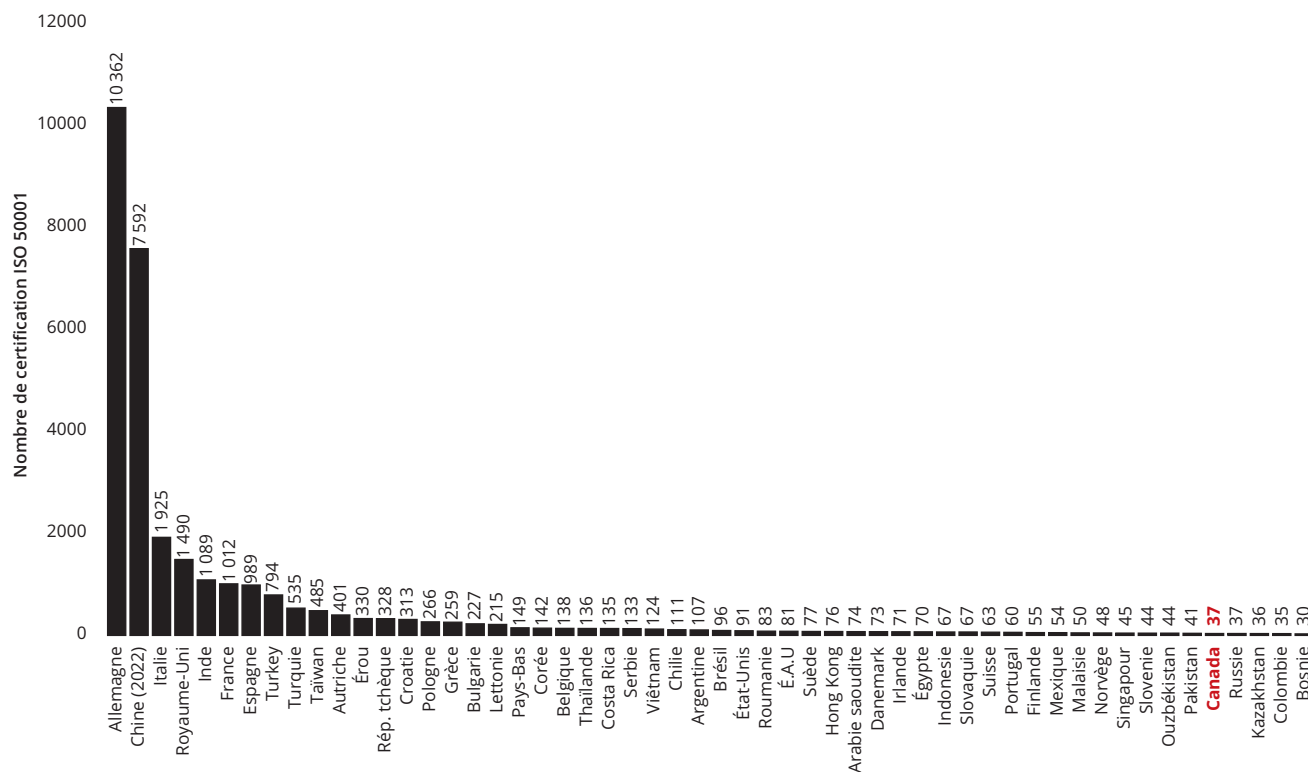
Découpler la création de richesse de la consommation d'énergie représente un défi de taille en raison du modèle économique historiquement fondé sur l'abondance d'énergie bon marché et l'externalisation systématique des coûts environnementaux. Pour y parvenir, il faut repenser nos modes de production afin de générer de la valeur avec des empreintes matérielle et énergétique minimales.

L'amélioration de la productivité énergétique repose sur l'adoption intégrée de stratégies visant à optimiser simultanément la performance énergétique et la valeur économique générée par l'activité industrielle. La première étape de cette démarche consiste à renforcer la gestion de l'énergie, levier essentiel pour réduire la consommation d'énergie tout en générant des bénéfices non énergétiques, tels que l'amélioration de la qualité des produits, la diminution des temps d'arrêt et la réduction des coûts de maintenance. Ces gains contribuent directement à accroître la valeur ajoutée produite, tout en renforçant la compétitivité des entreprises.

La mise en œuvre de systèmes de gestion de l'énergie (SGÉ) est l'un des principaux leviers permettant d'intégrer une démarche structurée pour assurer une amélioration continue de la performance énergétique⁸¹. Au niveau international, les normes ISO 50001 de l'*International Organization for Standardization*⁸² (ISO) décrivent les meilleures pratiques en matière de gestion de l'énergie.

Depuis la publication de sa version révisée en 2018, le nombre de certifications ISO 50001 dans le monde a augmenté en moyenne de 7 % par an. En 2023 on comptait sept pays chefs de file ayant plus de 1 000 certificats actifs (Allemagne, Chine, Italie, Royaume-Uni, Inde, France, Espagne), alors qu'on ne dénombrait au Canada que 37 certificats actifs la même année (voir graphique 17). Il existe cependant d'autres certifications codifiées (ex., US Superior Energy Performance 50001, Strategic Energy Management aux États-Unis et le système de gestion de l'énergie d'entreprise en Chine⁸³) qui ne sont pas comptabilisées dans l'inventaire d'ISO.

GRAPHIQUE 17 | NOMBRE DE CERTIFICATIONS DE SYSTÈME DE GESTION DE L'ÉNERGIE ISO 50001 PAR PAYS, 2023



Source : ISO, 2024. Note : Seuls les pays ayant plus de 30 certifications sont présentés dans le graphique.

⁸¹ Chaire de gestion du secteur de l'énergie, 2025. *Adoption de systèmes de gestion de l'énergie en industrie : mécanismes incitatifs à l'international et bénéfices*, préparé pour Hydro-Québec, HEC Montréal, <https://energie.hec.ca/mecanismessge>

⁸² La norme ISO 50001 est une norme volontaire qui constitue un cadre structuré permettant aux entreprises d'engager ou de renforcer une démarche de gestion de l'énergie en entreprise. Il vise à cerner les potentiels d'économies d'énergie par la recherche d'amélioration continue, de même qu'à planifier et coordonner les actions pour y parvenir.

⁸³ Gouvello, Taylor, Song, 2021. *China: 40-Year Experience in Energy Efficiency Development: Policies, Achievements, and Lessons Learned*. The World Bank, www.researchgate.net/publication/357077347_China_40-Year_Experience_in_Energy_Efficiency_Development_-_Policies_Achievements_and_Lessons_Learned

Les principales mesures pour inciter les entreprises à mettre en œuvre des SGÉ sont la mise en place d'une prime à la certification, le financement de certaines activités, des mesures fiscales ou tarifaires, ou bien encore des exemptions d'obligations réglementaires (voir tableau 6). Les pouvoirs publics peuvent également développer des réglementations contraignantes pour certaines catégories d'entreprises, comme c'est le cas en Europe avec la directive européenne sur l'efficacité énergétique⁸⁴.

Au Québec, la mise en œuvre des SGÉ repose principalement sur de l'aide financière, à travers le programme ÉcoPerformance au niveau provincial et le Programme des installations industrielles et manufacturières vertes au niveau fédéral. La certification ISO 50001 n'est pas exigée, mais elle permet d'obtenir des subventions bonifiées pour l'achat d'équipements performants. Les distributeurs d'énergie offrent aussi du soutien aux entreprises pour l'implantation de SGÉ. Malgré ce financement avantageux, on ne compte qu'une dizaine de certificats actifs au Québec.

De manière générale, on observe une corrélation directe entre les mesures incitatives et plus contraignantes mises en place par les pouvoirs publics et le nombre de sites certifiés dans la juridiction visée. Le respect de certaines conditions pour accéder aux incitatifs permet généralement d'assurer la pérennité des gains réalisés.

TABLEAU 6 | SYNTHÈSE DES MÉCANISMES INCITATIFS POUR L'ADOPTION DE SGÉ EN ENTREPRISE POUR LES 5 PAYS

		Mesures économiques				Autres mesures	
		Prime à la certification	Financement avantageux	Crédit d'impôts	Réduction du tarif d'électricité	Dispense d'obligations	Réglementation contraignante
	France	✓	✓	✗	✓	✓	✓
	Allemagne	✗	✗	✓	✓	✓	✓
	Royaume-Uni	✗	✗	✗	✗	✓	✓
	Etats-Unis	✗	✓	✓	✗	✗	✗
	Suède	✗	✗	✗	✓	✓	✓
	Québec	✗	✓	✗	✗	✗	✗

Sources : voir la section « Description détaillée par pays » dans : Chaire de gestion du secteur de l'énergie, 2025. *Adoption de systèmes de gestion de l'énergie en industrie : mécanismes incitatifs à l'international et bénéfices*, préparé pour Hydro-Québec, HEC Montréal, <https://energie.hec.ca/mecanismessge>

L'ampleur des économies d'énergie générées par la mise en place d'un SGÉ dépend de plusieurs variables : secteurs et sous-secteurs industriels, niveau de maturité du SGÉ, mesures déployées et projets priorités. Trois niveaux d'intervention, correspondant à des degrés d'investissement distincts et une complexité technique plus élevé, peuvent être identifiés (voir graphique 18)⁸⁵ :

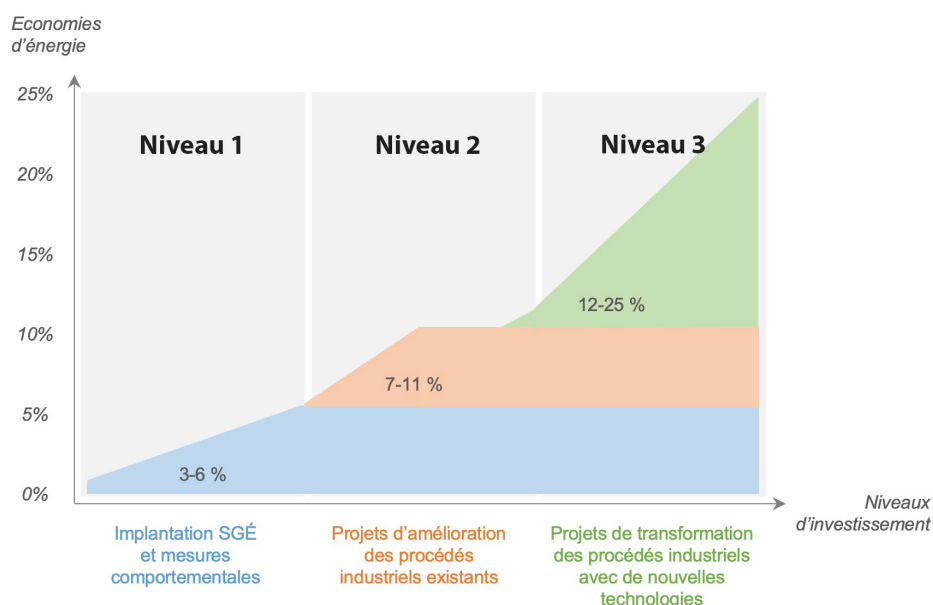
- 1. Niveau 1 - Implantation SGÉ, évaluation et mesures comportementales** : Ces initiatives à faibles coûts (essentiellement des coûts d'exploitation, OPEX) visent principalement l'optimisation des opérations et de la maintenance, par une meilleure gestion de l'énergie, grâce à des outils décisionnels (ex., audit énergétique et SGÉ). Elles permettent généralement des économies d'énergie de l'ordre de **3 à 6 %**;
- 2. Niveau 2 - Projets d'amélioration continue des procédés industriels existants** : Ces investissements (dépenses en capital, CAPEX) ciblent la modernisation d'équipements tels que les chaudières à gaz ou les systèmes de pompage. Les gains potentiels se situent entre **7 et 11 %**;

⁸⁴ UE, 2023. *Directive (UE) 2023/1791 du Parlement européen et du Conseil du 13 septembre 2023 relative à l'efficacité énergétique et modifiant le règlement*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A32023L1791>

⁸⁵ Les estimations de gains en efficacité énergétique proviennent des organisations suivantes : IEA; US DOE State energy program; Afnor Énergies

3. Niveau 3 - Projets de transformation des procédés industriels par l'intégration de nouvelles technologies : Ces investissements majeurs (CAPEX) impliquent le remplacement d'équipements clés, comme l'installation de fours à induction. Les économies d'énergie peuvent alors atteindre **12 à 25 %**.

GRAPHIQUE 18 | POTENTIELS D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE LIÉS À LA MISE EN ŒUVRE D'UN SGÉ SELON TROIS NIVEAUX D'INVESTISSEMENT



Sources : Tiré de Chaire de gestion du secteur de l'énergie, 2025. Les pourcentages ont été estimés à partir d'informations de l'AIE, US DOE, et Afnor Énergies.

La mise en place d'un SGÉ peut générer des économies d'énergie qui se traduisent par des gains financiers, particulièrement dans les contextes de prix de l'énergie élevés. Le retour sur investissement se situe généralement entre trois et quatre ans⁸⁶. Les organisations dotées d'un SGÉ affichent une amélioration annuelle moyenne de 3,5 % de leur performance énergétique, contre seulement 0,5 % pour celles qui n'en disposent pas⁸⁷.

La mise en place d'un SGÉ n'est pas une finalité en soi, mais le point de départ d'une démarche structurée visant à inscrire durablement des pratiques de gestion de l'énergie au sein d'une entreprise, de même que formaliser l'engagement de la direction. L'adoption de la norme ISO 50001 implique un investissement soutenu, tant financier qu'humain, notamment par la formation des équipes et le développement d'une expertise interne pour maîtriser progressivement les outils, processus et indicateurs de performance.

La section suivante approfondira les stratégies d'amélioration de la PÉ en entreprise, en lien avec ces trois niveaux d'investissement et la complémentarité des approches.

⁸⁶ Afnor Énergies, 2024. *Pratiques de management de l'énergie d'organismes engagés dans l'ISO 50001*, <https://telechargement.afnor.info/energies-etude-pratiques-et-management-iso-50001>

⁸⁷ Chaire de gestion du secteur de l'énergie, 2025. *Adoption de systèmes de gestion de l'énergie en industrie : mécanismes incitatifs à l'international et bénéfices*, préparé pour Hydro-Québec, HEC Montréal, <https://energie.hec.ca/mecanismessge>

Stratégies pour l'amélioration de la productivité énergétique en entreprise

L'efficacité énergétique, soutenue par une gestion structurée de l'énergie, constitue la pierre angulaire de la transformation industrielle dans la transition énergétique. Toutefois, son plein potentiel ne peut être atteint que si elle est intégrée à une stratégie d'entreprise globale qui valorise la sobriété énergétique, la circularité, la mobilisation des équipes, le développement des compétences et une collaboration renforcée à travers la chaîne de valeur.

Historiquement centrée sur le remplacement d'équipements, l'amélioration de la productivité énergétique, dans une perspective de découplage entre la consommation d'énergie et la valeur économique produite, nécessite une approche systémique, intégrant toutes les formes d'énergie et leur usage optimal dans les opérations. L'intégration de ces approches, efficacité énergétique, circularité, innovation dans les procédés, électrification et technologies avancées, constitue un vecteur essentiel de transformation industrielle vers une production plus sobre, plus rentable et plus durable. Ce découplage permettra également aux entreprises de générer les revenus pour absorber les investissements requis pour pallier les coûts énergétiques croissants dans le contexte de la transition énergétique.

Les projets d'amélioration de la PÉ qui visent un découplage entre la consommation d'énergie et la création de valeur demandent plusieurs types de progrès. Il faut une intégration de technologies émergentes, comme les procédés électrotechniques, la fabrication avancée (automatisation, intelligence artificielle, Internet des objets) et les solutions numériques. L'évolution des modèles d'affaires est aussi essentielle, tout comme de nouvelles stratégies de financement et une coordination étroite entre les parties à travers la chaîne d'approvisionnement.

Pour maximiser les chances de succès, les méthodes de conception et de mise en œuvre doivent être adaptées afin d'intégrer une évaluation multicritère, une gestion proactive des risques technologiques et organisationnels et un suivi rigoureux de la performance économique et énergétique.

La première étape vers l'implantation d'une stratégie d'amélioration de la PÉ consiste à réaliser un audit (*benchmark*) de la consommation et de l'efficacité énergétiques de l'entreprise afin de délimiter les périmètres du bilan énergétique à améliorer pour une section ou la totalité de l'usine. À partir de ces données de base, diverses stratégies peuvent être envisagées selon le niveau de maturité des investissements, comme illustré dans le tableau 7 et dans certaines études de cas au chapitre 5.

TABEAU 7 | EXEMPLES DE MESURES DE MISE EN ŒUVRE DE PROJETS D'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE SELON DES NIVEAUX CROISSANTS D'INVESTISSEMENT

Exemples	Description
Niveau 1 - Implantation SGÉ, évaluation et mesures comportementales	
Système de gestion de l'énergie (SGÉ)	Démarche pour adopter un cadre exemplaire de gestion de l'énergie en entreprise. Il vise à cerner les potentiels d'économies d'énergie par la recherche d'amélioration continue, de même qu'à planifier et coordonner les actions pour y parvenir, dont la définition d'objectifs et indicateurs de performance (EnPI), et l'élaboration d'un plan d'action (ex., ISO 50001 ^{88,89} , ISO 50005 ⁹⁰ ; Superior Energy Performance).
Audit énergétique et études de faisabilité	Analyse approfondie de la consommation d'énergie d'un bâtiment, d'un site industriel ou d'un système, visant à évaluer les flux d'énergie et de matière pour identifier des opportunités d'amélioration de l'efficacité. Permet de définir la référence pour les projets d'amélioration énergétique ⁹¹ .
Cartographie de la chaîne de valeur et d'énergie (CCVé)	Méthode qui vise à intégrer l'énergie dans la représentation des flux d'information et de matériel liés à la production ou à la livraison de services, afin de repérer les sources de pertes d'énergie dans la chaîne de valeur et établir les priorités pour améliorer les processus industriels ⁹² .
<i>Sustainable & lean manufacturing</i>	Approche d'amélioration continue qui consiste à éliminer les pertes, le gaspillage et l'impact environnemental dans les processus de fabrication de produits par l'optimisation de la production, la recherche systématique, la quantification et la réduction de la consommation de ressources sans valeur ajoutée ⁹³ . En <i>Lean Energy</i> , les ateliers <i>kaizen</i> — sessions intensives de quelques jours réunissant des employés de différents services — permettent d'identifier et de réduire les pertes d'énergie dans les opérations, en privilégiant des solutions simples et peu coûteuses ⁹⁴ .
Niveau 2 - Amélioration continue des procédés industriels existants	
Modernisation	Remplacement et modernisation d'équipements de systèmes et de procédés. Intégration de pompes à chaleur à basse et moyenne température et recompression mécanique de la vapeur. Par exemple, Hydro-Québec a des programmes pour ce volet : Solutions efficaces (Appuis financiers pour les entreprises et Appui financier pour des équipements efficaces).
Outil de diagnostic et d'analyse multivariée de données (AMVD)	Intégration de logiciels de diagnostic et d'optimisation des systèmes pour convertir de multiples données liées aux opérations en renseignements utiles en vue d'opérer les procédés de façon efficace et d'améliorer de façon continue la performance des systèmes industriels et des bâtiments ⁹⁵ (ex., analyse Pinch ⁹⁶ , analyse exergétique ⁹⁷ , analyse de la valeur et des coûts du cycle de vie et des bénéfices non-énergétiques ⁹⁸). Voir aussi <i>ITO Software Tools</i> du US DOE ⁹⁹ .
Économie circulaire (locale)	Système de production, d'échange et de consommation visant à optimiser l'utilisation de ressources à toutes les étapes du cycle de vie d'un bien par une plus grande circularité des flux des ressources à l'échelle de l'usine ou d'un bâtiment (ex., recyclage, écoconception, reconditionnement, symbiose et écologie industrielles, économie de fonctionnalité ^{100, 101}). Réintégration des matières et de la chaleur perdues : récupération de chaleur fatale, réutilisation interne et valorisation externe des flux résiduels, réduisant les besoins en matières vierges et en énergie.

⁸⁸ ISO, 2018. *ISO 50001. Systèmes de management de l'énergie*, Organisation internationale de normalisation, www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/fr/PUB100400_fr.pdf

⁸⁹ RNCAN, 2025. *Norme ISO 50001 pour les systèmes de gestion de l'énergie*, Gouvernement du Canada, page web, <https://ressources-naturelles.canada.ca/efficacite-energetique/efficacite-energetique-industrie/gestion-energie-industrie/norme-iso-50001-systemes-gestion-lenergie>

⁹⁰ ISO 50005 :2021, *Systèmes de management de l'énergie — Lignes directrices pour une mise en œuvre par étapes*, www.iso.org/fr/standard/76428.html

⁹¹ RNCAN, 2025. *Réalisation d'un audit énergétique*, Gouvernement du Canada, page web, <https://ressources-naturelles.canada.ca/efficacite-energetique/efficacite-energetique-industrie/gestion-energie-industrie/realisation-audit-energetique>

⁹² EPA, 2011. *Lean, Energy & Climate Toolkit*. www.epa.gov/sites/production/files/2013-10/documents/lean-energy-climate-toolkit.pdf

⁹³ EPA, 2024. *Sustainable Manufacturing*, page web, www.epa.gov/sustainability/sustainable-manufacturing

⁹⁴ EPA, 2014. *Energy Star — Energy Treasure Hunt Guide : Simple Steps to Finding Energy Savings*, www.energystar.gov/sites/default/files/buildings/tools/Energy_Treasure_Hunt_Guide_Jan2014.pdf

⁹⁵ RNCAN, 2025. *Explore*, Gouvernement du Canada, page web, <https://ressources-naturelles.canada.ca/carte-outils-publications/outils-logiciels/logiciels-d%E2%80%99analyse-de-donn%C3%A9es-et-outils-de-mod%C3%A9lisation/explore>

⁹⁶ RNCAN, 2025. *Guide d'analyse Pinch*, Gouvernement du Canada, page web, <https://natural-resources.canada.ca/energy-efficiency/pinch-analysis-guide>

⁹⁷ Michalakakis, C., Cullen, J., 2021. « Dynamic exergy analysis : From industrial data to exergy flows », *Journal of Industrial Ecology*, <https://doi.org/10.1111/jiec.13168>

⁹⁸ IEA, 2025. *Multiple Benefits of Energy Efficiency*, www.iea.org/reports/multiple-benefits-of-energy-efficiency

⁹⁹ US DOE, 2025. *ITO Software Tools*, www.energy.gov/eere/ito/ito-software-tools

¹⁰⁰ WBCSD, 2019. *Circular Transition Indicators — Proposed metrics for business, by business*, www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Factor-10/Resources/Circular-Transition-Indicators

¹⁰¹ Saunier, F., et coll., 2021. *Projet de recherche sur le potentiel de l'économie circulaire sur la réduction de gaz à effet de serre des émetteurs industriels québécois*, CIRAIQ, Polytechnique Montréal, CTTÉI, HEC Montréal, <https://energie.hec.ca/gesindustriels/>

Niveau 3 - Transformation des procédés industriels, nouvelles technologies	
Industrie 5.0 et technologies numériques	Intégration des technologies numériques, de l'information et d'automatisation (ex., IA prédictive, jumeau numérique, internet des objets, capteurs sans fil, réseau intelligent, logiciels) pour créer des usines intelligentes qui enregistrent, surveillent et contrôlent, en temps réel, la performance énergétique des équipements et des processus à chaque étape de production. Une priorité est donnée à la durabilité, à la résilience et au bien-être des travailleurs afin de réconcilier innovation et responsabilité sociale ¹⁰² .
Économie circulaire avancée	Optimisation et utilisation de ressources à toutes les étapes du cycle de vie d'un bien par une plus grande circularité des flux des ressources dans les systèmes à l'échelle de la chaîne de valeur (ex., symbiose et écologie industrielles, transition des modèles d'affaires linéaires vers des modèles circulaires ^{103,104,105}). Les quatre leviers de création de valeur en économie circulaire ¹⁰⁶ sont : 1. Circularité interne : Minimiser l'usage de matériaux par rapport au modèle linéaire (extraire-transformer- distribuer-consommer-jeter). 2. Intensification des cycles : Prolongation de la durée ou du nombre de cycles d'usage (réparation, réutilisation, reconditionnement). 3. Utilisation en cascade : Réemploi des ressources à différents niveaux de la chaîne de valeur. 4. Pureté des intrants : Décontamination et décarbonation des flux pour améliorer la qualité, la durabilité et l'efficacité des produits
Technologies avancées	Introduction de technologies de pointe , comme la fabrication additive, les matériaux avancés, les systèmes de recompression de vapeur, ainsi que de pompes à chaleur à haute température. Intégration de procédés de fabrication et d'électrification innovants reposant sur des électrotechnologies (ex., induction, micro-ondes, infrarouge, torches à plasma). Voir graphique 18 et tableau 7 dans l'encadré ci-dessous.

¹⁰² Commission Européenne, 2022. *Industrie 5.0 - A Transformative Vision for Europe*, ESIR Policy Brief No. 3, <https://op.europa.eu/en/web/eu-law-and-publications/publication-detail/-/publication/38a2fa08-728e-11ec-9136-01aa75ed71a1>

¹⁰³ WBCSD, 2019. *Circular Transition Indicators – Proposed metrics for business, by business*, www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Factor-10/Resources/Circular-Transition-Indicators.

¹⁰⁴ Saunier, F., et coll., 2021. *Potentiel de l'économie circulaire sur la réduction de gaz à effet de serre des émetteurs industriels québécois*, CIRAIQ, Polytechnique Montréal, CTTÉI, HEC Montréal, <https://energie.hec.ca/gesindustriels>

¹⁰⁵ US DOE, 2023. *Sustainable Manufacturing and Circular Economy*, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, January 2023, www.energy.gov/sites/default/files/2023-03/Sustainable%20Manufacturing%20and%20Circular%20Economy%20Report_final%203.22.23_0.pdf

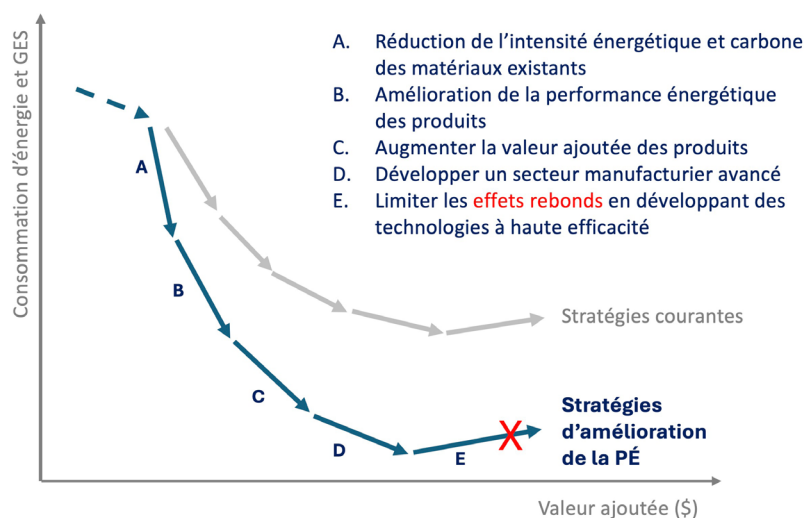
¹⁰⁶ WEF, 2014. *Towards the circular economy : Accelerating the scale-up across global supply chains*, World Economic Forum, p. 16, http://www3.weforum.org/docs/WEF_ENV_TowardsCircularEconomy_Report_2014.pdf

Nouveau paradigme pour accroître la productivité énergétique

Dans une étude, le *U.S. Department of Energy* propose une trajectoire pour améliorer la PÉ dans une perspective de découplage entre la consommation d'énergie et la création de richesse afin de minimiser l'effet rebond¹⁰⁷. L'approche consiste à déployer cinq stratégies simultanées au cours des 20 prochaines années (voir graphique 19). Les opportunités technologiques liées aux cinq stratégies sont présentées dans le tableau 8.

- a. Réduction de l'intensité énergétique et carbone des matériaux existants** en développant des procédés compatibles avec les exigences énergétiques les plus performantes.
- b. Amélioration de la performance énergétique des produits manufacturés** (c'est-à-dire diminution des besoins énergétiques lors de leur usage) grâce à des matériaux plus légers et résistants, permettant un service supérieur pour une même quantité d'intrants.
- c. Augmenter la valeur ajoutée des produits manufacturés** en développant de nouveaux matériaux et substituts à forte valeur, pouvant être produits à grande échelle avec une consommation énergétique et des émissions inférieures aux limites pratiques des matériaux existants (ex., fabrication additive de pièces médicales et aérospatiales)
- d. Développer un secteur manufacturier avancé**, hyperefficace et alimenté par des sources renouvelables, afin d'accroître substantiellement la contribution du secteur manufacturier au PIB total, en mettant l'accent sur la création de matériaux et produits à faible consommation énergétique, faible empreinte carbone et forte valeur ajoutée (ex., électrotechnologies, intensification des procédés)
- e. Limiter les possibles effets rebonds d'une production future en développant des technologies minimisant les ressources nécessaires sur l'ensemble du cycle de vie.** Par exemple, prévoir des batteries recyclables, limitant ainsi les besoins énergétiques et en matières premières des prochaines générations de batteries.

GRAPHIQUE 19 | TRAJECTOIRE DES CINQ STRATÉGIES FAVORISANT UNE AMÉLIORATION CROISSANTE DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS UNE PERSPECTIVE DE DÉCOUPLAGE



Source : Tiré de Morrow et coll., 2017. Traduction par les auteurs.

¹⁰⁷ Morrow et coll., 2017. *U.S. Industrial Sector Energy Productivity Improvement Pathways*, 2017 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, https://www.aceee.org/files/proceedings/2017/data/polopoly_fs/1.3687847.1501159031!/files/server/file/790251/filename/0036_0053_000067.pdf

TABLEAU 8 | OPPORTUNITÉS TECHNOLOGIQUES POUR AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE SELON LES CINQ STRATÉGIES (A-E) PRÉSENTÉES DANS LE GRAPHIQUE 18 (CI-DESSUS)

Technologies	Stratégies	Description des opportunités
Fabrication additive	A, B, C	Les techniques de fabrication additive, par l'ajout successif de couche de matières, peuvent réduire le gaspillage de matières, éliminer des étapes de production et permettre la création de nouveaux produits plus légers et plus résistants qui ne peuvent pas être produits par les techniques conventionnelles.
Matériaux avancés	B, C, E	Nouveaux procédés de fabrication, tels que l'électrolyse, le laser, les faisceaux d'électrons, qui permettent d'obtenir des matériaux avancés dotés de propriétés supérieures ou nécessitant moins d'énergie que les techniques antérieures. En outre, la modélisation par intelligence artificielle et l'échange de données accélèrent le processus de découverte de nouveaux matériaux en minimisant les essais et les erreurs.
Technologies numériques	A, D, E	Les technologies d'automatisation, de modélisation et de détection numériques de l'intelligence artificielle (industrie 4.0) permettent une gestion en temps réel de l'énergie, de la productivité et des coûts au niveau des équipements de l'usine pour des impacts transversaux.
Cogénération	A, C	La production simultanée d'électricité et d'énergie thermique utile à partir d'une seule source d'énergie peut réduire les besoins en combustible par rapport à la production séparée d'électricité et de chaleur. La production par cogénération est généralement réalisée sur place, ce qui augmente la résilience.
Matériaux composites	D, E	De nombreuses technologies d'énergie propre reposent sur des matériaux essentiels (par exemple, le néodyme dans l'aimant permanent d'une éolienne) ; les chaînes d'approvisionnement durables feront progresser ces technologies.
Conversion thermique directe	A, C	Les technologies de conversion directe de l'énergie thermique convertissent l'énergie d'une forme à une autre sans étapes intermédiaires ; les technologies prometteuses de conversion de la chaleur en électricité, comme la thermoélectricité, peuvent être utilisées dans des applications allant de la récupération de la chaleur perdue à la réfrigération.
Matériaux pour conditions extrêmes	A, B.	Les opportunités comprennent des centrales électriques à plus haute température et à plus haut rendement, des pipelines résistants à la corrosion pour l'acheminement de l'hydrogène, une meilleure récupération de la chaleur résiduelle dans les environnements corrosifs.
Production de chaleur	A, C	Le chauffage des procédés représente près des deux tiers de l'énergie consommée sur le site de fabrication. Les possibilités de réduire la consommation d'énergie comprennent un traitement à faible consommation d'énergie (par exemple, le chauffage par pompes à chaleur, micro-ondes, infra-rouge, torche à plasma), des systèmes intégrés, la récupération de la chaleur résiduelle et des contrôles avancés.
Intensification des procédés	A, C	Les techniques d'intensification des processus, telles que l'intégration d'opérations unitaires multiples dans un seul équipement et la conception de systèmes modulaires, peuvent améliorer le rendement, la qualité et l'efficacité énergétique de la fabrication
Fabrication rouleau à rouleau (roll-to-roll)	A, B, C, E	Cette technique de fabrication permet d'obtenir de nombreux produits énergétiques en 2D tels que des composants électroniques flexibles pour les panneaux solaires et des membranes pour les séparations à faible énergie
Fabrication durable et Économie circulaire	A, C, E	Les analyses des flux de matières révèlent des possibilités technologiques accrues. Par exemple, le traitement des matériaux recyclés peut nécessiter beaucoup moins d'énergie que celui des matériaux primaires, mais pour tirer pleinement parti de ces avantages, il faut une approche systémique plus large, des produits conçus pour être réutilisés et des technologies qui permettent une plus grande utilisation des matériaux secondaires
Récupération de chaleur perdue	A, C	La chaleur résiduelle de fabrication peut être capturée et réutilisée en redirigeant les flux pour les utiliser dans un autre processus thermique ou en convertissant la chaleur résiduelle en électricité.
Semi-conducteurs à large bande pour l'électronique de puissance	B, C, E	Les semi-conducteurs à large bande interdite peuvent permettre une électronique de puissance plus petite, plus légère et plus efficace que les dispositifs à base de silicium.

Source : Tiré de Morrow et coll., 2017¹⁰⁸. Traduction par les auteurs.

¹⁰⁸ Morrow et coll., 2017. U.S. *Industrial Sector Energy Productivity Improvement Pathways*, 2017 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, www.aceee.org/files/proceedings/2017/data/polopoly_fs/1.3687847.1501159031/filesserver/file/790251/filename/0036_0053_000067.pdf

Plusieurs technologies présentées dans le tableau 8 nécessitent encore des adaptations pour être transférées à d'autres sous-secteurs industriels, mais certaines sont déjà en cours d'adoption et montrent un fort potentiel :

- **Fabrication additive** : Produisant des pièces couche par couche à partir de modèles 3D, elle peut réduire les déchets de 70 à 90 % par rapport à l'usinage classique. Elle permet des géométries optimisées et un allègement des composants (jusqu'à 60 %), entraînant des économies d'énergie à l'usage (jusqu'à 20 % de combustible en moins)¹⁰⁹.
- **Technologies numériques et IA** : Capteurs intelligents, jumeaux numériques, contrôle prédictif et apprentissage automatique permettent une gestion optimisée des procédés. Ces outils offrent un potentiel de 5 à 25 % d'économies d'énergie dépendant des sous-secteurs industriels^{110, 111}.
- **Matériaux avancés** : Conçus pour des performances supérieures, ils sont produits via des procédés innovants (laser, micro-ondes, plasma) souvent assistés par des outils numériques. Les composites en carbone, par exemple, allègent les structures de 50 à 70 % tout en maintenant leur résistance, avec des gains énergétiques sur le cycle de vie¹¹².
- **Production de chaleur** : Les pompes à chaleur à haute température valorisent la chaleur fatale jusqu'à 200 °C avec des coefficients de performance (COP) de 2,5 à 4,5 dans des applications industrielles. Associée aux pompes à chaleur, la recompression mécanique de la vapeur est extrêmement efficace avec un COP équivalent de 5 à 30¹¹³.
- **Économie circulaire** : Ce modèle vise à boucler les flux de matières et d'énergie, réduisant les pertes, les déchets et les émissions. Selon une étude de *Material Economics*, les stratégies d'économie circulaire pourraient réduire de 56 % les émissions de GES de l'industrie lourde (plastique, acier, aluminium, ciment) d'ici 2050¹¹⁴. Pour y parvenir, trois leviers sont essentiels : la recirculation et la valorisation des matériaux, la réduction et l'optimisation de l'usage des ressources, ainsi que la transformation du modèle d'affaires linéaire en un modèle circulaire. Cette transition exige un engagement de la direction et l'élaboration et l'application d'un cadre méthodologique structuré¹¹⁵, garantissant la mise en œuvre cohérente et progressive des stratégies¹¹⁶ (voir graphique 20).

¹⁰⁹ i4 Verse 2024. *How 3D Printing is Beneficial to Make Light Weight Parts?*, page web, www.i4verse.com/article/how-3d-printing-is-beneficial-to-make-light-weight-parts?utm_source=chatgpt.com

¹¹⁰ CESMII, 2021. *The Smart Manufacturing Institute 6° of Smart Manufacturing - Commonality with Sustainable Initiatives*, video, www.youtube.com/watch?v=9PLYKluZjd8

¹¹¹ IEA 2025. *Energy and AI*, PDF, p. 30, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/601eac9-ba91-4623-819b-4ded331ec9e8/EnergyandAI.pdf>

¹¹² US DOE, 2025. *Lightweight and Propulsion Materials*, page web, www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-and-propulsion-materials?utm_source=chatgpt.com

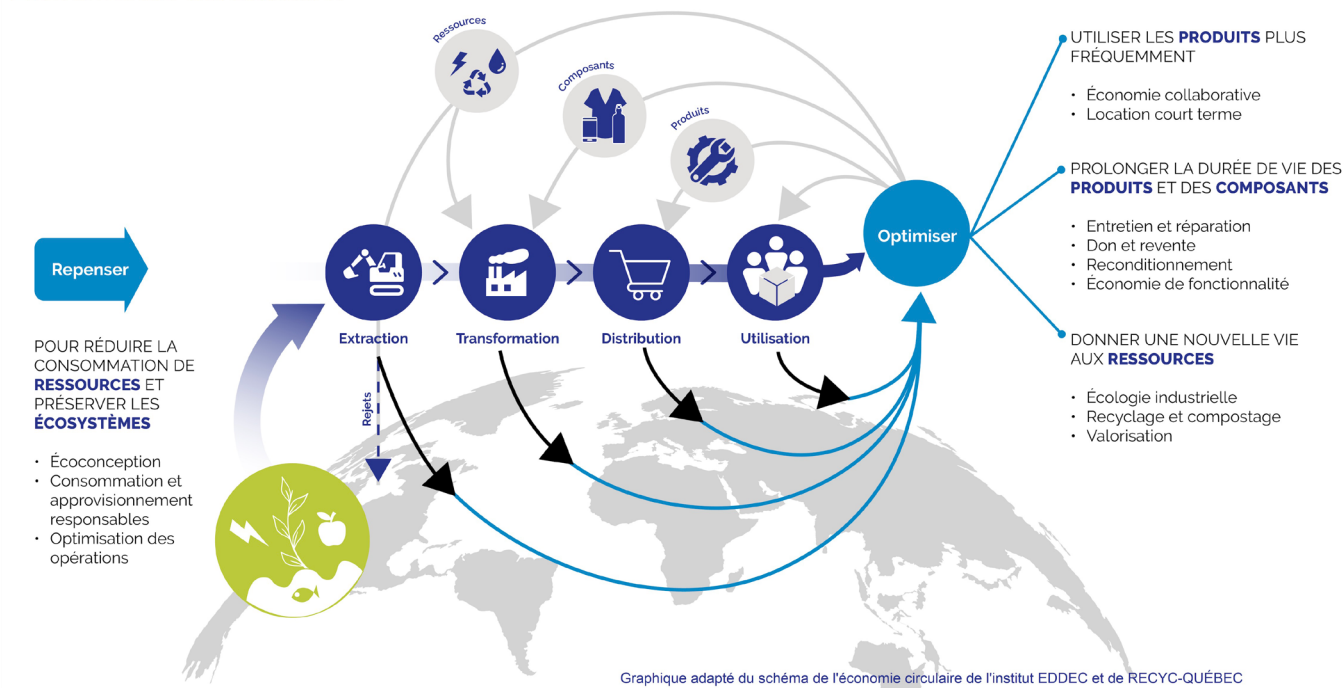
¹¹³ CETIAT, 2025. *Récupération de chaleur fatale industrielle : des économies d'énergie à la clé*, page web, www.recuperation-chaleur.fr

¹¹⁴ Material Economics, 2018. *The Circular Economy. A Powerful Force for Climate Mitigation*, p. 176, <https://europeandclimate.org/wp-content/uploads/2018/06/MATERIAL-ECONOMICS-CIRCULAR-ECONOMY-WEBB-SMALL2.pdf>

¹¹⁵ WBCSD, 2023. *Circular Transition Indicators v4.0*, www.wbcsd.org/resources/circular-transition-indicators-v4

¹¹⁶ US DOE, 2023. *Sustainable Manufacturing and Circular Economy*, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, January 2023, p.ix, www.energy.gov/sites/default/files/2023-03/Sustainable%20Manufacturing%20and%20Circular%20Economy%20Report_final%203.22.23_0.pdf

Économie circulaire



Source : OIQ, 2025. https://gpp.oiq.qc.ca/concepts_approches.htm

CHAPITRE 5 | Études de cas d'amélioration de la productivité énergétique en entreprise

Au Québec, les indicateurs et stratégies de productivité énergétique restent peu utilisés en entreprise, en raison d'une faible connaissance du concept. Toutefois, certaines entreprises innovantes ont adopté des stratégies abordées au chapitre 4 pour améliorer la performance environnementale et énergétique de leurs opérations. Quatre études de cas illustrent le potentiel de ces stratégies pour accroître la productivité énergétique dans une perspective de découplage.

Quatre entreprises québécoises ont été sélectionnées pour les études de cas. Elles se distinguent par leur leadership en innovation et leur engagement envers l'amélioration continue de leur performance environnementale et énergétique. Approchées par les auteurs, elles ont volontairement accepté de partager leurs données et de collaborer à l'élaboration des cas. Par souci de confidentialité et d'harmonisation, les données graphiques ont été indexées.

Chaque entreprise illustre une approche concrète d'amélioration de la productivité (PÉ) dans une perspective de découplage entre la valeur produite et la consommation d'énergie :

- **Eldorado Gold** : remplacement de camions diesel par une électrotechnologie (camions électriques) dans un complexe minier souterrain.
- **Greenfield Global Québec** : valorisation économique des sous-produits dans une distillerie d'éthanol.
- **Scierie Girard** : optimisation énergétique des séchoirs à bois grâce à une technologie avancée de contrôle.
- **Les Brasseries Labatt du Canada (Montréal)** : intégration d'une électrotechnologie industrielle (thermopompe) à haute efficacité.

Les mesures adoptées par les entreprises retenues ne s'inscrivaient pas explicitement dans une stratégie d'amélioration de la productivité énergétique, puisque l'application du concept ne fait qu'émerger. L'effet rebond n'a pas été évalué. Ces cas visent à mieux comprendre les leviers de la PÉ, afin d'en tirer des leçons utiles pour les entreprises et pour l'élaboration de politiques publiques au Québec.

L'évaluation de la PÉ varie selon la source de la croissance économique. Lorsque celle-ci découle de l'amélioration des produits, la valeur ajoutée manufacturière constitue un indicateur pertinent. En revanche, si la croissance repose sur l'augmentation du volume de production, le nombre d'unités produites peut être utilisé comme référence (voir Annexe 2).

ELDORADO GOLD QUÉBEC : CAMIONS ÉLECTRIQUES DE TRANSPORT DE MINÉRAI

Exemple d'une approche d'utilisation d'une électrotechnologie

Contexte

Eldorado Gold Québec est une société qui opère et développe le Complexe minier souterrain Lamaque au sud de Val-d'Or en Abitibi-Témiscamingue. Les opérations commerciales ont débuté en 2019. En 2024, environ 196 538 onces d'or, à une teneur moyenne de 6,8 grammes d'or par tonne, ont été extraites et traitées.

La mine opère 13 camions au diesel pour remonter le minerai à la surface. Ses besoins en énergie consistent en du diesel pour les camions, du gaz naturel pour le chauffage et de l'électricité pour les équipements, notamment la ventilation de la mine.

Pour demeurer compétitive, l'entreprise innove afin de réduire ses coûts d'exploitation et de consommation d'énergie qui représentent des postes de dépense importants. Soucieuse d'arrimer performances économique et environnementale, la direction adhère à des normes environnementales des plus élevées et se fixe une cible de réduction des émissions de GES de 24 % par rapport au niveau de 2019 d'ici 2030.

Pour atteindre sa cible, tout en améliorant sa performance économique, l'entreprise se dote d'une stratégie d'électrification progressive de ses équipements souterrains.

Accroître la productivité énergétique par l'électrification de camions

Eldorado Gold est la première entreprise minière au Canada à adopter des technologies avancées d'électrification pour améliorer la performance énergétique de sa flotte et réduire les émissions de ses opérations¹¹⁷. Pour y parvenir, elle travaille en étroite collaboration avec l'entreprise Sandvik, un groupe mondial d'ingénierie de haute technologie visant à améliorer la productivité, la rentabilité et la durabilité du secteur minier.

Un premier projet pilote consiste en l'acquisition de deux camions électriques de 50 t (TH550B- Sandvik) (voir tableau 9), soit un investissement de 10,55 M \$. Leur introduction dans les opérations a nécessité de nombreux aménagements de la mine, dont l'installation de stations de recharge avec refroidisseur et l'élargissement des voies de passage dans les tournants. De nouvelles procédures et formations des employés, spécifiques aux équipements électriques, ont également été élaborées.

En bref...

Chiffre d'affaires (2024) : 473 M \$ USD

Année de réalisation du projet : 2023-2024

Investissement : 10,55 M \$

Subvention : 0,5 M \$ (soit 4,7 % de la valeur du projet)

Retour sur investissement : 1,5 année

Économie d'énergie (totale) : 5,3 %

Réduction des émissions de GES :
7,8 % en t éq. CO₂/ an

Gains de PÉ : 18 %

Productivité carbone (moy.) :
18 %/an (4 mois extrapolés sur 1 an)

Contact : Valérie Gourde, Directrice communications stratégiques et relations avec le milieu, Eldorado Gold Québec

¹¹⁷ Eldorado Gold Québec, 2023. *Eldorado Gold Québec accueille le premier camion électrique de transport de minerai au Québec*, communiqué de presse, 15 juin 2023, www.eldoradogoldquebec.com/communique-de-presse-corporatif/camionelectrique/

Les données du projet pilote proviennent d'un relevé des opérations des deux camions électriques comparés à deux camions à carburant diesel pour une période de quatre mois, en 2024. Ces données ont été extrapolées pour une année.

Les camions électriques ont une plus grande puissance et peuvent transporter sept tonnes de plus que les camions au diesel. Chargés, ils ont une plus grande vitesse en montée de la rampe et sur le plat. Cette performance leur permet de transporter 16 448 tonnes (t) de minerai de plus annuellement, soit un gain annuel de minerai transporté de +11,8 % (voir tableau 9).

TABEAU 9 | COMPARAISON DE LA PERFORMANCE DES CAMIONS MINIERs À PROPULSION DIESEL ET ÉLECTRIQUE UTILISÉS DANS LE PROJET PILOTE DE LA MINE SOUTERRAINE D'ELDORADO GOLD QUÉBEC, 2024

Paramètres	Camions diesel	Camions électriques (TH550B- Sandvik)	Amélioration de la performance liée à l'électrification du camion
Charge	45 t max. / 40,5 t réelle	50 t max. / 47,5 t réelle	+11 % max. / +17 % réelle
Vitesse à plat chargé	30,1 km/h	37 km/h	+23 %
Vitesse en montant la rampe	10 km/h	13,8 km/h	+ 38 %
Minerai transporté	139 899 t/an	153 346 t/an	+11,8 %

Source : Eldorado Gold Québec, 2024¹¹⁸.

Résultats du projet pilote¹¹⁹

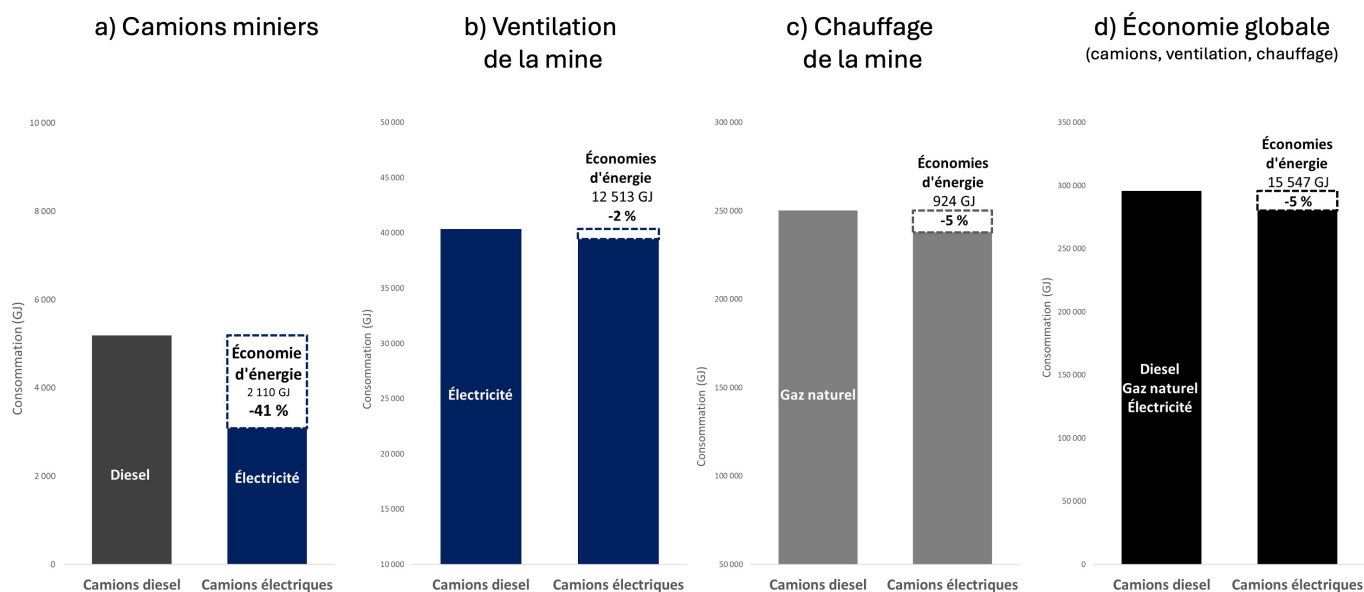
Le passage technologique a permis d'améliorer de 41 % la consommation d'énergie liées aux deux camions grâce à l'efficacité plus grande des camions électriques par rapport aux camions diesel (voir graphique 21a). Ainsi, les charges de batteries consomment 856 MWh (3 081 GJ) d'électricité et remplacent 143 803 litres (5 191 GJ) de carburant diesel pour des économies d'énergie annuelle de 2 110 GJ.

L'électrification des camions miniers en milieu souterrain offre plusieurs co-bénéfices au-delà de la réduction des coûts et émissions liées à la consommation des camions diesel. L'électrification des camions a également permis de réduire de 2 % les besoins d'achat d'électricité pour la ventilation, soit 257 MWh (12 513 GJ), et de 5 % ceux de gaz naturel, soit 0,335 Mm³ (974 GJ), pour le chauffage de la mine souterraine grâce à une baisse des émanations et autres polluants liées à la combustion de carburant diesel (voir graphique 21b et c). Globalement, les deux camions électriques, comparés aux deux camions diesel, ont réduit la consommation d'énergie, toutes sources d'énergie confondues, de 15 547 GJ, soit une amélioration de la consommation d'énergie de 5 % (voir graphique 21d).

¹¹⁸ Eldorado Gold, 2024. *Opération de camions 100 % électriques – Eldorado Gold Québec Complexe minier Lamaque*, présentation PPT.

¹¹⁹ Les résultats présentés dans cette étude de cas pourraient différer des conclusions du Rapport Climat d'Eldorado Gold.

GRAPHIQUE 21 | ÉCONOMIES D'ÉNERGIE LIÉES AU PROJET PILOTE D'ELDORADO GOLD QUÉBEC DE REMPLACER DEUX CAMIONS AU CARBURANT DIESEL PAR DEUX CAMIONS ÉLECTRIQUES



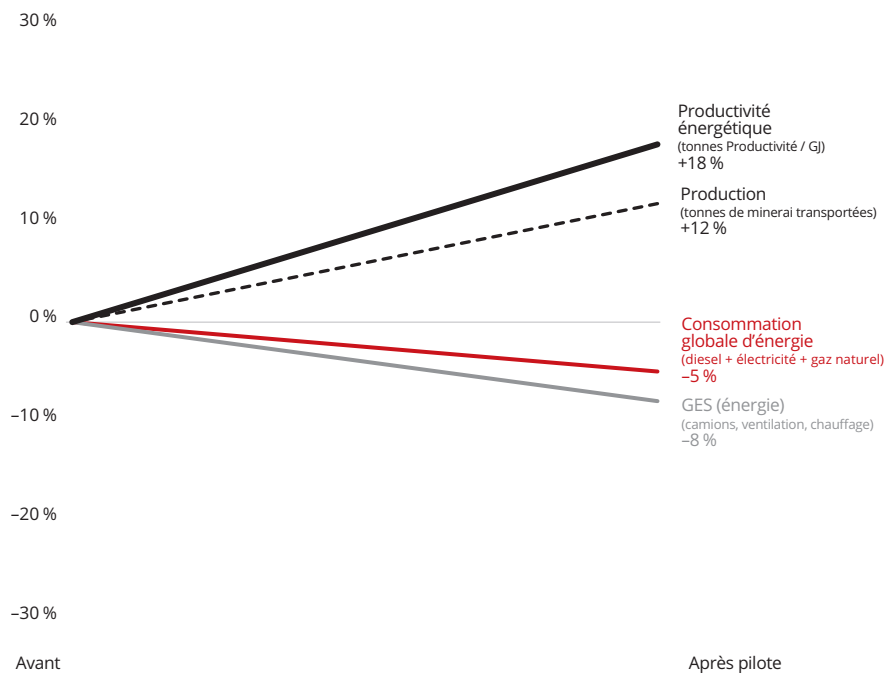
Source : Estimations des auteurs à partir de données d'Eldorado Gold Québec, 2025.

Le graphique 22 montre l'évolution de la productivité énergétique (PÉ), Le projet pilote d'Eldorado Gold parvient à découpler la croissance de sa production (tonnes de minerai transportées) en fonction de sa consommation d'énergie et ses émissions de GES, en transportant 12 % plus de minerai d'or et réduisant de 5 % sa consommation d'énergie globale et de 8 % ses émissions de GES. Grâce à l'implantation de technologies avancées d'électrification, la productivité énergétique (tonnes de minerai transportées/GJ) s'est améliorée de 18%. On constate également que le projet pilote favorise un découplage absolu entre la consommation d'énergie et la valeur manufacturière produite.

La PÉ peut également être abordée du point de vue monétaire. Chaque tonne transportée contient en moyenne 6,76 g d'or. La valeur brute de l'or était 2 738 \$ l'once au cours moyen 2024. La valeur nette de l'or transporté annuellement est calculée après avoir retranché les coûts d'amortissement des camions, les charges d'exploitation décaissées de 750 \$USD/tonne ainsi que la location des batteries, dans le cas des camions électriques¹²⁰ (voir tableau 10).

¹²⁰ Eldorado Gold Québec, 2024. Opération de camions 100 % électriques

GRAPHIQUE 22 | ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE, DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET DES ÉMISSIONS DE GES LIÉES AU PROJET PILOTE D'IMPLANTATION DE DEUX CAMIONS ÉLECTRIQUES D'ELDORADO GOLD QUÉBEC (DONNÉES DES 4 MOIS DU PROJET PILOTE DE 2024 RAPPORTÉES SUR UNE ANNÉE)



Source : Estimations des auteurs à partir de données d'Eldorado Gold Québec, 2025.

Note : L'amélioration de la productivité énergétique (ΔPE) calculée à partir des unités physiques d'accroissement des tonnes transportées (Δt) et de réductions totales de consommation d'énergie (ΔE) se calcule comme suit : $\Delta PE = \text{Augmentation de production} / \text{Réduction de la consommation d'énergie}$ [$\Delta PE_{\text{projet}} = PE_{\text{après}} - PE_{\text{avant}} = (1 + \Delta t) / (1 + \Delta E - 1)$]. Donc, $\Delta PE_{\text{Eldorado}} = (1 + 11,8\%) / 1 - 5,3\% - 1 = 18,1\%$.

TABLEAU 10 | PRODUCTIVITÉS ÉNERGÉTIQUE ET CARBONE LIÉES AU PROJET D'IMPLANTATION DE DEUX CAMIONS ÉLECTRIQUES, (DONNÉES RÉELLES DES 4 MOIS DU PROJET DE 2024 RAPPORTÉES SUR UNE ANNÉE)

Paramètres	Unité	Camion diesel	Camion électrique	Différences	Variations liées au passage technologique
Tonnes de minerai transportées	tonne	139 899	156 346	16 448	12 %
Valeur d'or transportée	M \$	57,6	64,4	6,78	12 %
Coût d'énergie (\$)	M \$	4,0	3,7	-0,3	-8 %
Valeur ajoutée nette	M \$	52,4	58,2	5,9	11 %
Consommation globale d'énergie (diesel, électricité, gaz naturel)	GJ	295 799	280 253	-15 546	-5 %
Émissions de GES	t éq. CO ₂	12 866	11 863	-1 002	-8 %
Productivité énergétique	Tonnes transportées / GJ	0,5	0,6	0,1	18 %
	Valeur ajoutée nette (\$) / GJ	177,0	207,8	30,7	17 %
	Valeur ajoutée nette (\$) / Cout de l'énergie (\$)	13,0	15,7	2,7	21 %
Productivité carbone	Valeur ajoutée nette (\$) / t éq. CO ₂	4 070	4 909	838	21 %

Source : Estimation des auteurs à partir de données fournis par Eldorado Gold Québec, 2025.

Note : *La valeur ajoutée nette est estimée en soustrayant les couts d'amortissement des camions et la location de batteries, dans le cas des camions électriques, de la valeur d'or transportée.

Leçons apprises

Le projet illustre que l'amélioration de la PÉ entraîne des co-bénéfices : au-delà de l'élimination du diesel par l'électrification, des réductions de consommation énergétique ont été obtenues pour la ventilation et le chauffage de la mine. Ces co-bénéfices constituent des gains significatifs à considérer dans l'analyse globale du projet afin d'atteindre un découplage absolu entre la consommation globale d'énergie et la production.

Le projet pilote a nécessité de nombreux aménagements dans la mine en plus de devoir relever des défis d'introduction, de rodage et d'adaptation d'une nouvelle technologie dans un contexte de travail où la productivité, liée à la rémunération, devait également être améliorée pour obtenir l'adhésion des employés. La transition progressive vers une flotte d'équipements électriques, notamment des camions, permet d'atténuer les émissions de GES, d'améliorer la productivité énergétique et la sécurité des travailleurs (grâce à une meilleure qualité de l'air).

GREENFIELD GLOBAL QUÉBEC : ÉTHANOL RENOUVELABLE PLUS VERT

Exemple d'une approche d'amélioration de la valeur économique des produits

Contexte

Greenfield Global Québec Inc. (ci-après Greenfield) exploite depuis 2007 la première et seule distillerie d'éthanol de grade carburant construite au Québec. Produisant l'éthanol renouvelable avec l'indice carbone (IC) la plus faible au Canada, elle excelle aussi en économie d'eau et d'énergie. Greenfield transforme également du maïs-grain en huile, drêche de distillerie et CO₂ biogénique. Sa bioraffinerie de Varennes se distingue par son partenariat avec la Société d'économie mixte de l'est de la couronne sud (SÉMECS), qui valorise les déchets organiques municipaux en biogaz et fertilisant agricole. Une portion de ce biogaz alimente la distillerie, réduisant sa dépendance au gaz naturel fossile et son empreinte carbone.

Accroître la productivité énergétique par des produits plus vert

Dans le cadre d'un projet Net-zéro phase 1 (2028) visant la carboneutralité, Greenfield mène des projets exploratoires ambitieux pour développer et commercialiser de nouveaux produits issus de ses efforts en recherche, développement et innovation :

1. **Éthanol renouvelable faible en carbone** (IC < 28 g éq. CO₂/MJ), soit le carburant éthanol ayant l'intensité carbone la plus faible sur le marché canadien. L'IC de l'éthanol maïs est typiquement 45-65 g éq. CO₂/MJ et l'essence a un IC de 90-95 g.
2. **Drêche à haute teneur en protéine** (> 60 %), positionnée en protéine pour l'alimentation animale.

Actuellement, la distillerie de Varennes produit 190 MLPA (millions de litres par an) d'éthanol avec un IC autour de 38 g éq. CO₂/MJ et 5 000 TM/an (tonnes métrique/an) d'huile de maïs-grain.

Résultats attendus du projet

Greenfield vise accroître la production d'éthanol renouvelable à 260 MLPA tout en réduisant son intensité carbone (IC) de 38 à 28 g CO₂/MJ, grâce à l'installation de technologies innovantes et plus efficaces. Cette hausse de production entraînera également une augmentation des coproduits :

- **Huile de maïs-grain** : passage de 5 000 à 10 000 TM/an
- **Drêches** : hausse de 109 000 à 149 000 TM/an, avec une teneur en protéines passant de 30 à 60 % ou plus.
- **CO₂ biogénique récupéré** : augmentation de 141 000 à 194 000 TM/an.

Ces améliorations permettraient de faire croître les revenus de 140 à 210 M \$/an (\$CAD 2025), soit une hausse de 50 %. Cette évolution repose principalement sur l'augmentation de 40 % des revenus issus de la vente d'éthanol à faible IC, permettant à l'entreprise d'éviter 75 % de ses émissions de GES et à l'augmentation de 80 % des revenus liés aux drêches enrichies en protéines, ainsi qu'aux volumes additionnels d'huile de maïs-grain et de CO₂ biogénique.

En bref...

Chiffre d'affaires (2024) : 140 M\$

Réalisation du projet : 2024-2027

Investissement : 250 M\$

Subvention : 60 M\$ (soit 24 % de la valeur du projet) + aide en réduction des surcoûts d'exploitation.

Retour sur investissement : Projet rentable avec les aides financières

Économie d'énergie (totale) : 1 %

Réduction des émissions de GES : 80 %

Gains de PÉ :

54 LPA d'éthanol /GJ (+38 %)

54 \$ Valeur de l'éthanol et des coproduits / GJ (+51 %)

Productivité de la réduction des GES

20 182 LPA d'éthanol/t éq. CO₂ (+584 %)

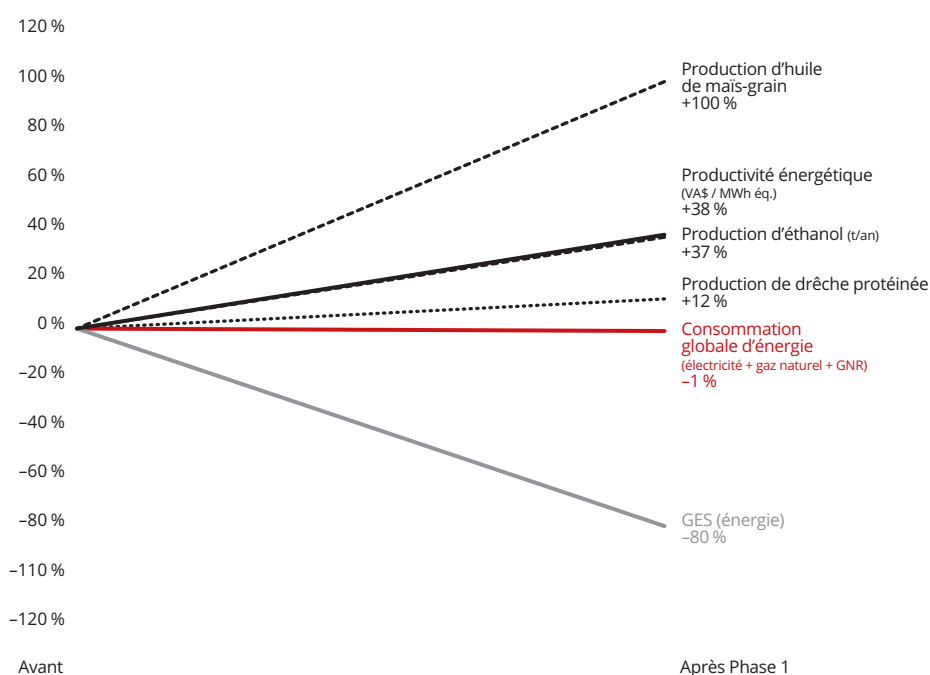
16 545 \$ de valeur de l'éthanol et des coproduits/ t éq. CO₂ (+650 %)

Contact : Alain Boutet, Directeur-Innovation, Greenfield Global Québec

L'augmentation de la production de l'usine sera rendue possible grâce au remplacement de la production de vapeur alimentée au gaz naturel par une production électrique plus performante. Ce changement permettra de réduire de 61 % la consommation de gaz naturel fossile, tandis que l'utilisation d'électricité augmentera de 584 %. Malgré une hausse de 37 % de la production d'éthanol et un doublement de la production d'huile de maïs-grain, il est prévu que l'énergie totale consommée enregistra une diminution 1 %. Par ailleurs, les émissions de GES seraient réduites de 80 %, expliquant la baisse de l'IC de l'éthanol de 38 à 28 g éq. CO₂.

Le graphique 23 illustre l'évolution de la production d'éthanol et d'huile de maïs-grain et de la consommation d'énergie prévue dans le cadre du projet. Le projet permettrait à Greenfield de découpler légèrement d'une part la croissance de sa production et d'autre part sa consommation d'énergie et ses émissions de GES, en produisant 37 % plus d'éthanol, 100 % plus d'huile de maïs-grain, 12 % de drêche et 38 % plus de CO₂ biogénique tout en réduisant la consommation d'énergie de 1 % et les émissions de GES de 80 %.

GRAPHIQUE 23 | PRÉVISION DE LA PRODUCTION, DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE, DES ÉMISSIONS DE GES ET DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE LIÉES AU PROJET NET-ZÉRO PHASE 1 (2028) DE GREENFIELD GLOBAL QUÉBEC INC.



Source : Estimation des auteurs à partir de données fournies par Greenfield Global Québec Inc, 2025.

Le tableau 11 présente le calcul de la PÉ selon différents paramètres. L'amélioration de la PÉ et celle du carbone est exprimée en unité physique de la production¹²¹ et en valeur monétaire. L'amélioration de la PÉ, en litres produits par rapport à l'énergie consommée, atteint 54 litres purs d'alcool (LPA) d'éthanol/GJ (+38 %) pour une valeur totale de la production incluant les coproduits 54 \$/GJ (+51 %). En ce qui concerne la productivité du carbone, celle-ci s'élèverait à 20 182 (LPA) par t éq. CO₂, tandis que celle basée sur la valeur économique produite tant pour l'éthanol que les coproduits est de 16 545 \$/GJ.

¹²¹ Dans le cas de l'amélioration de la productivité énergétique et du carbone en unité physique, seule la production de l'éthanol, à l'origine des coproduits, est utilisée pour simplifier la présentation des résultats.

TABLEAU 11 | PRODUCTIVITÉS ÉNERGÉTIQUE ET CARBONE PRÉVUE PAR LA PHASE 1 (2028) DU PROJET NET-ZÉRO DE GREENFIELD GLOBAL QUÉBEC INC.

Paramètres	Unité	Avant-projet	Après projet Phase I (2028)	Différences	Variation prévue liée au projet Phase I
Production d'éthanol faible indice carbone (IC <28)	Litres purs d'alcool (LPA)	190 000 000	260 000 000	70 000 000	37 %
Production de drêche protéinée	Tonnes / an	109 000	149 000	40 000	37 %
Production d'huile maïs-grain	Tonnes / an	5 000	10 000	5 000	100 %
CO ₂ biogénique récupéré	Tonnes / an	141 000	194 000	53 000	38 %
Valeur produite (ventes d'éthanol et co-produits)	M \$	140	210	70	50 %
Consommation globale d'énergie	GJ	1 320 120	1 310 400	-9 720	-1 %
<i>Gaz naturel et GNR</i>	<i>GJ</i>	<i>1 197 000</i>	<i>468 000</i>	<i>-729 000</i>	<i>-61 %</i>
Électricité	GJ	123 120	842 400	719 280	584 %
Émissions de GES (énergie)	t éq. CO ₂	55 000	11 000	-44 000	-80 %
Productivité énergétique (unité physique)	LPA Éthanol / GJ	144	198	54	38 %
Productivité énergétique (unité monétaire)	Valeur produite (\$) / GJ	106	160	54	51 %
Productivité du carbone (unité physique)	LPA Éthanol / t éq. CO₂	3 455	23 636	20 182	584 %
Productivité carbone (unité monétaire)	Valeur produite (\$) / t. éq. CO₂	2 545	19 091	16 545	650 %

Source : Estimation des auteurs à partir de données fournies par Greenfield Global Québec Inc, 2025.

Leçons apprises

L'amélioration de la productivité énergétique du projet de Greenfield repose sur une hausse de la production d'éthanol et de ses coproduits, ainsi que sur une plus grande valeur économique grâce à la réduction de l'IC de l'éthanol et à la production d'une drêche riche en protéines. Une économie d'énergie de 1 % et une réduction de 80 % des émissions de GES seraient atteintes grâce à l'optimisation de l'usine et à une meilleure efficacité de la production de vapeur grâce à une technologie à résistance électrique qui remplace celle au gaz naturel.

Le faible découplage entre la consommation énergie et la production d'éthanol et d'huile de maïs-grain résulte de l'efficacité accrue des technologies d'électrification et des économies d'échelle. L'intégration de technologies de rupture, comme des pompes à chaleur à vapeur à très haute température, accentuerait davantage le découplage entre la production et la consommation d'énergie. Leur coût élevé et leur mise en œuvre plus complexe nécessiteraient cependant un plus grand soutien financier pour préserver la rentabilité du projet.

SCIERIE GIRARD : PROJET D'OPTIMISATION DES SÉCHOIRS À BOIS

Exemple d'implantation d'une meilleure technologie de contrôle

Contexte

Fondée en 1955, la Scierie Girard est un acteur incontournable de la transformation du bois pour les secteurs résidentiel et commercial, desservant le Québec, l'Ontario et les Maritimes. Entreprise familiale de quatrième génération, elle se distingue par son engagement envers le développement durable, intégrant des pratiques d'approvisionnement responsables et des normes environnementales strictes.

Alliant tradition et innovation, la Scierie Girard investit dans des technologies de pointes pour optimiser ses procédés. Grâce à une technologie de coupes avancées, la scierie maximise l'utilisation de la fibre de bois, réduisant le ratio de transformation de 5 à 3,5 mètres cubes (m³) pour la production de 1 000 pieds mesure de planche (PMP). Ce progrès permet, à un volume équivalent, d'élargir la gamme de produits à valeur ajoutée, optimisant chaque ressource.

Optimisation du séchage pour une meilleure productivité énergétique

Lors de la coupe, le bois contient entre 75 et 80 % d'humidité. Pour respecter les normes, la scierie doit abaisser ce taux à 19 % ou moins. Un séchage performant est crucial, non seulement pour garantir cette conformité, mais aussi pour prévenir les parasites et répondre aux exigences d'exportation internationales. Cette étape, qui représente près de 70 % de la consommation énergétique de la scierie, a conduit à l'installation de capteurs innovants permettant de mesurer avec précision l'humidité du bois et de réduire la consommation d'électricité grâce à des opérations mieux ajustées et ciblées.

Résultats

Auparavant, l'humidité était estimée à partir de la moyenne de seulement six pièces de bois, entraînant fréquemment un sur-séchage pour atteindre le seuil requis de 19 % ou moins. L'intégration de plaques capacitives à l'intérieur des piles de bois permet désormais de mesurer directement le taux moyen d'humidité sur un volume de 800 à 1 200 pièces, améliorant ainsi la précision des données.

Grâce à cette avancée, le temps de séchage a été significativement réduit, passant de 74 à 66 heures pour l'épinette et de 137 à 103 heures pour le sapin, soit une diminution moyenne toutes essences confondues de 108 à 86 heures. Ces gains en efficacité permettent de réduire la consommation des aérothermes électriques des séchoirs tout en augmentant leur productivité, alignant ainsi la scierie sur des pratiques plus durables et rentables.

Les séchoirs traitent différentes essences de bois, dont l'épinette, le sapin et le pin gris, chacun nécessitant des niveaux variables d'énergie pour l'extraction de l'eau. De plus, les caractéristiques des lots séchés peuvent varier de manière importante. Une production annuelle de 55 266 milles pieds mesure de planche (MPMP) par an a donc été retenue comme moyenne annuelle pour la durée du projet (2020-2022), toutes essences confondues (voir tableau 12).

En bref...

Chiffre d'affaires (2024) : n.d.

Réalisation du projet : 2020-2022

Investissement : 0,32 M\$

Subvention : 75 % de l'investissement provenant d'une aide d'Hydro-Québec.

Retour sur investissement : 1,3 ans

Économie d'électricité : 6 %

Réduction des émissions de GES : n.d.

Gain de PÉ : 22 \$/GJ (6 %)

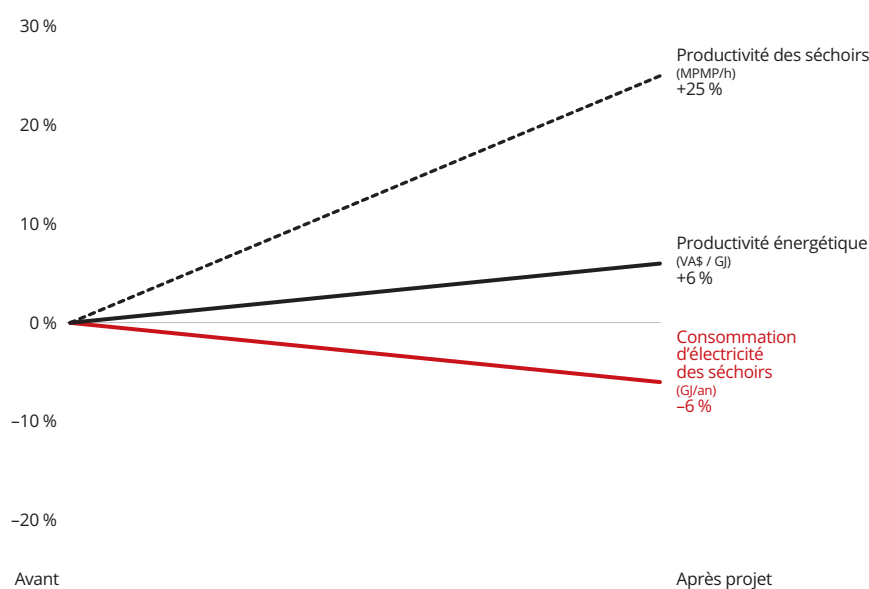
Productivité carbone : N.A.

Contact : Kim Girard, Chef de projet, Scierie Girard

En réduisant le sur-séchage grâce à un mesurage plus précis, la consommation énergétique des séchoirs a diminué de 4 170 GJ par an (soit 6 %), tandis que la durée moyenne de séchage a baissée de 22 heures par lot de bois (h/lot). Par conséquent, les séchoirs sont plus productifs, leur capacité de séchage passant globalement de 514 à 645 mille pieds mesure de planche par heure (MPMP/h), représentant un gain de productivité des séchoirs de 25 % (voir tableau 12).

La productivité énergétique, mesurée en fonction de la valeur produite par gigajoule (GJ) d'électricité consommée, s'est améliorée de 6 %. Cette progression tient compte de l'amortissement des coûts du projet, après aide financière, ainsi qu'une baisse des frais d'exploitation découlant d'une utilisation réduite des séchoirs. Ce gain, principalement attribuable à la baisse de la consommation d'électricité, illustre un découplage entre production de valeur et énergie consommée. Il en résulte une marge de manœuvre accrue, apte à absorber d'éventuelles hausses tarifaires, tout en soutenant la compétitivité de l'entreprise (voir graphique 24).

GRAPHIQUE 24 | ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION, DE LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ ET DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE LIÉES AU PROJET DE SÉCHAGE OPTIMISÉ DE LA SCIERIE GIRARD (MOYENNE DES ANNÉES DU PROJET DE 2020 À 2022)



Source : Estimations des auteurs à partir de données fournies par Scierie Girard, 2025.

Note : * La valeur produite tient compte de l'amortissement des coûts du projet, après aide financière, ainsi qu'une baisse des frais d'exploitation découlant d'une utilisation réduite des séchoirs.

TABEAU 12 | PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DU PROJET DE SÉCHAGE OPTIMISÉ DE LA SCIERIE GIRARD À UN VOLUME DE RÉFÉRENCE DE PRODUCTION DE BOIS (MOYENNE DES ANNÉES DU PROJET DE 2020 À 2022)

Paramètres	Unité	Avant projet	Après projet	Gains	Variation liée au projet
Production de bois [référence]	MPMP/an	55 266	55 266	N/A	N/A
Durée moyenne de séchage	heures/lot	108	86	22	20 %
Productivité des séchoirs	MPMP/heure	514	645	131	25 %
Valeur produite (bois vendu)	\$/an	27 411 936	27 435 202	23 266	0,1 %
Dépenses en électricité (séchoirs)*	\$/an	11 329 138	10 703 656	-625 482	-6 %
Consommation d'électricité des séchoirs	GJ/an	75 522	71 352	4 170	-6 %
Productivité énergétique	Valeur ajoutée (\$)/GJ	363	385	21,5	6 %

Source : Estimations des auteurs à partir de données de la Scierie Girard, 2025.

Note : * La valeur produite tient compte de l'amortissement des coûts du projet, après aide financière, ainsi qu'une baisse des frais d'exploitation découlant d'une utilisation réduite des séchoirs.

Leçons apprises

Le projet de Scierie Girard illustre les opportunités de gains de PÉ et de production (des séchoirs) et les économies d'électricité grâce à une optimisation accrue des contrôles des procédés.

Pour aller plus loin, l'adoption de systèmes de contrôle avancés intégrant l'automatisation et l'intelligence artificielle (IA) avec des fonctions d'apprentissage permettrait de développer des recettes de séchage personnalisées pour chaque lot, quelles que soient l'essence du bois ou les conditions climatiques influençant le taux d'humidité. Ces systèmes offriraient également la possibilité d'ajuster précisément les temps de séchage en fonction de l'épaisseur des bois. Cette technologie, par ailleurs transférable à d'autres scieries, ouvre la voie à un déploiement plus large dans l'industrie.

LES BRASSERIES LABATT DU CANADA : MÉGATHERMOPOMPE

Exemple de mise en œuvre d'une technologie d'électrification industrielle de grande capacité

Contexte

L'usine de Montréal des Brasseries Labatt du Canada (Labatt) est en activité depuis 1956. En 2024, elle a produit 2,7 millions d'hectolitres (hL) de bière, ce qui en fait l'une des plus importantes brasseries du groupe. Aujourd'hui, elle fabrique plus de 65 marques appartenant à l'entreprise. Labatt s'est fixé comme objectif d'atteindre la carboneutralité pour l'ensemble de ses opérations d'ici 2040¹²².

Première phase du plan de décarbonation

En 2024, Labatt a investi 6 M\$ dans l'installation d'une mégathermopompe à son usine de Montréal, un projet soutenu par plusieurs subventions totalisant 5 M\$¹²³. Le coût de la technologie elle-même est estimé à 2 M\$, tandis que le reste de l'investissement est consacré à son intégration dans les systèmes existants de l'usine¹²⁴.

Une fois pleinement opérationnelle, cette thermopompe industrielle de 700 kW représentera une première étape du plan de décarbonation de l'entreprise. Elle vise à améliorer l'efficacité énergétique tout en réduisant les émissions de GES de 30 %. Le système récupérera la chaleur générée par les équipements de réfrigération à l'ammoniac et la réinjectera dans une boucle thermique d'eau chaude, utilisée pour le processus de pasteurisation à 63 °C. Cette innovation permettra de diminuer la consommation de gaz naturel.

Progrès du projet pilote

Depuis son installation en 2024, la thermopompe industrielle de la brasserie de Montréal marque une avancée dans la recherche d'amélioration de la performance des Brasseries Labatt du Canada. Bien que le système ait connu quelques interruptions de fonctionnement, il a déjà démontré un potentiel pour améliorer l'efficacité énergétique de l'usine. Alimentée en chaleur d'appoint par le circuit d'ammoniac des compresseurs de réfrigération, la thermopompe s'intègre de manière innovante aux infrastructures existantes, même si l'impact précis de cette interaction sur la consommation globale reste à préciser.

Afin d'évaluer les premiers effets du projet, une comparaison a été réalisée entre la consommation énergétique globale de la brasserie en mai 2024 et celle de mai 2025. Cette analyse ponctuelle, rendue nécessaire par le fonctionnement irrégulier de la thermopompe, révèle des résultats encourageants. La consommation totale d'énergie, incluant l'électricité et le gaz naturel, a diminué de 13 %, passant de 32 777 à 28 671 GJ. Cette réduction s'accompagne d'une baisse de 11 % de la consommation de gaz naturel, soit 758 GJ, permettant d'éviter l'émission de 37,8 t éq. CO₂.

En bref...

Chiffre d'affaires du groupe AB InBev auquel Labatt appartient (2024) : 59,8 G\$

Réalisation du projet : 2022-2025

Investissement : 6 M\$

Subvention totale : 5 M\$ d'Hydro-Québec, d'Énergir et du MELCCFP

Retour sur investissement : n.d.

Économie d'énergie (totale) : 11 %

Réduction des émissions de GES :
37,8 t éq. CO₂

Gain de PÉ : -4 %

Contact : Alexandre Gosselin, Ing.,
Les Brasseries Labatt du Canada

¹²² Labatt, 2025. *Un avenir plus durable*, page web, www.labatt.com/fr/community/sustainability

¹²³ ÉcoTech Québec, 2025. *Des bières plus vertes grâce à une boucle thermique*, page web, www.ecotechquebec.com/laureats-et-finalistes/la-brasserie-labatt-limitee : « Obtention de 5 millions répartis entre le Programme solutions efficaces d'Hydro-Québec, Étude et implantation de mesures efficaces d'Énergir et Ecopformance du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. »

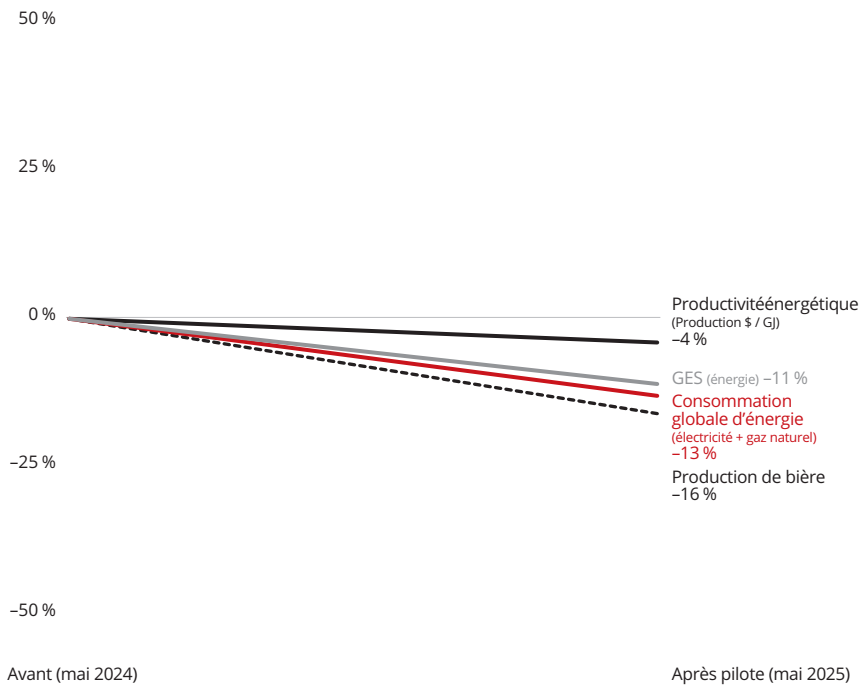
¹²⁴ Thériault, W., 2024. « Une mégathermopompe chez Labatt », *La Presse*, 12 février 2024, www.lapresse.ca/affaires/portfolio/2024-02-12/energies-renouvelables/une-megathermopompe-chez-labatt.php

La production de bière pasteurisée a connu une baisse de 16 % sur la même période, ce qui influence les indicateurs de productivité énergétique (PÉ). Le projet affiche ainsi une légère diminution de 4 % de la PÉ, mais cette variation s'inscrit dans un contexte de phase de test, avec des ajustements en cours (voir graphique 25). Il est important de souligner que la thermopompe a atteint un coefficient de performance (COP) allant jusqu'à 4,8, témoignant de son efficacité technique lorsqu'elle est pleinement opérationnelle.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer la baisse temporaire de la PÉ : la réduction du volume de production, les interactions complexes entre les systèmes thermiques, la variabilité des consommations selon les types de produits, ainsi que la qualité encore perfectible des données, liée à une infrastructure d'acquisition en cours d'amélioration. De plus, certains effets indirects hors du département de pasteurisation peuvent influencer les résultats, l'analyse portant sur la consommation globale de l'usine.

Enfin, l'intensité énergétique est passée de 112 MJ/hL en mai 2024 à 116 MJ/hL en mai 2025. Cette légère hausse, observée malgré le fonctionnement actif de la thermopompe durant un mois à forte production, souligne l'importance d'atteindre une capacité de production optimale pour maximiser les gains énergétiques. Elle pourrait s'expliquer par une sous-utilisation des équipements et une répartition moins efficiente des charges énergétiques fixes. Labatt poursuit activement ses efforts pour optimiser le rendement du projet, améliorer la qualité des données et renforcer l'efficacité énergétique de ses opérations, dans le cadre de son engagement vers la carboneutralité.

GRAPHIQUE 25 | ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION, DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DU PROJET PILOTE DE MÉGATHERMOPOMPE À L'USINE DE MONTRÉAL DES BRASSERIES LABATT DU CANADA



Source : Estimations par les auteurs à partir des données fournies par les Brasseries Labatt du Canada, 2025 des données publiques

**TABEAU 13 | PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DU PROJET PILOTE DE MÉGATHERMOPOMPE
À L'USINE DE MONTRÉAL DES BRASSERIES LABATT DU CANADA**

	Unité	Avant-projet	Après-projet	Gains	Variation liée au projet
Production de bière	Hectolitre (hL)	292 563	245 483	-47 080	-16 %
Production de bière	\$	102 397 050	85 919 207	-16 477 843	-16 %
Consommation d'énergie globale	GJ	32 777	28 671	4 106	-13 %
<i>Consommation d'électricité</i>	<i>GJ</i>	<i>25 749</i>	<i>22 401</i>	<i>3 348</i>	-13 %
<i>Consommation de gaz naturel</i>	<i>GJ</i>	<i>7 029</i>	<i>6 270</i>	<i>758</i>	-11 %
Émissions de GES	t équ. CO ₂	350,5	312,7	-37,8	-11 %
Productivité énergétique	Valeur produite (\$)/GJ	3 124	2 997	-127,3	-4 %

Source : Estimations par les auteurs à partir des données fournies par les Brasseries Labatt du Canada, 2025 et des données publiques.

Leçons apprises

Le projet de thermopompe de l'usine des Brasseries Labatt à Montréal représente une avancée vers une production plus durable. Bien que des ajustements techniques aient été nécessaires, Labatt a démontré un engagement constant à améliorer la performance de ses systèmes et à renforcer la qualité de ses données énergétiques. Ces efforts sont essentiels pour améliorer les retombées du projet.

La thermopompe affiche un potentiel de fonctionnement, mais son intégration opérationnelle a révélé certains défis, notamment liés à une analyse énergétique initiale partielle et à des contraintes d'installation. Ces constats ont permis d'identifier des leviers d'amélioration importants, notamment en matière de planification et de coordination technique.

La difficulté à recueillir des données fiables souligne l'importance d'un système de gestion de l'énergie structuré. En s'appuyant sur les bonnes pratiques reconnues, telles que celles de la norme ISO 50001, Labatt reconnaît que l'électrification par thermopompe doit être précédée d'une analyse détaillée, incluant une ligne de base robuste et l'identification des gisements d'efficacité. Cette approche permet d'optimiser les investissements et de mieux intégrer les nouveaux équipements aux systèmes existants, comme les compresseurs de réfrigération.

La mise en place d'une infrastructure de mesurage fiable, comme le Protocole International de Mesure et Vérification du Rendement (PIMVR), ainsi que l'adaptation des procédés aux variations de production et à l'évolution de la demande, sont désormais considérées comme des conditions clés pour assurer une performance durable. Ces éléments contribuent à une meilleure maîtrise énergétique et à une valorisation optimale des ressources.

Dans cette optique, il serait bénéfique que les programmes de soutien du gouvernement et des distributeurs d'énergie encouragent des analyses conformes aux normes ISO 50001 et ISO 50006, ainsi qu'aux pratiques reconnues de l'industrie¹²⁵. Le respect de ces standards, incluant un mesurage rigoureux, une identification systématique des gisements d'efficacité et des bilans énergie-matières complets, constitue un gage de succès pour les projets soutenus.

¹²⁵ Voir chapitre 4, tableau 7. ISO 50006 : ISO 50006 :2023 - Systèmes de management de l'énergie — Évaluation de la performance énergétique à l'aide d'indicateurs de performance énergétique et de situations énergétiques de référence

Leçons tirées des études de cas

Globalement, les études de cas montrent une amélioration de la productivité énergétique (PÉ) grâce aux stratégies mises en place, même si les entreprises ne visaient pas explicitement cet objectif. Le suivi de la PÉ n'est pas courant, à l'heure actuelle, et il n'y a pas encore de stratégies ou d'objectifs formels d'amélioration de la PÉ au Québec ou au Canada.

Pour une évaluation complète, la PÉ doit être associé à des mesures absolues telles que la valeur ajoutée manufacturière, le volume de production, la consommation d'énergie et les émissions de GES. Ces indicateurs permettent de suivre l'évolution globale de la performance et de détecter le découplage entre la croissance économique et l'utilisation des ressources énergétiques. **Une décarbonation efficace exige un découplage absolu entre d'une part la valeur produite et d'autre part la consommation énergétique et les émissions de GES.**

Il est important de noter qu'avant d'intégrer des indicateurs de PÉ dans un processus décisionnel, il faut d'abord disposer d'un cadre adéquat, de définitions et de données comparables permettant de mesurer les progrès accomplis vers des objectifs de croissance durable, tant pour les gouvernements que les entreprises. L'OCDE recommande que l'élaboration et la mise en œuvre de stratégies qui visent à atteindre simultanément ces objectifs (énergie, GES, productivité, etc.) reposent sur une bonne compréhension des déterminants qui stimulent une telle croissance et des indicateurs qui permettent d'en faire l'analyse et le suivi¹²⁶.

Pour tirer pleinement parti d'une approche axée sur la PÉ, les entreprises doivent intégrer le suivi de la PÉ dans les indicateurs clé de performance (ICP) en relation avec la consommation d'énergie et la valeur produite. Une stratégie d'investissement efficace doit considérer l'impact global de toutes les sources d'énergie utilisées, plutôt que de se limiter à des améliorations ponctuelles segmentées par type d'énergie.

Une amélioration de la PÉ ne garantit pas nécessairement une réduction des émissions ou de la consommation énergétique (voir Chapitre 2). Pour limiter l'effet rebond et renforcer l'impact environnemental des mesures, les programmes de transition énergétique et de décarbonation devraient intégrer les leviers suivants :

- **Mettre en priorité l'adoption d'accords négociés avec l'industrie** pour implanter des systèmes de gestion de l'énergie (ex., ISO 50001), assurant la mise en œuvre de plans d'efficacité, de décarbonation et d'amélioration continue vers des objectifs globaux ;
- **Publier annuellement des indicateurs de PÉ, en lien avec la consommation d'énergie globale des entreprises et des secteurs.** L'AIE inclut cet aspect informatif dans son approche recommandée pour l'efficacité énergétique industrielle, avec la réglementation et les incitatifs¹²⁷. Ce sont souvent à travers des mécanismes de divulgation annuelle ou régulières que de telles informations sont partagées. Par exemple *Better Plants* du DoE aux États-Unis ou la *corporate sustainability reporting directive* (CSRD) de l'Union Européenne. La recherche sur les impacts d'une telle divulgation indique un effet significatif sur la réduction de la consommation d'énergie¹²⁸ ;
- **Fixer des objectifs d'amélioration de la PÉ et de consommation d'énergie avec des cibles sectorielles**, voire spécifiques aux entreprises bénéficiant de subventions pour l'efficacité énergétique ;
- **Déployer des services d'accompagnement** via des réseaux d'apprentissage et des plateformes collaboratives (ex., *Learning Energy Efficiency Network*¹²⁹), intégrant outils d'analyse, de mesure et de suivi ;
- **Intégrer l'analyse du cycle de vie** pour mieux évaluer l'impact énergétique et les émissions de GES des produits¹³⁰.

¹²⁶ OCDE, 2012. *Vers une croissance verte : Suivre les progrès : Les indicateurs de l'OCDE*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OECD, www.oecd.org/fr/croissanceverte/vers-une-croissance-verte-suivre-les-progres-9789264111370-fr.htm.

¹²⁷ AIE, 2025. *Industry – Energy Efficiency Policy Toolkit 2025 – Analysis* – IEA, <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-policy-toolkit-2025/industry>

¹²⁸ Bu, C., Zhang, K., Shi, D. et Wang, S., 2022. « Does environmental information disclosure improve energy efficiency? », *Energy Policy*, Vol. 164, 112919, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421522001446>.

¹²⁹ AIE, 2025. *Germany Energy Efficiency Networks - Energy Efficiency Policy Toolkit Case Study*, <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-policy-toolkit-2025/energy-efficiency-policy-toolkit-case-studies>

¹³⁰ Voir les outils d'analyse de cycle de vie des produits du CIRAI, <https://ciraig.org/index.php/fr/ressources-acv/>

Conclusion et pistes d'action

L'amélioration de la productivité énergétique devrait viser sur le long terme un découplage absolu entre la création de valeur économique et la consommation totale d'énergie, afin de maximiser les retombées. Pour éviter qu'une efficacité énergétique accrue ne mène à une hausse absolue de la consommation d'énergie, des émissions de GES ou de l'usage des ressources, il est important de maîtriser l'effet rebond. Sans mécanismes de contrôle, ce phénomène peut annuler les bénéfices attendus et compromettre l'atteinte des objectifs de la transition énergétique.

Bien que les énergies renouvelables soient essentielles, leur coût et leur rendement posent des défis. Pour réussir la transition énergétique, il faudra **produire et consommer mieux, avec moins d'énergie, et substituer les hydrocarbures par des sources non émettrices**.

Le Québec et le Canada accusent un retard marqué en ce qui a trait à la productivité énergétique, hérité d'une culture d'abondance énergétique à faible coût. Ce paradigme doit évoluer face aux exigences de la décarbonation et de la compétitivité.

À partir d'expériences et de stratégies déjà éprouvées, deux grandes pistes d'action se dessinent :

- 1. Définir une cible et une stratégie de productivité et efficacité énergétiques.** À l'image de l'Allemagne, le Québec doit se doter d'une vision claire, de cibles et d'une stratégie cohérente pour faire de l'efficacité et de la productivité énergétiques des piliers de sa compétitivité et de sa performance environnementale, dans une logique de découplage entre croissance économique et consommation d'énergie. Cette stratégie doit notamment :
 - a. Intégrer des indicateurs de productivité énergétique** dans les processus décisionnels et les mécanismes de reddition de comptes, et encourager les entreprises à les adopter dans leurs rapports d'indicateurs clés de performance (ICP).
 - b. Cibler les résultats et la performance globale en entreprise.** Des programmes devraient avoir pour but d'inciter les entreprises à mettre en œuvre des plans stratégiques d'amélioration de la PÉ. Ces programmes devraient s'appuyer sur un suivi structuré et transparent, une reddition de compte publique et une vérification indépendante des résultats. Les subventions devraient être conditionnelles à l'amélioration mesurable de la PÉ et à la réduction de la consommation d'énergie, plutôt qu'à la simple réalisation de projets.
 - c. Lier productivité énergétique et économie circulaire.** L'intégration d'indicateur de PÉ dans les processus décisionnels peut faciliter la transition vers des modèles d'affaires circulaires qui recherchent l'optimisation continue de la productivité des ressources et la réduction des pertes. Le Québec devrait renforcer ses mesures d'économie circulaire dans le cadre du Plan pour une économie verte 2030 (PEV 2030) et du Plan de gestion intégrée des ressources énergétiques (PGIRE).
 - d. Déployer un écosystème collaboratif de soutien à la productivité énergétique.** Favoriser l'engagement volontaire des entreprises dans un réseau collaboratif consacré à l'amélioration continue de la performance énergétique. Cet écosystème offrirait :
 - un accompagnement structuré, fondé sur la gestion de l'énergie et les meilleures pratiques internationales (ex., ISO 50001) ;

- un audit énergétique approfondi, base d'un plan intégré d'efficacité et productivité énergétiques ;
- un soutien technique sur mesure pour la mise en œuvre des projets et le suivi des résultats ;
- des outils pratiques adaptés aux réalités industrielles (ex., guides, plateformes numériques, indicateurs, répertoire d'experts) ;
- un programme de reconnaissance valorisant les meilleures performances et stimulant l'émulation sectorielle (ex., gala de reconnaissance).

2. Maîtriser l'effet rebond et renforcer les mécanismes de contrôle. Le gouvernement doit anticiper l'effet rebond lié aux gains d'efficacité. Le SPEDE constitue une base solide, mais doit être élargi et renforcé pour couvrir l'ensemble de l'économie et éviter les fuites de carbone. En l'absence de tels mécanismes de contrôle, des trajectoires crédibles de réduction des émissions de GES devraient être suivies par tous les secteurs. Ces trajectoires devraient être liées aux programmes afin d'encourager un découplage entre la création de valeur économique et la consommation totale d'énergie, ainsi que les émissions de GES.

Un **dialogue structurant et indépendant** entre les acteurs clés est essentiel pour dépasser les consultations ponctuelles et bâtir une démarche crédible, fondée sur des données fiables et des résultats vérifiables, garantis par des vérifications indépendantes. La productivité énergétique peut devenir un **levier stratégique**, transformant la lutte climatique en **opportunité de prospérité durable** au bénéfice des entreprises et de la société.

ANNEXE 1 | Rétrospective de la gouvernance en efficacité énergétique au Québec, 1977-2025

1977	Création du Bureau des économies d'énergie , dans la foulée de la première crise du pétrole, qui sera renommé le Bureau de l'efficacité énergétique en 1988.
1990	Mise en place de programmes d'efficacité énergétique pour l'ensemble des consommateurs d'électricité par Hydro-Québec, entre 1990 et 1999.
1992	Adoption d'une première Stratégie québécoise de l'efficacité énergétique qui vise à réduire l'intensité énergétique de l'économie québécoise de 15 % à l'horizon de 2001.
1996	Création de la Régie de l'énergie qui remplace la Régie du gaz naturel. Elle fixe notamment les tarifs de l'électricité et du gaz naturel et le montant alloué à l'efficacité énergétique par ces distributeurs d'énergie.
1996	Création de l' Agence de l'efficacité énergétique (AEÉ) qui a pour objectif de promouvoir l'efficacité énergétique dans une perspective de développement durable.
1999	Premiers dépôts de plans globaux en efficacité énergétique (PGEÉ) par Gazifère, suivi de Gaz Métro (2000) et Hydro-Québec (2003).
2006	Adoption de la Stratégie énergétique du Québec 2006-2015 « L'énergie pour construire le Québec de demain » . L'AEÉ obtient un statut autonome et son mandat est élargi pour inclure l'innovation en matière d'énergie. La stratégie fixe des cibles d'économie pour toutes les formes d'énergie, y compris, pour la première fois, les produits pétroliers – soit des économies cumulées sur la période 2006-2015 de 8 TWh d'électricité, 350 Mm ³ de gaz naturel, 13,5 millions de barils de pétrole (équivalence) et 350 000 tonnes d'équivalent pétrole (tep) pour les autres formes d'énergie, telle la biomasse. L'objectif global se traduit par une cible d'économie de 140 PJ à atteindre au 31 mars 2015.
2007	Adoption de la Loi sur l'efficacité énergétique .
2008	Adoption du Règlement sur la quote-part annuelle payable au ministre des Ressources naturelles et de la Faune par les distributeurs d'énergie. Devant les résultats positifs du PGEÉ d'Hydro-Québec et l'engouement de sa clientèle pour les programmes d'efficacité énergétique, le gouvernement hausse la cible pour l'électricité de 8 TWh à 11 TWh à l'horizon de 2015.
2009	Adoption du Plan d'ensemble en efficacité énergétique et nouvelles technologies 2007-2010 . À la suite du lancement du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques , l'AEÉ se voit confier la gestion de nombreux programmes financés par une redevance sur les hydrocarbures versée au Fonds vert et la quote-part des distributeurs.
2011	Dissolution de l'AEÉ avec l'adoption de la Loi sur l'efficacité et l'innovation énergétiques . Rapatriement au ministère des Ressources naturelles et de la Faune (devenu le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles en 2014) des mandats et du financement de l'AEÉ et création du Bureau de l'efficacité et l'innovation énergétiques .
2014	Publication du rapport de la Commission sur les enjeux énergétiques intitulé Maîtriser notre avenir énergétique . À la suite de consultations publiques et de la lecture de plus de 480 mémoires, la Commission fait 57 recommandations au gouvernement. Toutefois, en novembre, le gouvernement s'engage dans une démarche consultative en vue de l'élaboration d'une nouvelle politique énergétique.

2016	Publication de la Politique énergétique 2030 : l'énergie des Québécois, source de croissance ¹³¹ . Cette politique vise notamment une amélioration de 15 % de l'efficacité avec laquelle l'énergie est utilisée, une réduction de 40 % de la quantité de produits pétroliers consommée et le retrait de l'utilisation du charbon thermique ¹³² . Adoption de la Loi sur Transition énergétique Québec ¹³³ qui institue TEQ, une société d'État chargée de coordonner les efforts de transition énergétique à travers un plan directeur quinquennal qui regroupe les programmes des ministères, organismes et distributeurs d'énergie pour atteindre les cibles de la Politique énergétique 2030.
2018	Dépôt du premier Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétique (2018-2023) de TEQ ¹³⁴ .
2020	Abolition de TEQ après l'adoption du projet de loi 44 <i>visant principalement la gouvernance efficace de la lutte contre les changements climatiques et à favoriser l'électrification</i> , et transfert de ses responsabilités au ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN). Publication d'une mise à jour Plan directeur – Mise à niveau 2026 ¹³⁵ .
2022	Deux décrets (1641-2022 et 1645-2022) ont réparti les responsabilités en matière d'énergie, transition, innovation et efficacité énergétiques entre le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP.) et le ministère de l'Économie, l'Innovation et l'Énergie (MEIE). La consommation d'énergie relève plutôt du MELCCFP, tandis que les responsabilités sur l'approvisionnement et la production énergétiques sont plutôt au MEIE.
2024	Intégration du Plan directeur de TEQ au Plan de mise en œuvre 2024-2029 du Plan pour une économie verte 2030 (PMO-PEV) ¹³⁶ , sous la responsabilité du MELCCFP. Certaines mesures ont été abandonnées ou fusionnées avec des initiatives existantes. Publication du Plan d'action 2035 – Vers un Québec décarboné et prospère d'Hydro-Québec, visant notamment une réduction de 21 TWh de la consommation d'électricité d'ici 2035 ¹³⁷ .
2025	Adoption du projet de loi 69 sur la gouvernance responsable des ressources énergétiques, intégrant la transition énergétique aux mandats de la Régie de l'énergie et d'Hydro-Québec. Il prévoit aussi une révision du processus de fixation des tarifs et la création d'un Plan de gestion intégrée des ressources énergétiques (PGIRE), où la sobriété énergétique est évoquée, bien que ses modalités restent à définir. Publication du PMO-PEV 2025-2030 ¹³⁸ .

Note : Pour les sources de 1977 à 2016, voir Whitmore et Pineau, 2016. *Portrait global de l'efficacité énergétique en entreprise au Québec*, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, <https://energie.hec.ca/pgeeeq2016/>.

¹³¹ Gouvernement du Québec, 2016. *Politique énergétique 2030 – l'énergie des québécois, source de croissance*, www.regie-energie.qc.ca/fr/participants/dossiers/R-4043-2018/doc/R-4043-2018-B-0007-Demande-Piece-2018_06_12.pdf

¹³² Les autres cibles énergétiques sont les suivantes : améliorer de 15 % l'efficacité avec laquelle l'énergie est utilisée; éliminer l'utilisation du charbon thermique; augmenter de 25 % la production totale d'énergies renouvelables; et augmenter de 50 % la production de bioénergie.

¹³³ Loi sur Transition énergétique Québec, abrogée le 1^{er} novembre 2020, www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/T-11.02

¹³⁴ TEQ, 2018. *Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétiques du Québec 2018 – 2023*, Gouvernement du Québec.

¹³⁵ MERN, 2022. *Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétique - Mise à niveau 2026*, Gouvernement du Québec, <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/plan-directeur/MERN-Mise-niveau-2026-plan-directeur-transition-energetique.pdf>

¹³⁶ Gouvernement du Québec, 2024. *Plan pour une économie verte : Plan de mise en œuvre 2024-2029*, <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-mise-oeuvre-2024-2029.pdf>

¹³⁷ Hydro-Québec, 2024. *Plan d'action 2035 – Vers un Québec décarboné et prospère*, www.hydroquebec.com/data/a-propos/pdf/plan-action-2035.pdf

¹³⁸ Gouvernement du Québec, 2025. *Plan pour une économie verte : Plan de mise en œuvre 2025-2030*, <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-mise-oeuvre-2025-2030.pdf>

ANNEXE 2 | Sommaire des principaux indicateurs de productivité énergétique et du carbone[◇]

Indicateurs	Unité	Définition et utilité
Macroéconomique (pays, secteurs d'activité)		
Productivité énergétique	$\frac{\text{PIB (\$)}}{\text{GJ}^*}$	Mesure le PIB d'une économie nationale ou d'un secteur économique par rapport à sa consommation totale d'énergie. Permet de comparer la productivité énergétique des États. Des indicateurs de productivité énergétique peuvent être définis pour différents secteurs (ex., transport : nombre passagers-km/PJ).
Productivité du carbone	$\frac{\text{PIB (\$)}}{\text{tonne éq. CO}_2}$	Mesure le PIB d'une économie nationale ou d'un secteur économique par rapport aux émissions de GES. Utilisé pour comparer la productivité des États en fonction de leur performance environnementale en ce qui a trait aux émissions de GES**. La productivité peut être évaluée sur la base des GES énergétiques, non énergétiques et totaux.
Microéconomique (échelle de sous-secteur industriel)		
Productivité énergétique	$\frac{\text{Valeur produite (\$)}}{\text{GJ}^*}$	Permet de comparer la productivité énergétique de secteurs manufacturiers de différents États. Pour des secteurs à forte consommation de pétrole, l'unité tep (tonne d'équivalent pétrole) est parfois utilisée à la place de GJ.
Productivité du carbone [◇]	$\frac{\text{Valeur produite (\$)}}{\text{tonne éq. CO}_2}$	Indicateur complémentaire à la productivité énergétique qui mesure la valeur produite d'un secteur industriel par rapport aux émissions de GES de ce secteur. Permet de comparer la productivité du carbone des secteurs manufacturiers entre différents secteurs ou d'un secteur donné dans différentes régions.
Microéconomique (échelle de l'usine, entreprise)		
Productivité énergétique	$\frac{\text{Valeur produite (\$)}}{\text{Coût de l'énergie (\$)}}$	Mesure la valeur produite par rapport au coût de l'énergie dans une installation. Le coût de l'énergie peut inclure le coût de la puissance. Utilisé par les dirigeants d'entreprise afin de s'assurer que la valeur ajoutée, en matière de volume de production et d'amélioration du produit, évolue plus rapidement que les coûts d'énergie qui, idéalement, devraient diminuer. On peut également remplacer la valeur ajoutée par la valeur des ventes pour un indicateur plus simple.
	$\frac{\text{Valeur produite (\$)}}{\text{GJ}^*}$	Mesure la valeur produite d'une usine par rapport à sa consommation totale d'énergie. Permet de mesurer l'amélioration dans le temps. Utilisé par la direction afin de s'assurer que la valeur ajoutée, en termes de volume de production et d'amélioration du produit, évolue plus rapidement que la consommation d'énergie qui, idéalement, devrait diminuer.

	$\frac{\text{Total des unités produites}}{\text{GJ}^*}$	Mesure la performance énergétique sur le plan de la production d'une usine. Cet indicateur ne devrait être utilisé que pour l'accroissement de valeur économique basé sur l'accroissement du volume de production. Le nombre d'unités produites peut être exprimé sous différentes formes (ex., nombre de pièces, mètres cubes [m ³], tonne, etc.) – ces unités étant spécifiques aux sous-secteurs industriels. Les unités doivent aussi être standards pour que cet indicateur soit pertinent.
Productivité du carbone ^o	$\frac{\text{Valeur produite (\$)}}{\text{tonne éq. CO}_2}$	Indicateur complémentaire à la productivité énergétique qui mesure la valeur produite d'une usine par rapport à ses émissions de GES. Permet de mesurer l'amélioration dans le temps. Utilisé par la direction afin de s'assurer que la valeur ajoutée, en matière de volume de production et d'amélioration du produit, évolue plus rapidement que les émissions de GES qui, idéalement, devraient diminuer.
	$\frac{\text{Unités produites}}{\text{tonne éq. CO}_2}$	Indicateur complémentaire à la productivité énergétique qui mesure la performance environnementale en termes de GES sur le plan de la production d'une usine. Contrairement à la mesure de valeur produite, cet indicateur ne devrait être utilisé que pour l'accroissement de valeur économique basé sur l'accroissement du volume de production. Le nombre d'unités produites peut être exprimé sous différentes formes (ex., nombre de pièces, mètres cubes [m ³], tonne) – ces unités étant spécifiques aux sous-secteurs industriels. Les unités doivent aussi être standards pour que cet indicateur soit pertinent.

Sources : McNeil et coll., 2016¹³⁹; OCDE, 2012¹⁴⁰.

Note : Selon les profils des sources d'émissions d'une entreprise ou d'une économie (énergétique / procédés / fugitives), il est recommandé d'utiliser trois indicateurs de productivité du carbone pour en mesurer l'amélioration, soit deux basés sur les différentes sources d'émissions et l'un sur les émissions de GES totales. *Les unités énergétiques utilisées peuvent varier. Par exemple : Gigajoule (GJ), British Thermal Unit (Btu). **Le calcul de la valeur ajoutée peut être différent d'un État à l'autre ou d'une entreprise à l'autre. Selon l'Institut de la statistique du Québec, la valeur ajoutée manufacturière correspond à la valeur des revenus découlant des biens fabriqués, en tenant compte de la variation nette des stocks de produits en cours de fabrication et de produits finis, moins le coût des matières et des fournitures utilisées et le coût total en énergie (y compris le coût de la puissance), en eau et en carburant pour véhicules, ainsi que les montants versés pour du travail à forfait.

¹³⁹ McNeil, M., Rue du Can, S., Hamza-Goodacre, D., Roy, P. 2016. *Energy Efficiency Indicators and Impact Metrics*, Lawrence Berkeley National Laboratory et ClimateWorks Foundation, p. 11, <https://eta.lbl.gov/publications/energy-efficiency-indicators-and>

¹⁴⁰ OCDE, 2012. *Vers une croissance verte : suivre les progrès – Les indicateurs de l'OCDE*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE, <http://www.oecd.org/fr/croissanceverte/vers-une-croissance-verte-suivre-les-progres-9789264111370-fr.htm>.