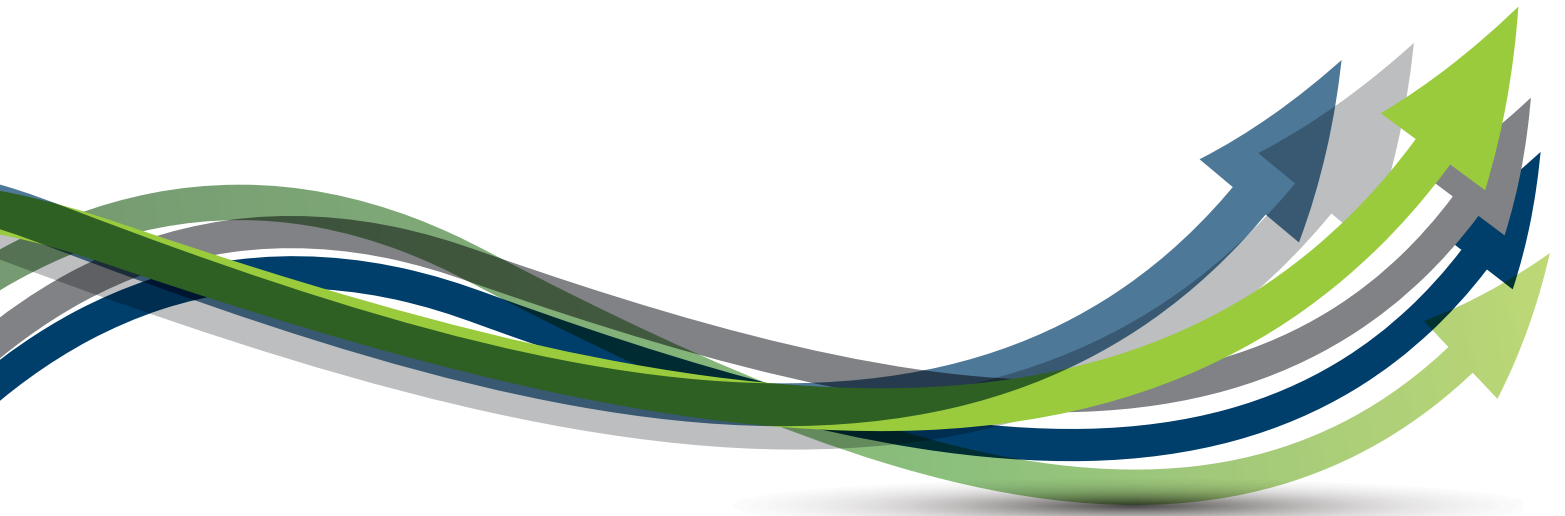


PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE

AMORCER LA DÉCARBONISATION EN STIMULANT L'ÉCONOMIE

Livre blanc



PRÉPARÉ POUR

Québec 

AVEC LA COLLABORATION DE

J HARVEY
CONSULTANT & ASSOCIÉS

PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE

AMORCER LA DÉCARBONISATION EN STIMULANT L'ÉCONOMIE

Livre blanc

AUTEURS

Johanne Whitmore, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal

Pierre-Olivier Pineau, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal

Jacques Harvey, J.Harvey Consultant & associés

RÉVISEURS

Gilles Lavoie, Ismaël Cissé, Laurie Doré-Ouellet, Patrick Simoneau et Guy Desbiens, Transition énergétique Québec ; Simon Langlois-Bertrand, Université Concordia ; Julien Beaulieu, CTTÉI ; Geneviève Gauthier, Éconoler.

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, ENERCON, Énergie renouvelable Brookfield, Énergie Valero, Énergir et WSP.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Transition énergétique Québec pour son soutien financier à la réalisation du présent rapport et les personnes suivantes pour leur collaboration : France Veillette et Noémie Roy, Bridgestone Canada ; Sylvain Buisnière, Papier Masson ; Mélanie Dostie, Tafisa Canada ; Ismaël Cissé, Transition énergétique Québec ; Rebecca Price, Alliance to Save Energy ; Simon Roy, Ecosystème ; Nathalie Cousineau, Hydro-Québec.

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

3000, chemin de la Côte-Sainte-Catherine

Montréal (Québec) H3T 2A7 Canada

energie.hec.ca

@HECEnergie

Pour citer ce rapport : Whitmore, J., Pineau, P.-O., Harvey, J., 2019. *Productivité énergétique – Amorcer la décarbonisation en stimulant l'économie*, Livre blanc, rapport préparé pour Transition énergétique Québec, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal.

Dépôt légal : décembre 2019

ISBN 978-2-9815589-3A-0 (version PDF)

©2019 Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal

Infographie et mise en page : Brigitte Ayotte (Ayograph)

Révision : Sylvie Dugas

Image de couverture : DepositPhotos/© Denchik

Table des matières

Aperçu	1
Résumé	2
CHAPITRE 1 La productivité énergétique au service de l'économie et de l'environnement ...	6
CHAPITRE 2 L'énergie comme facteur de productivité des économies : comparaison internationale et provinciale.....	12
CHAPITRE 3 Indicateurs et mesures de la productivité énergétique.....	19
L'effet rebond : état des lieux et options pour son atténuation	24
Encadrer la productivité énergétique pour minimiser l'effet rebond en entreprise	28
CHAPITRE 4 Principales stratégies pour accélérer la productivité énergétique.....	30
Stratégies d'amélioration de la productivité énergétique des États.....	30
Stratégies et méthodes pour l'amélioration de la productivité énergétique en entreprise.....	32
L'approche <i>Lean Energy</i>	34
Système de management de l'énergie en entreprise (SME).....	39
L'économie circulaire	41
L'industrie 4.0	45
CHAPITRE 5 Études de cas relatives à la productivité énergétique en entreprise	46
Harbec	47
Papiers White Birch : usine S.E.C. Papier Masson WB.....	51
Bridgestone Canada : usine de Joliette.....	54
Tafisa Canada : usine de Lac-Mégantic	58
Leçons tirées des études de cas	61
Conclusion et pistes d'actions.....	62

Aperçu

- L'étude présente une nouvelle approche en matière d'efficacité énergétique, axée sur des objectifs de productivité énergétique, qui vise à maximiser la création de valeur économique liée à la consommation d'énergie.
- L'avantage de la mesure de la productivité énergétique, c'est que les dirigeants d'entreprise et les décideurs en saisissent le sens de façon plus intuitive lors du suivi du rendement énergétique, car elle permet d'élever l'énergie au rang d'indicateurs clés de performance dans les processus décisionnels.
- Dans une perspective de concurrence, le Canada tout comme que le Québec, gagneraient à mieux comprendre la productivité énergétique de leurs économies, puisqu'elles sont parmi les plus faibles au monde.
- Pour encourager l'adoption de stratégies permettant d'augmenter la productivité énergétique, le niveau de succès des mesures gouvernementales doit être fondé sur l'analyse du rendement énergétique global d'une entreprise, plutôt que sur le montant des dépenses par projet seulement.
- L'intégration du concept de productivité énergétique dans les processus décisionnels pourrait servir de passerelle pour inscrire la transition énergétique dans une stratégie plus globale d'économie circulaire.
- L'effet rebond potentiel associé aux mesures d'efficacité et de productivité énergétiques devra être pris en considération dans les politiques et mesures gouvernementales pour maximiser les retombées environnementales visées par celles-ci.

Résumé

Près des deux tiers de l'énergie consommée au Québec est consacrée à des usages industriels, commerciaux ou institutionnels. Cette énergie, qui permet de produire, transformer et livrer des biens et services, assure aussi le bon fonctionnement des bâtiments et des bureaux. Ces usages représentent 72 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) totales de la province, dont près de 65 % étaient attribuables à la combustion d'énergie. Aussi, près de la moitié de l'énergie consommée par le secteur industriel québécois est perdue pour cause d'inefficacité. Pour amorcer la décarbonisation de l'économie, tout en stimulant sa croissance, les décideurs devront repenser leurs stratégies et adopter de nouveaux indicateurs pour y parvenir. L'étude présente une nouvelle approche en matière d'efficacité énergétique, axée sur des objectifs de productivité énergétique, qui vise à maximiser la création de valeur économique liée à la consommation d'énergie et à la réduction d'émissions de GES. Cet indicateur peut aider à mieux tenir compte de l'énergie dans les processus décisionnels des décideurs et dirigeants d'entreprise.

La productivité énergétique est un concept de plus en plus utilisé dans les efforts mondiaux de transition énergétique vers une économie sobre en carbone. Contrairement à l'efficacité énergétique, qui vise la réduction de la consommation d'énergie en conservant le même niveau de service, la productivité énergétique vise à réduire la consommation d'énergie tout en améliorant le niveau de service et la valeur économique produite, et ce, idéalement, en découplant la consommation totale d'énergie de la valeur ajoutée produite. Elle est définie comme la création de richesse (en unité monétaire) par unité d'énergie consommée. Elle offre l'avantage de mettre de l'avant la productivité d'une ressource importante, l'énergie, ce qui permet de centrer l'attention des décideurs sur la variable qui les intéressent généralement le plus : la création de valeur ajoutée¹. Le concept permet donc d'allier les objectifs de la transition énergétique et de la décarbonisation à ceux de croissance économique.

L'amélioration de la productivité et la réduction de pertes énergétiques lors de la production, la transformation et la livraison des biens et services prennent tout leur sens dans le contexte d'une économie en transition. D'une part, l'amélioration de la productivité énergétique est une passerelle qui permet aux entreprises de pallier les coûts souvent plus élevés associés à la conversion vers des énergies et des technologies plus efficaces ou sobres en carbone. D'autre part, elle s'associe davantage aux objectifs de rendement des entreprises en prenant en considération la croissance de la production, l'augmentation de la valeur ajoutée manufacturière ou des services et la création d'avantages concurrentiels tout en réduisant l'empreinte énergétique et environnementale. En plus de réconcilier environnement et économie, le concept de productivité énergétique permet de poursuivre sur la lancée des progrès réalisés par des mesures d'efficacité énergétique, tout en maximisant les retombées économiques de chaque unité d'énergie utilisée pour différents usages en entreprise ou dans l'économie.

Le Canada et le Québec gagneraient à mieux connaître la productivité énergétique de leurs économies, puisque celles-ci comptent parmi les moins performantes au monde. Tandis que le Canada arrive à cet égard en queue de peloton parmi les pays de l'OCDE, le Québec accuse un retard de 14 % par rapport à la productivité énergétique de l'Ontario, son plus proche voisin. Ces résultats ne s'expliquent pas uniquement par une structure industrielle

¹ Dans le cas d'une entreprise dont les émissions de GES proviennent peu de sources énergétiques (par exemple un producteur d'aluminium utilisant de l'électricité renouvelable), un indicateur de productivité du carbone – c'est-à-dire de création de richesse par tonne d'équivalent CO₂ – peut être utilisé conjointement avec celui de la productivité énergétique comme indicateur de performance environnementale.

plus axée vers les ressources naturelles et des industries à forte intensité énergétique, ou encore le climat. Ce mauvais rendement est aussi dû aux prix relativement bas de l'énergie qui caractérisent les marchés canadien et québécois. Pour redresser la situation, il faudra assurer un suivi de cette productivité énergétique, tant à l'échelle de l'entreprise que de chaque province canadienne. Ceci permettra d'adopter des cibles et de déployer des stratégies et des mesures pour accroître la productivité de l'énergie plus rapidement.

Contrairement à la mesure d'intensité énergétique qui vise à minimiser la consommation par unité de production ou de PIB, l'amélioration de la productivité énergétique vise à maximiser la création de valeur économique liée à la consommation d'énergie. Les dirigeants d'entreprise et les décideurs ont également une compréhension plus intuitive des mesures de productivité puisqu'elles permettent d'élever l'énergie au rang d'indicateurs clés de performance (ICP) dans les processus décisionnels. Ce type d'indicateur peut donc s'intégrer facilement dans des tableaux de bord où un suivi de l'évolution de la performance de différents facteurs clés en entreprise est effectué.

L'effet rebond, qui mène dans certains cas à une diminution, voire à l'effacement des gains de réduction de la consommation obtenus, constitue un écueil qu'il faut minimiser dans une stratégie d'accroissement de la productivité et de l'efficacité énergétiques. Cet effet se traduit par une hausse de la consommation énergétique par rapport à ce qu'il aurait été techniquement possible d'observer, parce qu'une plus grande efficacité et/ou productivité rend possible un accroissement de la production et de la consommation totales. Il est donc important pour les gouvernements de prendre conscience de ce piège éventuel – parce qu'il est également impératif de réduire globalement la consommation d'énergie et les émissions de GES, c'est-à-dire de façon absolue plutôt que relative.

Il existe différents moyens pour atténuer l'effet rebond. Le plus efficace, selon plusieurs études, est une tarification conséquente de l'énergie et du carbone, idéalement associée avec un plafonnement des quantités maximales (à l'échelle de l'économie). Mettre un prix significatif sur le carbone ou l'énergie incite à rechercher l'efficacité dans l'utilisation des ressources et décourage la consommation. Le marché du carbone au Québec (système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre [SPEDE]) est un bon exemple d'outil utilisé pour diminuer les émissions de GES de façon absolue. Mais en l'absence d'une couverture complète de l'économie, de la présence d'allocations gratuites, des ajustements tarifaires aux frontières et d'un signal-prix du carbone suffisamment élevé pour modifier les comportements des consommateurs, le gouvernement devra continuer à renforcer les effets du SPEDE par d'autres mesures complémentaires (ex., réglementations, mesures écofiscales, subventions) qui devront être rajustées dans le temps pour minimiser l'effet rebond.

Du côté des entreprises, pour éviter que l'effet rebond n'affaiblisse l'efficacité et l'impact environnemental des mesures de productivité énergétique, le gouvernement peut conclure des accords (volontaires ou négociés), adopter des cibles sectorielles d'amélioration de la productivité énergétique ou encore offrir des services d'accompagnement aux entreprises par l'intermédiaire de réseaux d'apprentissage et de plateformes de partage regroupant des outils d'analyse, de mesure et de suivi.

L'étude présente quatre stratégies exemplaires pour améliorer la productivité énergétique en entreprise :

- L'approche **Lean Energy** qui consiste à identifier et à éliminer les pertes et le gaspillage d'énergie dans les processus par l'optimisation de la production, la recherche systématique, la quantification et la réduction de la consommation de ressources sans valeur ajoutée.
- Les **systèmes de management de l'énergie** (SME), dont celui lié à la norme ISO 50001, qui formalisent la gestion de l'énergie dans les entreprises en mettant en place un cadre de gestion axé sur la recherche de gains énergétiques par l'amélioration continue.
- Les stratégies d'**économie circulaire**, en contexte d'affaires, qui visent à rechercher de plus grande circularité dans les flux physiques et énergétiques d'un système afin de réduire les besoins en matière première, de même que les rejets et les pertes, et créer de nouvelles sources de revenus par leur revalorisation.

- Enfin, la stratégie s'appuyant sur l'**industrie 4.0** qui mise sur l'implantation de technologies numériques pour enregistrer et contrôler, en temps réel, les équipements et processus afin de permettre aux entreprises de piloter efficacement, dans leur processus décisionnel, leurs besoins par une gestion ciblée et optimale des ressources, dont l'énergie, et un entretien des équipements.

En pratique, l'utilisation d'indicateurs et la mise en œuvre de stratégies de productivité énergétique sont peu courantes dans les entreprises établies au Québec. Le concept est en effet peu connu et le contexte économique ne le favorise pas, en raison, par exemples, des faibles prix de l'énergie et des mesures gouvernementales basées davantage sur l'analyse des dépenses d'un projet d'efficacité énergétique que sur la performance énergétique globale des entreprises. Cela n'empêche pas que des entreprises innovantes aient pu adopter certaines stratégies inspirées de celles présentées ci-dessus afin d'améliorer leur performance environnementale ou énergétique. Comme le montrent les études de cas présentées dans le présent rapport, dont Papier Masson de Papiers White Birch, Bridgestone Canada et Tafisa Canada, des entreprises peuvent enregistrer des progrès notables grâce à ces stratégies même dans un contexte où la productivité énergétique n'est pas explicitement visée.

En traitant du concept de productivité énergétique, tant à un niveau théorique que pratique, le présent rapport vise à familiariser les décideurs à son importance. Pour ne pas opposer économie et environnement, il faut pouvoir démontrer qu'il est possible de faire croître notre richesse tout en réduisant les impacts environnementaux de cette croissance. En conjuguant des stratégies d'entreprise bien adaptées avec un encadrement gouvernemental cohérent, la productivité énergétique pourrait devenir l'amorce de la transition énergétique sobre en carbone. Elle pourrait aussi être un tremplin vers une stratégie plus globale d'économie circulaire, comme celle que le Québec souhaite mettre en place.

Sur la base d'expériences internationales, de méthodes disponibles et de cas déjà mis en œuvre dans un contexte nord-américain, différentes pistes d'actions se profilent :

- 1. Adopter une vision, des cibles et une stratégie globale d'amélioration de la productivité énergétique au Québec.** Comme aux États-Unis, en Australie et en Allemagne, le Québec doit se doter d'une vision, d'une cible et des stratégies globales pour faire de la productivité énergétique une voie à suivre afin d'améliorer sa compétitivité et sa performance environnementale durant la transition énergétique.
- 2. Intégrer des indicateurs de productivité énergétique et du carbone dans les processus décisionnels.** Les gouvernements doivent intégrer dans leur processus de reddition de compte des indicateurs pour mesurer la productivité de l'énergie et du carbone de leur économie et des différents secteurs d'activités économiques. Dans le cadre de leurs programmes, les gouvernements peuvent inciter les entreprises à adopter de tels indicateurs dans leurs rapports sur les progrès réalisés en matière de performance environnementale et d'indicateurs clés de performance (ICP) préparés pour la direction.
- 3. Établir des cibles et des programmes d'amélioration de la productivité énergétique en entreprise fondés sur l'atteinte de résultats et la performance globale.** Le niveau de succès des mesures gouvernementales est souvent évalué en fonction des dépenses engendrées par ces mêmes mesures plutôt que par l'analyse des performances réelles et globales obtenues. Les gouvernements devraient donc, dans le cadre d'accords préparés conjointement avec l'industrie, élaborer des programmes ayant pour but d'inciter les entreprises à mettre en œuvre des plans stratégiques d'amélioration de la productivité énergétique. Ces programmes seraient déployés avec un suivi rigoureux, comprenant une reddition de compte publique et une vérification indépendante des résultats. Les aides financières directes accordées aux entreprises devraient être liées aux résultats et au rendement global obtenus lors de la mise en œuvre du plan d'amélioration de la productivité énergétique et du carbone, et non seulement sur la base de la réalisation d'un projet.
- 4. Atténuer l'effet rebond dans les politiques et mesures de transition énergétique.** L'effet rebond potentiel, associé aux mesures d'efficacité et de productivité énergétiques, devrait être pris en compte par le gouvernement. Le modèle du marché du carbone au Québec (SPEDE) est un bon

point de départ et pourrait suffire à réduire les GES à lui seul s'il était renforcé de manière à éliminer les possibilités de fuites de carbone et s'il couvrait l'ensemble de l'économie. En l'absence de tels mécanismes de contrôle, des trajectoires crédibles de réduction des émissions de GES devraient être suivies par tous les secteurs d'émission et devraient être liées aux programmes et aux cibles établis afin d'encourager un découplage entre la création de valeur économique et la consommation totale d'énergie, ainsi que les émissions de GES

5. Inscrire la transition énergétique dans une politique plus large d'économie circulaire. L'intégration du concept de productivité énergétique dans les processus décisionnels peut faciliter l'inclusion de la transition énergétique dans une stratégie élargie d'économie circulaire qui viserait notamment l'optimisation de la productivité de toutes les ressources, dont l'énergie, de même que l'élimination des pertes. Le gouvernement du Québec pourrait s'inspirer des gouvernements néerlandais² et français³ qui se sont dotés d'objectifs et politiques d'économie circulaire dans le cadre de leur stratégie de transition énergétique, et de cartographier les flux de matériaux et d'énergie sur son territoire afin d'identifier des gisements à exploiter.

² Voir *A Circular Economy in the Netherlands by 2050*, www.government.nl/topics/circular-economy/documents/policy-notes/2016/09/14/a-circular-economy-in-the-netherlands-by-2050.

³ Voir *L'économie circulaire dans la loi de transition énergétique pour la croissance verte*, www.ecologique-solidaire.gouv.fr/leconomie-circulaire.

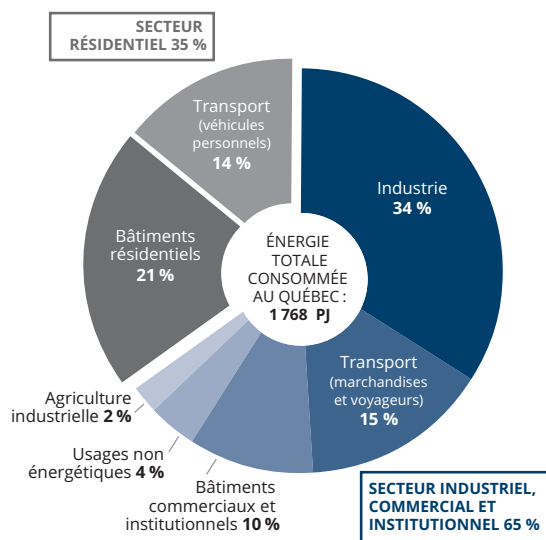
CHAPITRE 1 | La productivité énergétique au service de l'économie et de l'environnement

Ces dernières années, le nombre d'initiatives et de publications sur le thème de la « productivité énergétique » s'est multiplié. Ce concept consiste à établir un rapport entre la création de valeur économique et la consommation d'énergie. Il sera en effet crucial de maîtriser et d'augmenter la productivité énergétique pour soutenir les efforts indissociables de transition énergétique et de décarbonisation tout en faisant croître l'économie. Or, la distinction entre efficacité et productivité énergétiques, de même que les avantages de ces approches, n'est pas claire pour tous. La présente étude a pour objectif de mieux faire connaître ce concept et de montrer qu'une nouvelle approche en matière d'efficacité énergétique axée sur des objectifs de productivité énergétique peut aider les décideurs et les dirigeants d'entreprise à mieux tenir compte de l'énergie dans leurs processus décisionnels et à éclairer leurs choix stratégiques et économiques.

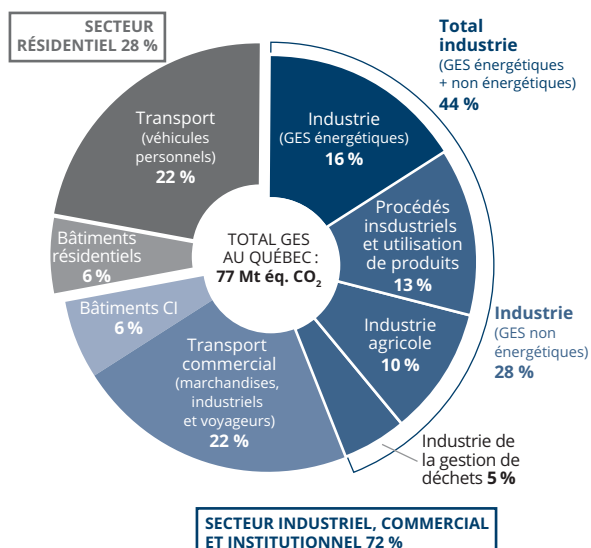
En 2016, près des deux tiers de l'énergie consommée au Québec était consacrée à des usages industriels, commerciaux ou institutionnels. Cette énergie a servi à produire, transformer ou livrer des biens et des services, ainsi qu'à assurer le bon fonctionnement des bâtiments et bureaux (voir graphique 1a). Ces usages représentaient 72 % des émissions de GES totales de la province, dont près de 65 % étaient attribuables à la combustion d'énergie (voir graphique 1b). La manière dont les entreprises géreront l'énergie et leurs GES aura d'importantes répercussions sur le taux de réussite de la transition énergétique du Québec et de la décarbonisation de son économie.

GRAPHIQUE 1 | CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET RÉPARTITION DES ÉMISSIONS DE GES PAR SECTEURS D'ACTIVITÉ AU QUÉBEC, 2016

a) Consommation d'énergie totale



b) Émissions de GES totales



Sources : OÉÉ, 2018 ; ECCC, 2018.

La consommation d'énergie, en vue d'assurer le bon fonctionnement des activités économiques, est inévitable. Or, l'externalisation de plusieurs coûts environnementaux liés à la consommation énergétique et de ressources, notamment les coûts des GES, contribue à la crise écologique actuelle. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il ne resterait qu'une douzaine d'années pour réduire environ de moitié les émissions de GES liées aux activités humaines afin d'éviter le pire du dérèglement climatique. Nous devons donc transformer radicalement nos systèmes énergétiques.

Par le passé, les sociétés ont fait l'expérience de transitions énergétiques, mais celles-ci étaient entraînées par l'ajout de nouvelles sources d'énergie plus performantes et non par leur substitution. Le charbon est apparu en supplément à la biomasse, puis le pétrole et le gaz naturel sont venus accroître la consommation énergétique. La découverte de sources d'énergie toujours plus denses et performantes a décuplé les usages énergétiques. Or, la transition énergétique envisagée aujourd'hui n'obéit pas à cette logique, car elle vise à éviter une catastrophe climatique par la réduction de l'utilisation de combustibles fossiles et leur substitution par des sources non émettrices (ex., biocarburants, gaz naturel renouvelable, solaire, etc.).

Le passage vers ces nouvelles énergies représente certains défis en raison de leurs coûts souvent plus élevés et de leur rendement énergétique plus faible⁴. Pour réussir la transition de façon à minimiser l'incidence des coûts et des rendements associés aux nouvelles énergies, les entreprises et les gouvernements devront en priorité chercher à réduire au minimum la consommation totale d'énergie en améliorant sa productivité, pour ensuite remplacer ce qui restera de consommation d'hydrocarbures par des énergies non émettrices. Autrement dit, pour réussir la transition vers une économie sobre en carbone, nous devons produire et consommer beaucoup mieux avec beaucoup moins d'énergie et de ressources.

Face à la réalité d'une économie mondiale grandement structurée par l'accès à des approvisionnements abondants et stables d'hydrocarbures à des prix relativement bas et caractérisés par un rendement énergétique élevé, il est plus facile d'envisager la transition que de la faire. Les données sur la consommation et le mix énergétique montrent d'ailleurs qu'elle tarde à s'amorcer. Malgré cela, elle s'impose progressivement dans les marchés de l'énergie, les politiques et les médias, tout en exposant les entreprises à de nouveaux risques et à de nouvelles opportunités. La bonne nouvelle, c'est qu'elle représente une occasion sans précédent de revoir les façons de faire. Elle pourrait permettre d'adopter une approche axée sur l'atteinte de résultats, afin d'optimiser la performance et d'améliorer le rendement des ressources, des entreprises et de l'économie.

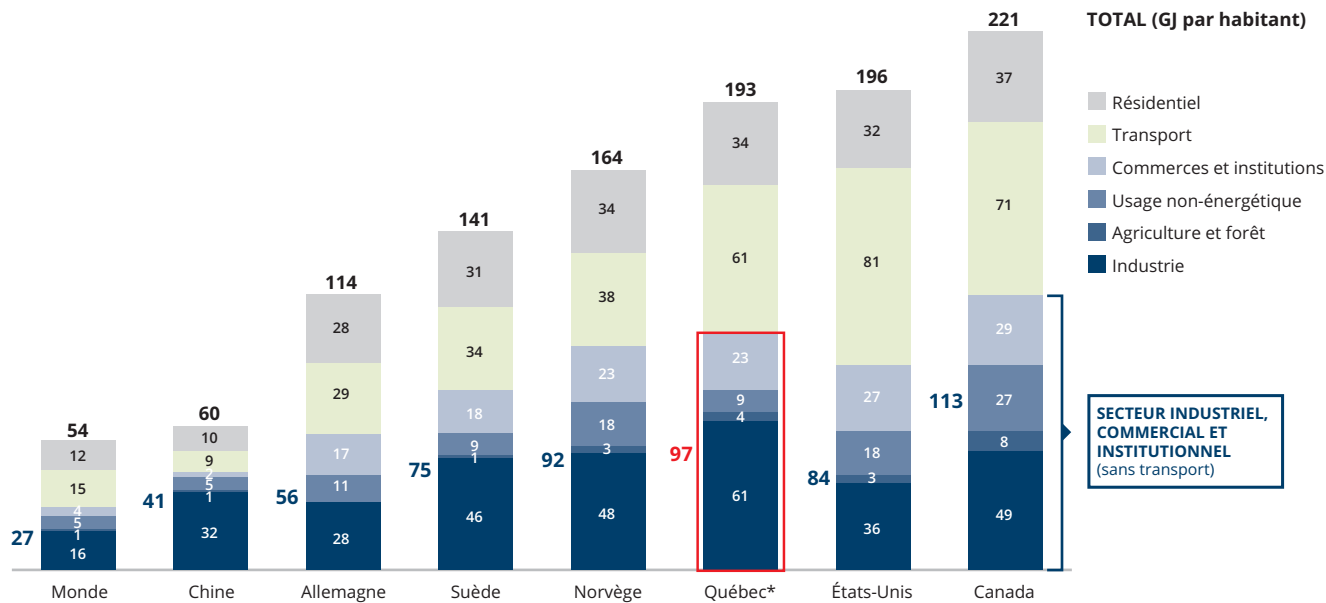
Grâce à ses approvisionnements hydroélectriques, le Québec se présente comme chef de file en électricité décarbonisée, qui cumule 36 % de son bilan énergétique. Avec la biomasse et l'éolien, près de la moitié de l'énergie consommée par la province provient de sources renouvelables. Or, bien que plusieurs États aspirent à un bilan semblable, le Québec n'est pas exemplaire sur le plan de la consommation énergétique absolue par habitant (voir graphique 2). Seul le Canada a une consommation moyenne par habitant pour son secteur industriel, commercial et institutionnel supérieure à celle du Québec. Dans le cas du secteur industriel, le Québec se situe derrière l'Allemagne et les États-Unis, qui utilisent deux fois moins d'énergie par habitant qu'au Québec. Cela s'explique en partie par le type d'industries qui sont venues s'établir ici : l'hydroélectricité à bon marché a attiré des industries énergivores et à faible valeur ajoutée⁵. On constate également que l'intensité en émissions de GES industrielles par unité d'énergie consommée est demeurée plutôt stable depuis 1990 (-4 %), ce qui suggère qu'il y a globalement peu de décarbonisation des sources d'approvisionnement dans le secteur industriel. Finalement, les pertes énergétiques par sous-secteur industriel (graphique 3) sont importantes : pour chaque unité d'énergie utile pour les consommateurs industriels, près de deux unités d'énergie (1,8) sont perdues sans être valorisées dans l'économie.

⁴ 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://mern.gouv.qc.ca/energie/politique/memoires/20130912_053_Hugo_Tremblay_M.pdf.

⁵ En raison de limites dans la disponibilité des données, il n'est pas possible, à l'heure actuelle, d'utiliser cet indicateur pour comparer des sous-secteurs industriels avec ceux d'autres pays, notamment pour les alumineries, les cimenteries et pâtes et papier qui sont des secteurs énergivores ayant un impact important sur le bilan des émissions de GES québécoises.

Ces constats laissent entendre que l'abondance de ressources énergétiques à bon marché n'a pas favorisé l'émergence d'une culture de gestion rigoureuse de l'énergie et l'utilisation de sources d'énergie à plus faible teneur en carbone au Québec. Nous n'avons donc pas que des motivations environnementales pour faire la transition énergétique, mais également des raisons économiques pour rendre l'utilisation de l'énergie plus productive.

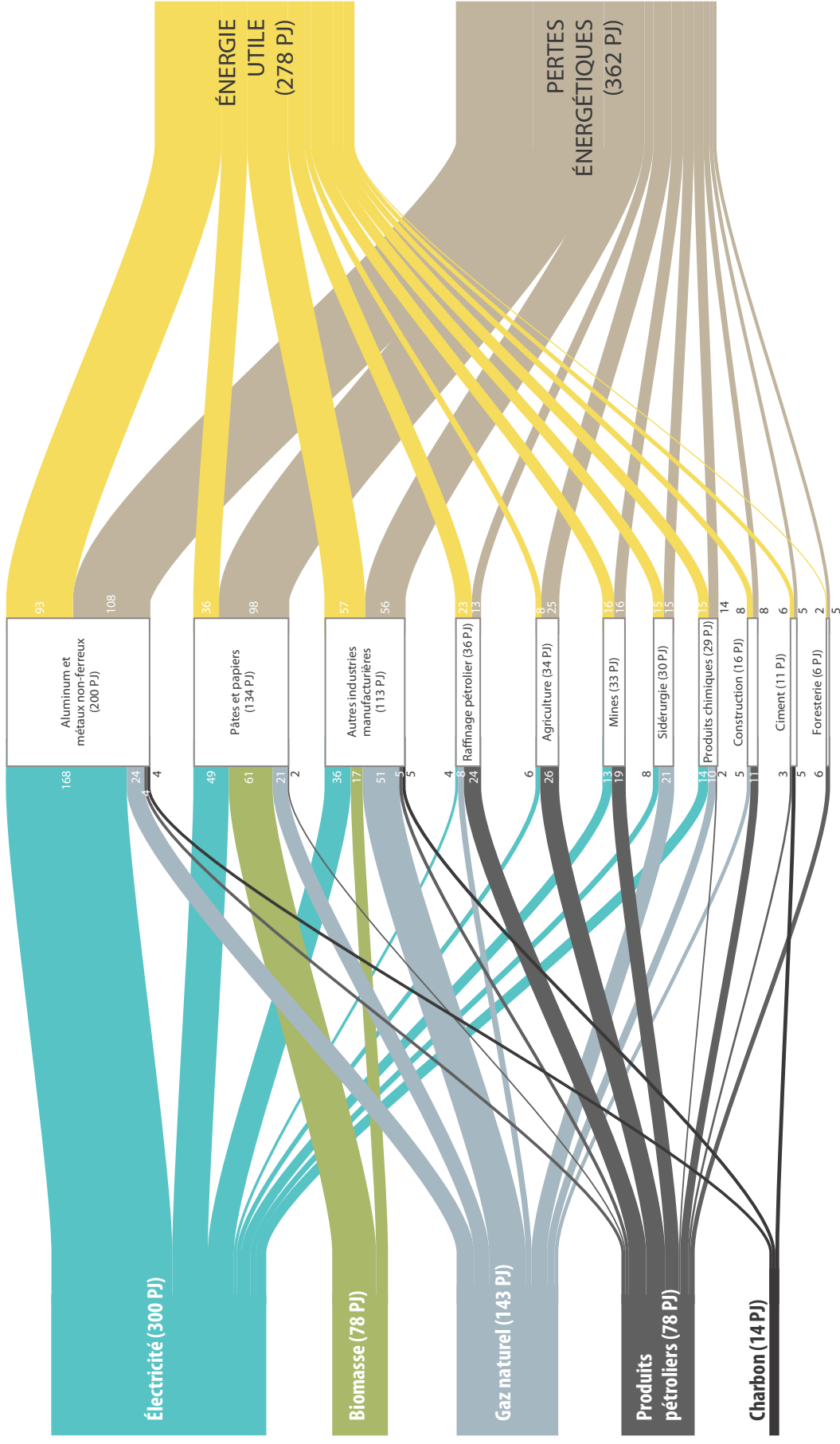
GRAPHIQUE 2 | COMPARAISON DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR HABITANT DU QUÉBEC AVEC CELLE D'AUTRES PAYS, 2016



Sources : Whitmore et Pineau, 2018 ; AIE, 2018 ; sauf * pour le Québec, Statistique Canada, 2018 (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, 2016



Sources : OÉ, 2018 ; 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'OÉ 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 Département de l'Énergie des États-Unis (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.

Réalisation : Benjamin Israël
 Collaboration : Johanne Whitmore et
 Pierre-Olivier Pineau (HEC Montréal)

Pourquoi passer de l'efficacité à la productivité énergétique ?

L'efficacité énergétique, qui consiste à utiliser moins d'énergie pour fournir un service égal ou supérieur, a longtemps été promue comme un moyen de réduire les factures énergétiques. Au Québec, de nombreux programmes visant les secteurs industriel et commercial ont été mis en œuvre au fil des ans. Les résultats sont toutefois mitigés : de 2006 à 2014, les économies d'énergie annuelles totales découlant des programmes d'efficacité énergétiques représentaient moins de 1 % de la consommation annuelle de la province⁶. De plus, le Québec n'a atteint que 37 % de sa cible globale d'économie d'énergie énoncée dans la Stratégie énergétique du Québec 2006-2015, principalement en raison des faibles prix de l'énergie et du manque d'efforts et de coordination pour réduire la consommation de produits pétroliers. De nouvelles approches sont nécessaires.

Menés par les distributeurs d'énergie et le gouvernement, les programmes d'efficacité énergétique consistent principalement à favoriser l'installation d'équipements plus efficaces, tels que des chaudières, des compresseurs d'air ou des systèmes d'éclairage. De plus, le niveau de succès des mesures appliquées est souvent évalué en fonction des dépenses engendrées par ces mesures, plutôt que par l'analyse des performances réelles obtenues. Les améliorations de procédés et de la gestion de l'énergie pouvant mener à des améliorations continues de la productivité des ressources (énergétiques et non énergétiques) sont beaucoup moins ciblées par les programmes mis en place. Les rejets de produits résiduels, les pertes de chaleur ou autres matières premières, la surproduction, la suraccumulation d'inventaires et le fonctionnement d'équipements lors des arrêts de production sont tous des exemples de procédés sous-optimaux qui entraînent une consommation d'énergie sans valeur ajoutée, et donc une baisse de la productivité énergétique d'une entreprise⁷.

En 2017, le gouvernement a indiqué vouloir placer « l'efficacité énergétique comme première filière d'offre d'énergie » dans l'élaboration du Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétiques du Québec 2018-2023. Transition énergétique Québec (TEQ) a énoncé dans ce plan sa vision 2030 pour les entreprises industrielles québécoises : elles devront maîtriser « les rouages de l'efficacité et de la productivité énergétiques dans le respect de l'environnement ». Or, dans un contexte où l'énergie est abondante et relativement peu coûteuse, sans compter que certaines mesures d'efficacité énergétique semblent exiger trop d'efforts par rapport aux gains qu'elles rapportent, l'efficacité énergétique reste, en pratique, au bas de l'échelle des priorités de nombreux gestionnaires. La gestion de l'énergie occupe donc souvent une très petite place dans le processus décisionnel et la planification stratégique des entreprises⁸. La position peu prioritaire qu'occupe l'énergie et l'inertie qu'elle alimente ne faciliteront pas l'atteinte des cibles fixées par le gouvernement pour 2030. La principale cible est la réduction de 37,5 % des émissions de GES de la province sous le niveau de 1990, ce qui doit se traduire par une diminution de 40 % de la consommation de produits pétroliers, une autre cible centrale du Québec⁹.

L'utilisation d'indicateurs et la mise en œuvre de stratégies d'amélioration de la productivité des ressources dans les processus décisionnels permettraient d'établir un rapport entre la création de valeur économique et la consommation de ressources¹⁰. Si une entreprise parvient à doubler ou à quadrupler les profits qu'elle réalise par unité d'énergie consommée, elle améliore la valeur ajoutée liée à sa consommation énergétique. C'est ce qu'a compris le gouvernement américain en 2014 en appelant à doubler d'ici 2030 la productivité énergétique des États-Unis du niveau de 2010. Le *Department of Energy* (DOE) avait alors estimé que le plan d'action proposé pour atteindre cette cible ajouterait 922 G\$ d'ici 2030, soit une hausse de 4,3 % du PIB, et qu'il favoriserait une réduction de 25 % de la consommation d'énergie.

⁶ Whitmore, J., Pineau, P.-O., 2016. *Portrait de l'efficacité énergétique en entreprise au Québec*, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, <http://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2016/09/PGEEEQ2016.pdf>.

⁷ TEQ, 2018. *Fiche diagnostic/enjeux – Industrie*, gouvernement du Québec, <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/consultation/Fiche-diagnostic-Consultation-TEQ-Industrie.pdf>.

⁸ Whitmore, J., Pineau, P.-O., 2015. *Gestion stratégique de l'énergie en entreprise au Québec : un portrait de la situation*, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal et Institut du Québec, http://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2015/10/GSEEQ_Final_oct2015.pdf.

⁹ 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.

¹⁰ Von Weizsäcker, E., 2019. « La productivité des ressources – passage obligé de la transition énergétique », *Revue Gestion HEC Montréal*, vol. 44, n° 1, printemps 2019, p. 88-91.

En Allemagne, où la transition énergétique est fortement promue par le gouvernement, des rapports annuels sur cette transition font état des avancées à l'aide d'indicateurs précis – notamment de productivité énergétique. Ainsi, le sixième rapport annuel sur la transition énergétique¹¹ fait état d'une amélioration annuelle de 1,1 % de la productivité énergétique, tout en visant une croissance de cette productivité de 2,1 % par an jusqu'en 2050. Cette croissance de la productivité passera notamment par une moindre consommation d'énergie grâce à différentes mesures d'efficacité énergétique. Pour réduire les émissions résiduelles des besoins énergétiques qui demeurent, il est nécessaire d'augmenter la part d'électricité et d'autres sources non émettrices dans la consommation totale. L'approche fondée sur la productivité énergétique permettra de pallier les coûts souvent plus élevés associés aux énergies renouvelables et à maintenir la compétitivité de l'économie allemande.

Pour ce qui est du Québec, une étude menée par l'Acadia Center a estimé que si le gouvernement québécois consacrait 1,5 G\$ par an à des programmes d'efficacité énergétique au cours des 15 prochaines années, le PIB de la province pourrait croître de 118 G\$ et plus de 62 000 emplois nets pourraient être créés durant cette période^{12, 13}. Les émissions de GES diminueraient de 15 Mt (soit 17 % des émissions de 2014). Selon les plus récentes données, le financement destiné à l'efficacité énergétique au Québec, d'après le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), demeure sous la barre du 1 % de ses dépenses annuelles en énergie, alors que la moyenne nord-américaine se chiffre à 3 %¹⁴. Renoncer à mettre en œuvre une stratégie plus ambitieuse d'amélioration de la productivité et de l'efficacité énergétiques revient donc à renoncer à la création d'une importante valeur économique.

La présente étude a pour objectif de proposer une nouvelle approche en matière d'efficacité énergétique axée sur des objectifs de productivité énergétique afin d'aider les décideurs et les dirigeants d'entreprise à mieux tenir compte de l'énergie dans leurs processus décisionnels et leurs choix stratégiques et économiques. Elle offre un premier regard sur le concept de productivité énergétique et les gains qu'il permettrait de réaliser en entreprise dans le contexte québécois. Dans un premier temps, une comparaison internationale de la productivité énergétique au Canada et au Québec est proposée (chapitre 2). Des indicateurs et des exemples de stratégies d'amélioration de la productivité énergétique sont présentés dans les chapitres 3 et 4, puis illustrés par des études de cas d'entreprises qui les ont adoptés (chapitre 5). On traite notamment de l'effet rebond ou de la façon dont certains gains obtenus grâce à l'amélioration de la productivité peuvent être annulés par une augmentation des usages, de même que des options pour le tempérer. Finalement, des pistes de réflexion et d'action pour opérationnaliser une culture de la productivité énergétique dans le contexte québécois sont offertes en conclusion.

¹¹ Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2018. *Sixth "Energy Transition" Monitoring Report – The Energy of the Future Reporting Year 2016*, Berlin, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.

¹² Acadia Center, 2014. *L'efficacité énergétique, moteur de la croissance économique au Canada*, rapport préparé pour Ressources naturelles Canada.

¹³ Dunsky Expertise en énergie, 2015. *Macroeconomic Impacts from Investing in Energy Efficiency in Canada 2012-2042: Province-by-Province Summary of Results*.

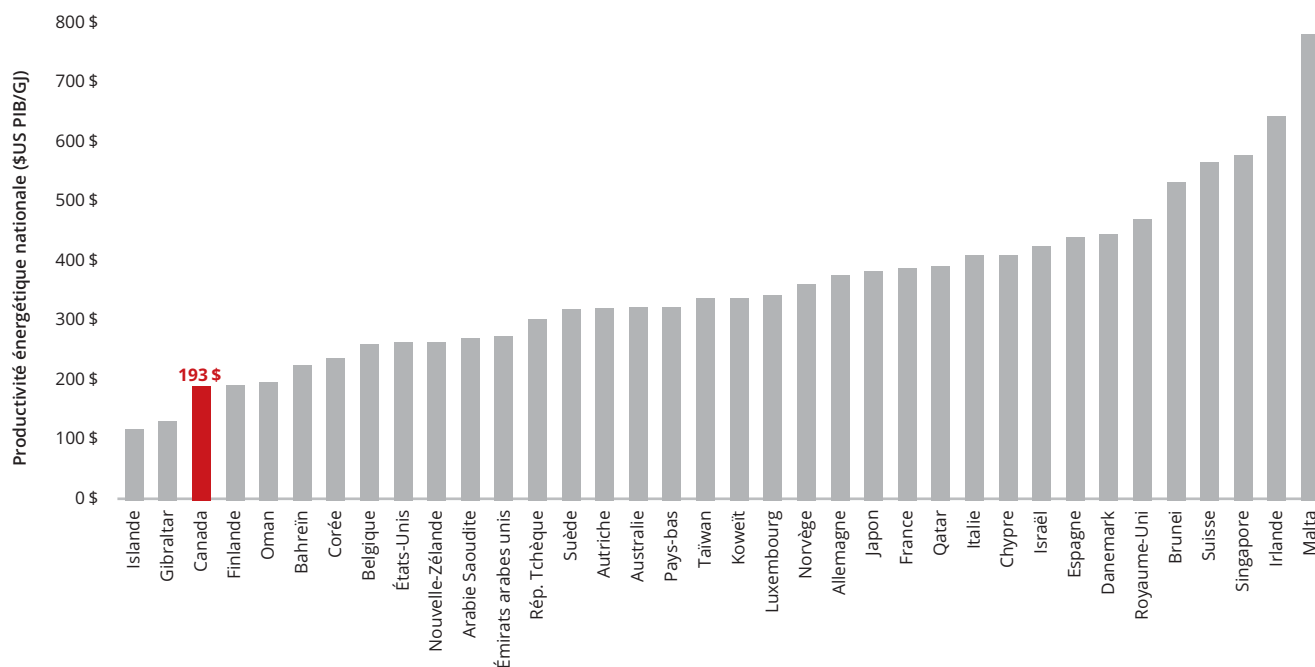
¹⁴ MERN, 2015. *Politique énergétique 2016-2025 - Tendances mondiales et continentales*, gouvernement du Québec, p.20, <https://mern.gouv.qc.ca/energie/politique/documents/fascicule-1.pdf>.

CHAPITRE 2 | L'énergie comme facteur de productivité des économies : comparaison internationale et provinciale

L'accès à des sources d'énergie a toujours joué un rôle essentiel dans la croissance et l'amélioration de la productivité des économies¹⁵, mais l'énergie n'est pas encore systématiquement considérée comme un facteur de productivité. On retrouve dans les écrits différentes mesures du travail et du capital, mais rien sur l'énergie bien qu'elle soit définie scientifiquement comme « la capacité à produire du travail¹⁶ ». Ceci devrait en faire un facteur important dans l'analyse de la productivité des économies.

Tant le Canada que le Québec gagneraient à mieux connaître la productivité énergétique de leurs économies, puisqu'elle compte parmi les moins performantes au monde. Comme le montre le graphique 4, le Canada ne génère que 192 \$PIB/GJ, soit moins que tous les autres pays du monde ayant un PIB par habitant supérieur à 30 000 US\$PPA, mis à part l'Islande et le Gibraltar. La forte productivité des pays analysés s'explique dans plusieurs cas par le fait qu'ils ont une économie de services. Mais lorsqu'on compare la productivité des sous-secteurs manufacturiers et des services par pays, on constate que le Canada se retrouve une fois de plus en queue de peloton (voir graphique 5).

GRAPHIQUE 4 | PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE (\$PIB/GJ) POUR LES PAYS AYANT UN PIB PAR HABITANT D'AU MOINS 30 000 US\$PPA*, 2016



Source : AIE, 2019¹⁷.

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

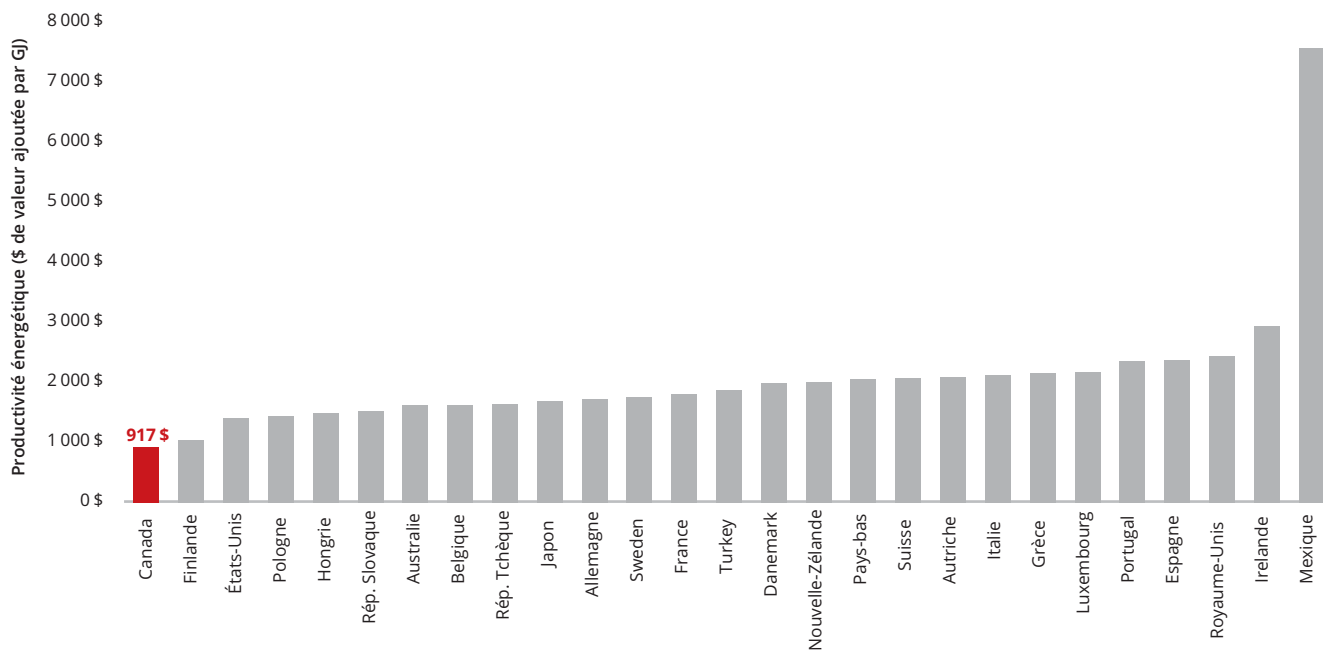
¹⁵ Stern, D.J., Kander, A., 2012. « The Role of Energy in the Industrial Revolution and Modern Economic Growth », *The Energy Journal*, vol. 33, n° 3, 125-152.

¹⁶ Cleveland, C.J., Morris, C., 2009. *Dictionary of Energy*, Elsevier Science, 1^{re} édition, www.elsevier.com/books/dictionary-of-energy/cleveland/978-0-08-096491-1.

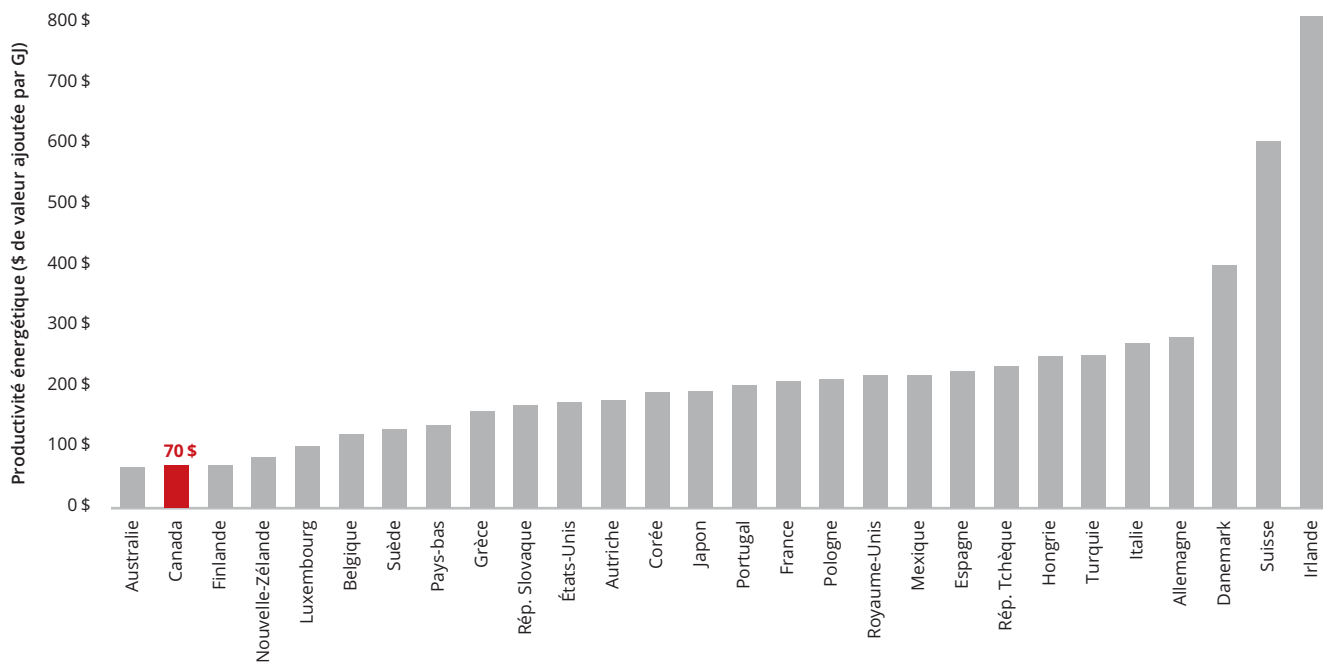
¹⁷ AIE, 2019. *World Energy Balances database*, Agence internationale de l'énergie, www.iea.org/statistics/balances.

GRAPHIQUE 5 | PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DES SECTEURS DES SERVICES ET INDUSTRIEL MANUFACTURIER POUR DES PAYS DE L'OCDE, 2016

a) Secteur des services (commerciaux et institutionnels)



b) Secteur industriel manufacturier

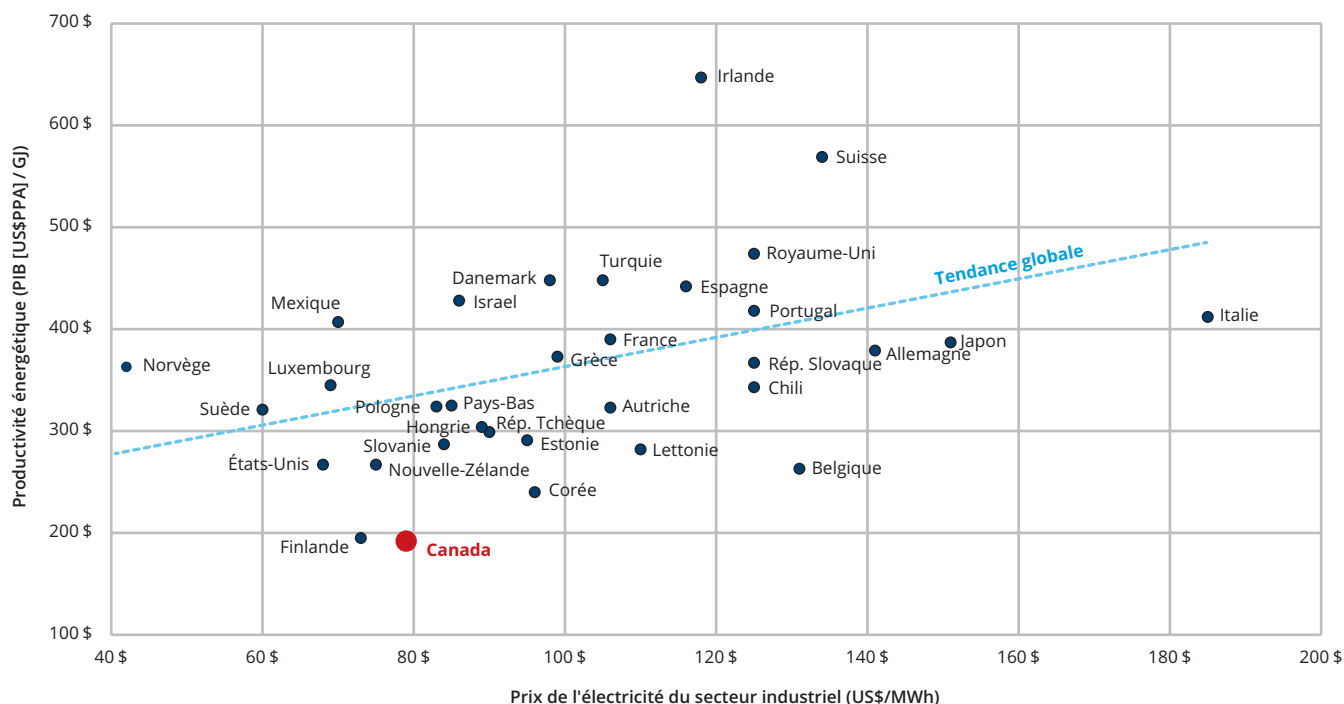


Source : AIE, 2019¹⁸.

¹⁸ AIE, 2019. *IEA Energy efficiency indicators database (2018 edition – extended version)*, Agence internationale de l'énergie, www.iea.org/statistics/efficiency/index.html.

Qu'est-ce qui explique ce retard ? Le climat et la structure industrielle du Canada ne peuvent expliquer entièrement cette situation. L'un des facteurs déterminants est le prix de l'énergie¹⁹ : plus les prix sont élevés, plus il existe un incitatif à innover et à devenir efficaces pour réduire l'incidence des coûts élevés de l'énergie. La productivité énergétique s'en trouve donc améliorée. Le graphique 6 décrit cette relation (illustrée ici par la productivité énergétique des pays et le prix industriel de l'électricité). Au Canada, comme au Québec, les prix de l'énergie sont parmi les plus bas au monde, ce qui contribue à expliquer sa faible productivité énergétique.

GRAPHIQUE 6 | PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE NATIONALE EN FONCTION DU PRIX INDUSTRIEL DE L'ÉLECTRICITÉ POUR LES PAYS DE L'OCDE, 2016



Source : AIE, 2019^{20,21}.

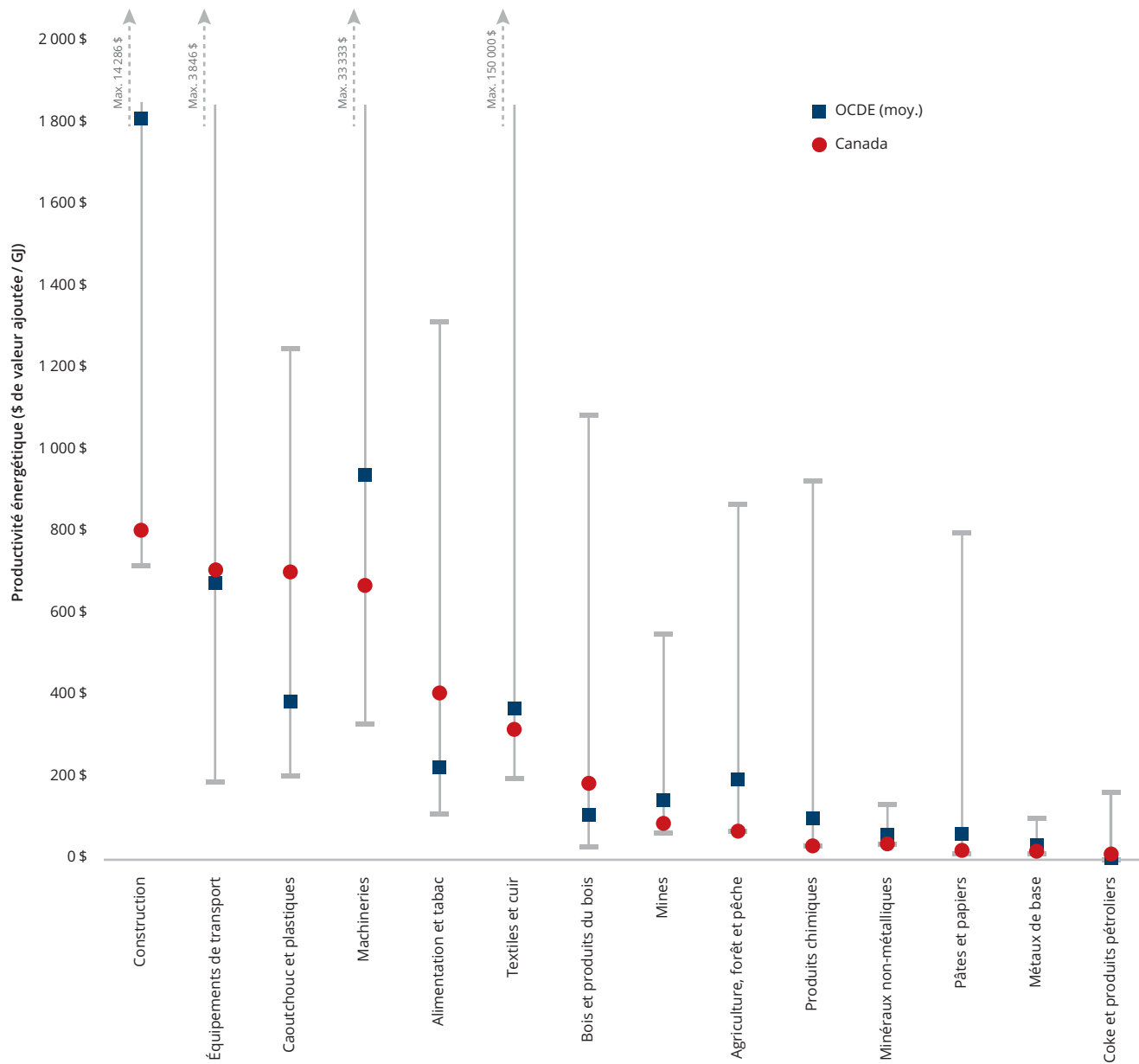
Ce constat de faible productivité énergétique vaut pour tous les sous-secteurs industriels et manufacturiers canadiens, comme en témoigne le graphique 7. Dans ce graphique, 14 sous-secteurs industriels et manufacturiers sont analysés pour 26 pays de l'OCDE. Le Canada possède la plus faible productivité énergétique dans la moitié (sept) de ces sous-secteurs. Sa productivité énergétique n'est supérieure à la moyenne que dans quatre de ces sous-secteurs : alimentation et tabac, bois et produits du bois, caoutchouc et plastiques et équipements de transport. Dans tous les cas, les sous-secteurs canadiens ne génèrent qu'une fraction de la valeur ajoutée par unité d'énergie par rapport aux pays ayant la plus grande productivité énergétique.

¹⁹ Atalla T., Bean P., 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.

²⁰ AIE, 2019. *World Energy Balances database*, Agence internationale de l'énergie, www.iea.org/statistics/balances.

²¹ AIE, 2019. *World Energy Prices database*, Agence internationale de l'énergie, www.iea.org/statistics/prices.

GRAPHIQUE 7 | COMPARAISON DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DES SOUS-SECTEURS INDUSTRIELS MANUFACTURIERS CANADIENS ET DE 26 PAYS DE L'OCDE (MINIMUM, MOYENNE ET MAXIMUM), 2016



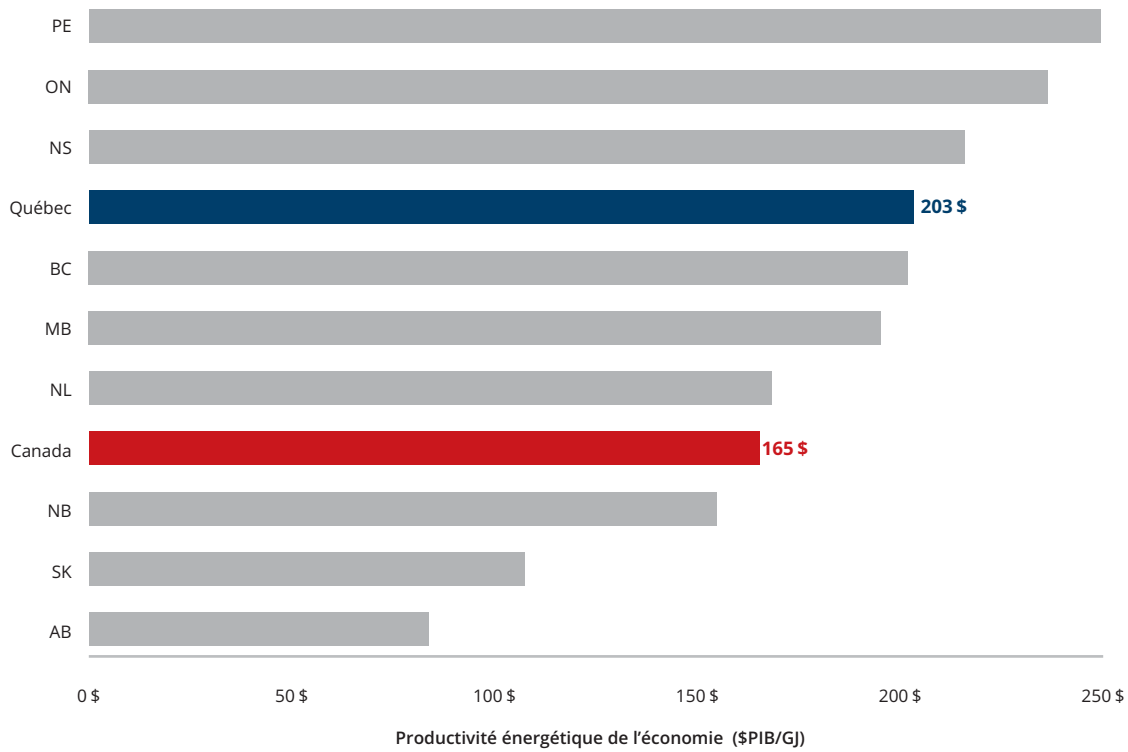
Source : AIE, 2019²².

Lorsqu'on compare la productivité énergétique de l'économie du Québec avec celle des autres provinces (voir graphique 8), le Québec (203\$/GJ) se retrouve au-dessus de la moyenne canadienne (165\$/GJ), mais elle est 14 % inférieure à celle de l'Ontario (236 \$/GJ), province avec laquelle il est le plus pertinent de le comparer considérant le poids économique de l'Ontario au Canada. L'économie québécoise est structurée de telle sorte que les secteurs de la fabrication, du commerce et de la construction sont responsables d'environ la moitié du PIB liées aux entreprises. La productivité énergétique de ces activités est donc particulièrement intéressante à analyser. Comme les données de la consommation énergétique et du PIB sont également disponibles, il est possible de calculer et de comparer la productivité énergétique de ces activités par province, ce qui n'est pas le cas pour d'autres secteurs²³. Et vu que les secteurs pour lesquels il n'existe pas de données sont aussi beaucoup moins énergivores que les secteurs industriels et manufacturiers, leur omission ne porte pas un préjudice important à l'analyse.

²² AIE, 2019. *IEA Energy efficiency indicators database (2018 edition – extended version)*, Agence internationale de l'énergie, www.iea.org/statistics/efficiency/index.html.

²³ Ressources naturelles Canada fournit des données de consommation par secteurs à travers sa *Base de données nationale sur la consommation d'énergie*. Ces données n'ont cependant pas été retenues, car leur concordance avec les données disponibles pour le PIB s'avère ardue.

GRAPHIQUE 8 | PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DES ÉCONOMIES DES PROVINCES CANADIENNES, 2015



Source : Statistique Canada, 2019^{24, 25}.

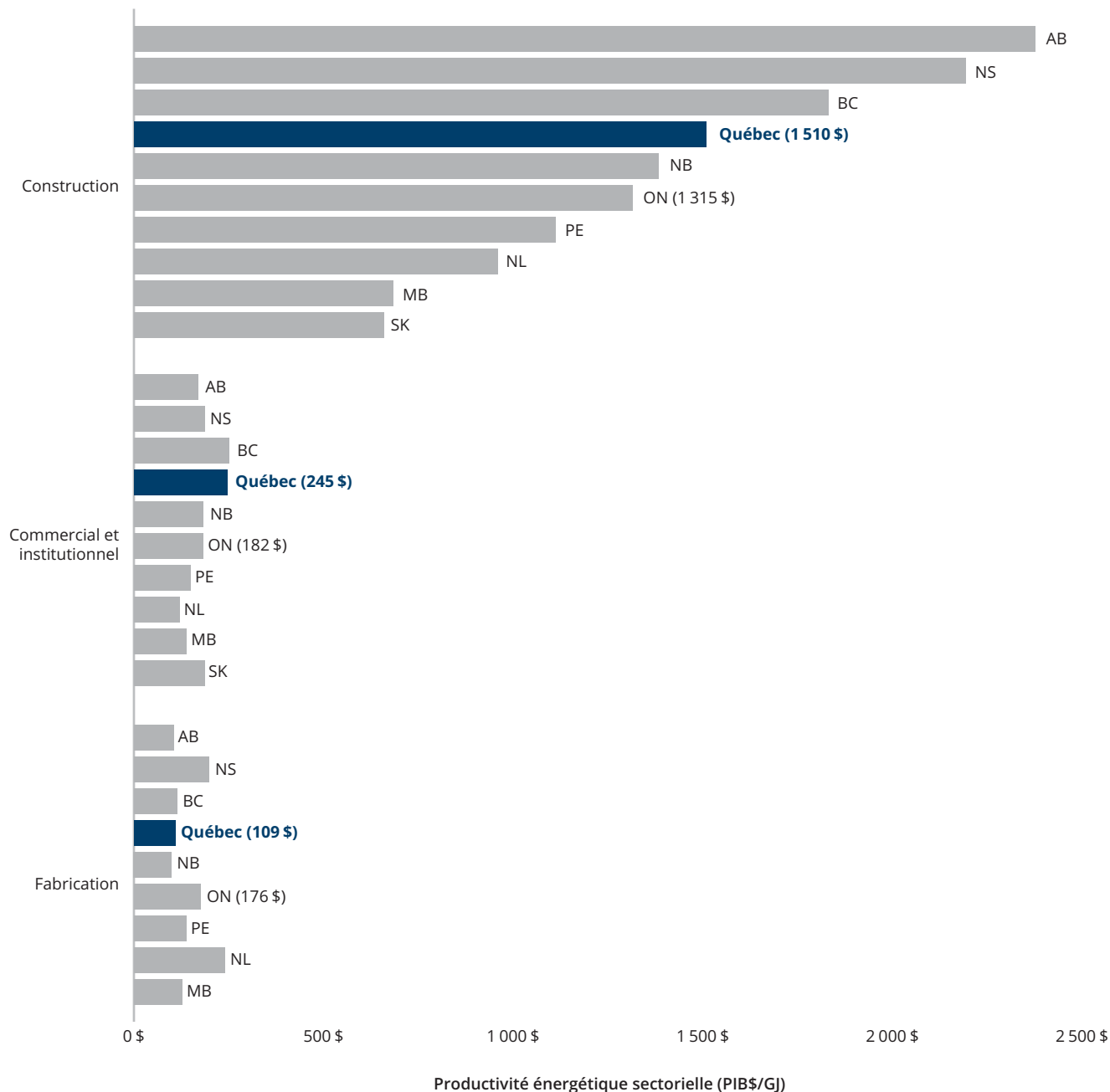
Selon le graphique 9, la productivité énergétique du secteur commercial au Québec est la deuxième plus élevée de toutes les provinces canadiennes, avec 245 \$/GJ. La situation diffère toutefois dans le secteur de la fabrication. Dans ce secteur, qui représente une part plus importante de l'économie québécoise que le commerce, le Québec (109 \$/GJ) est loin derrière l'Ontario (176 \$/GJ) en matière de productivité énergétique : la consommation énergétique y est près de trois fois plus grande. Un enjeu de compétitivité semble donc apparent.

Dans le secteur de la construction (le moins important des trois considérés en terme de PIB), le Québec, avec une productivité de 1 510 \$/GJ, fait meilleure figure que ses voisins immédiats (Ontario et Nouveau-Brunswick), mais se retrouve derrière l'Alberta, la Nouvelle-Écosse et la Colombie-Britannique. Dans ce secteur, où la valeur ajoutée par GJ est particulièrement grande, le niveau de productivité énergétique des trois provinces canadiennes affichant le meilleur résultat est équivalent à la moyenne mondiale, selon l'OCDE, soit près de 2 000 \$/GJ (voir graphique 9).

²⁴ Statistique Canada, 2019. *Tableau 36-10-0468-01 – Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, par région métropolitaine de recensement (RMR)*, gouvernement du Canada.

²⁵ Statistique Canada, 2019. *Tableau 25-10-0029-01 – Disponibilité et écoulement d'énergie primaire et secondaire en térajoules*, gouvernement du Canada.

GRAPHIQUE 9 | PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE DE TROIS IMPORTANTS SOUS-SECTEURS DE L'ÉCONOMIE DES PROVINCES CANADIENNES, 2015



Source : Statistique Canada, 2019^{26, 27}.

Quelques points saillants se dégagent de ce portrait comparatif de la productivité énergétique du Canada à l'échelle mondiale, et du Québec à l'échelle canadienne. Tout d'abord, le constat est clair : la productivité énergétique du Canada est faible. Ce bas niveau ne s'explique pas par sa structure industrielle plus axée vers les ressources naturelles et les industries à forte intensité énergétique, ou encore par son climat. Il est plutôt dû à une mauvaise performance énergétique causée, entre autres, par les prix relativement bas de l'énergie qui caractérisent le marché canadien.

²⁶ Statistique Canada, 2019. *Tableau 36-10-0211-01 – Productivité multifactorielle et variables connexes dans le secteur agrégé des entreprises et ses principaux sous-secteurs, selon des industries*, gouvernement du Canada, <https://doi.org/10.25318/3610021101-fra>.

²⁷ Statistique Canada, 2019. *Tableau 25-10-0029-01 – Disponibilité et écoulement d'énergie primaire et secondaire en térajoules*, gouvernement du Canada, <https://doi.org/10.25318/2510002901-fra>.

Le Québec, pour sa part, se situe au-dessus de la moyenne canadienne, mais seulement parce que celle-ci est tirée vers le bas par l'Alberta et la Saskatchewan, qui ont des taux de productivité énergétique extrêmement faibles. La productivité énergétique de l'économie québécoise, qui est d'environ 200 \$/GJ, est équivalente à celle de la Colombie-Britannique, plutôt qu'à celle de son voisin, l'Ontario, qui est de 236 \$/GJ. D'un point de vue concurrentiel, il importe donc que le Québec tente d'atteindre, voire de dépasser les niveaux de productivité de l'Ontario, dont les industries ont plus de chances de solliciter les mêmes marchés. Dans le secteur de la fabrication, proportionnellement la plus importante composante du PIB québécois, le retard du Québec est notable : 109 \$/GJ contre 176 \$/GJ pour l'Ontario. Seuls l'Alberta et le Nouveau-Brunswick ont des niveaux de productivité énergétique moins élevés pour ce secteur que le Québec. Des améliorations s'imposent.

Ces constats négatifs doivent cependant être interprétés positivement : l'analyse de la productivité énergétique permet d'identifier des occasions pour rendre nos économies et entreprises plus compétitives et résilientes. Les prochains chapitres présentent des indicateurs et des stratégies (bonifiés par des études de cas) qui peuvent être intégrés par les décideurs (gouvernements et entreprises) pour aller au-delà de l'efficacité énergétique et passer à une approche plus stratégique afin d'améliorer leur productivité énergétique.

CHAPITRE 3 | Indicateurs et mesures de la productivité énergétique

La mesure de la « productivité » est couramment utilisée dans le milieu des affaires pour désigner le rapport entre la valeur des résultats financiers et celle des ressources utilisées pour y parvenir, telles que la productivité de la main-d'œuvre ou du capital. Cependant, on y a rarement recours pour parler d'énergie. Si on associe le concept de productivité à celui de l'énergie, on peut mieux comprendre le niveau de création de la valeur économique liée à la consommation d'énergie, faisant ainsi de l'énergie un indicateur clé de performance.

Contrairement aux mesures d'efficacité qui sont plus ciblées et opérationnelles, le concept de productivité se veut global et stratégique, car il vise à stimuler l'atteinte d'objectifs de croissance économique en faisant simultanément appel à une amélioration continue des moyens et des pratiques de production ainsi qu'à une gestion plus efficace des approvisionnements et de la consommation d'énergie^{28,29}. Le tableau 1 offre un sommaire des principaux indicateurs de productivité de l'énergie et du carbone. D'un point de vue macroéconomique, la productivité énergétique mesure la richesse (PIB) créée à partir d'une consommation d'énergie donnée. Pour la productivité du carbone, il s'agit de richesse créée à partir d'une quantité d'émissions de GES donnée. Dans les deux cas, l'indicateur de productivité est l'inverse de celui de celui d'intensité qui, lui, reflète l'énergie utilisée ou les émissions de GES par unité de PIB. L'atteinte d'une plus grande productivité énergétique est donc le résultat d'une croissance économique et d'une réduction de la consommation d'énergie par des stratégies de gains d'efficacité, d'optimisation et d'innovation en gestion énergétiques.

Sur le plan microéconomique, la productivité énergétique mesure la valeur ajoutée (profit), liée à l'activité de production générée par unité d'énergie consommée. L'indicateur est donc associé à l'efficacité énergétique qui, elle, rend compte de la quantité d'énergie consommée par unité de production (ex., tonne/MJ, litres/MJ, nombres d'unités/MJ). Mais la mesure de productivité énergétique va plus loin en prenant en considération la création de revenus d'une entreprise par rapport à sa consommation d'énergie globale (valeur ajoutée \$/MJ)³⁰.

Pour les entreprises ayant des émissions de GES de sources énergétiques et non énergétiques (ex., procédés, fugitives), il est possible de définir un indicateur de productivité du carbone basé sur les émissions directes totales ou, pour une plus grande précision, un indicateur basé sur les émissions énergétiques et non énergétiques. Ce type d'indicateur peut être utile pour mesurer l'amélioration de la performance environnementale. Mais contrairement à la productivité énergétique, cet indicateur n'évalue pas la productivité, mais plutôt l'impact des externalités environnementales négatives³¹. Il ne peut pas être utilisé dans toutes les circonstances, notamment si aucun carbone n'est émis ou si les émissions sont compensées³².

²⁸ 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).

²⁹ Une enquête menée auprès de gestionnaires d'entreprises québécoises par la Chaire de gestion du secteur de l'énergie (2015) révélait également le caractère encore trop opérationnel de la gestion de l'énergie, alors que cet enjeu devient de plus en plus stratégique dans la nouvelle réalité du marché en raison des contraintes environnementales, sociales et politiques.

³⁰ 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.

³¹ Lu, M., Wang, X., Cang, Y., 2018. « Carbon Productivity: Findings from Industry Case », *Energies*, MDPI, Open Access Journal, vol. 11, n° 10, p. 4.

³² Dans une situation où une entreprise compense ses émissions de GES (voir, par exemple, le cas de Tafisa au chapitre 5), l'indicateur de productivité de carbone ne peut fonctionner que s'il y a des émissions résiduelles. Or, en l'absence de protocole pour l'attribution des émissions évitées entre les parties, il est préférable d'utiliser les émissions totales déclarées dans les registres officiels (ex. MELCC, ECCC).

L'intensité et la productivité énergétiques sont des mesures inverses l'une de l'autre, puisqu'elles sont calculées à partir des mêmes informations. Or, une stratégie de gestion de l'énergie fondée sur la productivité de l'énergie offre plusieurs avantages (voir l'encadré 1), car elle élève l'énergie et les émissions de GES au rang d'indicateurs stratégiques dans les processus décisionnels d'une entreprise ou d'une économie. Contrairement à la mesure d'intensité qui cherche à minimiser la consommation (ou les émissions de GES) par unité de production ou de PIB, l'amélioration de la productivité vise à maximiser la création de valeur économique liée à la consommation d'énergie et d'émissions de GES³³ en favorisant l'optimisation des ressources énergétiques et, par conséquent, la réduction, voire l'élimination de leur gaspillage de même que la réduction des impacts causés par les GES. Une approche axée sur la productivité énergétique permet donc de mieux poursuivre les progrès réalisés par des mesures d'efficacité énergétique, tout en tentant d'augmenter les retombées économiques de chaque unité d'énergie utilisée.

Pour intégrer et profiter pleinement des retombées d'une approche axée sur l'amélioration de la productivité énergétique, la direction d'une entreprise doit prendre deux initiatives : 1) assurer un suivi individuel de l'énergie et des émissions de GES dans les rapports des indicateurs clé de performance de l'entreprise (voir exemple dans le tableau 2); 2) mesurer la consommation d'énergie et les émissions de GES par rapport à leur valeur ajoutée, et non seulement la production unitaire liée à ses activités. L'entreprise doit donc élaborer une stratégie d'investissement qui tient compte de l'impact global de la consommation de toutes les sources d'énergie de l'usine par rapport à sa valeur produite, plutôt que de n'évaluer que la réduction de sa facture énergétique à la suite d'une amélioration ponctuelle, d'un procédé ou d'une technologie, segmentée par source d'énergie (ex., gaz naturel, électricité, mazout, etc.).

Une stratégie visant l'amélioration de la productivité tient compte des répercussions économiques globales liées aux améliorations de la gestion énergétique en entreprise, tandis que l'efficacité ne tient compte que de l'amélioration dans un segment. Lorsqu'ils sont évalués de façon segmentée, les gains peuvent paraître marginaux et offrir peu d'incitatifs pour les dirigeants d'une entreprise.

TABEAU 1 | SOMMAIRE DES PRINCIPAUX INDICATEURS DE PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE ET DU CARBONE^o

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	$\frac{\text{Valeur ajoutée (\$)}}{\text{GJ}^*}$	Valeur ajoutée manufacturière (VA), soit la valeur de l'expédition moins le coût de l'énergie, des matériaux et des frais de service**. 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.

³³ KAPSARC, 2018. *Towards Economic Prosperity Through Industrial Energy Productivity Improvement, A Saudi Arabia-China Joint Report*, KS-2018-DP28.

Productivité du carbone ^o	$\frac{\text{Valeur ajoutée (\$)}}{\text{tonne éq. CO}_2}$	Indicateur complémentaire à la productivité énergétique qui mesure la valeur ajoutée manufacturière (VA) 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	$\frac{\text{Valeur ajoutée (\$)}}{\text{Coût de l'énergie (\$)}}$	Mesure la valeur ajoutée manufacturière 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.
	$\frac{\text{Valeur ajoutée (\$)}}{\text{GJ}^*}$	Mesure la VA 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. Contrairement à la mesure de VA (un indicateur commun pour plusieurs usines), 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	$\frac{\text{Valeur ajoutée (\$)}}{\text{tonne éq. CO}_2}$	Indicateur complémentaire à la productivité énergétique qui mesure la VA 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 des GES sur le plan de la production d'une usine. Contrairement à la mesure de valeur ajoutée manufacturière (un indicateur commun pour plusieurs usines), 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.

Sources : McNeil et coll., 2016³⁴ ; OCDE, 2012³⁵.

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.

³⁴ 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/sites/all/files/publications/lbnl-1005695_energy_efficiency_indicators.pdf.

³⁵ 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>.

ENCADRÉ 1 |

Avantages de l'utilisation d'indicateurs de productivité énergétique

L'intensité et la productivité sont des mesures inverses l'une de l'autre puisqu'elles sont calculées à partir de la même information. La mesure de la productivité énergétique offre toutefois plusieurs avantages :

- Elle aligne plus étroitement les mesures d'efficacité énergétique sur la croissance économique ;
- Elle offre un cadre plus positif pour faire le suivi de la performance énergétique ;
- La compréhension de mesures de productivité par les dirigeants d'entreprise et les décideurs est plus intuitive ;
- Les objectifs de productivité énergétique offrent une perspective plus ambitieuse que l'équivalent en intensité ;
- Une stratégie de gestion énergétique axée sur l'amélioration de la productivité énergétique peut générer des cobénéfices non énergétiques (ex., réductions des coûts d'opération et de maintenance ; optimisation de l'utilisation de ressources ; amélioration de la santé et sécurité du milieu de travail).


Ces avantages permettent de mieux poursuivre les progrès réalisés par des mesures d'efficacité énergétique, tout en maximisant les retombées économiques de chaque unité d'énergie utilisée³⁶ pour différents usages dans l'économie ou dans l'entreprise. Ainsi, une stratégie de gestion de l'énergie fondée sur l'amélioration de la productivité énergétique peut aider à rendre plus compatible l'atteinte d'objectifs de croissance économique par une consommation plus stratégique de l'énergie et la réduction d'émissions de GES.

Source : Bean, 2014³⁷.

³⁶ Puca, D. 2016. *The economic benefits of increasing energy productivity are clear, tangible and immediately effective*, The Climate Group, blogue publié le 13 septembre 2016, www.theclimategroup.org/news/economic-benefits-increasing-energy-productivity-are-clear-tangible-and-immediately-effective.

³⁷ Bean, P., 2014. *The Case for Energy Productivity: It's not just Semantics*, KAPSARC, Discussion Paper KS-1402-DP01B, mars 2014.

TABLEAU 2 | EXEMPLE D'INTÉGRATION D'INDICATEURS DE PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE ET DE CARBONE DANS UN RAPPORT D'INDICATEURS CLÉS DE PERFORMANCE (ICP) UTILISÉS EN ENTREPRISE

 <p>ICP RÉSULTATS</p> <p>ICP IMPACTS</p>	ICP stratégies <ul style="list-style-type: none"> • Croissance des revenus (chiffre d'affaires global) • Amélioration de la rentabilité globale (marge nette) • Amélioration de l'efficacité des opérations (marge brute) 					
	ICP financiers <ul style="list-style-type: none"> • \$ de ventes par segment de marché ou par gamme de produits • % de profit • % ratios comptables et financiers clés 					
	ICP performance Ex., volume d'activités par heure travaillée ; quantité produite par heure travaillée ; \$ de ventes par \$ payé ; taux de productivité opérationnelle ; taux de productivité financière ; etc.	ICP qualité Ex., taux de rejet ; taux de qualité ; coût des défauts ; nombre de non-conformités ; etc.	ICP délais Ex., rapidité d'exécution par processus, tâche ou fonction ; suivi de l'avancement de l'échéancier ; taux de respect des délais ; etc.	ICP coûts Ex., suivi des coûts unitaires de production ; suivi du prix de revient ; suivi des coûts de matériaux ; suivi des budgets de dépenses ; etc.	ICP santé et sécurité au travail (SST) Ex., nombre de jours sans accident ; coût des incidents de SST ; nombre de mesures d'amélioration ; etc.	
	ICP développement organisationnel Ex., taux de roulement ; taux de rétention ; taux d'absentéisme ; taux de satisfaction des employés ; suivi des initiatives de formation ; etc.					

Source : adaptation d'un tableau réalisé par Énergir, 2018³⁸.

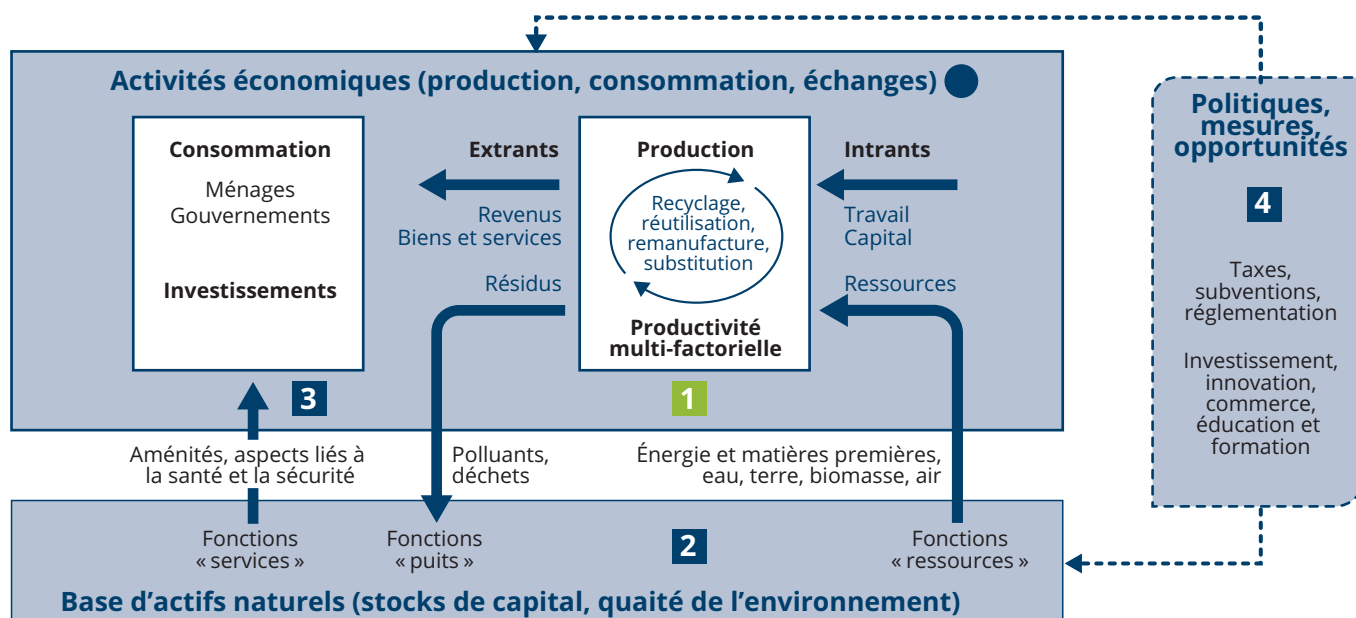
Note : Le taux de productivité énergétique sur la base du volume de production par unité d'énergie consommée (ex., tonne/GJ) est adéquat lorsque le produit demeure le même. Par contre, lorsque le produit est amélioré, lorsqu'il y a plusieurs produits différents ou de nouveaux produits dont les volumes de production varient, le taux de productivité énergétique sur la base de la valeur ajoutée manufacturière par unité d'énergie consommée ou par tonne de GES est préférable pour refléter la productivité énergétique de l'ensemble de l'usine. Ce qui importe est la valeur économique produite par unité de consommation d'énergie. Ainsi, pour devenir plus compétitif dans la transition énergétique, il faut viser à accroître le numérateur et diminuer le dénominateur.

Il est important de noter qu'avant d'intégrer des indicateurs de productivité 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 suivi (voir graphique 10)³⁹.

De façon générale, l'utilisation d'indicateurs sert de référence pour identifier les mesures prioritaires visant à réaliser une transition et en évaluer la performance par rapport aux objectifs fixés. Les progrès réalisés ne peuvent être captés par un seul indicateur. La productivité de l'énergie et du carbone affichent certaines limites, notamment en raison de l'effet rebond qui sera abordé dans la prochaine section de ce chapitre. Compte tenu de ces limites, l'utilisateur (des indicateurs) doit prendre en considération le contexte propre à un sous-secteur industriel (ex., sidérurgie, pâtes et papiers, raffinage pétrolier), un secteur de l'économie (ex., transport, bâtiment), ou une économie régionale ou nationale. Ainsi, pour tirer pleinement profit des indicateurs de productivité de l'énergie et du carbone, ceux-ci doivent s'inscrire dans un cadre stratégique global et être considérés comme étant complémentaires à d'autres mesures de suivi de performances environnementales et économiques.

³⁸ Énergir, 2019. *Les indicateurs clés de performance – Quelques exemples*, www.energir.com/~media/Files/Affaires/Blogue_PME/Mesures%20de%20performance_FR.pdf?la=fr (consulté le 29 août 2019).

³⁹ 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.



- 1** Indicateurs de suivi de la productivité environnementale et des ressources
- 2** Indicateurs de suivi de la base d'actifs naturels
- 3** Indicateurs de suivi de la qualité environnementale de la vie
- 4** Indicateurs de suivi des opportunités économiques et des réponses politiques
- Le contexte socio-économique et les caractéristiques de la croissance

Source : graphique tiré de OCDE, 2012⁴⁰.

L'effet rebond : état des lieux et options pour son atténuation

Tant la productivité énergétique que l'efficacité énergétique sont des mesures relatives et ne sont pas garantes d'une réduction globale de la consommation et des impacts environnementaux liés aux activités économiques. En effet, bien que l'efficacité énergétique et des ressources s'améliorent au fil du temps, principalement en raison d'innovations technologiques, la pression sur l'environnement, en termes absolus, ne cesse d'augmenter. Ce constat a mené plusieurs études à décrire une relation négative entre l'amélioration de l'efficacité et la consommation de ressources – la logique voulant que, d'un point de vue systémique, une amélioration de l'efficacité entraîne une augmentation de la consommation qui vient annuler une partie des gains environnementaux sur le plan global^{41, 42, 43}. D'un point de vue microéconomique, l'effet rebond se produit du fait qu'une amélioration de l'efficacité permet de réduire le coût de production d'une entreprise, et donc d'augmenter son offre à un plus bas prix qui, à son tour, contribue à faire croître la demande et la consommation d'un bien ou d'un service. Ce phénomène paradoxal, connu sous le nom d'« effet rebond » (et aussi sous le nom de « paradoxe de Jevons »), se définit comme la consommation additionnelle d'énergie (ou autres ressources), liée à un changement global de la demande, qui résulte d'un changement de comportement des consommateurs ou des producteurs en réponse à un gain en efficacité⁴⁴.

⁴⁰ *Ibid.*, p. 12.

⁴¹ 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.

⁴² 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>.

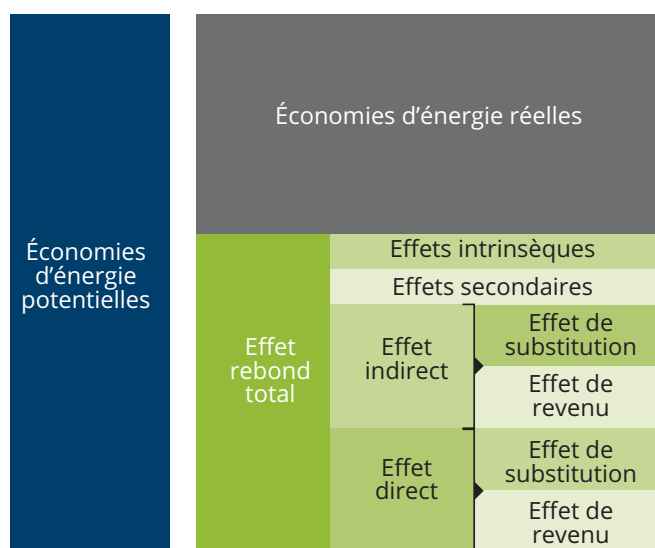
⁴³ Font Vivanco, D., Kemp, R., van der Voet, E., 2016. « How to deal with the rebound effect? A policy-oriented approach », *Energy Policy*, vol. 94, p. 114-125.

⁴⁴ *Ibid.*, p. 115.

On donne souvent l'exemple des améliorations de la performance des voitures en matière de consommation d'essence à travers le temps, qui ont contribué à une baisse du coût de cette forme de mobilité. Plutôt que de simplement réduire la demande de carburant, l'efficacité accrue des véhicules a entraîné une hausse des déplacements de la part des usagers de la voiture personnelle, de même que l'achat de plus grosses voitures (*effet rebond direct*), ou encore l'achat d'autres biens grâce aux économies engendrées par une réduction des dépenses en carburant (*effet rebond indirect*). Selon le European Council for an Energy Efficient Economy, les améliorations de l'efficacité de la consommation d'essence des véhicules auraient un effet rebond *direct* moyen d'environ 32 % à long terme, c'est-à-dire que le tiers des économies prévues par ces mesures ne seraient pas réalisées⁴⁵. Par conséquent, la consommation globale de carburant – et ses impacts environnementaux – diminue moins que prévu. Dans certains cas, il peut même y avoir une hausse de la consommation si une nouvelle efficacité énergétique rend, par exemple, une technologie beaucoup plus abordable et attire de nouveaux consommateurs. Le nouvel attrait peut faire augmenter la demande totale, et conséquemment l'impact total, au-delà de son niveau initial.

Le phénomène de l'effet rebond a été davantage étudié du côté des consommateurs résidentiels que de celui des producteurs industriels. Les études démontrent que l'ampleur de cet effet peut varier considérablement selon les différents secteurs et les différentes technologies, soit entre des niveaux relativement faibles (0-20 %) à très élevés (plus de 50 %), voire même parfois contreproductif (plus de 100 %). Les différences entre les méthodologies utilisées, ainsi que les définitions des limites du système analysé (ex., temporelle, géographique, cycle de vie, etc.), peuvent expliquer en partie les écarts observés. Mais de façon générale, les études et les données demeurent plutôt rares. De plus, il existe de nombreux types d'effets rebond (ex., direct, indirect, intrinsèque, secondaire, transformationnel, etc. ; voir le graphique 11)⁴⁶. L'effet rebond est donc le résultat de l'interaction de multiples facteurs qui peuvent se renforcer ou se compenser. Tous ces éléments font en sorte que les analyses et les mesures de l'ampleur de l'effet sont complexes. L'existence du phénomène et la pertinence d'inclure des mesures pour l'atténuer dans les politiques d'efficacité et d'innovation énergétiques sont toutefois peu contestées dans le milieu de la recherche. Autrement dit, bien que des incertitudes planent quant à l'ampleur de l'effet rebond, les probabilités élevées de son importance justifient les efforts pour tenter de le minimiser.

GRAPHIQUE 11 | SCHÉMA DE L'IMPACT DE DIFFÉRENTS TYPES D'EFFETS REBOND SUR LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE POTENTIELLES, ET LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE RÉELLES QUI EN RÉSULTENT



Source : graphique tiré de Sorrell, Gatersleben, Druckman, 2018⁴⁷. Traduction par les auteurs.

⁴⁵ Sorrell, S., Gatersleben, B., Druckman, A., 2018. *Energy sufficiency and rebound effects*, Concept Paper, European Council for an Energy Efficient Economy [ECEEE], www.energysufficiency.org/static/media/uploads/site-8/library/papers/sufficiency-rebound-final_formatted_181118.pdf.

⁴⁶ Pour la liste des différents types d'effet rebond, consultez : Sorrell, S., Gatersleben, B., Druckman, A., 2018. *Energy sufficiency and rebound effects – Concept Paper*, European Council for an Energy Efficient Economy [ECEEE], p. 10, www.energysufficiency.org/static/media/uploads/site-8/library/papers/sufficiency-rebound-final_formatted_181118.pdf et van den Bergh, 2010. « Energy Conservation More Effective With Rebound Policy », *Environ Resource Econo*, vol. 49, p. 47, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10640-010-9396-z.pdf>.

⁴⁷ 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.

Selon une étude réalisée pour l'Organisation des Nations unies pour le développement industriel (ONUDI), l'ampleur de l'effet rebond est typiquement plus modeste lorsque les dépenses énergétiques sont relativement faibles par rapport aux dépenses totales. Ainsi, les secteurs dont les dépenses énergétiques sont plus importantes par rapport aux dépenses totales seront plus à risque de subir un effet rebond élevé à la suite de la mise en œuvre de mesures d'amélioration de l'efficacité. Le tableau 3, tiré de la même étude, présente une évaluation qualitative de l'effet rebond lié à la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique pour différents types d'activités industrielles. On constate que les améliorations de l'efficacité des activités de procédés industriels et de transport commercial sont plus à risque de subir un effet rebond important.

TABLEAU 3 | ÉVALUATION QUALITATIVE D'INDICATEURS D'EFFET REBOND POTENTIEL LIÉ À L'AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ DE CERTAINES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES CONSOMMANT DE L'ÉNERGIE

Activités industrielles consommant de l'énergie	Proportion d'énergie consommée	Économie d'énergie (avec ou sans amélioration d'efficacité)	Types d'améliorations de l'efficacité énergétique		
		Ratio des dépenses énergie/dépenses totales	Utilisation plus intensive d'équipements existants (effet rebond direct)	Effet sur la productivité (effet sur d'autres facteurs de production)	Effet de diffusion technologique (particulièrement les technologies qui sont omniprésentes dans l'économie, (ex., l'Internet, l'automobile...))
Éclairage	Faible	Faible	Moyen	Faible	Aucun
Réfrigération	Moyen	Faible	Faible	Faible	Aucun
Climatisation d'espace	Moyen	Moyen	Faible	Faible	Faible
Chauffage d'espace	Moyen	Élevé	Faible	Faible	Aucun
Chauffage d'eau	Moyen	Faible	Faible	Faible	Aucun
Procédés industriels	Élevée	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen
Transport et logistique	Élevée	Élevé	Élevée	Moyen	Moyen

Source : tableau tiré de Van den Bergh, 2011⁴⁸. Traduction par les auteurs.

Il existe différents moyens pour atténuer l'effet rebond associé aux mesures d'amélioration de l'efficacité et de la productivité énergétiques des activités économiques. Il est toutefois clair que l'approche la plus efficace, selon les études, est l'utilisation de mesures fiscales adaptées qui permettraient d'internaliser les coûts associés aux externalités négatives (écofiscalité). Le plus simple est de mettre un prix significatif sur la pollution ou l'énergie, ce qui incite à rechercher l'efficacité dans l'utilisation des ressources et décourage la surconsommation.

Selon l'étude de l'ONUDI, pour minimiser l'effet rebond et maximiser l'efficacité des mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique, il faut que les mesures augmentent le coût par unité d'énergie consommée et limitent la consommation totale d'énergie ou d'émissions de GES. Le tableau 4 de la même étude, montrent que les mesures n° 1 et 2 seraient moins efficaces pour prévenir l'effet rebond, puisqu'elles n'augmentent pas le coût de l'énergie par unité consommée, ce qui pourrait entraîner des effets rebond directs et indirects considérables. De plus, ces mesures n'ont aucun impact sur la croissance de la consommation totale d'énergie ou des émissions de GES, faisant en sorte qu'une hausse de la productivité, l'émergence de nouvelles préférences, l'adoption de nouvelles technologies ou la croissance de revenus pourront contribuer à une hausse de la consommation de services

⁴⁸ 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>.

énergétiques qui sort du cadre réglementaire. L'utilisation de subventions seules (mesure n° 3) sont considérées comme étant inefficaces (ex., la subvention à l'achat de véhicules électriques), car elles peuvent exacerber l'effet rebond des mesures n° 1 et 2, vu que la capacité de dépenser des consommateurs d'énergie ou des émetteurs augmente avec la subvention (autrement dit, le coût d'opportunité est élevé). Une approche basée uniquement sur la réglementation des prix ou encore sur l'imposition d'une taxe sur le carburant ou les émissions de GES évite les problèmes des mesures n° 1 à 3, car elle augmente le coût unitaire d'énergie consommée et atténue l'effet rebond. Cette mesure pourrait cependant exiger de nombreux ajustements dans le temps pour s'assurer que la consommation totale d'énergie ou les émissions de GES d'un système aient tendance à baisser. C'est seulement avec les permis échangeables, comme le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre (SPEDE) au Québec, qui limite à la fois les émissions totales de GES et augmente le coût unitaire des énergies émettrices, qu'on peut maximiser les répercussions des mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique tout en minimisant l'effet rebond et l'énergie consommée de façon optimale.

TABLEAU 4 | IMPACTS DE MESURES GOUVERNEMENTALES SUR L'EFFET REBOND

Mesures gouvernementales pour encourager l'efficacité énergétique et/ou la réduction des GES	Diminution de l'effet rebond par...	
	...un impact sur le coût par unité d'énergie consommée ?	...un impact sur la consommation totale d'énergie (ou d'émissions de GES)
1. Information et sensibilisation (action volontaire)	Non	Non
2. Réglementation/normes directes ou physiques (ex., normes, codes ou standards 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, 2011⁴⁹. Traduction par les auteurs.

Le fait d'améliorer la productivité de l'énergie et des ressources peut réduire les impacts environnementaux liés aux activités économiques. Mais sans une approche systémique qui tient compte de l'effet rebond, le niveau de consommation et les impacts environnementaux continueront d'augmenter à l'échelle globale. L'effet rebond ne remet pas en cause l'intérêt de mettre en œuvre des politiques de productivité ou d'efficacité énergétique. Cependant, comme le souligne le gouvernement allemand, les décideurs doivent prendre conscience que l'effet rebond affaiblit l'impact des politiques de décarbonisation et nous éloigne de l'atteinte des objectifs de réduction de la consommation d'énergie et des émissions de GES⁵⁰. Le phénomène est non négligeable. Les gouvernements doivent donc en tenir compte afin d'optimiser l'efficacité de leurs politiques – et des investissements engagés – visant la décarbonisation de l'économie et la transition énergétique.

Dans un contexte idéal, le Québec devrait élargir la couverture du SPEDE au 15% des secteurs économiques qui n'y sont pas encore assujettis, soit les secteurs de l'agriculture et de la gestion des matières résiduelles. Il devrait aussi revoir plus tôt que tard les allocations gratuites à certains grands émetteurs et modifier les tarifs à ses frontières pour imposer un prix sur le carbone aux émissions générées par la production des biens échangés qui échappent à la tarification au carbone. En l'absence de tels mécanismes et un prix du carbone suffisamment élevé pour changer les comportements des consommateurs (industriels et particuliers), le SPEDE devra être renforcé par des mesures complémentaires (ex., réglementation, subventions, programmes d'information) qui devront être élaborées et adaptées par la suite de façon à ne pas inciter ou stimuler certains types d'effets rebond.

⁴⁹ 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>.

⁵⁰ 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 (consultée le 11 septembre 2019).

Encadrer la productivité énergétique pour minimiser l'effet rebond en entreprise

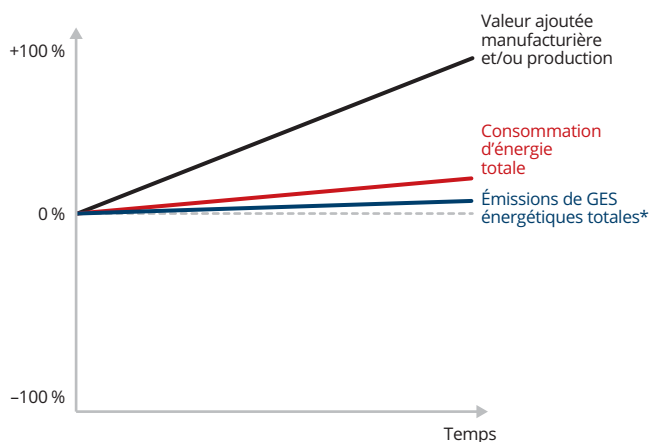
Plusieurs États ont mis en œuvre des stratégies d'amélioration de la productivité énergétique (voir chapitre 4). Celles-ci reposent principalement sur l'implantation de systèmes de gestion de l'énergie dans le cadre d'accords volontaires ou négociés avec l'industrie afin d'assurer une amélioration continue vers une cible de productivité énergétique globale par secteurs ou entreprises. L'établissement d'objectifs visant une croissance de la valeur économique ajoutée et une diminution de la consommation d'énergie et des émissions de GES de manière absolue permettrait d'amorcer une transition énergétique compétitive et performante. Avant d'adopter une stratégie et des mesures d'amélioration de la productivité énergétique, il est donc prioritaire de définir des cibles sectorielles d'amélioration de la productivité énergétique ainsi que des cibles globales de réduction de la consommation d'énergie et des émissions de GES.

L'approche conventionnelle fondée sur des programmes d'aide financière par projet, sans objectifs globaux d'amélioration dans les usines, pourrait entraîner d'importants effets rebond et un gaspillage de ressources. À titre d'illustration, un programme gouvernemental axé sur l'efficacité énergétique peut financer un projet de réduction des émissions de GES dans la division d'une entreprise. Les gains économiques dégagés sont ensuite réinvestis dans un autre projet (ex., agrandissement, nouveau produit, changement de procédés), ce qui a pour effet d'accroître l'incidence de ce programme sur l'ensemble des divisions de l'usine. Une approche globale et systémique est donc nécessaire pour assurer une amélioration globale et continue de la performance (voir notamment les stratégies abordées au chapitre 4).

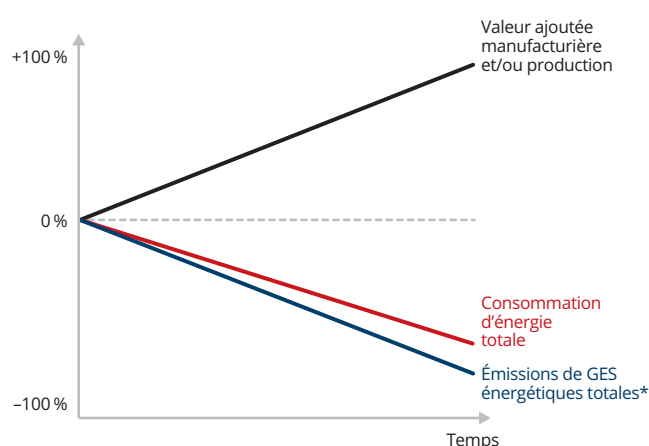
L'amélioration de la productivité de l'énergie et du carbone peut être relative ou absolue (voir graphique 12). Lorsqu'elle est relative, elle peut entraîner une hausse de la consommation d'énergie et des émissions de GES liées à l'effet de la croissance économique. Lorsqu'elle est absolue, la valeur économique produite augmente alors que l'énergie consommée et les émissions de GES diminuent. Dans ce dernier cas, l'effet rebond est atténué, ce qui permet de découpler la croissance de la valeur économique de la consommation d'énergie et des émissions de GES qui, elles, diminuent.

GRAPHIQUE 12 | SCHÉMAS CONCEPTUELS DE DÉCOUPLAGES RELATIFS ET ABSOLUS ASSOCIÉS À L'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE

a) Découplage relatif



b) Découplage absolu



Source : préparé par les auteurs.

Note : *Aux fins d'illustration du principe de découplage, les graphiques présentés ici ne font référence qu'aux émissions de GES de source énergétique. Or, dans le cas des entreprises qui ont des émissions de GES de sources non énergétiques (ex., issu de procédés ou fugitives), il est recommandé d'utiliser, en plus d'un indicateur de productivité énergétique, des indicateurs de productivité du carbone de source énergétique, et de productivité du carbone de source de procédés. Dans ce cas, le découplage entre la croissance de la valeur ajoutée manufacturière (ou de la production) et les émissions de GES énergétiques pourrait être absolu alors que le découplage avec les émissions de GES issus des procédés pourrait être relatif ou même inexistant.

Une amélioration de la productivité peut s'accompagner, ou non, d'une réelle réduction des émissions et de la consommation (voir graphique 12). Pour éviter que l'efficacité et l'impact environnemental des mesures de productivité énergétique ne soient affaiblis par l'effet rebond, il est important d'intégrer les moyens suivants dans les programmes et plans de transition énergétique et de décarbonisation :

- Adoption d'accords (volontaires ou négociés) avec les sous-secteurs industriels pour implanter les systèmes de gestion d'énergie en entreprise (ex., ISO 50001 ou équivalents) de façon prioritaire afin d'assurer la mise en œuvre de plans d'efficacité énergétique, de décarbonisation et d'amélioration continue vers des objectifs globaux;
- Publication d'un rapport annuel d'indicateurs de performance énergétique des entreprises et des sous-secteurs ;
- Adoption d'objectifs d'amélioration de la productivité énergétique comportant des cibles sectorielles (et par entreprise, si elle reçoit des subventions gouvernementales pour l'efficacité énergétique) ;
- Création de services d'accompagnement aux entreprises par des réseaux d'apprentissage et des plateformes de partage (ex., *Learning energy efficiency network*) regroupant des entreprises et des outils d'analyse, de mesure et de suivi ;
- Considérer davantage l'incidence de la consommation d'énergie et des émissions de GES sur le cycle de vie des produits⁵¹.

⁵¹ Voir les outils d'analyse de cycle de vie des produits du CIRAIG, www.ciraig.org/fr/outils.php.

CHAPITRE 4 | Principales stratégies pour accélérer la productivité énergétique

Les membres du G20 ont une vision commune selon laquelle la transition vers un système énergétique à faible émission de carbone est réalisable. Toutefois des améliorations substantielles de la productivité énergétique seront nécessaires pour y parvenir⁵².

Plusieurs États ont déjà adopté des stratégies d'amélioration de leur productivité énergétique afin de conserver et d'améliorer leur compétitivité dans le cadre de la transition énergétique. Les entreprises sont de plus en plus incitées à poursuivre cette démarche et à tenir compte de façon plus formelle de la productivité énergétique dans leur processus décisionnel. Ce chapitre propose, dans un premier temps, des stratégies d'amélioration de la productivité énergétique 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 déjà utilisées en entreprise pour repérer des occasions d'améliorer la productivité de l'énergie et du carbone, dont l'approche *Lean Energy*, les systèmes de management d'énergie⁵³, l'économie circulaire et l'industrie 4.0.

Stratégies d'amélioration de la productivité énergétique des États

L'Allemagne, les États-Unis et l'Australie ont mis en œuvre des stratégies ambitieuses d'amélioration de leur productivité énergétique dont les caractéristiques sont indiquées dans le tableau 5. La Nouvelle-Zélande, l'Écosse, la Chine et plusieurs autres États ont également adopté des stratégies allant dans ce sens.

Que ce soit par le biais d'une stratégie d'amélioration de la productivité énergétique ou, inversement, de réduction de l'intensité énergétique, la plupart des États ont adopté des mesures priorisant une optimisation de l'efficacité énergétique (performance énergétique). En effet, ces mesures sont les moins coûteuses et sont plus susceptibles de réduire les émissions et la consommation d'énergie d'ici 2030. Point commun aux stratégies adoptées par ces États : la mise en œuvre de systèmes de gestion d'énergie certifiés ISO 50001 dans la grande industrie. C'est l'une des principales mesures qui permet d'assurer le suivi d'une amélioration continue de la performance énergétique en entreprise et d'éviter l'effacement des économies d'énergie réalisées (voir l'encadré 2).

⁵² IEA-ETWG, 2018. « Annex I Voluntary National Self-Assessments », dans *Energy Transitions Towards Cleaner, More Flexible and Transparent Systems – Final Report*, p. 84, www.g20.utoronto.ca/2018/g20_argentina_energy_transitions_wg_energy_transitions.pdf.

⁵³ La Norme ISO 50001 utilise le terme Système de management de l'énergie (SME). Le terme Système de gestion d'énergie (SGE), qui en est l'équivalent, est plus couramment utilisé.

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

États	Stratégies	Cibles	Mesures et technologies pour l'industrie
Allemagne	<i>National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP) 2017 for the Federal Republic of Germany</i>	Réduction en 2030 des émissions de GES de 56 Mt par rapport à 2018 (28,6 %). Croissance annuelle de la productivité énergétique de 2,1 %.	Priorité à l'efficacité énergétique ; audits énergétiques (PMI) et mise en œuvre de systèmes de gestion d'énergie dans les grandes industries. Déploiement de réseaux industriels d'apprentissage (<i>Learning Energy Efficiency Network</i> [LEEN]). Les réseaux LEEN ont pris naissance en Suisse dans les années 1980 afin d'améliorer l'efficacité énergétique ; ils ont ensuite essaimé en Allemagne en 2002 et assument aujourd'hui, par extension, des objectifs de productivité énergétique ⁵⁴ .
États-Unis	<i>Accelerate Energy Productivity 2030</i> ⁵⁵	Doubler la productivité énergétique en 2030 par rapport à 2010	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 productivité énergétique des clients et des fournisseurs ⁵⁶ .
Australie	<i>2 X EP (National Energy Productivity Plan 2015–2030)</i> ⁵⁷	Améliorer en 2030 la productivité énergétique de 40 % par rapport à 2015 ⁵⁸	Amélioration de l'efficacité énergétique, transfert d'activités industrielles aux services, réduction de la quantité de fabrication très lourde dans le secteur manufacturier, électrification du secteur minier, décroissance de l'utilisation du charbon et croissance de l'utilisation des biocarburants et des biocombustibles ⁵⁹ . Intégration de la productivité énergétique et des ressources dans de nouveaux produits, matériaux, systèmes et modèles d'entreprise, sur la base d'une approche d'économie circulaire ⁶⁰ .

Sources : BMWi, 2017 ; DENA, 2019 ; Accelerate Energy Productivity 2030, 2019 ; US DOE, 2015 ; Commonwealth of Australia, 2015 ; Alliance to Save Energy, n.d. ; Australian Alliance for Energy Productivity, 2017.

⁵⁴ DENA, 2019. *Energy Efficiency Campaign Networks*, page web, www.dena.de/en/topics-projects/projects/energy-systems/energy-efficiency-campaign-networks (consultée le 27 juillet 2019).

⁵⁵ Accelerate Energy Productivity 2030, 2019. *The Goal*, page web, www.energy2030.org (consultée le 23 juillet 2019).

⁵⁶ U.S. DOE, 2015. *Accelerate Energy Productivity 2030. Executive Summary of a Strategic Roadmap for American Energy Innovation, Economic Growth, and Competitiveness*, Department of Energy, Council on Competitiveness, Alliance to Save Energy, <http://www.energy2030.org/wp-content/uploads/Executive-Summary.pdf>.

⁵⁷ Commonwealth of Australia, 2015. *National Energy Productivity Plan 2015–2030. Boosting competitiveness, managing costs and reducing emissions*, Australian Government/CAOG Energy Council, www.coagenergycouncil.gov.au/sites/prod.energycouncil/files/publications/documents/National%20Energy%20Productivity%20Plan%20release%20version%20FINAL_0.pdf.

⁵⁸ 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.

⁵⁹ ClimateWorks Australia, 2015. *Australia's Energy Productivity Potential. Energy's Growing Role in Australia's Productivity and Competitiveness*, p. 17, www.climateworksaustralia.org/sites/default/files/documents/publications/climateworks_energy_productivity_report_20150310_0.pdf.

⁶⁰ Australian Alliance for Energy Productivity, 2017. *Innovation to Improve Energy Productivity in the Shelter Value Chain*, p. 11, www.airah.org.au/Content_Files/Industryresearch/Innovation-to-Improve-Energy-Productivity-Shelter-Value-Chain-1.pdf.

ENCADRÉ 2 |

EP100 : une plateforme internationale pour intégrer des stratégies de productivité énergétique en entreprise

L'initiative *Energy Productivity 100* (EP100) de l'organisation *The Climate Group* rassemble, en collaboration avec la coalition *Alliance to Save Energy*, des entreprises qui veulent s'engager à utiliser l'énergie de façon plus productive en vue de réduire leurs émissions de GES, tout en améliorant leurs perspectives de croissance économique dans une économie verte.

Selon *The Climate Group*, si 100 grandes entreprises doubleraient leur productivité énergétique d'ici 2030, générant ainsi deux fois plus de richesse par unité d'énergie consommée, près de 170 Mt éq. CO₂ pourraient être évitées, soit l'équivalent du double des émissions totales du Québec en 2016⁶¹. En date de juillet 2019, l'initiative comptait 47 membres.

Les entreprises qui deviennent membres de l'initiative doivent s'engager à l'un des trois objectifs suivants :

- 1) **Doubler leur productivité énergétique** sur 25 ans par rapport à leur année de référence;
- 2) **Éliminer toute perte énergétique** par la mise en œuvre d'un système de management de l'énergie en entreprise (SME) et par l'adoption d'une cible volontaire de productivité énergétique;
- 3) **Gérer un bâtiment « Energy Smart »** en vue d'être carboneutre d'ici 2030.

La reddition de compte de l'EP100 requiert que ses membres soumettent annuellement un rapport des progrès réalisés vers l'atteinte de l'objectif de productivité énergétique qu'ils ont adopté. Les données sont par la suite compilées par *The Climate Group* afin de développer une analyse de rentabilisation (*business case*) de l'amélioration de la productivité énergétique et mettre de l'avant, sur la scène internationale, le leadership des membres⁶².

Pour plus d'informations, consultez www.theclimategroup.org/project/ep100

Stratégies et méthodes pour l'amélioration de la productivité énergétique en entreprise

Plusieurs stratégies peuvent permettre d'améliorer la productivité énergétique en industrie, allant de la performance énergétique jusqu'à des stratégies plus avancées, comme la fabrication intelligente (industrie 4.0) et l'économie circulaire. Ces stratégies et méthodes se déploient plus souvent selon un niveau croissant de maturité d'une entreprise, mais leur utilisation peut aussi se faire selon les besoins de l'entreprise, voire en amont, au moment de la conception, dans le cas de nouvelles entreprises.

L'amélioration de l'efficacité énergétique en entreprise a longtemps été centrée sur le remplacement d'équipements et de systèmes. Or, l'amélioration de la productivité énergétique exige une approche plus globale qui tient compte de l'interrelation entre toutes les formes d'énergie et leur utilisation optimale dans les opérations d'une usine. Au-delà des moyens initiaux d'efficacité énergétique, l'utilisation de techniques du *Lean Energy* permet de réduire les pertes moins visibles affectant la performance énergétique. L'adoption de nouvelles technologies de l'information, l'optimisation de ressources (énergétiques et non énergétiques) et l'économie circulaire sont des stratégies qui permettent aux entreprises d'aller encore plus loin dans leur recherche d'amélioration de la productivité énergétique.

⁶¹ The Climate Group, 2019. *EP100*, site web, www.theclimategroup.org/EP100 (consulté le 25 juillet 2019).

⁶² The Climate Group, 2018. *Fast-tracking Corporate Energy Productivity in India*, Livre blanc, www.theclimategroup.org/sites/default/files/downloads/fast-tracking_corporate_energy_productivity_in_india_nov18_0.pdf.

En ce qui concerne les entreprises dont la consommation énergétique est moyenne ou faible, les ressources sont souvent trop limitées pour leur permettre d'assurer un suivi précis de leurs émissions de GES et de leur consommation énergétique. Mais au fur et à mesure que les marchés de l'énergie se transforment et que les prix de l'énergie augmentent et deviennent plus volatils, les entreprises sont plus nombreuses à rechercher des gains économiques par le biais d'approches innovantes apportant un retour sur investissement rapide en matière de gestion de l'énergie.

Le premier pas vers l'implantation d'une stratégie d'amélioration de la productivité énergétique consiste à réaliser une analyse précise de l'état réel (*benchmark*) de la consommation et de l'efficacité énergétiques de l'entreprise pour ensuite délimiter le cadre du bilan énergétique et carbone à améliorer pour une section ou la totalité de l'usine. Différentes stratégies peuvent être envisagées à partir de ces données de base. Des exemples de stratégies courantes sont synthétisés dans le tableau 6 et de façon détaillée par la suite. L'impact de ces stratégies sur la productivité énergétique ou de carbone est analysé dans des études de cas au chapitre 5.

TABLEAU 6 | EXEMPLES DE STRATÉGIES D'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE ET DU CARBONE EN ENTREPRISES PRÉSENTÉES DANS CE CHAPITRE.

Stratégies	Méthodes	Description	Ressources
Lean Energy	Atelier <i>kaizen</i> et de recherche de trésors d'énergie	Activité intense (2 à 5 jours) de résolution de problèmes menée par une équipe multidisciplinaire d'employés dont l'objectif est d'éliminer les pertes d'énergie généralement durant le processus d'exploitation en donnant priorité aux améliorations à faible coût.	EPA, 2013. <i>Lean, Energy & Climate Toolkit</i> ⁶³ . EPA, 2014. <i>Energy Star – Energy Treasure Hunt Guide</i> ⁶⁴ .
	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.	EPA, 2013. <i>Lean, Energy & Climate Toolkit</i> ⁶⁵ .
	Analyse multivariée de données (AMVD)	Méthode statistique utilisée 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.	Ressources naturelles Canada (RNCAN), 2019. <i>Formation en analyse multivariée de données industrielles</i> ⁶⁶ . RNCAN, 2019. <i>Logiciel EXPLORE</i> ⁶⁷ .
Système de management de l'énergie (SME)	Normes ISO 50001 et SEP 50001	Cadre exemplaire et volontaire pour engager ou 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.	ISO, 2018. <i>ISO 50001 Systèmes de management de l'énergie</i> ⁶⁸ . DOE, 2019. <i>SEP 50001 (2019) Transition Guide</i> . ADME, 2019. <i>Le Système de Management de l'Énergie</i> .

⁶⁴ EPA, 2011. *Lean, Energy & Climate Toolkit*, www.epa.gov/sites/production/files/2013-10/documents/lean-energy-climate-toolkit.pdf.

⁶⁵ 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.

⁶⁶ EPA, 2011. *Lean, Energy & Climate Toolkit*, www.epa.gov/sites/production/files/2013-10/documents/lean-energy-climate-toolkit.pdf

⁶⁷ RNCAN, 2019. *Formation – Analyse multivariée de données industrielles*, CanmetÉNERGIE, gouvernement du Canada, www.transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/images/Actualit%C3%A9s/2018/Formation_-_Analyse_multivari%C3%A9e_de_donn%C3%A9es_FINALE_FR.PDF.

⁶⁸ RNCAN, 2019. *Logiciel Explore : Améliorer les opérations des procédés grâce à l'analyse de données avancées*, CanmetÉNERGIE, n° cat. : M154-92/2015F, gouvernement du Canada, www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/EXPLORE-brochure_FR.pdf.

⁶⁹ 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.

Économie circulaire	Ex. : recyclage, écoconception, reconditionnement, symbiose et écologie industrielles, économie de fonctionnalité	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 dans les systèmes.	Ellen Macarthur Foundation, 2019. <i>Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change</i> ⁶⁹ . WBCSD, 2019. <i>Circular Transition Indicators - Proposed metrics for business, by business</i> ⁷⁰ . Pineau et coll., 2019. <i>Potentiel de réduction d'émissions de gaz à effet de serre associé à l'économie circulaire pour les émetteurs industriels québécois (volets 1 et 2)</i> ⁷¹ . UE, 2019. <i>Plateforme des acteurs européens de l'économie circulaire – Bonnes pratiques</i> ⁷² .
Industrie 4.0	Nouvelles technologies de l'information, réseau intelligent et automatisation	Intégration des technologies numériques (ex., Internet des objets, capteurs sans fil, réseau intelligent, logiciels) pour créer des usines intelligentes qui enregistrent, surveillent et contrôlent, en temps réel, les équipements et les processus à chaque étape de production.	BDC, 2019. <i>Comment mon entreprise peut-elle bénéficier de l'industrie 4.0 ?</i> Laurin, 2019. <i>Comment l'industrie 4.0 améliorera-t-elle l'efficacité des usines</i> ⁷³ ?

L'approche *Lean Energy*

De façon générale, l'approche *Lean* consiste à éliminer les pertes et le gaspillage dans les processus industriels par l'optimisation de la production, la recherche systématique, la quantification et la réduction de la consommation de ressources sans valeur ajoutée⁷⁴. Elle permet ainsi aux entreprises d'optimiser les systèmes déjà installés avant d'envisager de nouveaux investissements, parfois plus importants, pour améliorer les opérations. L'approche consiste également à savoir réagir aux problèmes et à les résoudre de manière efficace en suivant une démarche conçue et exécutée en équipe de travail multidisciplinaire dans un cadre défini (*kaizen*).

L'approche *Lean Energy*, pour sa part, consiste en l'implantation de deux types de stratégies qui peuvent s'inscrire dans un cadre élargi de gestion d'énergie permettant d'évaluer, de mettre en œuvre, de contrôler et de conserver les améliorations acquises ainsi que de dépasser les rendements par une amélioration continue de la performance énergétique des systèmes (voir graphique 13)⁷⁵.

⁶⁹ Morlet, A. et coll., 2019. *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change reveals the need for a fundamental shift in the global approach to cutting emissions*, Ellen Macarthur Foundation, Material Economics, www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Completing_The_Picture_How_The_Circular_Economy_Tackles_Climate_Change_V3_26_September.pdf.

⁷⁰ WBCSD, 2019. *Circular Transition Indicators – Proposed metrics for business, by business*, www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Factor-10/Resources/Circular-Transition-Indicators.

⁷¹ Pineau, P.-O., Gauthier, P., Whitmore, J., Normandin, D., Beaudoin, L., Beaulieu, J., 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, <http://energie.hec.ca/gesindustriels-volet1>. [Volet 2 à venir.]

⁷² Union européenne, 2019. Plateforme des acteurs européens de l'économie circulaire – Bonnes pratiques, site web, <https://circulareconomy.europa.eu/platform/fr/good-practices>.

⁷³ Laurin, P., 2019. *Comment l'industrie 4.0 améliorera l'efficacité des usines*, blogue publié sur le site Expertise par Bosch Rexroth, <https://expertise.boschrexroth.fr/industrie40-augmentera-la-productivite> (consulté de 18 juillet 2019).

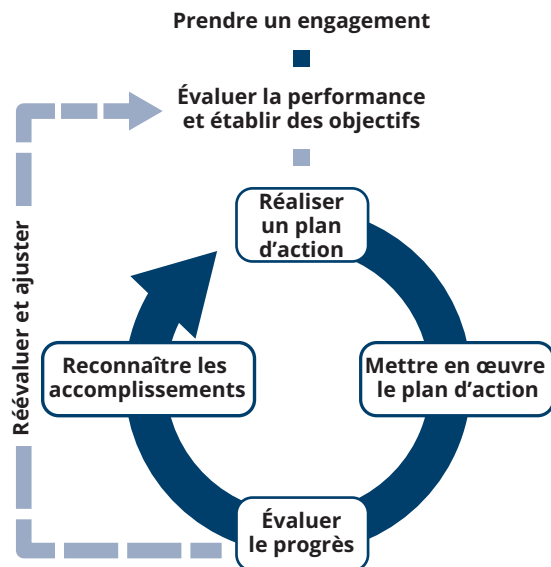
⁷⁴ EPA 2011. *The Lean, Energy & Climate Toolkit—Achieving Process Excellence Through Energy Efficiency and Greenhouse Gas Reduction*, p. vi.

⁷⁵ Paradis, J.-C., 2013. « LEAN ENERGY » : une approche de réduction des coûts d'énergie et des émissions de GES qui a fait ses preuves », AQME, *La maîtrise de l'énergie*, automne 2013, p. 4-7.

Ces deux stratégies sont :

- 1) **Les stratégies d'évaluation** de la façon dont l'énergie est consommée dans les installations en vue de repérer les occasions de réduire les pertes, les émissions de GES et les coûts ;
- 2) **Les stratégies de réduction** de la consommation d'énergie et des émissions de GES.

GRAPHIQUE 13 | EXEMPLE DE CADRE DE GESTION D'ÉNERGIE EN ENTREPRISE, SELON LES LIGNES DIRECTRICES ENERGY STAR



Sources : Graphique tiré du EPA, 2013⁷⁶. À titre d'exemple, voir également Domizio et coll., 2019⁷⁷.

Plusieurs stratégies peuvent appuyer l'intégration de l'approche *Lean Energy* en entreprise. Certaines requièrent des capacités d'analyse ou la connaissance approfondie de logiciels, mais plusieurs peuvent être élaborées sans prérequis exhaustifs. Dans cette section, nous présentons des exemples de stratégies plus détaillés qui sont également abordés dans les études de cas du chapitre 5 du présent rapport. Pour de plus amples renseignements sur les différentes stratégies et techniques du *Lean Energy*, veuillez consulter le rapport *Lean, Energy & Climate Toolkit* de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis.

Dans le cas des stratégies d'évaluation, celles-ci peuvent varier d'une simple démarche par observation sur place des procédés utilisés dans une usine à une approche plus cadrée fondée sur l'établissement de données de référence (*benchmark*) de la consommation énergétique des opérations et des procédés. Ces données de référence sont obtenues en réalisant un audit et en mesurant la consommation énergétique finale.

L'une des méthodes de base performante et peu coûteuse recommandée par l'EPA est la « chasse au trésor » (*Energy Treasure Hunt*). Il s'agit d'une activité d'évaluation des occasions de réduire l'énergie gaspillée dans les installations qui est réalisée par une équipe d'employés multifonctionnels sur une période de deux ou trois jours. L'objectif est de cerner de façon prioritaire les occasions d'économiser l'énergie à faible coût de nature comportementale, d'opération et d'entretien. L'équipe peut ensuite mettre en œuvre les solutions offrant les meilleurs rendements dans le cadre d'un atelier *kaizen* (voir l'encadré 3). Utilisée dans une dizaine de projets au Québec, cette méthode a permis de dégager d'importantes économies : en moyenne, 12 % de réduction des coûts d'énergie, 6 M\$ par usine pour un retour sur investissement inférieur à 12 mois et des réductions de 18 % des émissions de GES⁷⁸.

⁷⁶ EPA, 2013. *Lean, Energy & Climate Toolkit. Achieving Process Excellence Through Energy Efficiency and Greenhouse Gas Reduction*, préparé par Ross & Associates Environmental Consulting Ltd. conjointement avec Industrial Economics Inc., p. 6, www.epa.gov/sites/production/files/2013-10/documents/lean-energy-climate-toolkit.pdf.

⁷⁷ Domizio, G., et coll., 2019. « A method for lean energy assessment of manufacturing systems », *Procedia CIRP*, vol. 81, p. 1449, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.314>.

⁷⁸ Paradis, J.-C., 2014. *Une approche qui a fait ses preuves pour la réduction des coûts d'énergie en industrie*, présentation à l'AQME.

Comme pour les stratégies d'évaluation, celles visant la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de GES sont également nombreuses. L'EPA (2013) en propose plusieurs dans son guide *Lean, Energy & Climate Toolkit*, dont l'intégration de l'énergie dans les pratiques d'entretien (*Total productive maintenance*); le remplacement des équipements surdimensionnés et inefficaces par des équipements adéquats pour les besoins; la reconfiguration des plans d'aménagement des installations pour améliorer les flux de production ainsi que les intrants et extrants des procédés; et l'amélioration de l'efficacité énergétique par l'instauration de normes de travail, de contrôles visuels ou de fonctions de détrompage, c'est-à-dire un système mécanique (de contrôle de qualité) qui élimine les possibilités d'utilisation inefficace de l'énergie.

Une stratégie souvent utilisée dans le *Lean Energy* est celle des ateliers **kaizen**, c'est-à-dire, une approche par équipes de travail composées d'employés multidisciplinaires, et parfois d'experts ou partenaires externes, comme les fournisseurs, pour trouver rapidement des solutions peu coûteuses et les implanter (voir l'encadré 3)⁷⁹. Grâce à leur approche participative, les ateliers *kaizen* ont l'avantage de réduire les biais associés à certaines expertises internes (ex., les ingénieurs qui se concentrent sur les solutions technologiques). À ce moment, il devient possible d'élaborer des solutions globales qui tiennent compte des dimensions à la fois technologique, comportementale et organisationnelle liées à la gestion de l'énergie en entreprise.

ENCADRÉ 3 |

Qu'est qu'une activité *kaizen* en *Lean Energy*?

- Un *kaizen* est une activité intense de résolution de problèmes sur une période de courte durée (typiquement trois à cinq jours, mais pouvant durer d'un à deux jours dans le cas de *kaizen-blitz*);
- L'objectif de l'activité est d'éliminer les pertes d'énergie des systèmes, en donnant priorité aux améliorations exigeant peu ou aucun investissement;
- L'activité réunit des équipes multifonctionnelles composées de divers employés de l'entreprise (cadres, opérateurs, contrôleur de la qualité, gestionnaire de la logistique, administrateur, etc.), et de fournisseurs clés aux opérations;
- Les délibérations se fondent sur des données et des informations factuelles de manière à déboulonner les idées préconçues ou les biais qui persistent;
- Le processus comporte des étapes pour comprendre et répondre aux questions suivantes :
 - De quelle façon l'énergie est-elle consommée dans mon usine (où et en quelle quantité)?
 - De combien d'énergie un procédé donné a-t-il réellement besoin (ni plus ni moins)?
 - Quelle est la meilleure façon de satisfaire ces besoins?
 - Où sont les pertes et comment peut-on améliorer la situation?
- Souvent, les solutions qui émergent des discussions peuvent être intégrées et adoptées par les participants au cours de l'atelier *kaizen*. Des résultats peuvent donc être d'ores et déjà attendus à court terme.

Sources : EPA, 2013 ; Paradis, J.-C., 2013⁸⁰.

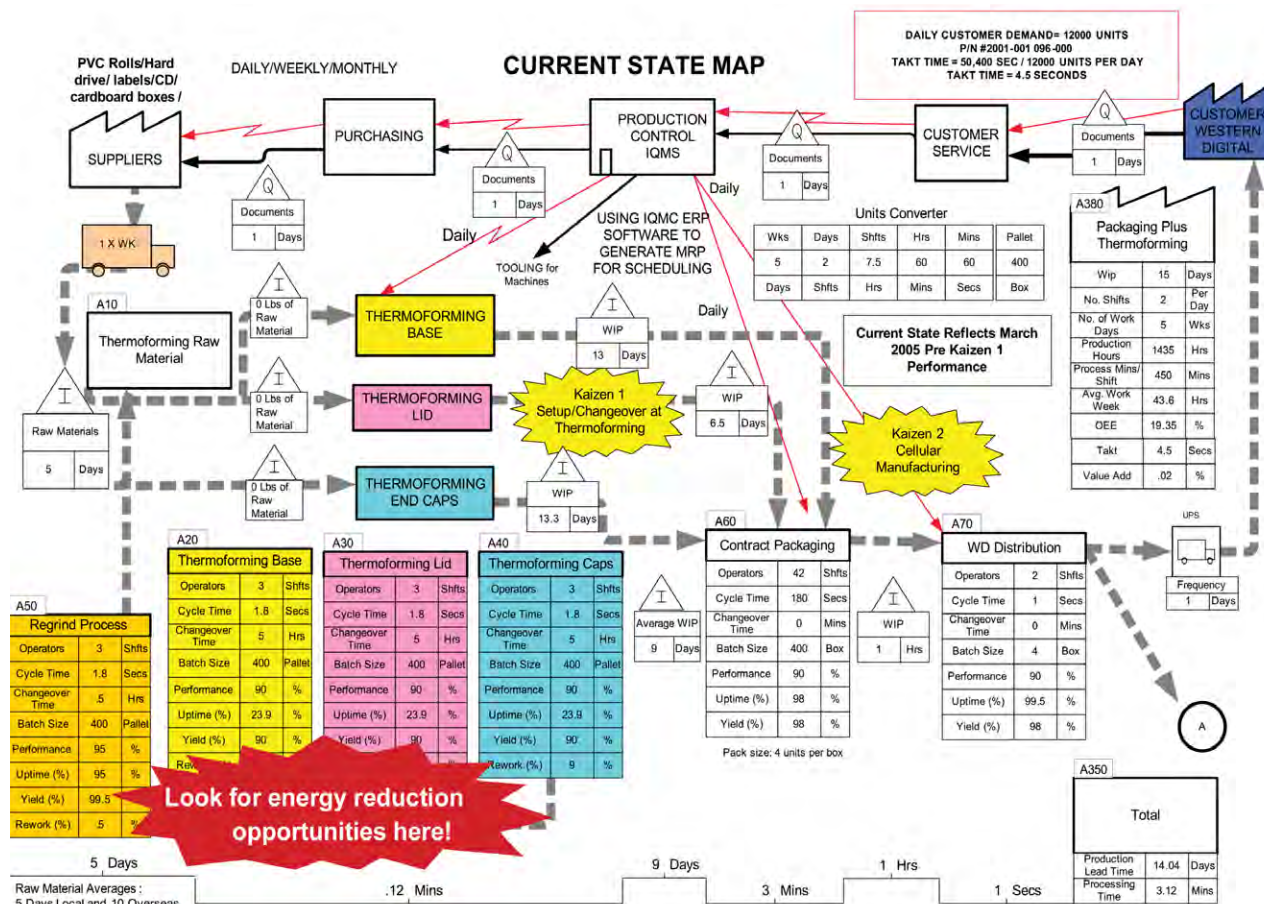
⁷⁹ Paradis, J.-C., 2013. Op. cit. « LEAN ENERGY : une approche de réduction des coûts d'énergie et des émissions de GES qui a fait ses preuves », AQME, *La maîtrise de l'énergie*, automne 2013.

⁸⁰ *Ibid.*

L'une des stratégies d'évaluation recommandées par l'EPA (2013) est l'intégration de l'énergie à la **cartographie de la chaîne de valeur (CCVé)**, une méthode qui, à la base, vise à représenter visuellement les flux d'information et de matériel liés à la production de services ou à leur livraison aux clients (voir graphique 14). Les experts du *Lean manufacturing* utilisent souvent cette technique dans le cadre d'un atelier *kaizen* pour identifier les sources importantes de pertes dans la chaîne de valeur en vue d'identifier des solutions pour améliorer les processus industriels. L'intégration de l'énergie dans cette méthode d'évaluation permet d'associer aux objectifs du *Lean* des indicateurs d'efficacité énergétique, de réduction des émissions de GES, des coûts et des risques afin d'éliminer les pertes et améliorer la qualité et la valeur ajoutée de la production d'une entreprise. Voici certaines des pertes visées par la méthode dans le processus de fabrication⁸¹:

- Surproduction, notamment utilisation d'énergie par un procédé inefficace;
- Énergie utilisée pendant des arrêts de production;
- Transports inefficaces qui consomment de l'énergie;
- Inventaire qui consomme de l'énergie pour l'entreposage;
- Énergie utilisée pour fabriquer un produit défectueux.

GRAPHIQUE 14 | EXEMPLE DE CARTOGRAPHIE DE CHAÎNE DE VALEUR ET D'ÉNERGIE (CCVé)



Source : schéma tiré de EPA, 2013⁸².

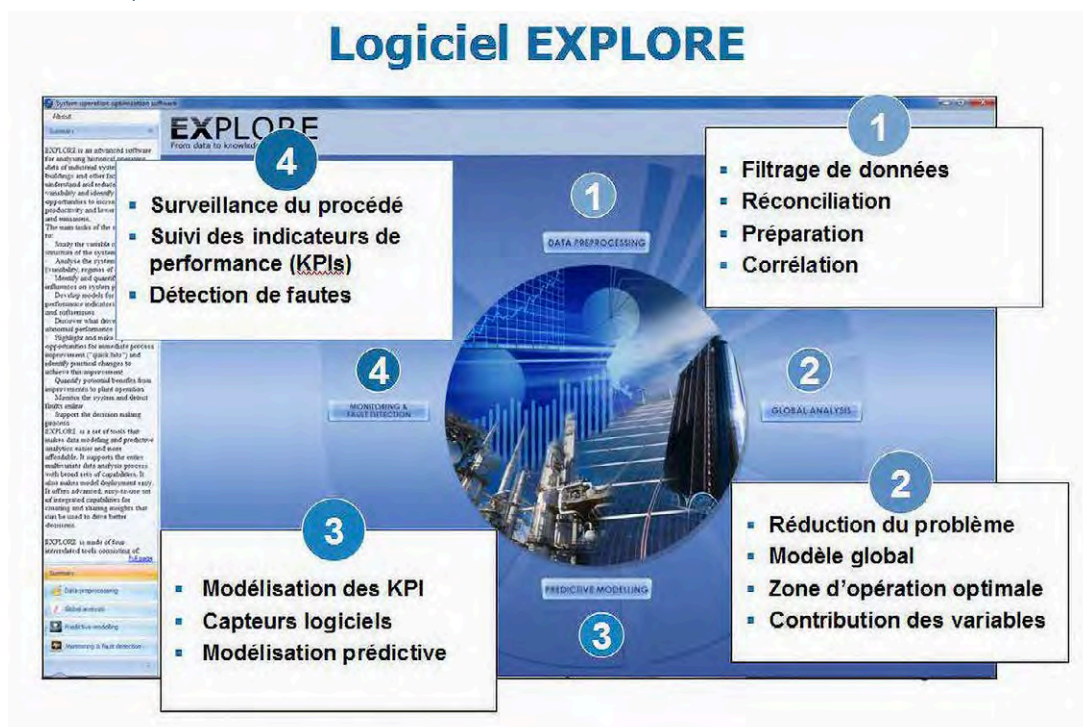
⁸¹ Reinhardt, S., 2011. *Energy Value Stream Mapping*, Laboratory for Manufacturing and Sustainability (LMAS), Berkley University of California, affiche, <http://lma.berkeley.edu/posters/201114saskia-poster.pdf>.

⁸² EPA, 2013. *Lean, Energy & Climate Toolkit, Achieving Process Excellence Through Energy Efficiency and Greenhouse Gas Reduction*, prepared by Ross & Associates Environmental Consulting, Ltd. in association with Industrial Economics, Inc., p. 13, www.epa.gov/sites/production/files/2013-10/documents/lean-energy-climate-toolkit.pdf.

L'analyse multivariée de données (AMVD), une méthode statistique qui permet de tenir compte de l'interaction entre de nombreuses variables, et rejoint la méthode *Six Sigma*⁸³ utilisée dans le *Lean Manufacturing*. Elle est également de plus en plus utilisée dans l'approche *Lean Energy* afin d'évaluer et d'optimiser la performance de l'opérationnalisation des procédés industriels et des bâtiments. Elle permet de convertir de multiples données d'une entreprise liées aux opérations, souvent complexes, en informations utiles en vue d'améliorer l'efficacité opérationnelle des procédés. Selon RNCAN, les inefficacités dans l'opération des procédés, le rendement variable des équipements, ainsi que la détection tardive des enjeux et la mauvaise gestion des anomalies ont des répercussions négatives sur la productivité, la qualité des produits et la consommation d'énergie⁸⁴. L'AMVD permet ainsi d'améliorer la performance énergétique d'une entreprise par la réduction de la variabilité des procédés, la surveillance continue des procédés, le diagnostic d'anomalies, les capteurs logiciels et une meilleure régulation des procédés. L'analyse multivariée de données historiques d'une entreprise aide également les gestionnaires et les opérateurs à mettre au point des outils décisionnels pour repérer les inefficacités et faire le suivi des indicateurs de performance énergétique de divers équipements (ex., évaporateurs, chaudières, séchoirs).

CanmetÉNERGIE, un groupe de recherche de RNCAN, a développé le logiciel EXPLORE (voir graphique 15) pour les entreprises qui souhaitent intégrer l'outil d'AMVD dans leurs opérations, tout en leur offrant des formations subventionnées par Transition énergétique Québec (TEQ)⁸⁵. Selon CanmetÉNERGIE, la méthode pourrait générer des économies d'énergie allant de 5 à 15 %⁸⁶.

GRAPHIQUE 15 | ÉCRAN PRINCIPAL DU LOGICIEL D'ANALYSE MULTIVARIÉE DE DONNÉES DE SYSTÈMES INDUSTRIELS, EXPLORE, DÉVELOPPÉ PAR CANMETÉNERGIE DE RESSOURCES NATURELLES CANADA.



Source : RNCAN, 2016⁸⁷.

⁸³ Le *Lean Six Sigma* est une philosophie d'amélioration basée sur les faits et axée sur les données, qui valorise la prévention des défauts par rapport à la détection des défauts. Il contribue à la satisfaction des clients et à leurs résultats nets en réduisant les variations, les pertes et les temps de cycle, tout en encourageant l'utilisation de la standardisation du travail et des flux, créant ainsi un avantage concurrentiel. Source : ASQ, 2019. *What is Six Sigma?*, page web, <https://asq.org/quality-resources/six-sigma> (consulté le 6 août 2019).

⁸⁴ RNCAN, 2019. *Logiciel Explore : Améliorer les opérations des procédés grâce à l'analyse de données avancées*, CanmetÉNERGIE, no cat. : M154-92/2015F, gouvernement du Canada, www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/EXPLORE-brochure_FR.pdf.

⁸⁵ RNCAN, 2019. *Formation – Analyse multivariée de données industrielles*, CanmetÉNERGIE, gouvernement du Canada, www.transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/images/Actualite/C3%A9s/2018/Formation_-_Analyse_multivari%C3%A9e_de_donn%C3%A9es_FINALE_FR.PDF.

⁸⁶ RNCAN, 2019. *Logiciel Explore : Améliorer les opérations des procédés grâce à l'analyse de données avancées*, CanmetÉNERGIE, no cat. : M154-92/2015F, gouvernement du Canada, www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/EXPLORE-brochure_FR.pdf.

⁸⁷ RNCAN, 2016. *Analyse des données d'opération, gouvernement du Canada*, page web, www.rncan.gc.ca/energie/efficacite/industrie/procedes/optimisation/5596 (consultée le 31 juillet 2019).

Système de management de l'énergie en entreprise (SME)⁸⁸

Le Système de management de l'énergie (SME) constitue un cadre exemplaire et volontaire pour engager ou renforcer une démarche de gestion de l'énergie en entreprise. *Lean Energy* (voir ci-dessus) est l'une des méthodes pouvant être utilisées dans un SME pour identifier les améliorations énergétiques nécessaires et les mettre en œuvre. Tenant compte de données techniques et organisationnelles, le SME vise à repérer les économies d'énergie potentielles par la recherche d'améliorations continues, ainsi qu'à planifier et à coordonner les mesures à prendre pour y parvenir⁸⁹. La certification de l'Organisation internationale de la normalisation (ISO), ISO 50001 (voir graphique 16), est l'un des modèles de SME les plus connus. Il y a aussi d'autres modèles, dont l'un est issu du Département de l'énergie [DOE] des États-Unis, le *Superior Energy Performance 50001* (SEP 50001)⁹⁰. Les niveaux de reconnaissance « Argent », « Or » ou « Platine » s'y ajoutent pour tenir compte de la performance des économies d'énergie⁹¹, ainsi que de l'intégration de technologies avancées ayant un impact à long terme sur l'efficacité et la gestion de l'énergie. L'intégration de technologies avancées facilite la cogénération et l'approvisionnement à partir de la récupération d'énergie et d'énergies renouvelables (ex., voir l'étude de cas de Harbec au chapitre 5).

Une gestion efficace de l'énergie conforme à la norme ISO 50001 aide les entreprises à réaliser des économies d'énergie et de réduction de GES⁹², de même qu'à prévenir l'effritement des économies d'énergie et des réductions d'émissions déjà réalisées et à atténuer l'effet rebond (voir l'encadré 4 et le chapitre 3). Cela, grâce à un processus d'amélioration continue et de recherche d'amélioration de la performance énergétique globale. La certification ISO 50001, qui constitue une reconnaissance de la démarche de management de l'énergie réalisée au sein d'une entreprise, donne également accès à plusieurs avantages en matière de réglementation et de financement. Dans le cadre de son programme ÉcoPerformance, TEQ accorde de l'aide financière aux entreprises qui désirent mettre en œuvre la norme ISO 50001. Les entreprises certifiées ISO 50001 peuvent également bénéficier d'une subvention plus importante pour l'acquisition de nouveaux équipements afin d'améliorer la performance énergétique de leurs systèmes⁹³.

⁸⁸ La Norme ISO 50001 utilise le terme Système de management de l'énergie (SME). Le terme Système de gestion d'énergie (SGE), qui en est l'équivalent, est plus couramment utilisé.

⁸⁹ ADME, 2019. *Le Système de Management de l'Énergie*, www.recuperation-chaueur.fr/le-systeme-de-management-de-l-energie (consulté le 31 juillet 2019).

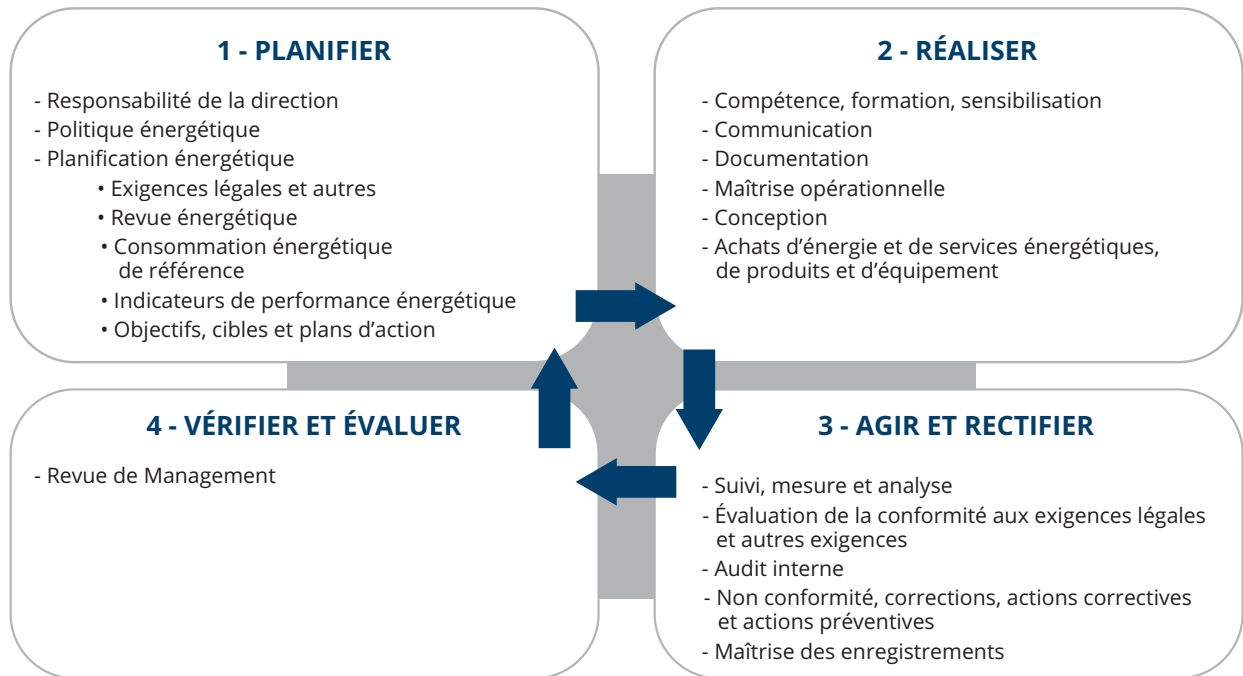
⁹⁰ DOE, 2019. *SEP 50001 (2019) Transition Guide*, US Department of Energy, gouvernement des États-Unis, p. 1, https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/sites/default/files/attachments/SEP_50001_2019_Transition_Guide_0.pdf.

⁹¹ University of California, 2019. *Superior Energy Performance 50001™. Scorecard*, p. 42-54, https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/sites/default/files/attachments/SEP_50001_Scorecard_2.pdf.

⁹² Organisation internationale de normalisation, 2019. *ISO – 50001 Management de l'énergie*, page web, www.iso.org/fr/iso-50001-energy-management.html (consulté le 29 juillet 2019).

⁹³ Transition énergétique Québec, 2019. *ÉcoPerformance*, page web, <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/affaires/programmes/ecoperformance/aide-financiere> (consulté le 7 août 2019).

GRAPHIQUE 16 | EXIGENCES DE LA NORME ISO 50001, GARANTISSANT L'AMÉLIORATION CONTINUE DE LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DE L'ENTREPRISE



Source : schéma tiré et adapté de ADEME, 2019⁹⁴.

ENCADRÉ 4 |

Astuce : comment maintenir les économies d'énergie et les réductions d'émissions de GES dans le temps ?

La performance d'une mesure d'économie d'énergie et de réduction des émissions de GES connaît généralement un effritement dans le temps dont l'importance dépend de plusieurs facteurs techniques et opérationnels.

Dans le cas d'un équipement industriel moderne, soit un compresseur d'air ou une chaudière par exemple, la performance énergétique du nouvel appareil sera supérieure à l'appareil remplacé. Sa durée de vie utile pourrait en effet atteindre de 10 à 30 ans, selon sa nature. Toutefois, la sévérité de l'environnement industriel et les changements dans la demande énergétique nécessiteront des opérations d'entretien et une reconfiguration optimale pour maintenir des économies et des réductions d'émissions de GES de façon continue. L'entretien et la reconfiguration des appareils, selon les besoins, sont des interventions qui doivent être systématiques. Sans quoi, la persistance d'une intervention – qui varie en fonction de la possibilité pour les humains de passer outre aux ajustements requis – peut s'étalonner sur une durée aussi courte que deux à trois ans⁹⁵.

Plusieurs évènements peuvent affecter les interventions réalisées dans un environnement industriel. Elles peuvent notamment être annulées, affectées par des changements opérationnels ou encore exécutées de façon insuffisante. De plus, leurs retombées sur les économies et les réductions globales d'émissions de GES dans l'usine ne sont pas assurées, car d'autres projets ou modifications aux opérations dans d'autres secteurs de l'installation peuvent accroître la consommation d'énergie et les émissions de GES.

⁹⁴ ADME, 2019. *Le Système de Management de l'Énergie*, page web, www.recuperation-chaaleur.fr/le-systeme-de-management-de-l-energie (consultée le 31 juillet 2019).

⁹⁵ DNV-GL, 2017. *Persistence of O&M Energy-Efficiency Measures*, rapport préparé pour Energy Trust of Oregon, p. 9, www.energytrust.org/wp-content/uploads/2018/07/Energy-Trust-OM-Measure-Persistence-Report-final-with-staff-response.pdf.

Certes, on peut encadrer la gestion d'une mesure dans le temps dans le but d'assurer sa persistance, mais d'autres moyens sont essentiels pour faire en sorte que les économies et les réductions d'émissions de GES se traduisent par des gains au niveau de l'ensemble de l'usine. Une étude réalisée pour l'ONUDI a cerné deux facteurs qui favorisent l'efficacité énergétique dans l'industrie : des cibles établies dans le cadre d'accords avec l'industrie et des normes de gestion de l'énergie⁹⁶.

Seule une rigoureuse gestion de l'énergie de calibre ISO 50001 permet d'assurer la persistance des effets, à l'aide d'évaluations continues des gains liés aux interventions réalisées dans l'usine et la mise en place d'un plan d'amélioration continue de l'efficacité énergétique et de décarbonisation. Les systèmes de gestion d'énergie certifiés, fort peu nombreux au Québec, peuvent assurer la persistance des gains de performance et une amélioration globale au niveau de l'usine. Toutefois, pour atteindre les cibles ambitieuses de la Politique énergétique 2030 du Québec, il faudra ventiler des cibles par sous-secteur industriel, voire par entreprise, selon des accords conclus entre ces sous-secteurs et le gouvernement. Ce dernier devra également offrir les moyens d'inciter les entreprises à les atteindre.

L'économie circulaire

Améliorer la productivité énergétique du carbone de façon à découpler la valeur ajoutée manufacturière des ressources consommées et des émissions de GES requiert à la fois une hausse de la valeur du produit et une réduction du coût des approvisionnements, notamment des matières premières et de l'énergie. L'économie circulaire peut jouer un rôle important pour y parvenir.

L'économie circulaire est un modèle de développement économique qui vise à maintenir et à valoriser de façon continue le capital naturel, à optimiser le rendement des ressources et à minimiser les pertes dans un système (ex., économie, ville, usine, bâtiment) au moyen d'une gestion efficace des réserves et des flux de matière⁹⁷. Selon une récente étude, intitulée *Circular Transition Indicators* (2019), seulement 9 % des flux de ressources seraient actuellement bouclés à l'échelle globale⁹⁸, c'est-à-dire que les flux ont été valorisés jusqu'à leur pleine capacité. Ce résultat met en lumière le fait que le système en place n'est pas durable. La bonne nouvelle, cependant, c'est qu'il serait possible de récupérer 91 % de gains en efficacité et en valorisation.

Le modèle actuel d'économie linéaire fonctionne selon le principe suivant : il existe un approvisionnement continu de matières premières qui peuvent être transformées, livrées, consommées et jetées sans être récupérées ou revalorisées à travers la chaîne de valeur. Autrement dit, ce modèle externalise les coûts environnementaux de la chaîne de valeur. L'économie circulaire, quant à elle, repense le développement économique selon un modèle à « boucles fermées » afin de préserver et de minimiser l'utilisation des ressources non renouvelables, d'optimiser les flux de matières premières et d'éliminer les pertes et les externalités négatives par la recherche d'efficacité⁹⁹ (voir graphique 17). La transition vers un modèle d'économie circulaire ne fait donc pas qu'améliorer la performance environnementale d'une entreprise ou d'une économie, mais elle améliore également sa productivité par une utilisation et une valorisation optimales des ressources.

⁹⁶ McKane, A., Price, L., Rue du Can, S., 2007. *Policies for Promoting Industrial Energy Efficiency in Developing Countries and Transition Economies*, rapport préparé pour UNIDO, p. 30-46, www.unido.org/sites/default/files/2009-04/Policies_for_promoting_industrial_energy_efficiency_in_DCs_and_transition_economies_0.pdf.

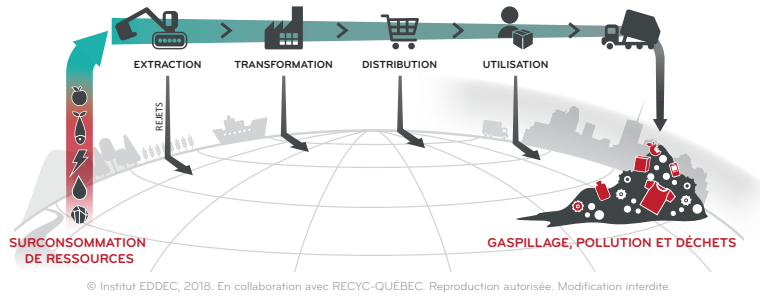
⁹⁷ Ellen MacArthur Foundation, 2019. *Économie circulaire*, page web, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/fr/economie-circulaire/concept> (consultée le 7 août 2019).

⁹⁸ WBCSD, 2019. *Circular Transition Indicators – Proposed metrics for business, by business*, <https://www.wbcd.org/Programs/Circular-Economy/Factor-10/Resources/Circular-Transition-Indicators>.

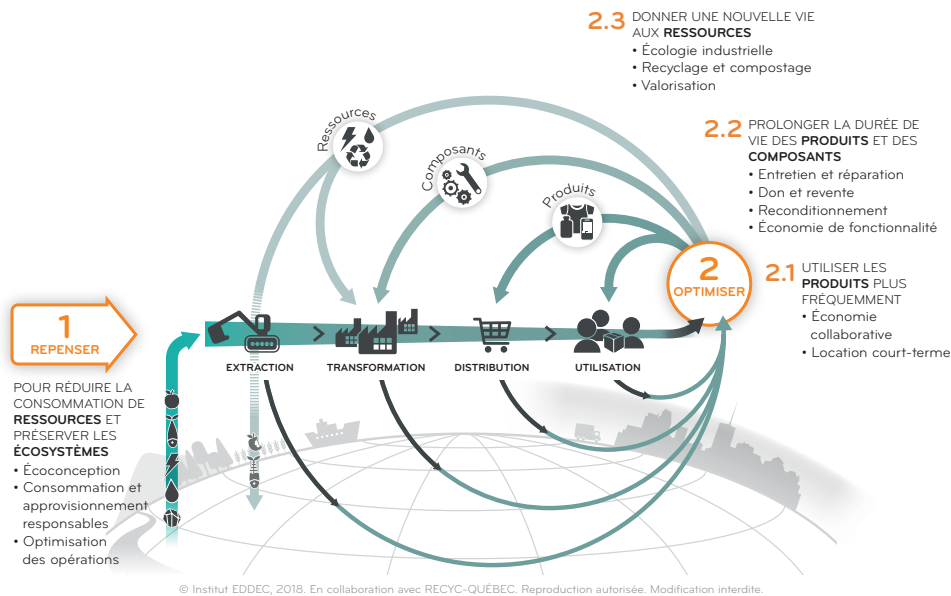
⁹⁹ Mousseau, N., Simon, R., 2016. *Métaux et Économie circulaire au Québec – Rapport de l'étape 2 : principes de l'économie circulaire et approches à l'étranger*, Institut EDDEC, rapport présenté au MERN, <https://mern.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/Principes-economie-circulaire-approches-etranger.pdf>.

GRAPHIQUE 17 | SCHÉMA ILLUSTRANT LES PRINCIPALES DIFFÉRENCES ENTRE LES MODÈLES ÉCONOMIQUES LINÉAIRE ET CIRCULAIRE

L'économie linéaire



L'économie circulaire



Source : graphique de IEDDEC, 2019.

Dans un contexte industriel, la recherche d'une plus grande circularité dans les flux physiques d'un système permet de réduire les besoins en matières premières, de même que les rejets et les pertes, tout en créant de nouvelles sources de revenus par leur revalorisation¹⁰⁰. En misant sur une approche basée sur la création de valeur, l'économie circulaire offre aux entreprises un nouveau cadre pour repenser leur modèle d'affaires. Elles peuvent ainsi trouver des occasions de minimiser les pertes économiques en améliorant la productivité des ressources et en accroissant la valorisation de celles sans valeur ajoutée (ex., pertes de chaleur, résidus ou rejets industriels). Ces ressources peuvent être récupérées dans d'autres procédés ou valorisées par d'autres secteurs économiques (ex., la Tohu récupère les pertes de chaleur de la centrale de biogaz de Biomont à Montréal)¹⁰¹.

Selon le Forum économique mondial, il existe quatre leviers de création de valeur en économie circulaire dont peuvent tirer parti les entreprises (voir graphique 18 ; pour en savoir plus, consulter WEF, 2014).

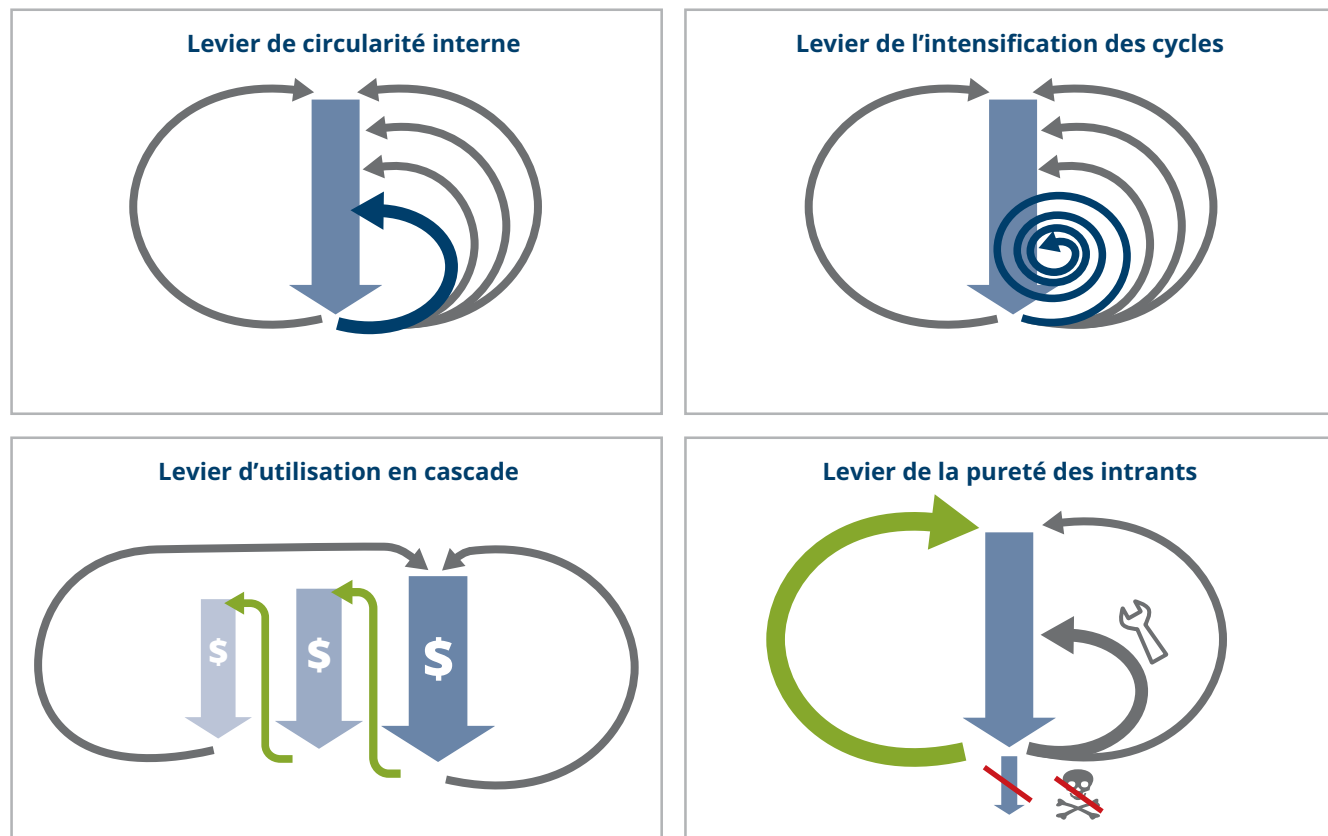
1) Le **levier de circularité interne**, qui vise à minimiser l'utilisation de matériaux par rapport à un système de production linéaire ;

¹⁰⁰ Gielen, D., Sayen, D., 2019. *Circular Economy for the Energy Transition*, Payne Institute Commentary Series: Viewpoint, p. 2, http://ljp6c3tnea61xd0wz1l33nmf-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/sites/149/2019/01/20190107_Gielen_Commentary.docx.pdf.

¹⁰¹ Mousseau, N., Simon, R., 2016. *Op. cit.*

- 2) Le **levier de l'intensification des cycles**, qui vise à prolonger le nombre de cycles consécutifs et/ou la durée d'un même cycle de matériaux (ex., réparation, reconditionnement, réutilisation ou intensification des usages) ;
- 3) Le **levier d'utilisation en cascade**, qui vise à diversifier la réutilisation de ressources à travers la chaîne de valeur ;
- 4) Le **levier de la pureté des intrants**, qui vise à décontaminer les flux matériels afin d'améliorer la productivité des matériaux grâce à leur gestion plus efficace et sécuritaire, de même qu'à une meilleure qualité et durée de vie des produits.

GRAPHIQUE 18 | LEVIERS DE CRÉATION DE VALEUR EN ÉCONOMIE CIRCULAIRE DONT PEUVENT TIRER PARTI LES ENTREPRISES



Source : graphique tiré et adapté de WEF, 2014. Traduction des auteurs¹⁰².

Il existe plusieurs stratégies d'économie circulaire qui visent à éliminer le gaspillage des ressources et à augmenter leur productivité à travers l'ensemble de la chaîne de valeur. Le recyclage, la conception plus efficace de produits, le reconditionnement, la recherche de symbioses industrielles, de même que l'économie de fonctionnalité, en sont des exemples. D'après une étude menée par *Material Economic*¹⁰³, l'économie circulaire pourrait entraîner une réduction de 56 % des émissions de GES dans l'industrie lourde (plastique, acier, aluminium et ciment) d'ici 2050. Pour y parvenir, l'étude propose trois stratégies de circularité qui visent à offrir le même niveau de service économique en utilisant moins de ressources primaires, soit 1) la recirculation de matériaux, 2) l'utilisation plus efficace des ressources ; et 3) l'adoption de modèles d'affaires circulaires. Mais avant de pouvoir adopter de

¹⁰² 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.

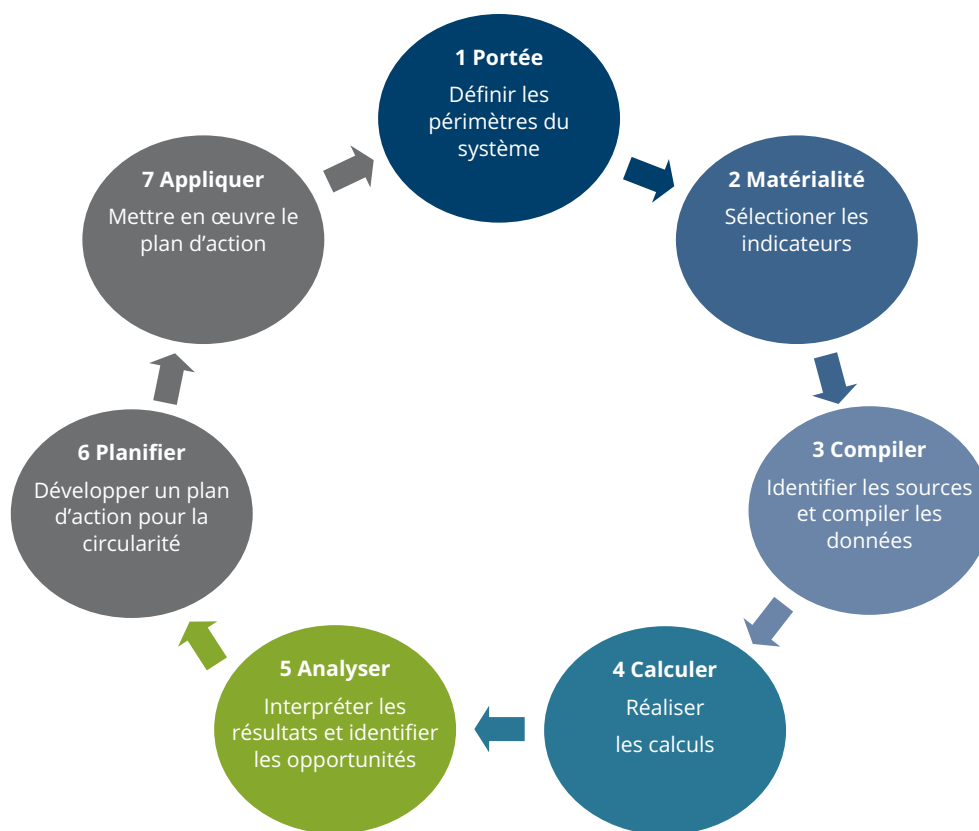
¹⁰³ Material Economics, 2018. *The Circular Economy. A Powerful Force for Climate Mitigation*, p. 176, <https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2018/06/MATERIAL-ECONOMICS-CIRCULAR-ECONOMY-WEBB-SMALL2.pdf>.

telles stratégies, il est essentiel d'établir un cadre méthodologique permettant de planifier et de faire le suivi des indicateurs de circularité d'une entreprise. C'est ce que propose WBCSD dans son rapport intitulé *Circular Transition Indicators*¹⁰⁴.

L'évaluation du potentiel de circularité se base sur des indicateurs qui mesurent les flux de matériaux et d'énergie d'une entreprise. Toute organisation, nonobstant sa taille, son secteur ou sa position dans la chaîne de valeur, peut se doter d'un cadre pour évaluer ce potentiel. Le WBCSD propose une approche décisionnelle cadrée pour accompagner les entreprises (voir graphique 19) dans cette démarche. Ce rapport est un outil indispensable pour toute entreprise désireuse d'évaluer son potentiel de circularité.

Le gouvernement du Québec pourrait suivre la voie tracée par le gouvernement néerlandais. En 2016, ce dernier s'est doté d'une politique d'économie circulaire et a demandé à son agence de la statistique (CBS) d'assurer la collecte des données sur les flux de matériaux des entreprises sur son territoire, de mettre au point des outils pour aider les entreprises à évaluer leur potentiel de circularité, et de faire la promotion de modèles d'affaires régionaux fondés sur l'économie circulaire¹⁰⁵.

GRAPHIQUE 19 | LEVIERS DE CRÉATION DE VALEUR EN ÉCONOMIE CIRCULAIRE DONT PEUVENT TIRER PARTI LES ENTREPRISES



Source : graphique de WBCSD, 2019. Traduction par les auteurs.

¹⁰⁴ WBCSD, 2019. *Circular Transition Indicators – Proposed metrics for business*, by business, www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Factor-10/Resources/Circular-Transition-Indicators.

¹⁰⁵ Gouvernement néerlandais, 2016. *A Circular Economy in the Netherlands by 2050. Government-wide Program for a Circular Economy*, Policy note | 14-09-2016, p. 54, www.government.nl/documents/policy-notes/2016/09/14/a-circular-economy-in-the-netherlands-by-2050.

L'industrie 4.0

Souvent appelée la « 4^e révolution industrielle », l'industrie 4.0 utilise les technologies numériques (ex., Internet des objets, capteurs sans fil, réseaux intelligents, logiciels) pour créer des « usines de fabrication intelligente » qui enregistrent, surveillent et contrôlent, en temps réel, les équipements et les processus à chaque étape de production. Ces informations permettent aux entreprises de prendre les meilleures décisions possible, voire de les automatiser, pour optimiser la productivité et le rendement des opérations, ou encore de prévoir les flux financiers et les commandes d'approvisionnement. Selon un sondage de BDC mené auprès de 1 000 entrepreneurs, 60 % d'entre eux ont affirmé que les technologies numériques contribuaient à accroître leur productivité et que le principal facteur de croissance de la productivité était la capacité d'anticiper ou de prévenir les temps d'arrêt et d'optimiser l'efficacité et l'entretien de l'équipement¹⁰⁶.

Dans un contexte d'amélioration de la productivité énergétique, l'accès aux données réelles, grâce aux réseaux intelligents, permet aux entreprises de piloter facilement et efficacement leurs besoins énergétiques grâce à une gestion ciblée et optimale des ressources et un entretien adéquat des équipements. L'intégration complète des technologies et des données réelles à un système de contrôle qui analyse les performances passées et optimise les systèmes de l'usine en prévision des performances futures offre aux entreprises la possibilité de maximiser leur productivité et de minimiser leurs coûts, dont l'énergie est l'un des principaux coûts de fabrication^{107, 108}.

Certains obstacles peuvent toutefois entraver le succès d'une telle stratégie : l'adoption de ces technologies peut être freinée par les investissements initiaux. Par ailleurs, leur mise en place risque d'exacerber l'effet rebond si un système de gestion globale de l'énergie et des ressources n'est pas intégré en amont (voir chapitre 3).

L'étude de cas de Bridgestone, présentée au chapitre 5, illustre la démarche d'une entreprise vers l'industrie 4.0.

¹⁰⁶ BDC, (non daté). *Comment mon entreprise peut-elle bénéficier de l'industrie 4.0 ?*, blogue, www.bdc.ca/fr/articles-outils/technologie/investir-technologie/pages/comment-mon-entreprise-peut-elle-beneficier-industrie.aspx?type=B&order=1&intlnk=rightbox (consulté le 30 juillet 2019).

¹⁰⁷ Rogers, E., 2015. « How Smart Manufacturing Saves Money », dans *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry*, p. 3-4, <https://aceee.org/files/proceedings/2015/data/papers/3-45.pdf>.

¹⁰⁸ *Ibid.*, p. 3-2.

CHAPITRE 5 | Études de cas relatives à la productivité énergétique en entreprise

En pratique, l'utilisation d'indicateurs et de stratégies de productivité énergétique est peu courante au Québec. Ce concept est en effet peu connu et son application n'est guère favorisée dans le contexte actuel. Contrairement à d'autres régions, le Québec n'a pas encore de stratégie, d'objectif ou de programme visant à améliorer la productivité énergétique de son économie et de ses entreprises. Néanmoins, des entreprises innovantes ont adopté certaines des stratégies abordées au chapitre 4 pour améliorer, de façon plus ciblée, la performance environnementale ou énergétique de leurs opérations. Dans le but d'explorer le potentiel de ces stratégies, quatre études de cas sont présentées pour illustrer comment certaines de ces approches peuvent contribuer à la productivité énergétique d'une entreprise.

Trois des quatre entreprises retenues pour les études de cas (Tafisa Canada, Papier Masson de Papiers White Birch et Bridgestone Canada Inc.) opèrent sur le territoire québécois. Elles ont été choisies en raison de leur leadership en matière d'innovation et de recherche d'amélioration continue de leur performance environnementale et énergétique. Ces entreprises ont été approchées par les auteurs pour participer à la présente étude elles ont généreusement et volontairement accepté de partager leurs données et de collaborer à l'élaboration d'études de cas. Les données présentées dans les graphiques ont été indexées pour uniformiser la présentation des informations des différents cas, ainsi que par souci de confidentialité dans un contexte de concurrence entre entreprises. La quatrième entreprise, Harbec, qui est située aux États-Unis, est reconnue comme un cas exemplaire dans le cadre du *Superior Energy Performance Program* du Département de l'énergie (DOE) des États-Unis. Les données utilisées pour illustrer ce cas sont publiques et proviennent du site Internet du DOE et des présentations réalisées par la direction de l'entreprise.

Harbec, un fabricant américain de pièces de plastique et de métal, offre un exemple d'implantation d'un système de gestion d'énergie stratégique. L'usine Papier Masson de Papiers White Birch offre un exemple d'utilisation de l'approche *Kaizen-blitz*, du *Lean Energy*, dans le segment de la fabrication de produits de papier de haute qualité. L'usine de fabrication de pneus de Bridgestone, à Joliette, illustre le potentiel d'amélioration de la productivité offert par une stratégie de modernisation (démarche vers industrie 4.0). Finalement, l'usine de Tafisa Canada à Lac-Mégantic, spécialisée dans la fabrication de panneaux de particules bruts et de mélamine, sert d'exemple d'implantation d'une stratégie d'économie circulaire pour un procédé.

Il faut noter que les mesures adoptées par les entreprises retenues ne s'inscrivent pas explicitement dans une stratégie ou des objectifs d'amélioration de la productivité énergétique, puisque l'application du concept ne fait qu'émerger. L'effet rebond n'y est également pas évalué. Ces études se veulent plutôt un premier aperçu du potentiel qu'offrirait une telle approche si ses indicateurs étaient intégrés dans les stratégies de gestion énergétique des entreprises du Québec. Les informations recueillies visent également à mieux comprendre les facteurs qui peuvent influencer la productivité énergétique ou du carbone d'une entreprise en vue d'en tirer des leçons et des pistes de solutions qui peuvent faire évoluer l'application du concept dans le processus décisionnel des entreprises et l'élaboration de mesures gouvernementales au Québec.

Dans les divers cas présentés, différents indicateurs sont utilisés pour exprimer la productivité de l'énergie et du carbone. Lorsque la croissance de la valeur économique tient à l'amélioration des produits, comme c'est le cas pour Tafisa Canada, l'utilisation de la valeur ajoutée manufacturière permet une meilleure évaluation de

la productivité de l'énergie et du carbone. Lorsque la valeur économique tient principalement à la croissance d'unités produites, l'utilisation du nombre d'unités produites, plutôt que la valeur manufacturière ajoutée, peut être utilisée pour estimer la croissance de la productivité de l'énergie et du carbone.

Harbec

Exemple d'implantation d'un système de management de l'énergie (SME) et d'installation d'une éolienne.

Contexte

Harbec est un fabricant américain de pièces de plastique et de métal dont l'usine est située dans la ville d'Ontario, dans l'État de New York. Sa production annuelle s'élève à 10 600 tonnes. L'entreprise est spécialisée dans les prototypes complexes, l'outillage de précision, les composants usinés et les pièces moulées par injection pour des clients des secteurs de l'aérospatiale, du médical et du transport.

Harbec vise à se positionner sur les marchés d'Europe et d'Asie, où la demande des produits de fabrication carboneutre est en plein essor. L'entreprise y voit une occasion d'accroître la valeur de ses produits. Elle a donc opté pour une production carboneutre en réduisant sa consommation de gaz naturel et en la compensant par une autoproduction d'électricité à partir d'éoliennes. Toutefois, pour pallier les coûts additionnels liés à cette production et poursuivre ses objectifs de rentabilité, de concurrence et de croissance économique, l'entreprise a implanté un SME qui lui a permis d'améliorer sa productivité énergétique grâce à des mesures de récupération et de valorisation des pertes de chaleur.

Une vision de développement durable

Harbec est soucieuse de l'énergie et de l'environnement. Avant de mettre en œuvre ce projet, l'entreprise utilisait déjà diverses mesures d'atténuation des émissions de GES pour compenser son empreinte, dont l'autoproduction d'électricité par une éolienne et l'achat de crédit de carbone. Le projet de SME visait à l'amener plus loin¹⁰⁹.

Le projet ISO 50001 et la certification *Superior Energy Performance* (SEP)

Dans le but d'améliorer sa performance énergétique, Harbec a choisi d'implanter un SGE selon la norme ISO 50 001 et les exigences SEP. Cela, afin de se doter d'un robuste processus d'amélioration continue et d'une méthode vérifiable de mesure, de surveillance et de calcul de sa consommation. Harbec a également adopté un processus indépendant d'audit annuel de son empreinte carbone.

Le projet s'est étendu sur quatre ans. Durant une période de près de deux ans, l'entreprise a procédé à l'installation d'une éolienne de 850 kW et de nouvelles capacités de production de chaleur fournies par un parc de microturbines au gaz naturel fonctionnel au début de 2012. En vertu de sa participation à SEP, l'entreprise devait mesurer durant une période d'un an, soit en 2013, la consommation d'énergie de référence et celle faisant suite à l'implantation du système de gestion d'énergie, de même que d'autres paramètres dont la production. Le logiciel *DOE EnPI* a été utilisé pour modéliser la consommation et évaluer les économies réalisées.

En bref...

Chiffre d'affaires de l'usine (2018) : 15 M\$ US

Année de réalisation du projet : 2010 à 2013

Investissement : 127 000 \$ (SME),
2,4 M\$ (éolienne)

Subvention : 0,4 M\$ (éolienne)

Retour sur investissement : 2,3 mois (SME),
8 à 10 ans (éolienne)

Économie d'énergie (élect. et gaz naturel [GN]) : 16,5 % par rapport à 2010 ; 52 000 \$ US

Réduction des émissions de GES : 66 % sous le niveau de 2010

Productivité énergétique (moy.) : croissance de 20 % en 3 ans (gaz naturel + électricité)

Productivité GES (moy.) : croissance de 194 % en 3 ans

Source : US DOE, 2019. www.harbec.com

¹⁰⁹ Harbec, 2019. *Sustainable Manufacturing – HARBEC Endeavors to be a Sustainable Company*, vidéo, www.harbec.com/sustainable-manufacturing (visionnée le 26 septembre 2019).

La réalisation d'un bilan énergétique à partir de données provenant d'instruments de mesure installés dans le cadre du projet a permis d'élaborer quatre plans d'amélioration, dont deux principaux :

- 1) l'optimisation du parc des microturbines au gaz naturel de 750 kW pour produire davantage de chaleur pour les besoins thermiques;
- 2) l'installation d'une deuxième éolienne pour compenser la réduction de la génération d'électricité des micro-turbines¹¹⁰.

TABLEAU 7 | COÛTS DU PROJET D'IMPLANTATION D'UN SME ET DE L'INSTALLATION D'UNE ÉOLIENNE DE HARBEC, 2010 À 2013

Coûts du projet de SME	
Mesures (coûts assumés par NYSERDA)	0 \$
Implantation du SME, honoraires du coach et certifications ISO 50 001 et SEP	127 000 \$
Économies d'énergie annuelle récurrente	52 000 \$
Période de récupération de l'investissement de 2,4 ans, financé à même le budget d'exploitation	
Coût du projet d'une deuxième éolienne¹¹¹	
Éolienne de 850 kW installée en 2012	2 400 000 \$
Aide financière de NYSERDA	400 000 \$
Période de récupération de l'investissement de 8 à 10 ans	

Sources : US DOE, 2019 ; NYREJ, 2013.

Le projet a permis à l'entreprise de :

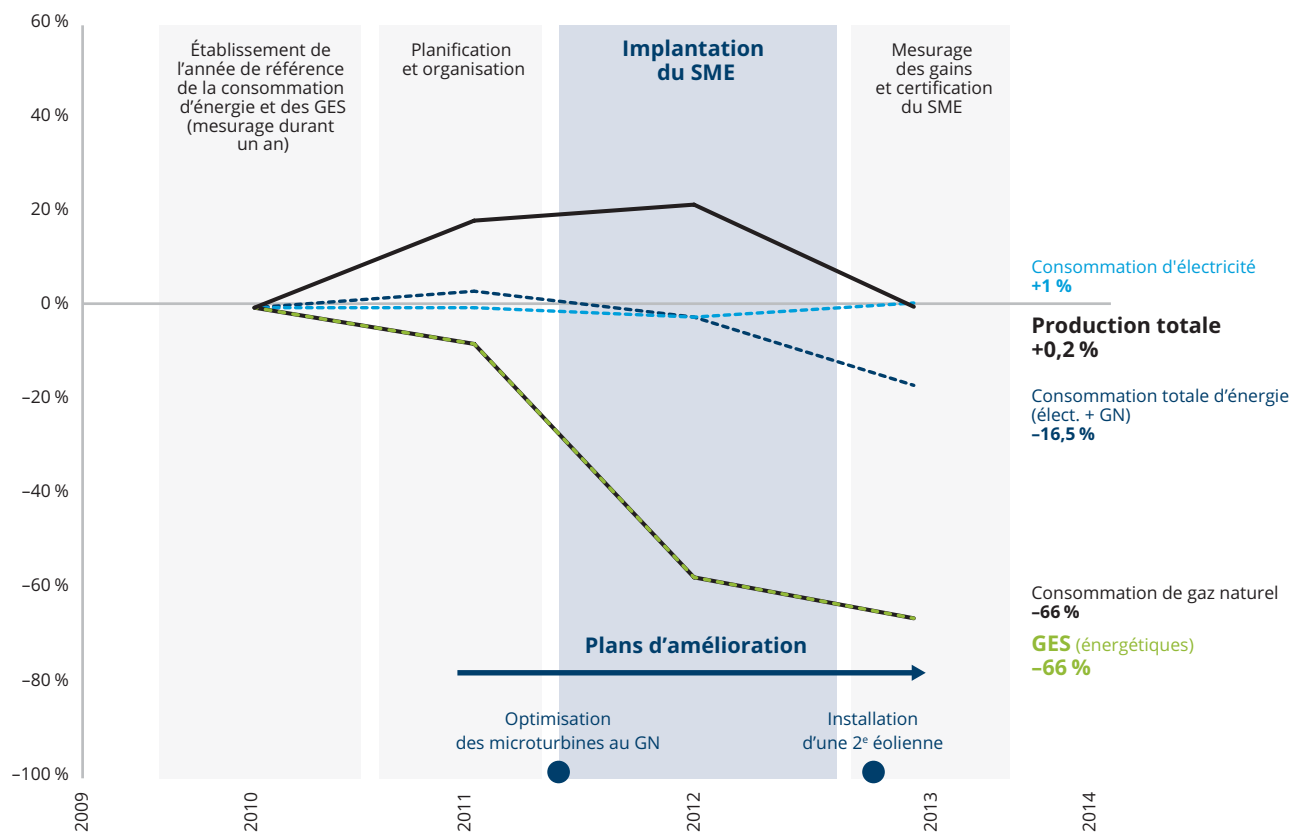
- produire les deux tiers de ses besoins en électricité, ce qui représente des économies annuelles de 200 000 \$ par rapport à l'approvisionnement au réseau public, à l'aide de ses deux éoliennes d'une capacité totalisant 1 100 kW et du système de 25 microturbines au gaz naturel totalisant une puissance de 750 kW. L'entreprise génère des profits additionnels en vendant les surplus de sa production éolienne à quatre entreprises voisines ;
- réduire ses émissions de quelques 100 tonnes de CO₂ annuellement. Aujourd'hui, 900 tonnes résiduelles d'émissions de GES sont compensées par l'achat de crédits de carbone ;
- être certifiée ISO 50 001 et SEP Platinum pour l'atteinte d'économies dépassant les 15 % sur une période de trois ans.

¹¹⁰ Les coûts de l'électricité du réseau public étant de plus de 15 ¢ USD/kWh, la génération sur site a permis à Harbec de réduire considérablement sa facture d'électricité.

¹¹¹ NYREJ, 2013. « Harbec and NYSERDA begin operation of \$2.4m wind turbine project ; 850-Kilowatt turbine is largest of on-site wind program », *New York Real Estate Journal*, article publié le 10 juin 2013, <http://nyrej.com/pdf/20466>.

Le graphique 20 montre l'énergie totale consommée et le volume de production pour la période allant de 2010 à 2013. En 2013, l'entreprise avait réduit sa consommation totale d'énergie de 16,5 %. Cette réduction était attribuable à une baisse de 66,3 % (22,1 % /an) de sa consommation de gaz naturel (également des émissions de GES), une légère augmentation de 1,0 % (0,3 % /an) de sa consommation électrique et une légère augmentation de 0,2 % de sa production (0,1 % /an).

GRAPHIQUE 20 | ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION, DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE (ÉLECTRICITÉ ET GAZ NATUREL), HARBEC, 2009 À 2013



Sources : US DOE, 2014¹¹², 2017¹¹³ ; Scheihing et coll., 2015¹¹⁴.

Note : Données mensuelles compilées annuellement et exprimées en pourcentage de croissance par rapport à 2010.

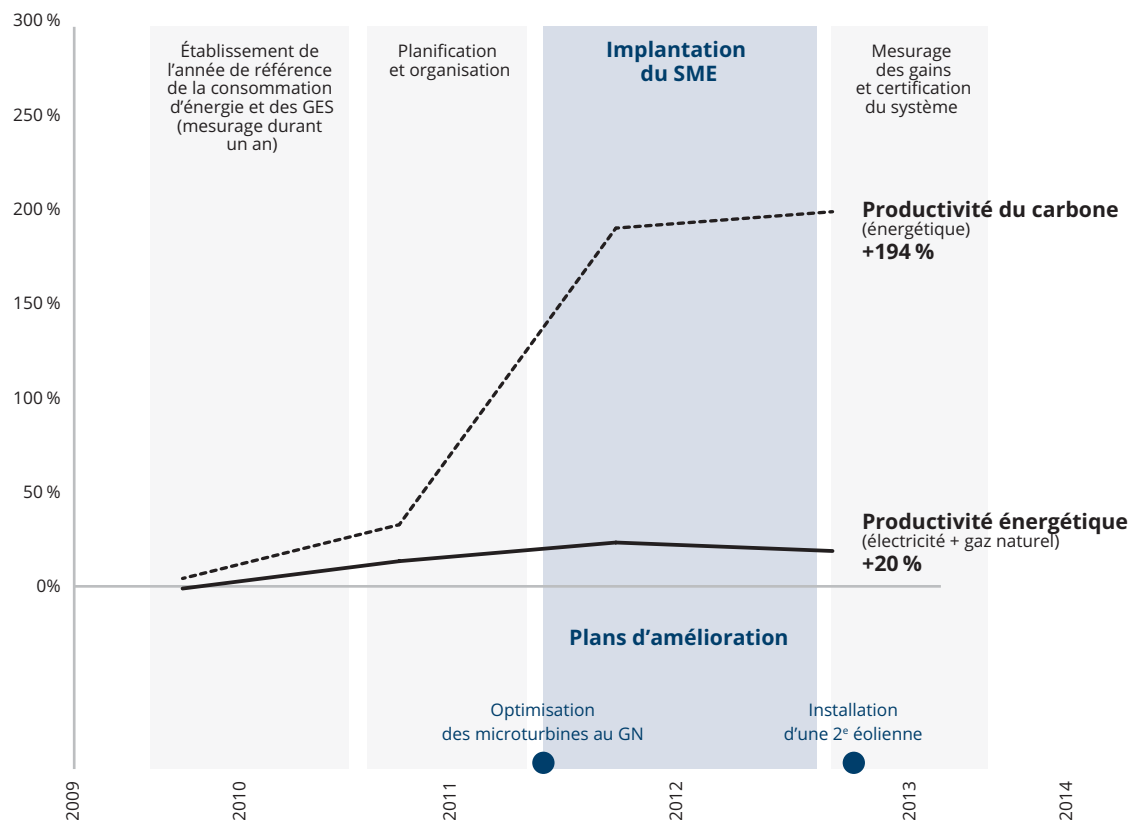
¹¹² US DOE, 2014. Superior Energy Performance, sans date. *Global Energy Management System Implementation: Case Study – Harbec Inc.*, USA, Superior Energy Performance, www.energy.gov/sites/prod/files/2014/09/f18/GSEP_EMWG_harbec_case_study.pdf.

¹¹³ US DOE, 2017. *Case Study: HARBEC Navigates SEP M&V Process, Superior Energy Performance*, www.energy.gov/sites/prod/files/2017/09/f37/HARBEC_MV_case_study.pdf.

¹¹⁴ Scheihing, P., et coll. 2015. *SEP Measurement & Verification Case Study Webinar, US DOE Superior Energy Performance*, webinaire présenté le 24 juin 2015, www.energy.gov/sites/prod/files/2015/07/f25/SEP%20MedImmune%20MV%20Webinar%20Slides_2015Jun24%20v3.pdf.

Le graphique 21 montre une hausse de 20 % (6,7 % /an) de la productivité énergétique en trois ans (kilolivres de produit/MMBtu) et de 194 % (65 % /an) de la productivité du carbone (kilolivres de produit/t éq. CO₂), sur la base des émissions directes ; les émissions compensées de GES par les éoliennes permettant d'éviter les émissions de GES du distributeur ne sont pas incluses.

GRAPHIQUE 21 | ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DE L'ÉNERGIE (k-lbs/MMBtu) ET DU CARBONE DE SOURCE ÉNERGÉTIQUE (k-lbs/t éq. CO₂), HARBEC, 2010 À 2013



Source : voir graphique 20.

Leçons apprises

L'entreprise a démontré 1) qu'il est possible de découpler la consommation d'énergie, les émissions de GES et la production ; 2) de mettre en œuvre et de maintenir un système de gestion d'énergie ISO 50 001 robuste et une certification SEP du plus haut niveau d'exigence dans une moyenne entreprise ; 3) de demeurer compétitif et rentable grâce à une amélioration de la productivité énergétique. Augmenter la valeur du produit tout en réduisant la quantité d'énergie requise est une approche qui permet d'obtenir de nouveaux gains.

Papiers White Birch : usine S.E.C. Papier Masson WB

Exemple de l'utilisation de l'approche kaizen-blitz (Lean Energy)

Contexte

Papiers White Birch fabrique des produits de papier de haute qualité dans trois usines situées au Canada et dessert une clientèle aux États-Unis, en Europe et en Asie. Son usine S.E.C. Papier Masson WB, située dans la ville de Gatineau et comptant 160 employés, s'est ajoutée en 2006. Elle fabrique environ 245 000 tonnes métriques de papier journal avec de la pâte sur sa machine à papier (largeur de 8,4 m). Grâce à un procédé thermomécanique installé en 2000, l'usine est la première au monde à fonctionner avec une machine à papier à chaîne unique.

Pour demeurer compétitive et améliorer sa performance environnementale, S.E.C. Papier Masson WB innove de façon continue afin de réduire ses coûts d'exploitation et de consommation de matières premières et d'énergie, qui représentent des postes de dépense importants. Pour atteindre ses objectifs et aller au-delà des gains obtenus avec des approches plus conventionnelles, la direction de l'usine a réalisé, en 2014, un atelier *kaizen-blitz* (voir chapitre 4 pour la description) afin de concentrer les efforts de recherche d'innovation sur une courte durée et d'implanter des améliorations ciblées pouvant avoir d'importantes retombées en à peine quelques mois. L'approche *kaizen* cible les mesures d'amélioration des opérations et de la maintenance dont les coûts peuvent être assumés par les budgets d'exploitation. Bien qu'efficaces, les nouvelles technologies ne peuvent améliorer pleinement la productivité énergétique sans optimisation des opérations et de la maintenance. C'est ce qu'à permis d'apporter le chantier *kaizen-blitz* à la suite d'un important investissement dans plusieurs projets de modernisation.

Le profil de la productivité énergétique de l'usine est présenté pour la période 2007 à 2016. À partir de 2017, les références concernant les données relatives à la production ont été modifiées en raison d'un changement stratégique, ce qui ne permet pas une comparaison de la consommation énergétique avant et après 2017.

Au-delà de l'approche conventionnelle d'efficacité énergétique

En 2007, la direction de l'usine a adopté un plan de réduction de la consommation de gaz naturel qui a mené à la réalisation d'une quinzaine de projets d'efficacité énergétique plus conventionnels, c'est-à-dire d'amélioration technologique. Ceux-ci ont permis en 2012 de réduire de 72 % la consommation de gaz naturel et les émissions de GES de l'usine. Ces projets ont bénéficié d'une subvention de 2 M\$, ce qui représentait la moitié de la valeur du coût total des projets. Lorsqu'entre 2012 et 2014, la réduction de la consommation de gaz naturel avait atteint un plancher (voir graphique 22), la direction a décidé d'explorer de nouvelles stratégies d'amélioration de la gestion énergétique. Elle a donc réalisé un atelier *kaizen-blitz* en utilisant la méthode *Energy Treasure Hunt* (chasse aux trésors énergétiques) afin de réduire davantage la consommation d'énergie thermique de l'usine (voir le chapitre 4 pour une description des stratégies).

Approche kaizen

Le chantier *kaizen-blitz* avait pour objectif de réduire la consommation totale de gaz naturel de 10 % au-delà des gains réalisés jusqu'en 2014. Cet atelier, d'une durée de 5 jours a permis d'identifier 17 projets d'amélioration des opérations ayant des retours sur investissement allant de 1 et à 6 mois. Tous les projets ont été réalisés sur

En bref...

Chiffre d'affaires de l'usine : n.d.

Année de réalisation de l'atelier *kaizen-blitz* : 2014-2015

Investissement : 161 285 \$

Subvention : 17 % de la valeur du projet

Retour sur investissement : moins de trois mois

Économie d'énergie : +42 % (GN 2014-2015)

Réduction des émissions de GES : -42 % (GN 2014-2015)

Productivité énergétique : +3 % (GN + élect. 2014-2015)

Productivité carbone : +71 % (GN 2014-2015)

Contact : Sylvain Bussière, Directeur technique, S.E.C.

une période de trois mois et ont permis à l'usine de réduire sa consommation de gaz naturel de 42 % en 2015 par rapport à 2014, pour une économie annuelle de plus de 500 000 \$. Le projet a contribué à une réduction des émissions de GES de 4 059 t éq. CO₂.

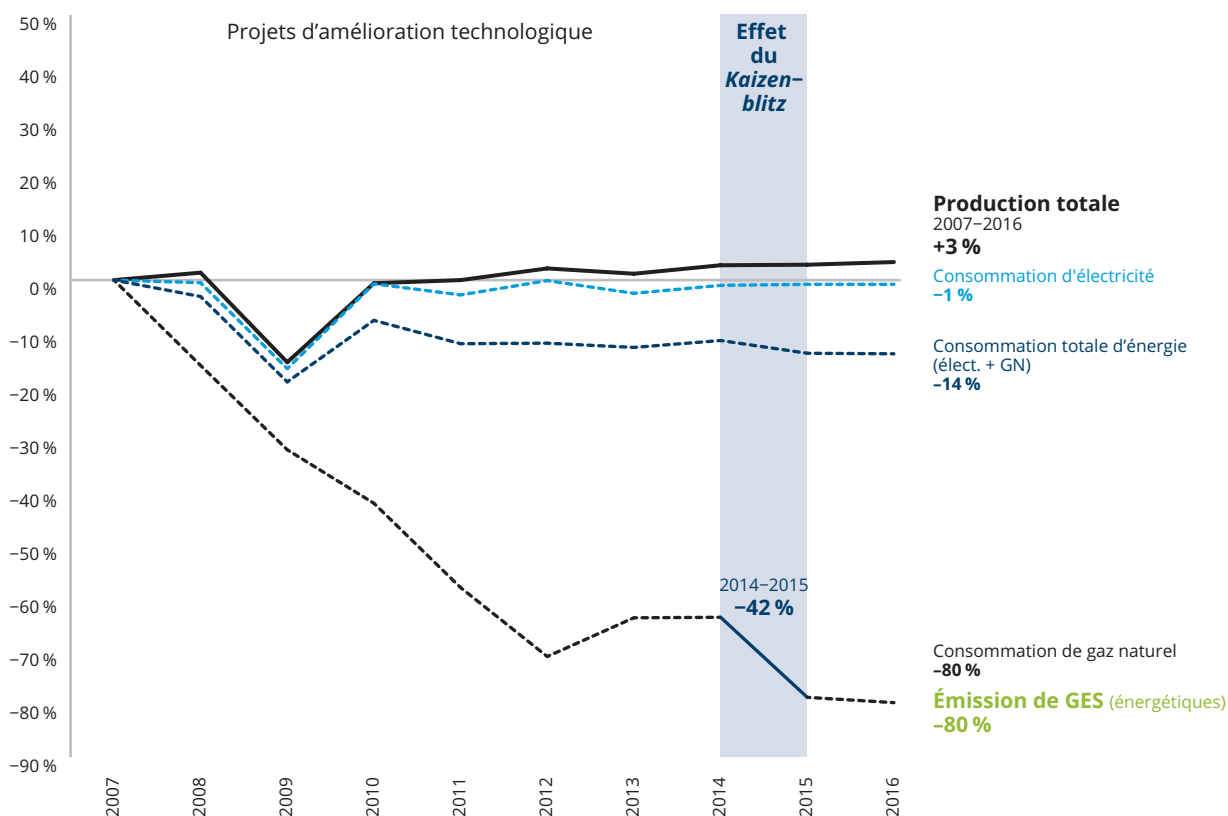
Comme illustré dans le graphique 19, la production a continué d'augmenter alors que la consommation totale d'énergie de l'usine (électricité et gaz naturel) diminuait.

TABLEAU 8 | COÛTS DE LA RÉALISATION DES CHANTIERS KAIZEN-BLITZ À L'USINE S.E.C. PAPIER MASSON WB, 2014

Coût de l'étude (analyse, main d'œuvre <i>Kaizen</i>)	56 285 \$
Coût de réalisation des projets	105 000 \$
Total	161 285 \$
Subvention (BEIE) pour l'étude	(26 787) \$
Coût du projet	134 498 \$

Sources : S.E.C. Papier Masson WB (communication personnelle), 2019.

GRAPHIQUE 22 | ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION ET DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DE L'USINE PAPIERS MASSON PENDANT L'ATELIER KAIZEN-BLITZ POUR RÉDUIRE LA CONSOMMATION DE GAZ NATUREL, 2007 À 2016



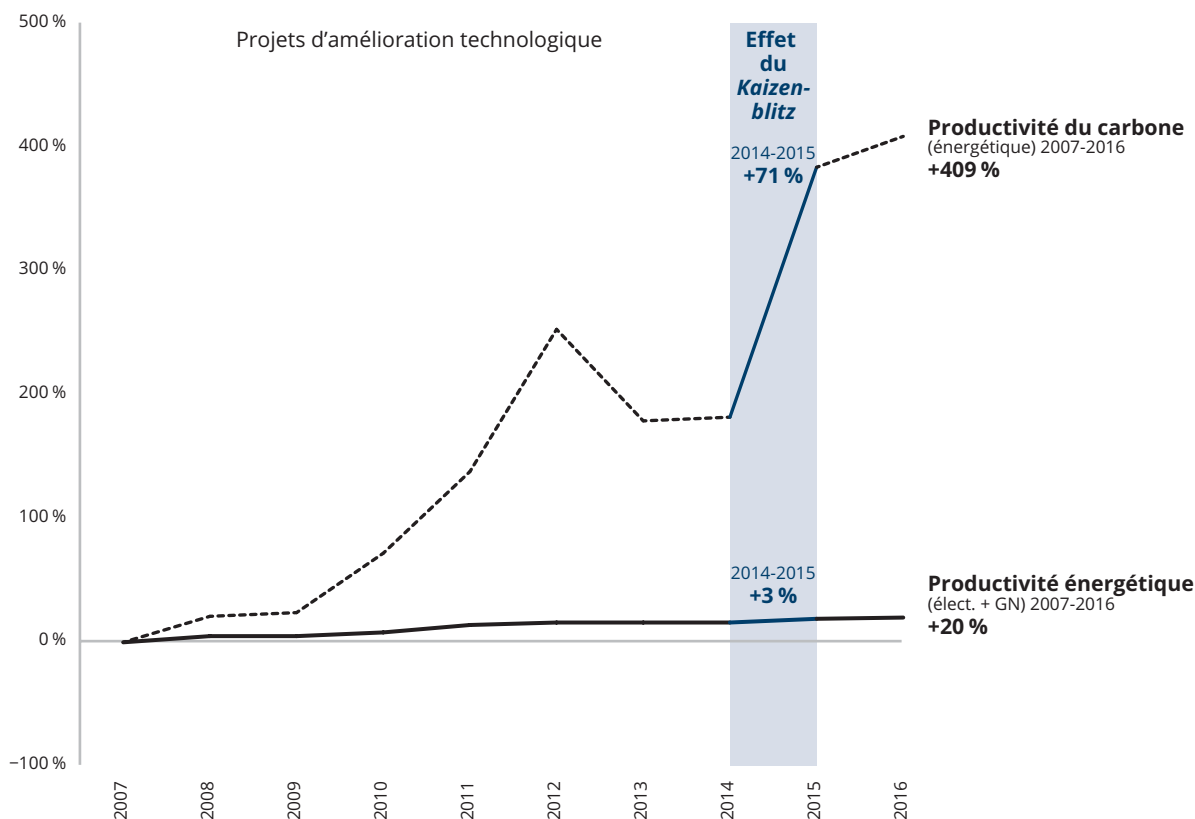
Source : Papier Masson (communication personnelle), 2019.

Amélioration de la productivité de l'énergie et du carbone

Le graphique 23 montre l'évolution de la productivité de l'énergie et du carbone de l'usine. Grâce à la modernisation de l'entreprise et à la tenue du *kaizen-blitz*, la productivité énergétique (tonnes de papier/GJ) s'est améliorée en moyenne de 20 % entre 2007 et 2016, soit d'environ 2 % par année, comparé à une amélioration de 409 %, soit 45 % par an pour celle du carbone de source énergétique (tonnes de papier/t éq. CO₂).

L'atelier *kaizen-blitz* sur l'énergie a permis à l'entreprise d'obtenir entre 2014 et 2015 des gains additionnels de productivité du carbone (énergétique) de 71 % et de productivité énergétique de 3 %.

GRAPHIQUE 23 | CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DE L'ÉNERGIE ET DU CARBONE (ÉNERGÉTIQUE) DE L'USINE PAPIER MASSON, 2007-2016 ET CONTRIBUTION DE L'APPROCHE KAIZEN



Source : Papier Masson (données internes), 2019.

Leçons apprises

L'adoption de nouvelles technologies plus efficaces ne peut, à elle seule, optimiser la productivité énergétique d'une entreprise. Pour maximiser les gains, ces mesures peuvent s'accompagner d'une optimisation des opérations et d'une maintenance plus stratégique et ciblée des systèmes. Les ateliers *kaizen*, fondés sur la méthode de chasse aux trésors énergétiques du *Lean Energy*, peuvent s'avérer d'une grande efficacité pour y parvenir, et ceci, à très faible coût.

Astuces pour aller plus loin

Les nouvelles technologies hautement informatisées permettent de répondre aux besoins des entreprises avec une plus grande flexibilité. L'efficacité de ces technologies peut toutefois être altérée par une accessibilité restreinte aux modifications. Les mesures d'opération et de maintenance sont également sujettes à des relâchements à travers le temps qui peuvent diminuer les gains engrangés grâce aux mesures prises antérieurement. La mise en œuvre d'un SME, s'appuyant sur des mesures comme les chasses aux trésors énergétiques, peuvent aider les entreprises à améliorer leur productivité énergétique de façon continue.

Bridgestone Canada : usine de Joliette

Exemple d'une approche de modernisation et d'automatisation dans un contexte agrandissement d'usine

Contexte

Bridgestone, dont le siège social est situé à Tokyo, est la plus importante entreprise de caoutchouc et de pneus au monde. L'entreprise emploie 144 000 travailleurs dans ses 179 usines situées dans 26 pays.

L'usine de pneus Bridgestone de Joliette, l'une des principales usines de la compagnie, est spécialisée dans la fabrication de pneus pour voitures de tourisme et camionnettes. L'usine de Joliette figure parmi les usines les plus performantes du Groupe Bridgestone en ce qui a trait à la gestion environnementale.

Les projets de modernisation

Entre 2005 et 2015, Bridgestone a entrepris plusieurs projets d'efficacité énergétique, notamment la modernisation de l'éclairage, l'installation d'entraînements à fréquence variable, le remplacement de compresseurs d'air, l'isolation des conduites chaudes et l'amélioration de l'entretien de son réseau de vapeur.

L'usine a mis en œuvre d'autres projets d'amélioration touchant notamment les procédés, dont l'amélioration des méthodes de fonctionnement des presses de vulcanisation – qui a permis d'abaisser le niveau de vapeur requis – et des techniques d'arrêt de divers équipements énergivores lorsqu'ils ne sont pas utilisés.

Le gaz naturel a remplacé le mazout, utilisé comme carburant pour les chaudières de la centrale thermique en 2008. En 2013, une chaudière électrique a été installée pour couper la consommation du gaz naturel en dehors des périodes de forte demande d'électricité, permettant ainsi d'utiliser une source d'énergie propre à moindre coût.

De 2016 à 2018, un projet d'automatisation du contrôle des équipements de chauffage, ventilation et conditionnement de l'air (CVCA) a été mis en place. En 2018 et 2019, des projets de récupération de chaleur pour réduire la quantité de gaz requise pour le chauffage du bâtiment ont été mis sur pied. Pour réaliser l'ensemble de ces projets, près de 9 M\$ ont été investis, dont environ 1,2 M\$ reçu en subvention.

En 2016, l'usine de Joliette a annoncé un projet d'agrandissement et de modernisation de ses équipements. Échelonné sur cinq ans, ce projet lui permettra d'augmenter sa production de 50 % par rapport à l'année de référence de 2005.

En bref...

Chiffre d'affaires de l'usine (2018) : n.d.

Année de réalisation des projets :
2005 à 2018

Investissement : 9 M\$

Subvention : 1,17 M\$ (13 % de la valeur du projet)

Retour sur investissement : n.d.

Économie d'énergie (totale) : 3 % en MMBtu/
millions de livres de pneus

Réduction des émissions de GES :
33 % en t éq. CO₂/millions de livres de pneus

Productivité énergétique (moy.) :
+1 %/an (2005-2016), +1 %/an (2005-2021)

Productivité GES (moy.) : +3 %/an (2015-2016),
prévision de +3 %/an (2005-2021)

Contact : France Veillette, chef environnement,
usine Bridgestone de Joliette

Selon Bridgestone, « ces améliorations reflètent un engagement renouvelé en matière de responsabilité sociale des entreprises (RSE), appelé *Notre Manière de Servir chez Bridgestone*. En améliorant la façon dont les gens se déplacent, vivent, travaillent et se distraient, Bridgestone accepte sa responsabilité en tant que leader mondial et sert la société en améliorant l'accès à des transports sécuritaires et intelligents ; en créant des communautés saines et résilientes ; et en balançant ses opérations commerciales par une bonne gestion environnementale. »

Approches en matière d'amélioration

Dans le cadre de ces projets d'amélioration de l'efficacité énergétique, on a remplacé certains équipements par de plus performants, tout en optimisant des pratiques de maintenance et des méthodes de gestion des équipements de production et de chauffage.

Résultats

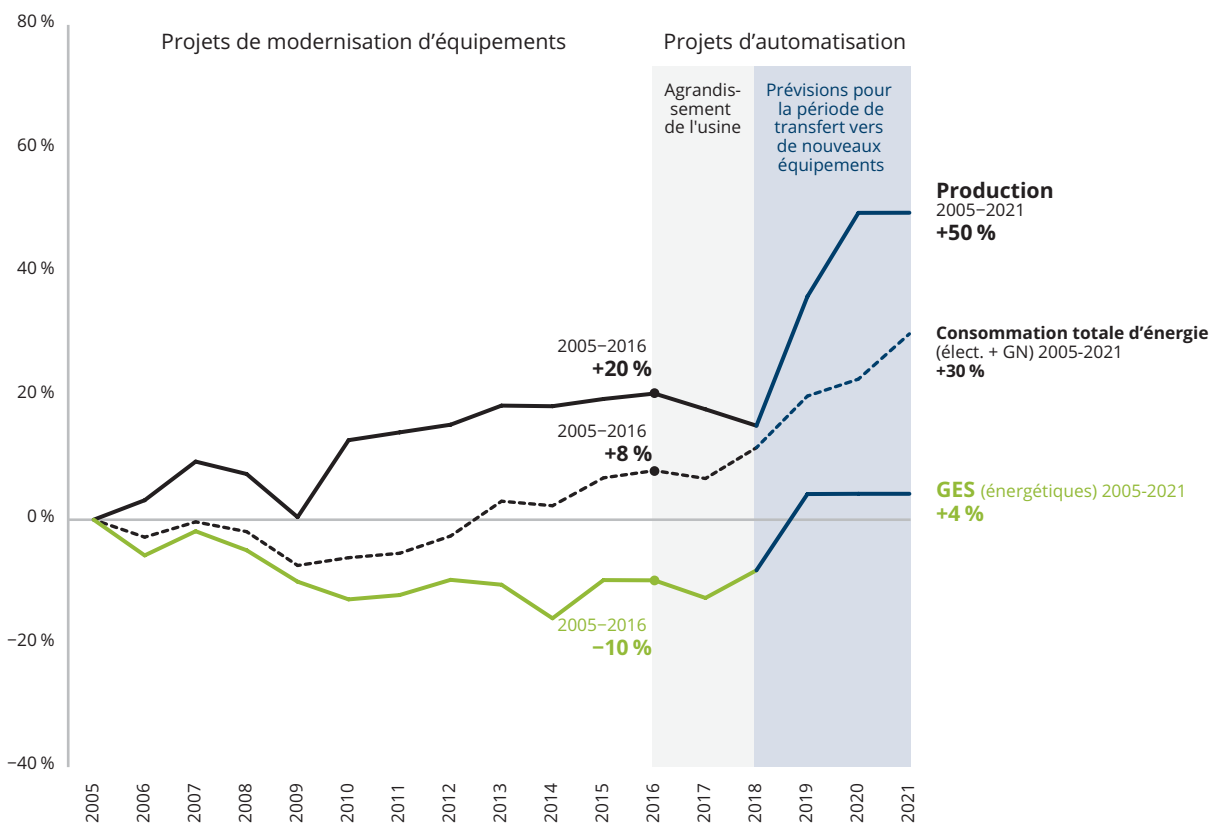
Le graphique 24 présente les tendances annuelles en matière de production, de consommation d'énergie et d'émissions de GES. Les années 2017 et 2018, marquées d'un rectangle gris, indiquent les années de transition durant lesquelles l'usine a été agrandie. À la suite de ces agrandissements, on a dû augmenter le chauffage requis dans l'usine, ce qui a entraîné une hausse des émissions de GES, alors que la production ralentissait. Les lignes pointillées, identifiées par le rectangle mauve, illustrent les prévisions concernant la production, la consommation et les émissions de GES d'ici la fin 2021, soit la période prévue pour atteindre les nouveaux volumes de production.

De 2005 à 2016, la production a augmenté de 20 %. Durant cette même période, l'utilisation d'énergie n'a augmenté que de 8 %, alors que les émissions de GES ont été réduites de 10 % par rapport à 2005. Jusqu'en 2016, on a observé un découplage relatif entre la production et la consommation d'énergie et un découplage absolu entre la production et les émissions de GES (voir le graphique 12 pour les types de découplage).

Les économies d'énergie en particulier s'élèvent à 3 % (MMBtu/millions de livres de pneus) et l'empreinte carbone a été améliorée de 33 % (t éq. CO₂/millions de livres de pneus).

Selon les prévisions, l'usine devrait connaître en 2021 une hausse de sa production de 50 % par rapport à 2005, tandis que l'énergie totale utilisée devrait être supérieure de 30 % et que les émissions de GES devraient croître modestement de 4 %. L'usine Bridgestone de Joliette parvient à découpler la croissance de la production en fonction du CO₂ en produisant 50 % plus de pneus avec seulement 4 % de GES en plus.

GRAPHIQUE 24 | ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION, DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET DES ÉMISSIONS DE GES DE SOURCE ÉNERGÉTIQUE À L'USINE BRIDGESTONE DE JOLIETTE ET PRÉVISIONS CONCERNANT LA PRODUCTION SUR LES NOUVEAUX ÉQUIPEMENTS ET L'ATTEINTE DES NOUVEAUX OBJECTIFS DE PRODUCTION (2018-2021)



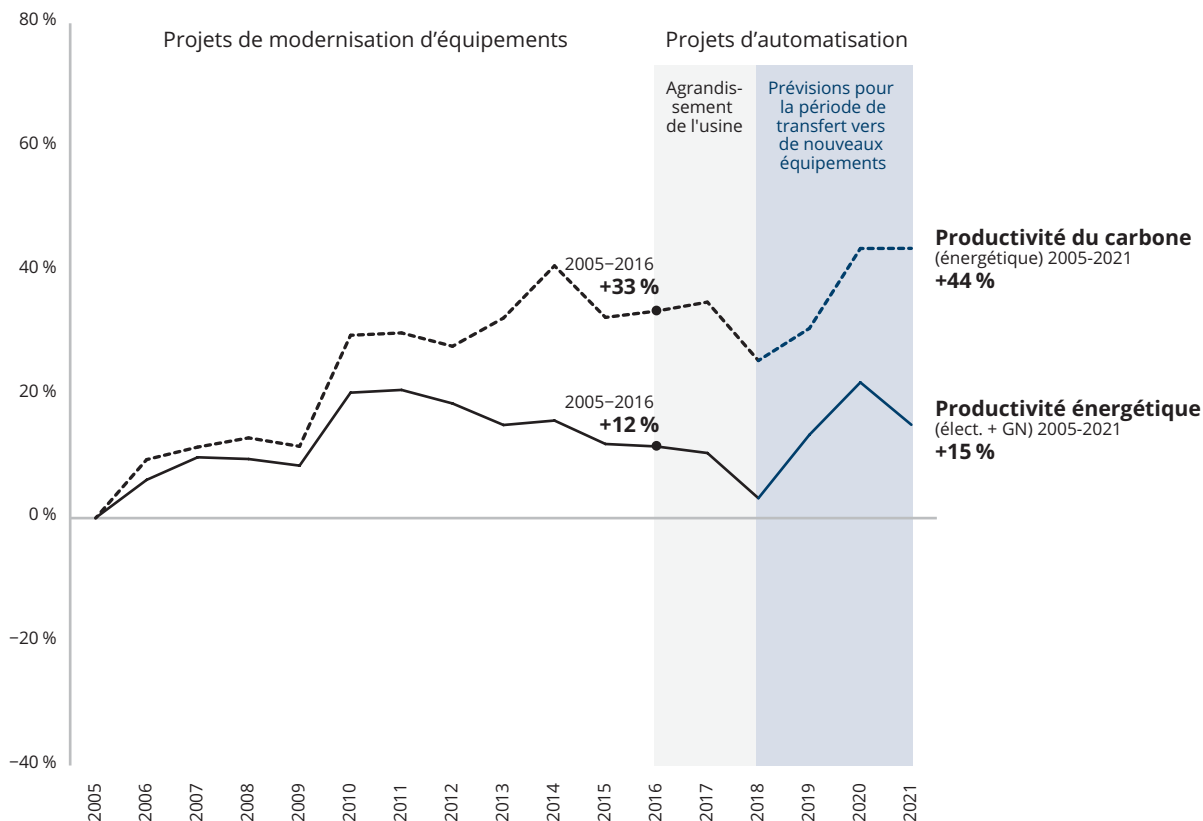
Source : Bridgestone (données internes), 2019.

Comme l'illustre le graphique 25, la productivité énergétique (millions de livres de pneus fabriqués/MMBtu d'énergie totale) a progressé en 2016 de 12 % par rapport à 2005, alors que la productivité du carbone a gagné 33 % . Lors de la période de transition de 2016-2018, identifiée par le rectangle gris, la productivité de l'énergie et celle du carbone ont été affectées. À compter de 2018, période identifiée par le rectangle bleu, la progression de ces deux variables reprendrait au même rythme que précédemment pour atteindre respectivement 12 % et 44 % d'amélioration en 2021 par rapport à 2005, selon les prévisions de l'entreprise.

En 2015, un recalibrage du bilan aéraulique de l'usine a entraîné l'ajout de 10 % du débit d'entrée d'air dans l'usine. Cet air devant être chauffé en hiver, la productivité de l'énergie et du carbone ont été affectées. Le même phénomène s'est produit en 2016, 2017 et 2018, lorsque les bâtiments ont été agrandis sans une hausse subséquente de la production. En 2018, 50 % de la consommation de gaz naturel de l'usine servait au chauffage, alors que l'autre 50 % servait à la production.

De 2019 à 2021, les projections montrent une reprise de la croissance de la productivité de l'énergie et du carbone au terme du projet d'agrandissement et de modernisation et après la mise en place des projets de récupération d'énergie. En 2021, cette productivité s'améliorerait au même rythme que celui observé entre 2005 et 2016, soit 1 % par an pour la productivité énergétique et 3 % par an pour la productivité du carbone, et ce, malgré le ralentissement vécu en 2017 et 2018 lors de l'agrandissement de l'usine.

GRAPHIQUE 25 | ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE ET DU CARBONE DE SOURCE ÉNERGÉTIQUE DE L'USINE BRIDGESTONE DE JOLIETTE ET PRÉVISIONS CONCERNANT LA PRODUCTION SUR LES NOUVEAUX ÉQUIPEMENTS ET L'ATTEINTE DES NOUVEAUX OBJECTIFS DE PRODUCTION (2018-2021)



Source : Bridgestone (données internes), 2019.

Leçons apprises

En vertu de son expérience, l'équipe de l'usine Bridgestone de Joliet en est venue aux conclusions suivantes. Tout d'abord, il est essentiel d'évaluer les différentes sources de consommation énergétique afin de bien cibler les projets de réduction viables. Il est aussi important de réaliser des études comparatives afin de déterminer les meilleures pratiques pouvant être mises à contribution. Finalement, il faut accepter que la courbe des progrès réalisés ne soit pas linéaire au fil de la mise en œuvre du projet et maintenir les efforts en vue d'atteindre l'objectif et les performances visés.

Astuces pour aller plus loin

Fidèle à son engagement en matière de RSE et déterminée à contribuer à un environnement sain pour les générations futures, l'usine Bridgestone de Joliet veut continuer à solidifier son SME en intégrant la gestion de l'énergie. Cela, non seulement dans ses opérations quotidiennes, mais également dans d'importants projets d'investissement dans des travaux de modernisation. La bonification des différents programmes gouvernementaux de subventions destinés aux participants certifiés ISO 50001 devrait être envisagée, car elle permettrait d'encourager les entreprises à obtenir une certification.

Tafisa Canada : usine de Lac-Mégantic

Exemple de stratégie d'économie circulaire dans un procédé.

Contexte

Tafisa Canada, une filiale du groupe portugais *Sonae*, est spécialisée dans la fabrication de panneaux de particules brutes et de mélamine thermofusionnée destinées au mobilier et à la décoration intérieure.

L'entreprise exploite une usine de 70 000 m², située à Lac-Mégantic, qui comporte deux lignes de production continue de panneaux particules et cinq presses à panneaux décoratifs en mélamine.

Accroître la productivité du carbone par l'économie circulaire

La direction de Tafisa Canada adhère aux objectifs environnementaux de *Sonae*, c'est-à-dire qu'elle applique le concept d'éco-efficacité et utilise des matières premières issues d'approvisionnements durables.

Dès 2005, l'usine de Lac-Mégantic a adhéré à la hiérarchie des 3RV-E (réduction à la source, réemploi, récupération, valorisation et élimination) et elle a investi dans une technologie unique (*Rewood*) afin de développer davantage sa capacité de recycler les matériaux de bois issus des secteurs de la construction, de la rénovation et la démolition.

La technologie *Rewood* permet à l'entreprise de remplacer une partie des résidus de bois post-industriels (copeaux provenant des scieries) par des matériaux de bois post-consommation provenant des centres de récupération pour les réintroduire dans ses panneaux¹¹⁵.

Approche d'économie circulaire : technologie Rewood

La réutilisation des fibres de bois post-consommation évite qu'elles se retrouvent dans un site d'enfouissement ou soient utilisées à des fins énergétiques qui émettraient des GES. Ce processus de recyclage du bois permet le stockage du carbone, ce qui prolonge le cycle de vie utile des produits faits à base de bois. L'entreprise a gagné pour son projet deux Phénix de l'environnement en 2013 remis par le ministère de l'Environnement du Québec (voir graphique 26).

L'accroissement de la valeur ajoutée manufacturière, qui a atteint 59 % en 2017 par rapport à 2010 (voir graphique 27), tient aux efforts d'innovation de Tafisa Canada qui ont permis d'améliorer l'offre de produits grâce à une esthétique perfectionnée, procurant ainsi une plus grande valeur pour le client.

En bref...

Chiffre d'affaires de l'usine (2018) : 290 M\$

Année de réalisation de la technologie Rewood : 1^{re} phase en 2005, 2^e phase en 2012

Investissements : 20 M\$

Retour sur investissement : n.d.

Émissions de GES : émissions directes largement compensées par le stockage de carbone dans les produits

Productivité énergétique (moy.) : +6,7 %/an (biomasse, produits pétroliers et électricité)

Productivité GES (moy.) : carboneutre

Contact : Mélanie Dostie, directrice amélioration continue, Tafisa

GRAPHIQUE 26 | CYCLE DE LA TECHNOLOGIE REWOOD DE RÉCUPÉRATION DES FIBRES POST-UTILISATION DE L'USINE TAFISA DE LAC-MÉGANTIC



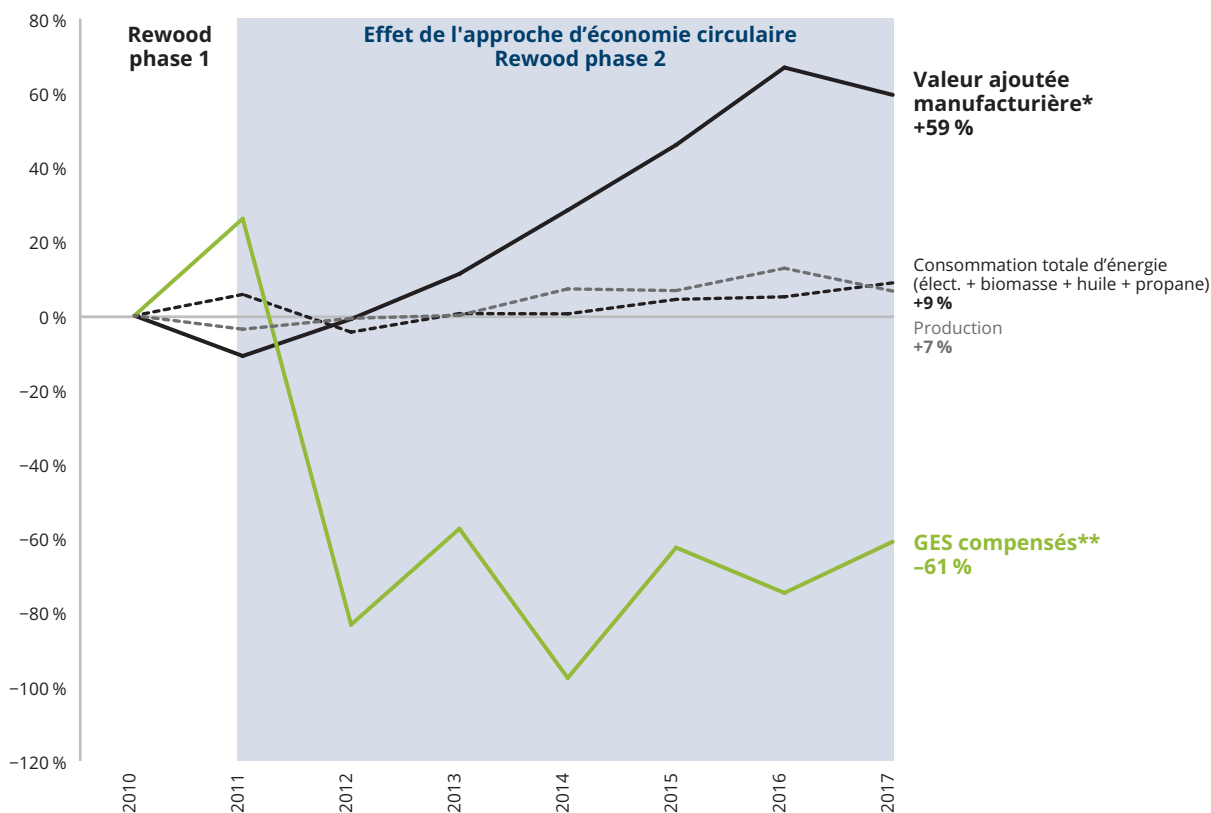
Source : Tafisa, 2019¹¹⁶.

¹¹⁵ Tafisa, 2013. *Refonte et optimisation de la technologie Rewood*, dossier de candidature Les Phénix de l'environnement, édition 2013.

¹¹⁶ Tafisa, 2019. www.tafisa.ca/fr/rewood.

La consommation totale d'énergie a légèrement augmenté pour la même période, mais les émissions directes de GES, c'est-à-dire celles enregistrées dans le *Registre des émissions de gaz à effet de serre du Québec*, ont été largement compensées par l'introduction de fibres post-consommation dans le produit. Le Registre ne tient pas compte dans son inventaire public des émissions compensées. Celles-ci permettent toutefois à l'usine d'être « carboneutre ». Résultat : la valeur ajoutée manufacturière montre un découplage absolu avec les émissions de GES compensées¹¹⁷, alors que la consommation totale d'énergie enregistre une légère hausse, principalement pour répondre à de nouveaux besoins.

GRAPHIQUE 27 | ÉVOLUTION ANNUELLE DE LA VALEUR AJOUTÉE MANUFACTURIÈRE, DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET DES ÉMISSIONS DE GES COMPENSÉES DE L'USINE TAFISA DE LAC-MÉGANTIC, 2010 À 2017



Source : Tafisa Canada (données internes), 2019.

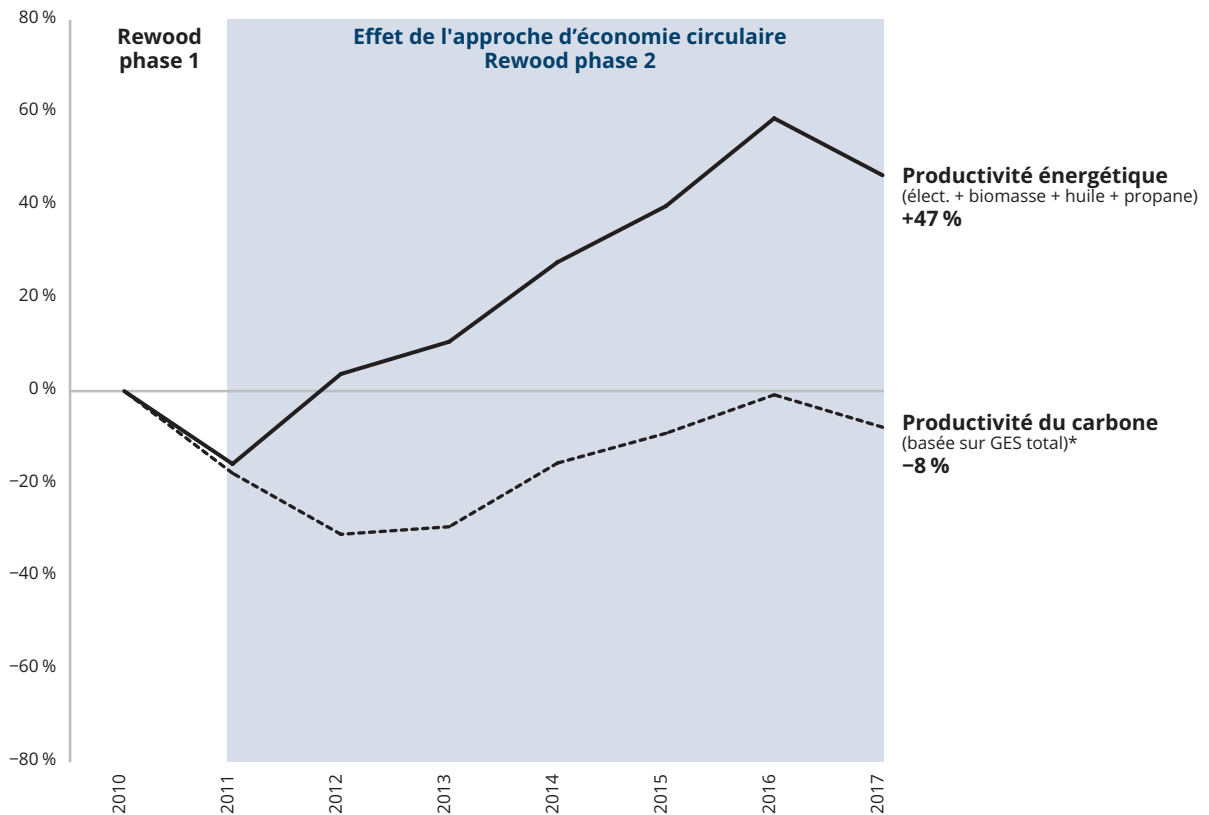
Note : La consommation inclut celle du chauffage des espaces de l'usine et de l'huile thermique des presses. *L'utilisation de la valeur ajoutée manufacturière dans les indicateurs de productivité de l'énergie et du carbone permet de tenir compte d'une amélioration significative de la valeur économique de la production. Dans le cas où les produits demeurent inchangés, le volume de production (unité physique) est suffisant pour exprimer la productivité de l'énergie et du carbone. **Le graphique ne présente pas les émissions de GES directes, enregistrées dans le Registre des émissions de gaz à effet de serre du Québec, mais bien les émissions de GES compensées. Celles-ci représentent la différence entre les émissions directes de GES et celles évitées par l'utilisation des fibres post-consommation dans les panneaux.

Grâce aux efforts d'amélioration continue et à l'utilisation croissante de fibres post-consommation dans ses produits, l'entreprise a réussi à accroître la productivité énergétique de l'usine de 47 % (6,7 %/an) en 2017 par rapport à 2010. Par contre, la productivité du carbone, basée sur les émissions directes, a légèrement diminué (-8 %) (voir graphique 28). L'introduction de fibres post-consommation dans le produit a toutefois permis à l'entreprise de compenser cette baisse et de rendre les activités de son usine carboneutre¹¹⁸.

¹¹⁷ Les émissions de GES compensées correspondent à la différence entre le total des émissions de GES directes et celui des émissions de GES évitées par l'utilisation des fibres post-consommation dans les panneaux.

¹¹⁸ Les émissions du transport des fibres post-consommation ne sont pas comptabilisées dans le calcul des émissions.

GRAPHIQUE 28 | PRODUCTIVITÉ ÉNERGÉTIQUE ET DU CARBONE DE L'USINE TAFISA DE LAC-MÉGANTIC, 2010 À 2017



Source : Tafisa Canada (données internes), 2019.

Note : *La productivité du carbone présentée ici est relative aux émissions directes de GES. La productivité du carbone relativement aux émissions de GES compensées n'est pas présentée puisque les émissions compensées sont négatives, l'usine étant carboneutre.

Leçons apprises

Tafisa Canada s'est efforcée de faire croître sa valeur ajoutée manufacturière en améliorant l'esthétique de ses produits et leur valeur sur les marchés, tout en compensant leurs émissions de GES par l'économie circulaire grâce au stockage des fibres post-consommation dans ses panneaux. L'exemple de Tafisa Canada montre qu'il est possible de réaliser une décarbonisation en réduisant la consommation de matières premières et en revalorisant des matériaux résiduels, tout en améliorant sa compétitivité.

Leçons tirées des études de cas

Globalement, les études de cas montrent une amélioration de la productivité énergétique grâce aux stratégies mises en place, même si les entreprises ne visaient pas explicitement cet objectif. Le suivi de la productivité de la consommation énergétique 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 productivité énergétique au Québec ou au Canada.

Ces études laissent entendre que la productivité énergétique, et son indicateur qui représentent la valeur économique produite par rapport à l'énergie consommée, permettent de bien illustrer l'efficacité avec laquelle une entreprise, un secteur ou une économie transforme les ressources énergétiques en produits utiles et en sources de richesse.

Quant aux informations relatives à la productivité du carbone, elles sont complémentaires à la mesure de productivité énergétique et témoignent de l'évolution de la performance environnementale (l'impact des externalités environnementales négatives) d'une entreprise¹¹⁹. L'indicateur de productivité du carbone est défini en fonction des émissions totales d'une usine ou d'une entreprise ou, de façon plus désagrégée, selon les émissions énergétiques et non énergétiques (ex., procédés, fugitives) si une part importante des émissions n'est pas due à la combustion. Cet indicateur est donc surtout utile aux grands émetteurs dont une source importante des émissions n'est pas issue de la consommation d'énergie. Dans les cas d'émissions compensées (émissions nulles ou négatives), l'indicateur de productivité du carbone n'a pas de sens défini. En l'absence de protocoles permettant de définir clairement l'attribution des émissions évitées entre les parties, il est préférable d'utiliser les émissions totales déclarées par les entreprises dans les registres officiels.

Les indicateurs de productivité de l'énergie et du carbone doivent être utilisés avec d'autres indicateurs absolus, tels que la valeur ajoutée manufacturière, le volume de production, la consommation d'énergie et les émissions de GES totales. La productivité énergétique ou du carbone illustre l'amélioration globale de la performance dans le temps, alors que l'évolution de la valeur ajoutée ou du volume de production, comparée à celles de l'énergie consommée ou des émissions de GES, permet de détecter l'ampleur du découplage entre la croissance de la valeur produite et la consommation des ressources énergétiques. Décarboniser exige de découpler, de façon absolue, la valeur produite associée à la consommation d'énergie ou aux émissions de GES.

Plusieurs pays, dont les États-Unis, ont mis de l'avant des stratégies d'amélioration de la productivité énergétique. Pour décarboniser l'économie, améliorer le niveau de vie et maintenir notre compétitivité face à nos voisins, il est impératif de mettre en place des programmes qui favorisent le double objectif de produire une plus grande valeur économique tout en réduisant, de manière absolue, la consommation d'énergie et les émissions de GES.

¹¹⁹ Lu, M., Wang, X., Cang, Y., 2018. « Carbon Productivity: Findings from Industry Case », *Energies*, MDPI, *Open Access Journal*, vol. 11, no 10, p. 4.

Conclusion et pistes d'actions

La productivité énergétique est un concept qui est de plus en plus appliqué par les acteurs de la transition énergétique à travers le monde. Elle permet d'envisager les efforts de décarbonisation comme une source de progrès économique en rendant les entreprises plus efficaces et compétitives. Évidemment, pour que les gains obtenus ne mènent pas à une augmentation absolue des quantités d'énergie consommées, des émissions des GES et des autres ressources matérielles utilisées, il est impératif de contrôler l'effet rebond. S'il n'est pas neutralisé par des mécanismes de prix et des limites absolues sur la pollution, il peut entraîner l'annulation partielle ou complète des gains obtenus.

Le Québec et le Canada sont particulièrement à la traîne quant à leur performance en matière de productivité énergétique. Ils se situent en queue de peloton parmi les pays de l'OCDE – ce qui s'explique assez naturellement par l'abondance des sources d'énergie à bon marché. Ce contexte favorable a contribué à l'établissement d'une culture où la performance énergétique n'était pas particulièrement recherchée, dans la mesure où peu de contraintes financières ou de disponibilité se faisaient sentir. Cette culture est appelée à changer en raison des impératifs de transition énergétique et de décarbonisation.

Sur la base d'expériences internationales, de méthodes disponibles et de cas déjà mis en œuvre dans un contexte nord-américain, différentes pistes d'actions se profilent :

- 1. Adopter une vision, des cibles et une stratégie globale d'amélioration de la productivité énergétique au Québec.** Comme aux États-Unis, en Australie et en Allemagne, le Québec doit se doter d'une vision, d'une cible et des stratégies globales pour faire de la productivité énergétique une voie à suivre afin d'améliorer sa compétitivité et sa performance environnementale durant la transition énergétique.
- 2. Intégrer des indicateurs de productivité énergétique et du carbone dans les processus décisionnels.** Les gouvernements doivent intégrer dans leur processus de reddition de compte des indicateurs pour mesurer la productivité de l'énergie et du carbone de leur économie et des différents secteurs d'activités économiques. Dans le cadre de leurs programmes, les gouvernements peuvent inciter les entreprises à adopter de tels indicateurs dans leurs rapports sur les progrès réalisés en matière de performance environnementale et d'indicateurs clés de performance (ICP) préparés pour la direction.
- 3. Établir des cibles et des programmes d'amélioration de la productivité énergétique en entreprise fondés sur l'atteinte de résultats et la performance globale.** Le niveau de succès des mesures gouvernementales est souvent évalué en fonction des dépenses engendrées par ces mêmes mesures plutôt que par l'analyse des performances réelles et globales obtenues. Les gouvernements devraient donc, dans le cadre d'accords préparés conjointement avec l'industrie, élaborer des programmes ayant pour but d'inciter les entreprises à mettre en œuvre des plans stratégiques d'amélioration de la productivité énergétique. Ces programmes seraient déployés avec un suivi rigoureux, comprenant une reddition de compte publique et une vérification indépendante des résultats. Les aides financières directes accordées aux entreprises devraient être liées aux résultats et au rendement global obtenus lors de la mise en œuvre du plan d'amélioration de la productivité énergétique et du carbone, et non seulement sur la base de la réalisation d'un projet.

4. Atténuer l'effet rebond dans les politiques et mesures de transition énergétique. L'effet rebond potentiel, associé aux mesures d'efficacité et de productivité énergétiques, devrait être pris en compte par le gouvernement. Le modèle du marché du carbone au Québec (SPEDE) est un bon point de départ et pourrait suffire à réduire les GES à lui seul s'il était renforcé de manière à éliminer les possibilités de fuites de carbone et s'il couvrait l'ensemble de l'économie. En l'absence de tels mécanismes de contrôle, des trajectoires crédibles de réduction des émissions de GES devraient être suivies par tous les secteurs d'émission et devraient être liées aux programmes et aux cibles établis afin d'encourager un découplage entre la création de valeur économique et la consommation totale d'énergie, ainsi que les émissions de GES

5. Incrire la transition énergétique dans une politique plus large d'économie circulaire. L'intégration du concept de productivité énergétique dans les processus décisionnels peut faciliter l'inclusion de la transition énergétique dans une stratégie élargie d'économie circulaire qui viserait notamment l'optimisation de la productivité de toutes les ressources, dont l'énergie, de même que l'élimination des pertes. Le gouvernement du Québec pourrait s'inspirer des gouvernements néerlandais² et français³ qui se sont dotés d'objectifs et politiques d'économie circulaire dans le cadre de leur stratégie de transition énergétique, et de cartographier les flux de matériaux et d'énergie sur son territoire afin d'identifier des gisements à exploiter.

Ces pistes d'action doivent faire l'objet d'une réflexion plus approfondie et d'un consensus élargi, qui pourrait être obtenu si un dialogue ouvert et constructif réunissait les acteurs importants de la société. Un tel dialogue doit dépasser le cadre de consultations ponctuelles visant l'adoption d'une autre politique énergétique ou la lutte contre les changements climatiques, qui ne font que revisiter les mêmes constats et promouvoir les nouveaux mots à la mode. Il doit au contraire reposer sur une démarche crédible, où l'indépendance des données et des résultats est garantie par des institutions elles-mêmes autonomes et fortes.

La productivité énergétique a le potentiel d'être l'outil catalyseur qui convainc les entreprises que la lutte contre les changements climatiques n'est pas une contrainte à leur développement, mais représente une occasion pour elles et la société. Il ne tient qu'au gouvernement québécois et aux entreprises de modifier leur faible productivité énergétique en passant à l'action et de découpler ce qu'une moindre consommation énergétique peut générer.

¹²⁰ Voir : *A Circular Economy in the Netherlands by 2050*, www.government.nl/topics/circular-economy/documents/policy-notes/2016/09/14/a-circular-economy-in-the-netherlands-by-2050.

¹²¹ Voir : L'économie circulaire dans la loi de transition énergétique pour la croissance verte, www.ecologique-solidaire.gouv.fr/leconomie-circulaire.