



Dossier spécial : Mobilité durable

L'INDUSTRIE FERROVIAIRE ET LA DÉCARBONATION DES TRANSPORTS : SUR LA VOIE D'UN « DOUBLE GAIN » CLIMATIQUE

Véronique Andriès

Vice-présidente, Développement durable
et Responsabilité sociale d'entreprise
Alstom

Margaux Henry

Gestionnaire, Climat et Économie circulaire
Alstom

Françoise Granda Desjardins

Directrice, Développement durable
et Responsabilité sociale d'entreprise, Amériques
Alstom

Le secteur des transports se classe au deuxième rang des secteurs émettant le plus de gaz à effet de serre (GES) au Canada et au premier rang au Québec (ECCC, 2026). Or, chaque année, le transport sur rail transporte à lui seul des millions de passagers et 70 % de toutes les marchandises interville tout en produisant seulement 3 % des émissions de GES liées au transport (soit 0,9 % des émissions totales de GES du Canada) (ECCC, 2026).

Toutefois, la contribution du rail à la décarbonation ne saurait se limiter à l'augmentation de son usage. Cet article vise à démontrer comment le rail peut apporter un « double gain climatique » : un gain systémique lié à l'augmentation de sa part modale et un gain industriel par la réduction continue de l'empreinte environnementale des systèmes et sous-systèmes ferroviaires eux-mêmes. Le cas de l'entreprise Alstom, deuxième acteur mondial de solutions ferroviaires (SCI, 2025), sera examiné. Cet article se penche d'abord sur les réductions de GES par le transfert modal vers le rail, puis explore l'éco-conception comme moyen de réduire les émissions de GES associées à la chaîne de valeur.



Premier gain : le rail, moteur de la décarbonation des transports

Les émissions plus faibles reposent sur l'avantage que le transport sur rail a en ce qui concerne la quantité d'énergie nécessaire pour transporter un passager ou une passagère sur un kilomètre par rapport à l'avion ou à la voiture (AIE, 2022) (Figure 1). En effet, le transport ferroviaire passager émet en moyenne 22 g d'équivalent de CO₂ par passager-kilomètre (CO₂e/pkm) pour un train électrique, contre 123 g de CO₂e/pkm pour le transport aérien et 145 à 190 g de CO₂e/pkm pour la voiture individuelle (AIE, 2022).

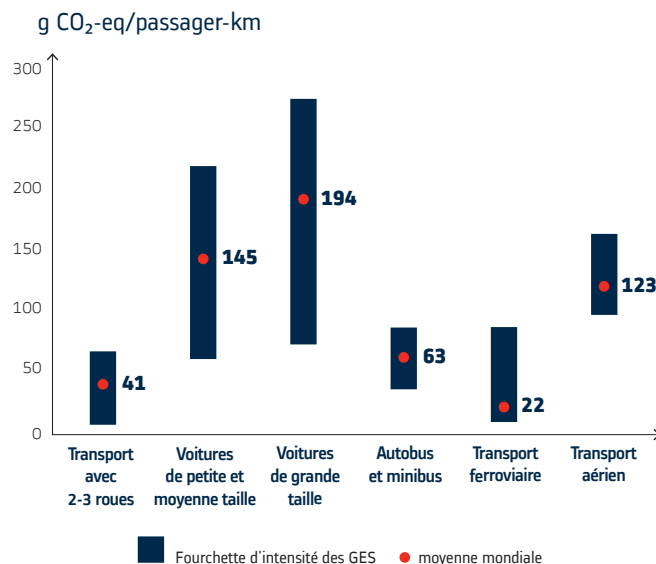


Figure 1. Intensité des émissions de GES (du puits à la roue) des modes de transport motorisés de passagers. CO₂e/pkm et CO₂-eq/passager-km sont des unités identiques.
Source : (AIE, 2022)

En 2024, afin d'évaluer plus précisément la contribution du matériel roulant¹ à la décarbonation du secteur des transports et de mieux répondre à l'intérêt des investisseurs et des acteurs environnementaux en la matière, Alstom a réalisé une étude interne (Alstom, 2025), basée sur la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) pour le Mécanisme de développement propre (MDP). La méthodologie consiste à comparer, à l'échelle du matériel roulant assemblé par le groupe et sur l'ensemble de sa durée de vie d'exploitation (soit 30-40 ans en moyenne) (Alstom, 2025), les émissions générées dans différents scénarios de mobilité :

- un scénario de référence, qui représente les émissions générées sans mise en service des lignes ferroviaires, en tenant compte des moyens de transport de substitution les plus probables et en cohérence avec la répartition modale régionale ;
- le scénario avéré, où le matériel roulant développé par Alstom est en circulation sur une ligne ferroviaire (consommation d'énergie pendant toute sa durée d'exploitation).

L'étude a porté sur trois types de trajets situés dans sept zones géographiques et selon les facteurs d'émissions de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) pour chaque type de transport. Le Tableau 1 présente une synthèse des paramètres de l'étude. La précision de l'estimation a été évaluée par rapport aux critères du référentiel *Guidance on Avoided Emissions* du *World Business Council on Sustainable Development* (WBCSD).

1. L'ensemble des véhicules utilisés sur un réseau ferroviaire urbain et non urbain, circulant sur rails, comprenant les véhicules motorisés et non motorisés.

Bien que les résultats varient selon le type de trajet et la région, ceux-ci ont démontré qu'en moyenne, chaque tonne de GES émise par les trains en service contribuerait à éviter cinq fois plus d'émissions. Cette analyse souligne le potentiel du rail, aux côtés des mobilités douces², comme levier de décarbonation pour le secteur du transport sur les trajets urbains et non urbains. Par contre, elle se concentre exclusivement sur la phase d'exploitation des modes de transport et ne prend donc pas en compte les émissions associées aux autres éléments du système de mobilité, comme les infrastructures, ni celles liées aux autres étapes du cycle de vie – telles que l'assemblage des trains, ou l'approvisionnement des matières premières pour le ferroviaire. La stratégie climatique du ferroviaire ne saurait être réduite au seul report modal : elle implique également une réduction de l'empreinte carbone du système ferroviaire dans son ensemble, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie des matériels roulants, couvrant ainsi toutes les émissions de GES des scopes 1, 2 et 3 (Figure 3).

Second gain : l'éco-conception, levier d'optimisation carbone du rail

L'analyse de cycle de vie (ACV), définie par les normes ISO 14040 et 14044, est une méthode d'évaluation des impacts environnementaux associés aux activités, aux produits ou aux services d'une organisation sur l'ensemble de leur cycle de vie. Elle repose sur l'identification et l'analyse des aspects environnementaux — tels que l'utilisation de matériaux, la consommation d'énergie ou la production de déchets — qui sont susceptibles d'engendrer différents impacts environnementaux, comme le changement climatique, la pollution de l'eau

ou l'épuisement des ressources. Cette approche globale permet notamment de quantifier les émissions de GES générées à chaque étape du cycle de vie.

Pour un matériel roulant classique (Figure 2), les émissions de GES sont généralement réparties de la manière suivante sur le cycle de vie :

- 5 à 40 % provenant des matières premières.
- 40 à 90 % liées à son exploitation (consommation d'énergie pendant toute sa durée de vie).
- 1 à 20 % sur sa maintenance.

Les autres étapes du cycle de vie (assemblage, transport, fin de vie) contribuent de manière plus marginale aux émissions.

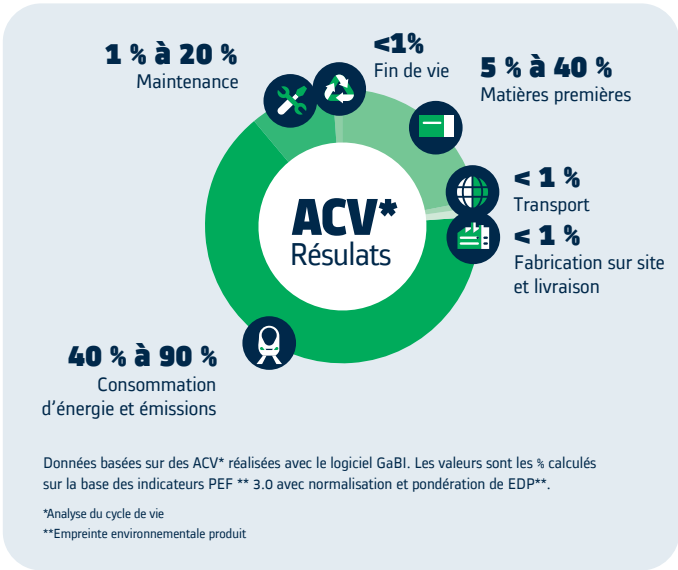


Figure 2. Empreinte environnementale moyenne du cycle de vie du matériel roulant. Les valeurs maximales ont été calculées à partir des données relatives aux trains à grande vitesse, tandis que les valeurs minimales ont été calculées à partir des données relatives aux tramways urbains. Source : (Alstom, 2025).

Principaux paramètres du calcul	
Régions géographiques	Asie, Afrique subsaharienne, Europe, France, Moyen-Orient et Afrique du Nord, Amérique du Nord, Amérique du Sud
Type de trajet ferroviaire	Urbain, Régional ou Grandes lignes
Trajet pour scénario de substitution	Construit pour chaque région sur la base de statistiques de l'OCDE prenant en compte les modes de transport suivant : avion, autobus, voiture, autocar, moto, train, tram/métro, vélo/marche
Facteur d'émissions de GES	Facteurs d'émissions de l'Agence internationale de l'énergie pour chaque mode de transport

Tableau 1. Synthèse des principaux paramètres pris en compte pour le calcul des émissions évitées.

2. Mobilités durables qui reposent sur l'utilisation de modes de déplacement ayant un impact environnemental faible ou limité, comme la marche ou le vélo.

La répartition des sources d'émissions entre les différentes catégories du bilan carbone (Figure 3) des entreprises industrielles du secteur ferroviaire est similaire. Pour Alstom, l'empreinte carbone est principalement répartie comme suit (Alstom, 2025) :

- L'utilisation des matériels roulants par la clientèle (scope 3 en aval) compte pour 80 % des émissions de GES de l'entreprise.
- La chaîne d'approvisionnement (scope 3 en amont) représente 14 %.
- Les opérations directes de l'entreprise (scopes 1 et 2) correspondent à moins de 1 %.
- Les autres postes du bilan carbone (transport et distribution, fin de vie, etc.) représentent ensemble 6 % des émissions.

Alstom, faisant face à une forte prédominance des émissions de scope 3 en amont et en aval, se doit donc d'intégrer ces émissions dans sa stratégie de décarbonation. À cet effet, le groupe a fixé à l'horizon 2030 des objectifs couvrant précisément ces sources d'émissions (Alstom, 2025) :

- Réduction de 42 % par passager-kilomètre de l'intensité carbone liée à l'utilisation des solutions de transport passager³ vendues (scope 3), et de 35 % par tonne-kilomètre pour les locomotives;

- Réduction de 30 % de l'intensité carbone des biens et services achetés (scope 3) relative à sa valeur ajoutée.

Or, mesurer et réduire les émissions de scope 3 demeurent un défi de taille pour les entreprises. En effet, ces émissions échappant au contrôle direct des organisations présentent souvent des limites en matière de qualité, de fiabilité et de disponibilité des données. De plus, les chaînes de valeur actuelles, caractérisées par une forte complexité, mobilisent des centaines, voire des milliers de fournisseurs répartis dans plusieurs pays (WEF, 2023). Dans ce contexte, la réduction de ces émissions repose sur la capacité de l'industriel à influencer les choix de conception, les chaînes d'approvisionnement et la performance environnementale des produits, notamment en phase d'exploitation (consommation énergétique) et par rapport aux répercussions liées aux matériaux qui les composent. L'éco-conception apparaît dès lors comme une discipline clé permettant l'intégration systématique des impacts environnementaux dans la conception des composantes du système ferroviaire.

L'ÉCO-CONCEPTION AMÉLIORE LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DES PRODUITS VENDUS

L'éco-conception permet d'agir directement sur les impacts environnementaux d'un produit à l'échelle de l'ensemble de son cycle de vie. Elle est d'autant plus

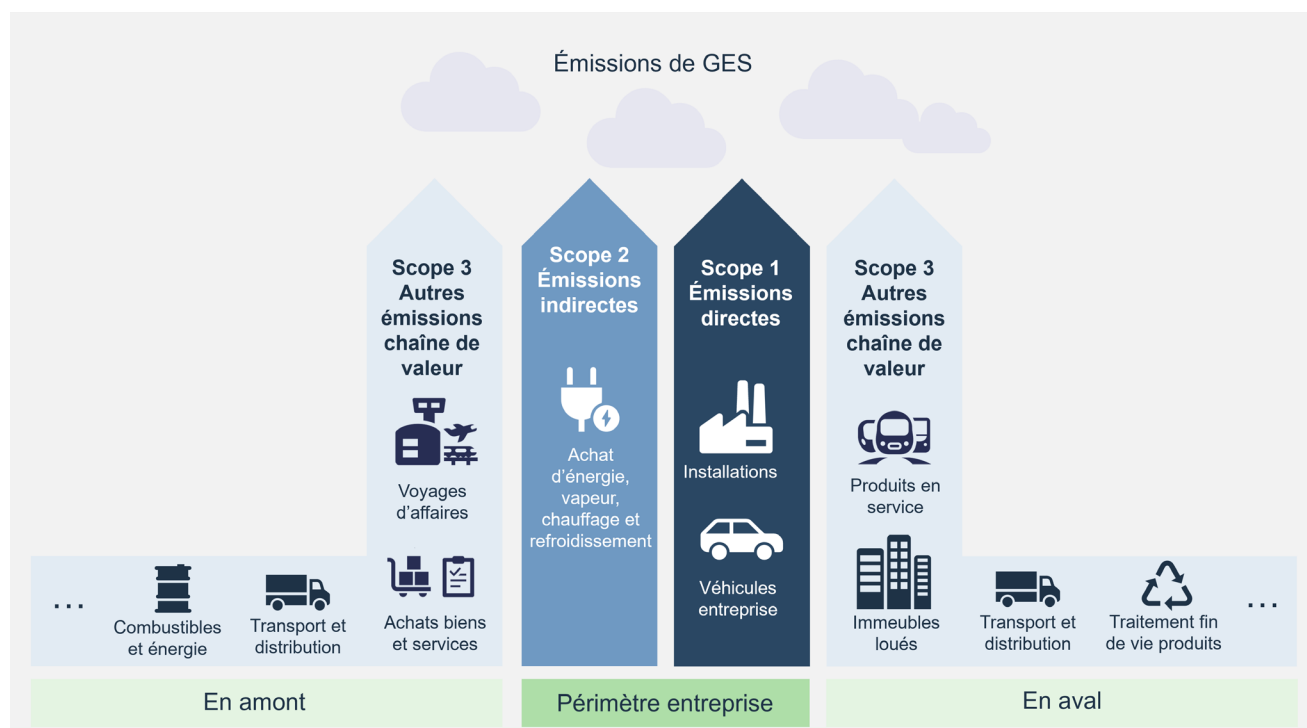


Figure 3. Répartition des émissions de GES selon le GHG Protocol (2004).

3. Comprend les transports urbains (métros), les tramways, les trains de banlieue et grandes lignes.

déterminante que la grande majorité de ces impacts — près de 80 % — sont fixés dès la phase de conception (Commission européenne, 2025). Cette approche repose sur :

- 1) Une analyse de cycle de vie intégrant la production (extraction des matières premières, transformation et assemblage), l'exploitation, la maintenance et le traitement en fin de vie du matériel ferroviaire ;
- 2) L'identification et l'intégration d'objectifs d'amélioration à déployer dans la phase de conception des solutions.

En appliquant les principes de l'analyse de cycle de vie, les spécialistes en éco-conception peuvent mettre en lumière les facteurs clés contribuant à la performance environnementale des produits et proposer des solutions d'amélioration. L'objectif ne se limite pas à la seule réduction des émissions de GES, mais repose sur l'adoption d'une approche globale et multicritères, fondée sur une vision holistique des impacts environnementaux. Cette approche vise à intégrer l'ensemble des catégories d'impact pertinentes, notamment celles relatives aux consommations d'eau, aux émissions atmosphériques et à l'épuisement des ressources naturelles. Elle permet ainsi de s'assurer que les stratégies de réduction de l'empreinte carbone ne génèrent pas de transferts d'impact significatifs entre catégories environnementales ou entre étapes du cycle de vie.

Si on se concentre sur la phase d'exploitation du matériel roulant (représentant souvent le plus gros poste d'impact sur son cycle de vie), l'optimisation de l'efficacité énergétique constitue un levier central. Les actions pouvant être appliquées sur ce volet comprennent notamment :

- la réduction de masse grâce à l'utilisation de matériaux composites et d'autres matériaux légers (comme l'aluminium plutôt que l'acier) et à la re-conception de pièces ;
- l'optimisation de l'aérodynamisme du matériel roulant ;
- l'amélioration de l'efficacité des systèmes de traction électrique (nouvelles chaînes de traction, auxiliaires de traction puissants) ;
- des équipements auxiliaires à basse consommation (éclairage, chauffage et climatisation).

Par de telles mesures, Alstom avait réussi à améliorer en moyenne de 25,7 % l'efficacité énergétique de ses solutions ferroviaires en 2025 par rapport à 2014 (Alstom,

2025). Or, l'optimisation de l'efficacité énergétique ne constitue pas le seul facteur décisif dans la conception et le développement de matériel roulant. En effet, les entreprises manufacturières comme Alstom doivent composer avec différents facteurs et requis de la clientèle, tels que la sécurité, les coûts, le confort passager ou encore la maintenance, tous susceptibles d'influencer la performance environnementale.

L'ÉCO-CONCEPTION FACILITE LA CIRCULARITÉ AU SEIN DE LA CHAÎNE DE VALEUR FERROVIAIRE

L'éco-conception a également pour objectif de réduire l'intensité en ressources⁴ d'un produit, en favorisant l'incorporation de matières à faible empreinte environnementale. Ce levier contribue directement à la réduction de l'empreinte carbone de la chaîne d'approvisionnement — deuxième poste d'émissions pour l'industrie ferroviaire.

Dans le matériel roulant, les principaux leviers s'appliquent sur les matériaux structurants — comme l'acier ou l'aluminium, représentant 70 % à 90 % de la masse (caisses, bogies, planchers) —, ou encore sur les polymères utilisés pour les aménagements intérieurs. La forte proportion de métaux contribuant à un haut taux de recyclabilité en fin de vie (Alstom, 2025), l'enjeu central réside dans l'intégration de contenu recyclé, qui permet de diminuer les émissions de GES de scope 3 en amont. Par exemple, une tonne d'acier vierge québécois émet environ 1,3 kgCO₂e, contre 0,4 kgCO₂e pour l'acier recyclé (HEC, 2021). Dans cette perspective, Alstom incorpore aujourd'hui en moyenne 25,8 % de matériaux recyclés dans son matériel roulant (Alstom, 2025).

Toutefois, une incorporation accrue du contenu recyclé dans le matériel roulant reste complexe, en raison d'une accessibilité limitée aux gisements de matière et d'un manque de maturité et de capacité industrielle et d'infrastructures (OCDE, 2024). À titre d'illustration, le taux mondial d'acier recyclé dépasse difficilement 30 % malgré la demande (Watari et al., 2025). Ces limites se traduisent également par des mécanismes de tarification plus fragmentés et moins transparents. Ceux-ci dépendent de différents facteurs, comme la capacité des entreprises de recyclage à sécuriser des volumes de ferraille suffisants dans le temps, ainsi que la stabilité et l'ampleur de la demande.

La viabilité économique d'un tel modèle d'approvisionnement suppose alors de structurer de nouvelles chaînes d'approvisionnement, reposant notamment sur la massification et la qualité des gisements (la ferraille), l'optimisation des flux logistiques vers des entreprises de recyclage, et le maintien d'une demande pérenne. Enfin,

4. L'intensité en ressources se définit comme la quantité de matières premières consommées par unité produite.

l'intégration des enjeux de recyclabilité en fin de vie et de la facilitation du démontage (facteur de « récupérabilité ») dès la phase de conception des produits demeure primordiale.

Toutes ces conditions sont essentielles au développement de filières de recyclage performantes et à l'incorporation accrue de contenu recyclé dans le matériel ferroviaire, permettant de réduire davantage les émissions de GES du système ferroviaire.

Conclusion

Le transport ferroviaire a le potentiel d'offrir un double gain climatique unique dans le secteur des transports. D'une part, son déploiement massif permet de réduire les émissions globales par le report modal.

D'autre part, la transformation industrielle du transport sur rail et la réduction des GES dans la chaîne de valeur — notamment par l'éco-conception — ont le potentiel d'accroître davantage la contribution du secteur ferroviaire à la décarbonation. Le cas de l'entreprise Alstom illustre à la fois les avancées et les défis auxquels font face les acteurs industriels du secteur ferroviaire pour agir concrètement sur l'optimisation de l'empreinte environnementale des systèmes et sous-systèmes.

RÉFÉRENCES

Agence internationale de l'énergie (AIE). (2022). Well-to-wheel GHG intensity of motorized passenger transport modes. Repéré à www.iea.org

Alstom (2025). Document d'enregistrement universel 2024/2025, chapitre 6. Repéré à www.alstom.com

Commission européenne. (2025). Circular Economy. Repéré à www.environment.ec.europa.eu

Environnement et Changement climatique Canada. (2026). Rapport d'inventaire national 1990 à 2024 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada. Repéré à www.canada.ca

GHG Protocol. (2004). A Corporate Accounting and Reporting Standard. Repéré à www.ghgprotocol.org

HEC. (2021). Stratégies de circularité pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre par les émetteurs industriels québécois. Repéré à www.energie.hec.ca

OCDE. (2024). Unlocking Potential in the Global Scrap Steel Market: Opportunities and Challenges. Repéré à www.oecd.org

SCI Verkehr. (2025). Worldwide Rolling Stock Manufacturers 2025. Repéré à www.sci.de

World Economic Forum. (2023). Emissions Measurement in Supply Chains: Business Realities and Challenges. Repéré à www.weforum.org

Tamuka Watari, Tomer Fishman, Hanspeter Wieland, Dominik Wiedenhofer. (2025). *Global stagnation and regional variations in steel recycling*, Resources, Conservation and Recycling. Repéré à www.sciencedirect.com



© Auteur(s), 2026. [Le Climatoscope dispose d'une licence non exclusive de publication et de diffusion. Article publié sous licence CC BY 4.0.](#)

