

Infrastructures de transport au Québec : Investir pour l'avenir



Fédération des chambres de commerce du Québec

La Fédération des chambres de commerce du Québec (FCCQ) a pour mission d'appuyer le développement des entreprises de l'ensemble des secteurs économiques du Québec et des régions. Grâce à son vaste réseau de 120 chambres de commerce et 1000 membres corporatifs, la FCCQ représente plus de 40 000 entreprises exerçant leurs activités dans tous les secteurs de l'économie et sur l'ensemble du territoire québécois.

Plus important réseau de gens d'affaires et d'entreprises du Québec, la FCCQ est à la fois une fédération de chambres de commerce et une chambre de commerce provinciale. Ses membres, qu'ils soient chambres ou entreprises, poursuivent tous le même but : favoriser un environnement d'affaires innovant et concurrentiel.

AppEco

AppEco est un cabinet de conseil spécialisé en analyse économique et stratégique. Notre approche consiste à appliquer les principes et les méthodes de l'économie et de l'analyse stratégique à une variété de contextes d'affaires et de types de mandats nous procurant une perspective générale et variée qui enrichit l'ensemble de nos services-conseils. AppEco est reconnu pour son travail de première qualité, son emphase sur la communication, son respect des clients et des normes établies, ses valeurs environnementales, sa collaboration fréquente avec d'autres experts et ses justes prix.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE EXÉCUTIF	4	Consultations	44
PORTRAIT DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT AU QUÉBEC	4	Modélisation de l'entretien des routes	46
REVUE DE LITTÉRATURE	4	Données	46
MODÉLISATION DE L'ENTRETIEN DES ROUTES	4	Méthodologie	49
IMPLICATIONS POUR LES AUTRES MODES DE TRANSPORT	5	Résultats	52
Introduction	6	Limites	55
Portrait des infrastructures de transport au Québec	7	Implications des constats sur le réseau rou-	56
Âge des infrastructures québécoises	7	tier pour les autres infrastructures de trans-	
État des routes et des structures	9	Transport en commun	56
Évolution du DMA au Québec	15	Transport ferroviaire	56
Investissements en maintien d'actif et résorption de DMA	18	Aéroports	56
Conclusion	23	Ports	57
Revue de littérature	24	Traversiers	57
Durée de vie des routes	24	Récapitulatif	58
Gouvernance	24	Conclusion et recommandations de la FCCQ	59
Impact d'un sous-entretien	25	Références	61
Entretien routier : mode d'emploi	33		
Les autres modes de transport	34		
Transport en commun	34		
Réseau ferroviaire	36		
Aéroports	38		
Ports maritimes	39		
Traversiers	40		
Changements climatiques	41		
Sommaire	43		

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Les infrastructures de transport du Québec, soit les routes, les ponts, le transport collectif, les aéroports, les ports et les traversiers, jouent un rôle fondamental pour la mobilité des individus et des marchandises, ainsi que pour l'économie québécoise. Ces infrastructures, construites pour la plupart dans les années 1960 à 1980, font face à un important déficit de maintien d'actifs («DMA»), estimé à plus de 19 milliards de dollars, seulement pour le réseau routier en 2022.

Dans ce contexte, la FCCQ a mandaté AppEco de dresser un portrait de la situation actuelle du DMA et ses implications économiques du DMA, ainsi que d'étudier les implications de différents scénarios d'investissements.

PORTRAIT DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT AU QUÉBEC

Un des premiers constats, provenant autant des données que des consultations réalisées dans le cadre de ce rapport, est que l'état des infrastructures de transport québécoises montre des disparités régionales significatives. Bien que des investissements gouvernementaux aient permis de stabiliser le DMA depuis quelques années, des proportions (variables selon les indicateurs, mais néanmoins) importantes des routes, des ponts et des tunnels sont en mauvais ou très mauvais état. Cette situation est accentuée dans certaines régions, telles que Chaudière-Appalaches et l'Abitibi-Témiscamingue, où l'état du réseau routier est particulièrement préoccupant. De plus, le Québec a une part nettement plus importante d'infrastructures de transport en mauvais et très mauvais état que le Canada et l'Ontario. Dans son dernier Plan québécois des infrastructures (PQI), le gouvernement a alloué 82% de ses investissements en infrastructures routières à l'entretien, mais seulement 18% au transport en commun.

REVUE DE LITTÉRATURE

La revue de littérature examine la durée de vie des routes, la gouvernance, l'impact du sous-entretien et les pratiques de gestion optimales, en mettant l'accent sur les routes. La durée de vie de ces dernières dépend de facteurs comme la conception, le trafic (notamment des camions) et l'adéquation de l'entretien. En moyenne, les routes sont prévues pour durer 20 à 30 ans avant des travaux majeurs de reconstruction, mais un manque d'entretien réduit leur qualité et leur longévité. Le sous-entretien entraîne des coûts significatifs pour les usagers, en plus d'augmenter les dépenses à long terme du gouvernement. Pour chaque dollar économisé sur l'entretien des infrastructures routières, les coûts pour les usagers peuvent augmenter de 2 à 3 dollars, et les coûts futurs pour le gouvernement de 4 à 5 dollars. En somme, l'entretien préventif permet des économies substantielles à long terme, ce qui démontre l'importance d'une gouvernance rigoureuse et de pratiques de gestion optimisées.

MODÉLISATION DE L'ENTRETIEN DES ROUTES

Une modélisation économique a été réalisée selon une approche avantages-coûts afin de simuler l'impact de différents scénarios budgétaires sur l'état du réseau routier québécois. Elle a porté sur les routes en raison, principalement, de la disponibilité des données et de littérature pour ces infrastructures contrairement aux autres modes de transport. Parmi les scénarios évalués, l'entretien optimal des infrastructures et la résorption du déficit sont une combinaison toujours plus avantageuse du point de vue économique que de l'ajout de nouvelle capacité. En effet, un entretien régulier est essentiel pour éviter une détérioration accélérée des infrastructures et minimiser les coûts de réhabilitation futurs. À l'inverse, l'inaction augmente la probabilité de réparations coûteuses, réduit le débit de voitures en plus d'augmenter les bris sur celles-ci. Le modèle montre l'effet

domino d'un sous-entretien: si les infrastructures ne sont pas maintenues adéquatement, des coûts élevés et des dégradations irrémédiables s'ensuivent, nuisant alors à l'économie. Néanmoins, l'ajout de nouvelles infrastructures est viable, à condition que l'entretien du réseau existant ne diminue pas et qu'il soit assuré pour les nouvelles routes.

IMPLICATIONS POUR LES AUTRES MODES DE TRANSPORT

Les autres types d'infrastructures de transport présentent des caractéristiques similaires à celles du transport routier, rendant les constats de la modélisation applicables. Dans tous les cas, un sous-entretien peut mener à des ralentissements de services importants et même des interruptions qui causeraient des torts importants à l'économie. Pour le transport collectif, les effets d'un entretien déficient se traduisent par des pannes, des perturbations de service, des accidents et une perte de fiabilité qui poussent les usagers à opter pour la voiture, aggravant la congestion routière et les émissions de gaz à effet de serre. Dans le secteur ferroviaire, un sous-entretien accroît les risques de déraillement, tandis que les aéroports et ports font face à des enjeux similaires liés à la sécurité et aux coûts d'exploitation.

INTRODUCTION

Le Québec fait face à un important déficit de maintien d'actifs («DMA») pour plusieurs infrastructures de transport, soit les routes, les ponts, le transport collectif, les aéroports, les ports, les traversiers, etc. Pour l'essentiel, un DMA survient lorsque l'entretien d'une infrastructure est insuffisant en regard de son état physique et de son utilisation. Cela peut être dû à un sous-financement, une planification inadéquate, un manque de ressources humaines ou matérielles, ou d'autres raisons.

Si le DMA est un terme technique qui peut sembler abstrait, ses conséquences négatives sur la durabilité, la sécurité et la capacité d'utilisation sont bien réelles, comme l'évoquent ces trois exemples récents et médiatisés de défaillance d'infrastructures :

- Le pont de l'Île-aux-Tourtes, qui a dû être complètement fermé en 2021 pour réaliser des travaux d'urgence permettant le renforcement de plusieurs éléments structurels¹;
- En août 2024, un bris d'aqueduc a inondé une cinquantaine de résidences à Montréal, en plus de bloquer toute circulation aux abords de la fuite²;
- En septembre 2024, trois stations de la ligne bleue du métro de Montréal ont été fermées par mesure préventive en raison de la détérioration importante d'une poutre dans une passerelle à la station Saint-Michel³.

Les investissements publics en infrastructures de transport se répartissent en ajout de nouvelles infrastructures et en maintien des actifs existants. Dans le Plan québécois des infrastructures 2024-2034, environ 64 % des sommes prévues pour le réseau routier, le transport en commun et les autres types de transport, l'étaient au titre du maintien d'actifs⁴. Cela signifie que le reste, donc plus du tiers budgété, était programmé

pour de l'ajout de capacité et, ce, même s'il subsiste un DMA des infrastructures existantes. Or, cela implique non seulement que des coûts d'entretien futurs devront être engagés pour maintenir ces nouvelles infrastructures, mais aussi que le DMA existant est appelé à croître, avec les risques de dégradation et, au pire, de défaillance que cela comporte.

Dans ce contexte, la FCCQ a mandaté AppEco pour analyser les conséquences économiques du DMA en transport au Québec.

Ce rapport comporte d'abord un portrait des infrastructures de transport du Québec, avec un accent particulier sur le réseau routier, pour lequel les informations quantifiées sont disponibles. Ensuite, un sommaire de la littérature économique portant sur l'entretien et la dégradation des infrastructures est présenté, avec un accent mis sur la situation québécoise. Également, la FCCQ et AppEco ont réalisé des consultations régionales sur les observations et besoins en infrastructures. Un sommaire en est présenté, ainsi que des informations spécifiques à chacune des régions (site web de la FCCQ). Par la suite, une modélisation des impacts associés à différents niveaux d'investissements en maintien d'actifs et en ajout de capacité est développée pour le réseau routier. De plus, ses constats sont élargis aux autres types d'infrastructure de transport, à partir des données disponibles à ce titre. Enfin, la conclusion résume les principaux résultats obtenus.

¹ Sources : Fermeture complète du pont de l'Île-aux-Tourtes – Secteur à éviter - Mobilité Montréal (gouv.qc.ca)

² Les images les plus saisissantes de la fuite d'eau à Montréal | Radio-Canada

³ Fermeture de stations de métro: Québec doit rehausser le financement de l'entretien | L'actualité (lactualite.com)

⁴ Calcul AppEco, données en maintien du parc pour le réseau routier, le transport en commun et le transport maritime, aérien, ferroviaire et autres, divisé par le total du PQI pour ces types de transport.

PORTRAIT DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT AU QUÉBEC

À partir de différentes sources de données, un portrait général de l'état des infrastructures de transport est présenté. Pour ce faire, une collecte de données a été effectuée auprès de diverses instances de statistiques canadiennes et québécoises, dont Statistique Canada, l'Institut de la statistique du Québec et le ministère des Transports et de la Mobilité durable (ci-après le «MTMD»).

Principalement, il en ressort qu'à l'exception du réseau routier, peu de données existent sur l'état des infrastructures de transport du Québec et même du Canada. Ainsi, un portrait aussi détaillé que possible compte tenu des données disponibles est présenté en termes d'âge, d'état, de déficit de maintien d'actifs et d'investissements pour les différents types d'infrastructures à l'étude.

ÂGE DES INFRASTRUCTURES QUÉBÉCOISES

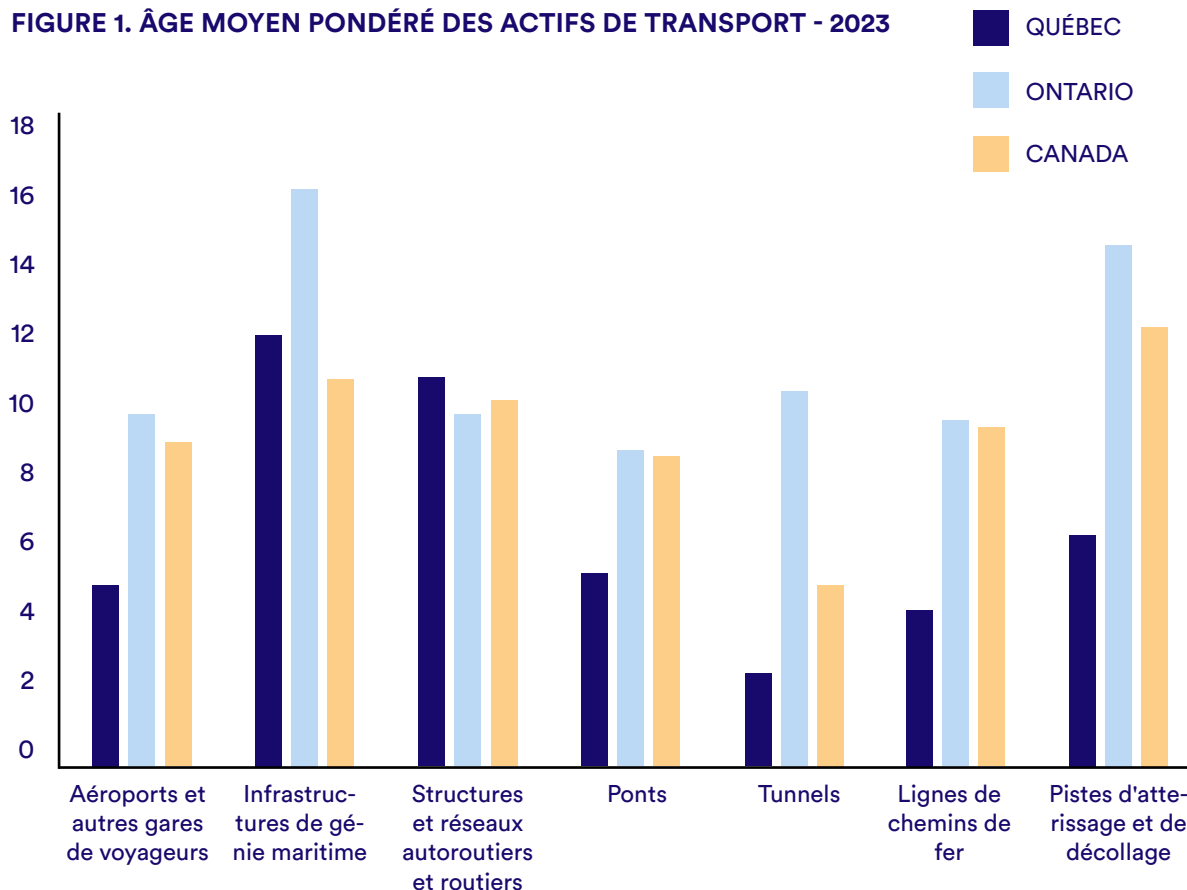
La Figure 1 illustre l'âge moyen des actifs de transport au Québec, en Ontario et dans l'ensemble du Canada pour l'année 2023. Selon Statistique Canada, cet âge se définit ainsi :

«L'âge moyen de l'actif est obtenu sous forme d'âge pondéré de tous les investissements qui demeurent dans le stock brut à la fin de l'année.»

Ainsi, l'âge moyen de l'actif ne reflète pas l'âge moyen de l'infrastructure par rapport à son année de construction initiale, mais plutôt un âge moyen pondéré par tous les investissements réalisés au cours des années. Par exemple, le Pont-tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine subit actuellement une rénovation majeure. Ces investissements récents, d'un âge de zéro («0»), sont pris en compte par Statistique Canada dans le calcul de l'âge moyen, ce qui vient diminuer l'âge moyen de l'actif.

Les résultats illustrent donc que, selon cette définition, l'âge moyen («âge moyen pondéré») de plusieurs types d'actifs (aéroports, ponts, tunnels, ligne de chemin de fer et pistes d'atterrissage et de décollage) est inférieur au Québec par rapport à l'Ontario et à la moyenne canadienne, mais supérieur à la moyenne canadienne pour les infrastructures de génie maritime (dont les ports) et les actifs du réseau routier et autoroutier.

FIGURE 1. ÂGE MOYEN PONDÉRÉ DES ACTIFS DE TRANSPORT - 2023



Source: Statistique Canada, tableau 36-10-0611-01.

Le Tableau 1 permet de mieux évaluer l'âge des structures sur le réseau routier au Québec, car ils montrent l'âge moyen des infrastructures par rapport à leur inauguration. En moyenne, les ponts et les tunnels ont environ 51 ans, alors que les ponceaux, portiques et murs ont entre 35 et 38 ans. Fait à noter, près des deux tiers de ces actifs ont été construits entre 1960 et 1980 (Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec, 2022). Un peu moins de 28 % de ces structures ont été construites après 1980 alors que le reste, soit 11 %, précède 1960. Ces données ne permettent toutefois pas d'obtenir l'âge moyen des autres infrastructures de transport présentées dans la figure précédente (aéroports, infrastructures de génie maritime, etc.).

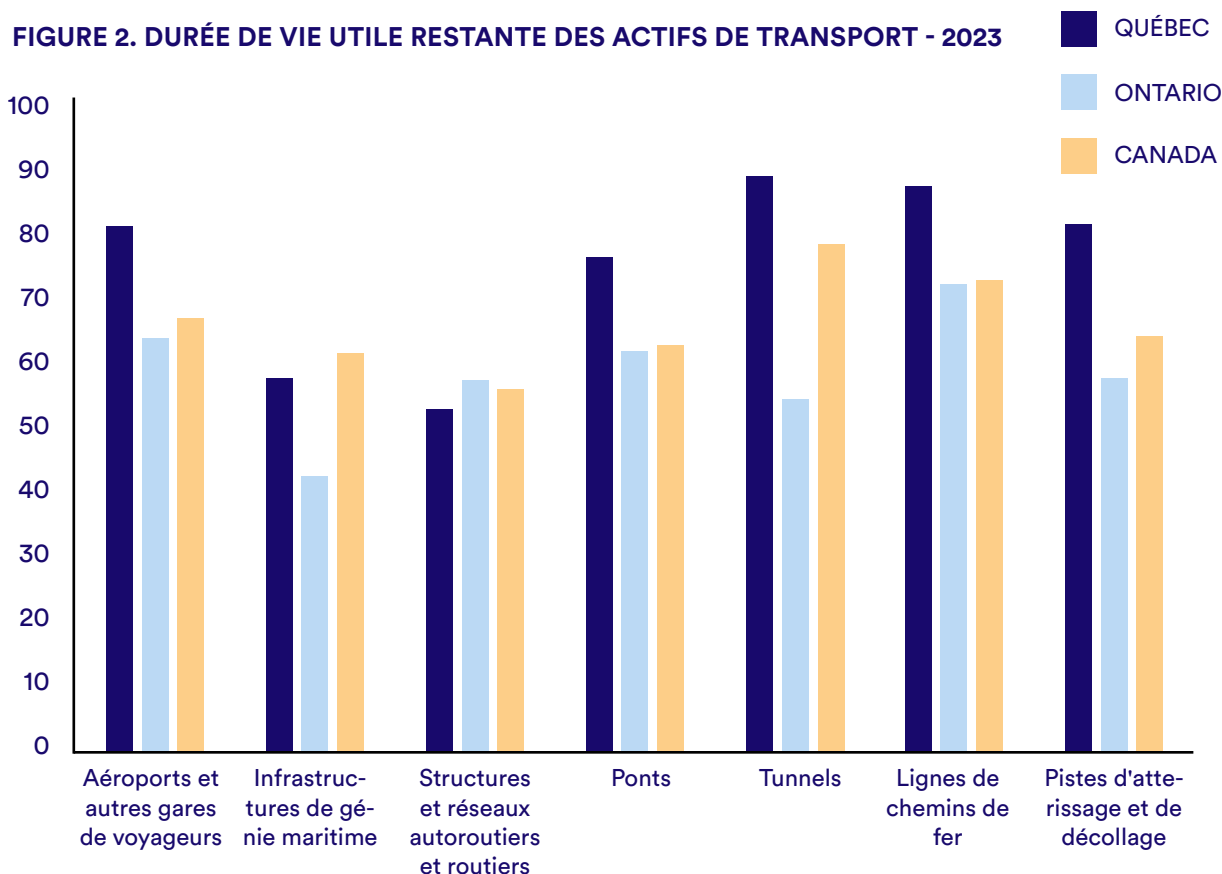
TABLEAU 1. NOMBRE ET ÂGE MOYEN DES STRUCTURES DE TRANSPORT ROUTIER DU QUÉBEC - 2024

	n	Âge moyen
Ponceau	2748	37,4
Pont	7028	50,9
Portique	1161	37,6
Mur	697	35,2
Tunnel	10	50,8

Source: Données du MTMD. Calcul d'AppEco.

Ensuite, la Figure 2 illustre la durée de vie utile restante⁵ des actifs de transport en 2023. Excepté pour les infrastructures de génie maritime ainsi que les actifs du réseau routier et autoroutier, la durée de vie utile restante des actifs au Québec (+/- 80 ans) est supérieure à la moyenne canadienne et à l'Ontario.

FIGURE 2. DURÉE DE VIE UTILE RESTANTE DES ACTIFS DE TRANSPORT - 2023



Source : Statistique Canada, tableau 36-10-0611-01.

ÉTAT DES ROUTES ET DES STRUCTURES

L'état des chaussées au Québec est présenté au Tableau 2. Sur près de 26 000 km de routes du réseau supérieur⁶, 77,4 % sont classés en bon état selon l'indice de rugosité international (IRI). Cependant, l'indice d'état gouvernemental (IEG) médian, qui combine l'IRI, l'indice d'orniérage, l'indice de fissuration ainsi que la susceptibilité au gel de la chaussée, reçoit une note globalement négative de «D». Seulement 4 régions sur 14 ont une note de «B», contre 3 ayant un «C» et les sept autres sont classées «D», indiquant que l'état général des chaussées laisse à désirer.

⁵ « La durée de vie utile est le temps moyen (en années) pendant lequel un actif devrait être productif et utilisé » et la durée de vie utile restante est « obtenue en soustrayant l'âge moyen des dépenses d'investissement de leur durée de vie utile prévue ». La durée de vie utile restante est donc réduite de l'âge moyen de l'investissement qui est réalisé sur cette infrastructure. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/13-607-x/2016001/1373-fra.htm>

⁶ Le réseau routier supérieur québécois sous la responsabilité du Ministère est composé de 31 134 km d'autoroutes, de routes nationales, de routes régionales, de routes collectrices ainsi que de chemins d'accès aux ressources. Cela exclut donc les rues, les routes et les chemins locaux gérés par les municipalités, par d'autres ministères provinciaux ou fédéraux et par Hydro-Québec (Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec, 2022). La différence entre 31 134 km et 25 872 km s'explique par le fait que les structures, les bretelles, les voies de desserte et les chaussées en gravier ne sont pas considérées dans le bilan.

Les régions de l'Outaouais, l'Abitibi-Témiscamingue, l'Estrie et Chaudière-Appalaches semblent avoir les chaussées en plus mauvais état selon l'IRI et l'indice d'état gouvernemental médian.

Quant à la valeur monétaire du DMA, qui totalise 10 G\$ à l'échelle du Québec, elle est la plus élevée en Chaudière-Appalaches (1,6 G\$) et en Estrie (1,1 G\$).

TABLEAU 2. ÉTAT DES CHAUSSÉES DU RÉSEAU SUPÉRIEUR QUÉBÉCOIS - 2022

	Longueur (km)	IRI en bon état	Indice d'état gouvernemental médian	DMA (M\$)
Bas-St-Laurent	2090	76,0 %	D	980
Saguenay-Lac-Saint-Jean-Chibougamau	1882	87,7 %	B	470
Capitale-Nationale	1458	88,6 %	B	246
Mauricie	1115	89,7 %	B	224
Estrie	2542	69,3 %	D	1129
Communauté métropolitaine de Montréal	1741	80,4 %	C	723
Outaouais	1507	66,2 %	D	702
Abitibi-Témiscamingue	2197	68,5 %	D	959
Côte-nord	1525	83,9 %	B	415
Gaspésie-Îles-de-la-madeleine	1245	81,9 %	D	610
Chaudière-Appalaches	2739	69,8 %	D	1557
Laurentides-Lanaudière	2328	70,8 %	D	819
Montérégie	2047	86,4 %	C	515
Centre-de-Québec	1459	83,0 %	C	550
Total	28872	77,4 %	D	9980

Source: Gouvernement du Québec – Bilan de l'état des chaussées du réseau supérieur québécois 2022.

En tenant compte de la population des différentes régions, il est possible de mieux comprendre les disparités régionales (Tableau 3).

En moyenne, le réseau routier supérieur compte 3,0 km par millier d'habitants. C'est naturellement dans la grande région de Montréal que la dotation en routes est la plus faible avec 0,7 km/ 1000 personnes, alors qu'elle est plus importante en Abitibi-Témiscamingue (14,8 km), en Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (13,6 km) et sur la Côte-Nord (11,2 km).

TABLEAU 3. LONGUEUR DES CHAUSSÉES ET DMA PAR HABITANT - 2022

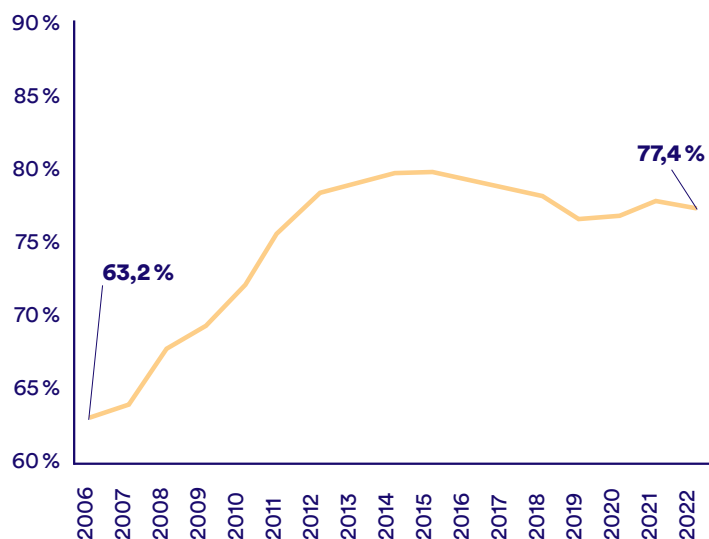
	Population	Kilomètre par 1000 habitants (km/1000 habitants)	DMA par habitant (\$/habitant)	DMA par 1000 kilomètres (\$/1000km)
Bas-St-Laurent	200 959	10,4	4876,62 \$	469
Saguenay-Lac-Saint-Jean-Chibougamau	279 392	6,7	1682,22 \$	250
Capitale-Nationale	775 239	1,9	317,32 \$	169
Mauricie	278 697	4,0	803,74 \$	201
Estrie	507 325	5,0	2225,40 \$	444
Communauté métropolitaine de Montréal	2 479 204	0,7	291,63 \$	415
Outaouais	411 888	3,7	1704,35 \$	466
Abitibi-Témiscamingue	148 179	14,8	6471,90 \$	437
Côte-nord	136 342	11,2	3043,82 \$	272
Gaspésie-Îles-de-la-madeleine	91 809	13,6	6644,23 \$	490
Chaudière-Appalaches	441 397	6,2	3527,44 \$	569
Laurentides-Lanaudière	1 195 397	1,9	685,13 \$	352
Montérégie	1 470 758	1,4	350,16 \$	252
Centre-de-Québec	255 599	5,7	2151,81 \$	377
Total	8 672 185	3,0	1150,81 \$	386

Source: Gouvernement du Québec – Bilan de l'état des chaussées du réseau supérieur québécois 2022 et Institut de la statistique du Québec. Calcul d'AppEco.

Du côté du DMA par habitant, l'Abitibi-Témiscamingue et la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine affichent les pires valeurs, soit entre 6 500 \$ et 6 600 \$ par personne. En revanche, Montréal, Québec (Capitale-Nationale) et la Montérégie affichent des DMA par personne inférieures à 400 \$ par personne. En observant la dernière colonne, soit le DMA par millier de kilomètres, la Capitale-Nationale (169 \$ / 1000 km) a les routes en meilleur état, suivie de près par la Mauricie (201 \$) et la Montérégie (252 \$). À l'opposé, Chaudière-Appalaches a les routes dans le pire état (569 \$), suivie de la Gaspésie et du Bas-Saint-Laurent, toutes deux à près de 470 \$.

Bien que près du quart des chaussées soit considéré en mauvais état en 2022, la situation s'est améliorée par rapport à 2006, tel que montre la Figure 3. En 2006, 63,2 % des chaussées au Québec étaient considérées en bon état, une proportion qui a augmenté jusqu'en 2014 pour atteindre près de 80 %. Depuis 2014, la situation s'est légèrement détériorée, pour atteindre 77,4 % en 2022.

FIGURE 3. ÉVOLUTION DE LA PART DES CHAUSSÉES EN BON ÉTAT



Quant aux structures du réseau supérieur québécois, près du quart d'entre elles sont considérées en mauvais état au Québec (Tableau 4). Toutefois, malgré un nombre d'actifs en bon état pratiquement semblable à celui des routes (77,6 % versus 77,4 %), leur indice d'état gouvernemental moyen de C est nettement meilleur – 6 régions sur 14 obtiennent la note de B et les 8 autres reçoivent un C, donc aucune n'a une note de D.

Source : Institut de la Statistique du Québec. Données du MTMD.

TABLEAU 4. ÉTAT DES STRUCTURES DU RÉSEAU SUPÉRIEUR QUÉBÉCOIS – 2022

	Structures en bon état DGT	Âge moyen	Indice d'état gouvernemental moyen	DMA (M\$)
Bas-St-Laurent	82,8 %	38	B	37
Saguenay-Lac-Saint-Jean-Chibougamau	73,9 %	35,8	C	132
Capitale-Nationale	85,1 %	37,2	B	832
Mauricie	77,8 %	45,8	C	322
Estrie	72,8 %	45,5	C	59
Communauté métropolitaine de Montréal	75,0 %	38,7	B	6190
Outaouais	89,8 %	39,4	B	28
Abitibi-Témiscamingue	61,3 %	47,5	C	72
Côte-nord	93,2 %	30,7	B	28
Gaspésie-Îles-de-la-madeleine	84,3 %	44,6	B	485
Chaudière-Appalaches	78,2 %	37,6	C	48
Laurentides-Lanaudière	67,5 %	45,8	C	126
Montérégie	70,4 %	44,4	C	258
Centre-de-Québec	78,3 %	44,3	C	96
Total	77,6 %	40,9	C	8713

Source : (Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec, 2022).

Selon les données du MTMD, approximativement 23% des structures seraient déficientes selon leur état, et 9% selon leur fonctionnalité. Cette proportion est semblable à celle de l'ensemble des structures (Tableau 5).

TABLEAU 5. NOMBRE DE STRUCTURES DÉFICIENTES PAR TYPE - 2024

	État		Fonctionnalité	
	n	%	n	%
Ponceau	305	11	15	1
Pont	2205	31	975	14
Portique	131	11	22	2
Tunnel	9	90	0	0
Mur	74	11	0	0
Total	2724	23	1012	9

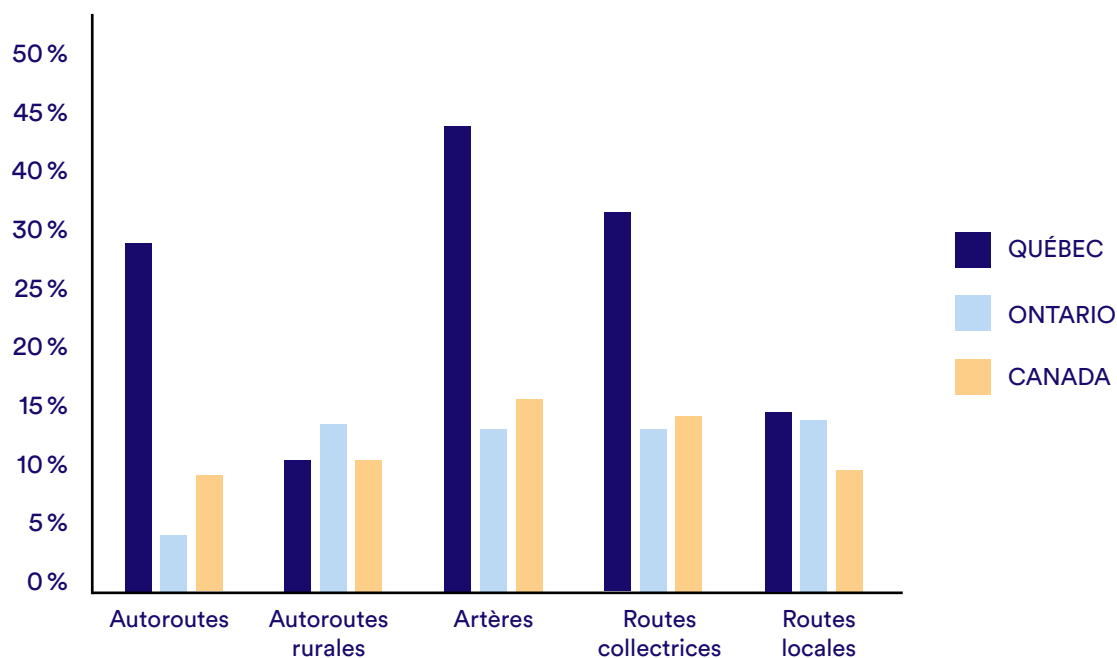
Source : Données du MTMD. Calcul d'AppEco.

La Figure 4 montre que le Québec a une proportion de routes en mauvais ou très mauvais état beaucoup plus grande que la moyenne canadienne ou l'Ontario, et ce, malgré le fait que l'âge moyen pondéré de ces infrastructures au Québec n'est pas beaucoup plus élevé (Figure 1). Cette dichotomie apparente peut notamment s'expliquer par le fait qu'il s'agit d'une moyenne versus un portrait de chacune des infrastructures routières. En effet, des infrastructures majeures du Québec pourraient avoir un âge moyen pondéré faible, du fait de réparations récentes, tandis que le reste des infrastructures routières pourraient être en mauvais état, ce qui pourrait donner une moyenne pondérée similaire à une autre juridiction qui aurait uniquement des routes en état moyen.

De plus, les deux figures ne présentent pas les mêmes regroupements d'infrastructures, ce qui rend la comparaison plus difficile. En effet, dans la première, les structures (ponts, ponceaux, etc.) sont incluses alors qu'elles ne le sont pas dans la seconde ce qui peut nuire à la comparaison.

Le fait qu'en moyenne le réseau routier québécois soit en meilleur état que dans le reste du Canada, mais qu'il comporte un nombre important de routes en mauvais et très mauvais état, laisse croire que le Québec ne parvient pas à bien entretenir son large réseau de chaussées, bien souvent, aux dépens des routes en région. Ainsi, malgré une amélioration depuis le milieu des années 2000, il reste encore beaucoup de chemin à parcourir avant d'atteindre les 10% à 15% de routes en mauvais état observé ailleurs au pays.

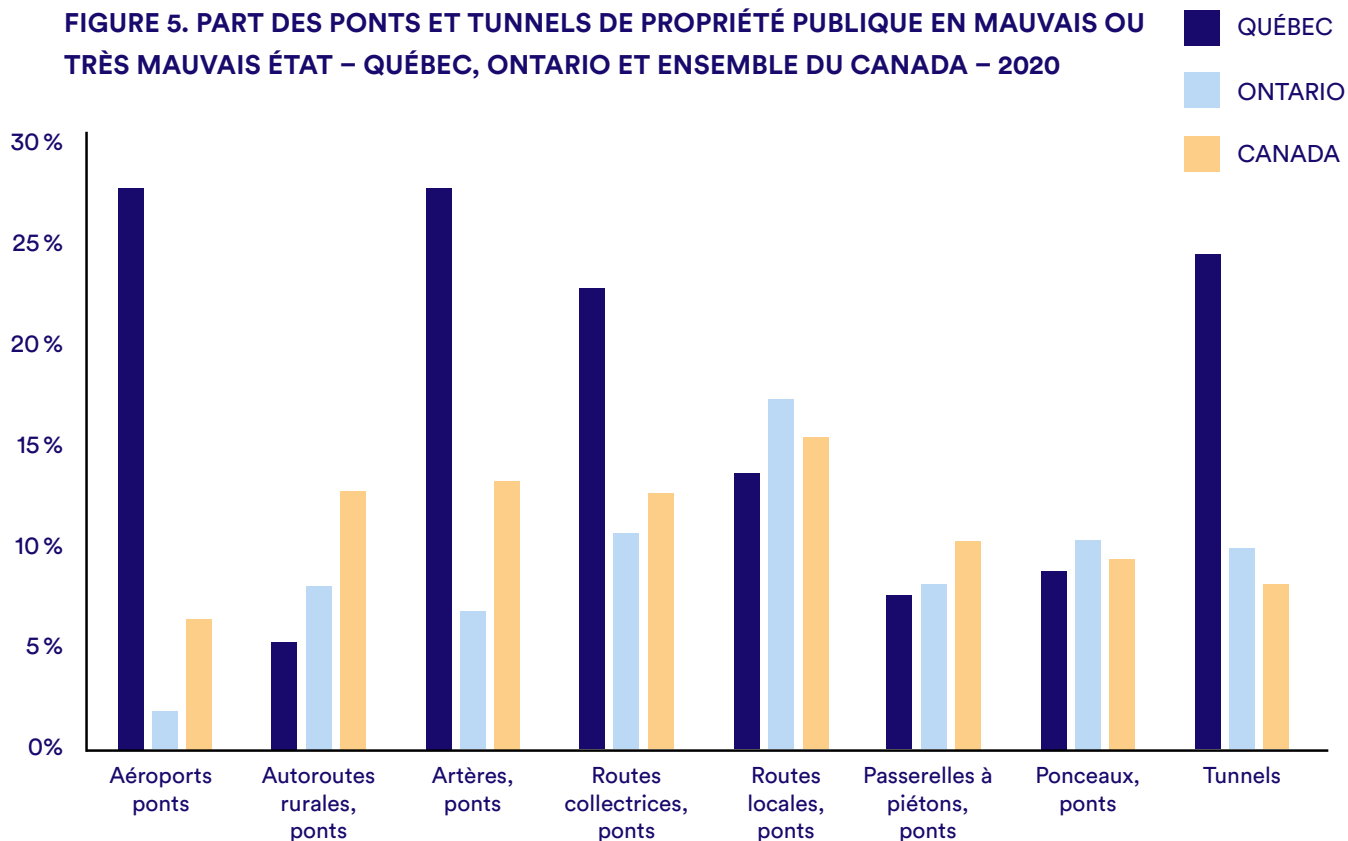
FIGURE 4. PART DES ACTIFS ROUTIERS DE PROPRIÉTÉ PUBLIQUE EN MAUVAIS OU TRÈS MAUVAIS ÉTAT - QUÉBEC, ONTARIO ET ENSEMBLE DU CANADA - 2020



Source: Statistique Canada – Tableau 34-10-0070-01. Note: Un actif en très mauvais état est défini comme ayant un besoin immédiat de remplacer la majeure partie ou la totalité de l'actif. Un actif en mauvais état signifie qu'il est probable que l'actif connaîtra une défaillance et nécessite d'importants travaux à court terme.

Le constat de la précédente figure se répète également auprès des ponts et tunnels de propriété publique, comme montré à la Figure 5. C'est plus de 20 % des ponts, des autoroutes, des artères, des routes collectrices ainsi que des tunnels qui sont en mauvais ou très mauvais état au Québec, alors que cette part dépasse rarement 10 % pour l'Ontario et l'ensemble du Canada.

FIGURE 5. PART DES PONTS ET TUNNELS DE PROPRIÉTÉ PUBLIQUE EN MAUVAIS OU TRÈS MAUVAIS ÉTAT – QUÉBEC, ONTARIO ET ENSEMBLE DU CANADA – 2020



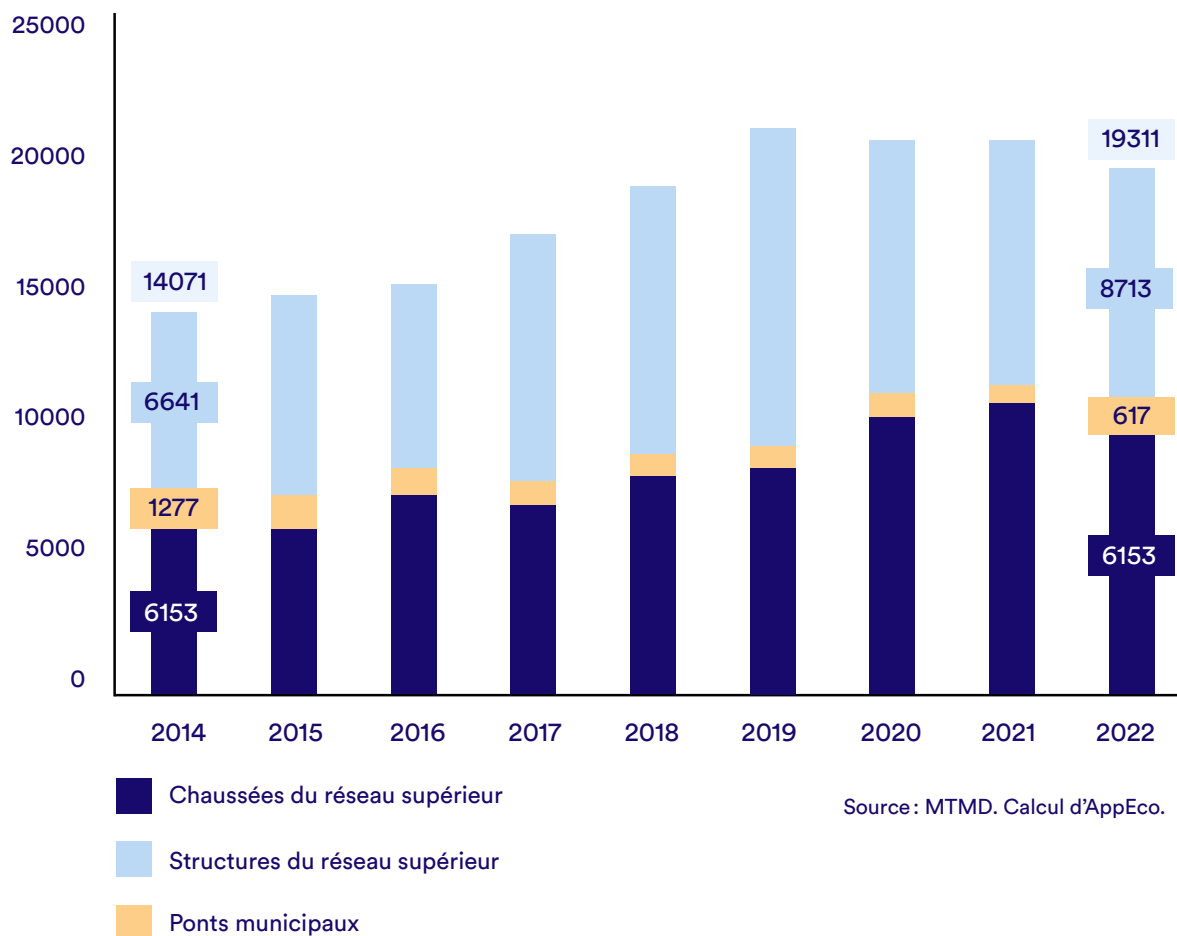
Source : Statistique Canada – Tableau 34-10-0167-01.

ÉVOLUTION DU DMA AU QUÉBEC

Ces résultats sur l'âge et l'état des routes et des infrastructures nous amènent à examiner l'évolution du DMA du réseau routier québécois (Figure 6). Afin de pouvoir comparer les montants sur plusieurs années, s'ils n'étaient pas déjà publiés en dollars constants, ils ont été convertis comme tels.

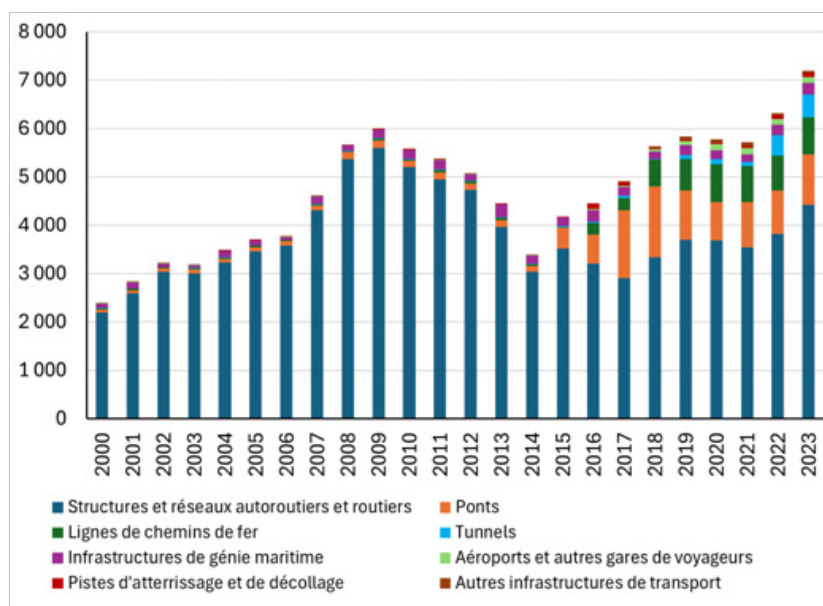
En 2022, le DMA total du réseau routier était de 19 311 M\$, dont 8 713 M\$ attribuables aux structures, 617 M\$ pour les ponts municipaux et 9 981 M\$ aux chaussées. Cela représente une augmentation de 37% par rapport à 2014, alors que le DMA était de 14 071 M\$. Toutefois, cette hausse cumulative s'est faite en deux temps : un bond d'environ 14 à 20 G\$ de 2014 à 2019, puis une lente diminution par la suite, soit de 20 à 19 G\$. La pandémie de COVID-19 a pu expliquer une partie de cette stagnation, vu la baisse du nombre de déplacements, tous modes confondus, observée durant les années 2020 à 2022.

FIGURE 6. ÉVOLUTION DU DÉFICIT DE MAINTIEN D'ACTIFS (DMA) DU RÉSEAU ROUTIER QUÉBÉCOIS – EN M\$ CONSTANTS DE 2022



La stabilité du DMA depuis 2020 s'explique aussi par la croissance marquée des investissements en transports depuis 2014, qui a fini par porter fruit après une diminution entre 2009 et 2014 (Figure 7). En outre, les plus fortes croissances proviennent des ponts et des chemins de fer, ce qui s'explique en partie par les mégaprojets que sont le pont Samuel-de Champlain et le REM. De plus, les investissements ne servent pas seulement à résorber le DMA, mais également à remplacer ou ajouter de nouvelles infrastructures. Néanmoins, les dépenses réelles au titre des structures et réseaux autoroutiers et routiers ont crû de façon importante depuis 2017.

FIGURE 7. ÉVOLUTION DES INVESTISSEMENTS EN TRANSPORTS – EN M\$ CONSTANTS – QUÉBEC



Source : Statistique Canada – Tableau 36-10-0608-01.

Rapport 2023 du Vérificateur général du Québec («VGQ»)

Portant sur le ministère des Transports et de la Mobilité durable («MTMD»), qui est responsable de l'entretien du réseau routier supérieur, ce rapport a révélé que l'état réel de ces routes serait en fait pire qu'indiqué dans les indicateurs officiels.

Selon le VGQ, environ la moitié des chaussées (donc 50%) sont en mauvais état et plusieurs d'entre elles ont atteint la fin de leur durée de vie. Ces chaussées requièrent des interventions correctives, mais les travaux de conservation réalisés sont insuffisants, si bien que le DMA est en croissance. En 2022, il atteignait 10 G\$, soit plus du quart du déficit de toutes les infrastructures publiques du Québec. Or, le ministère n'a pas évalué les investissements nécessaires pour maîtriser ce déficit. Pour le VGQ, les pires régions sont

Abitibi-Témiscamingue et Chaudière-Appalaches, alors que Capitale-Nationale, Côte-Nord et Saguenay-Lac-Saint-Jean-Chibougamau ont les routes en (relativement) meilleur état.

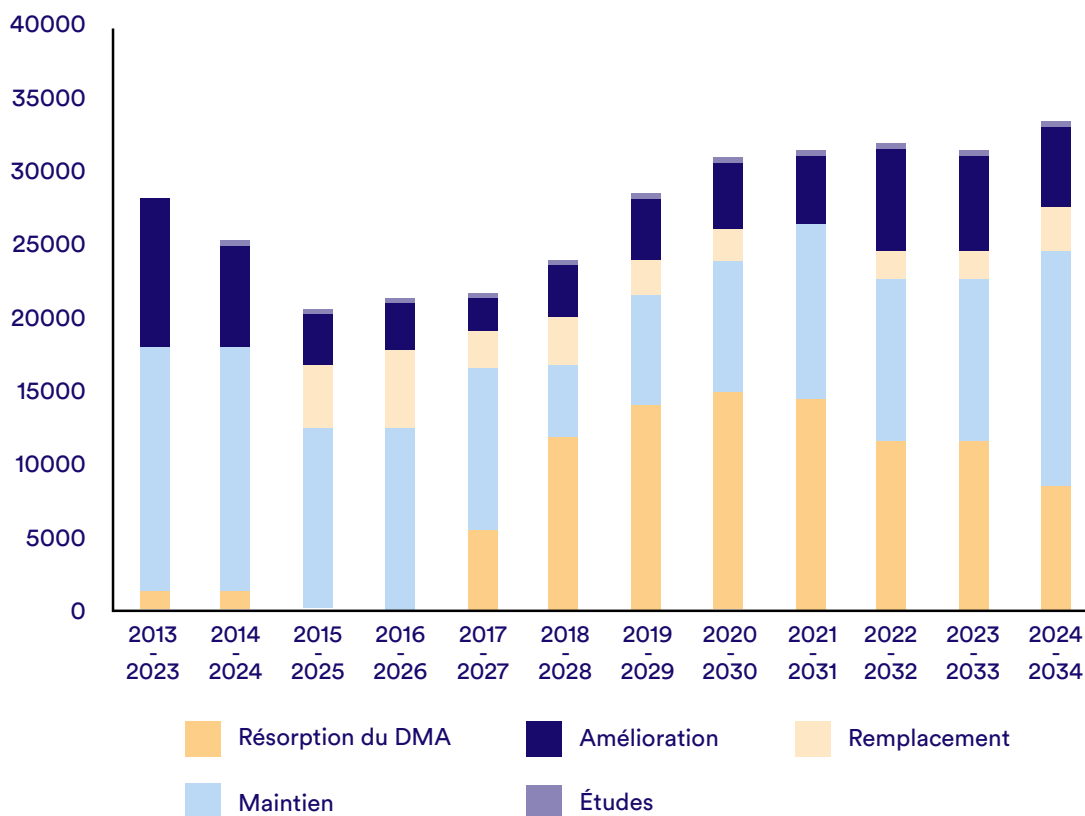
Toujours selon le VGQ, certains travaux de réhabilitation favorisant la pérennité du réseau routier ne sont pas planifiés. De plus, lorsqu'une telle planification est effectuée, plusieurs projets sont reportés sans être réalisés. Enfin, le MTMD ne peut garantir que les ressources qu'il consacre à l'innovation sont utilisées de façon optimale. Ainsi, les projets choisis pourraient ne pas répondre adéquatement aux défis auxquels le ministère fait face en matière d'entretien des routes.

INVESTISSEMENTS EN MAINTIEN D'ACTIFS ET RÉSORPTION DE DMA

Les prochaines figures permettent de mieux cerner les dépenses spécifiquement prévues pour résorber le DMA, soit celles prévues aux différents Plans québécois des infrastructures («PQI») pour le réseau routier, les transports aérien, maritime et ferroviaire et le transport collectif. À chaque fois, les dépenses présentées sont les prévisions du gouvernement du Québec sur un horizon de 10 ans. Il s'agit des intentions d'investissement par type de dépenses, lesquelles changent d'année en année à mesure que les analyses des besoins évoluent et entraînent des ajustements aux sommes investies et à leur répartition. Forcément, comme cette planification est révisée tous les ans, les ajustements de court terme (années 1 et 2) sont moindres que ceux au-delà (3 ans et plus).

D'abord, la Figure 8 montre les dépenses prévues sur 10 ans aux différents PQI pour le réseau routier. À partir du PQI 2017-2027, une part importante des dépenses sert à résorber le DMA. Le montant prévu à ces fins diminue toutefois après le PQI 2021-2031. À noter, avant 2015-2025, les catégories du PQI étaient différentes puisque les dépenses en amélioration et en remplacement étaient jumelées. Depuis, elles ont été scindées et le remplacement est considéré comme faisant partie du maintien du parc, alors que l'amélioration est incluse dans la bonification. Dans les dernières années, ces deux catégories, en plus du maintien d'actifs, ont connu une croissance importante, aux dépens de la résorption du DMA.

FIGURE 8. DÉPENSES PRÉVUES AU PQI POUR LE RÉSEAU ROUTIER – EN M\$ CONSTANTS⁷



Source : PQI 2013-2023 à 2024-2034. Calcul d'AppEco. Note : un changement dans les catégories du PQI fait en sorte qu'il est impossible de scinder le remplacement et l'amélioration avant 2015.

⁷Le maintien des actifs réfère aux dépenses réalisées «pour maintenir l'état physique d'une infrastructure dans un état au moins satisfaisant (indice d'état gouvernemental de A, B ou C) afin d'assurer la santé et la sécurité des personnes, de poursuivre son utilisation pour laquelle elle est destinée, de réduire la probabilité de défaillance ou de contrer sa vétusté physique.» La résorption du DMA réfère aux « Investissements spécifiquement destinés à résorber le déficit de maintien d'actifs répertorié sur les infrastructures présentées au Plan annuel de gestion des investissements publics en infrastructures d'un organisme public.

Le Tableau 6 compare le pourcentage des investissements dédiés au maintien du parc et à la bonification selon le type de transport. Le maintien du parc comprend le maintien d'actifs, la résorption du DMA, le remplacement d'infrastructures et les projets de maintien qui sont à l'étude. Ainsi, la part de maintien des infrastructures pour le réseau routier est plutôt importante en ce moment, mais celui pour le transport collectif est nettement plus faible.

**TABLEAU 6. PROPORTION DES INVESTISSEMENTS AU PQI 2024-2034
PAR SECTEUR D'ACTIVITÉ ET PAR TYPE D'INVESTISSEMENTS**

Secteur d'activité	Maintien du parc	Bonification du parc
Réseau routier	82 %	18 %
Transport collectif	18 %	82 %
Transport maritime, aérien, ferroviaire et autres	67 %	33 %

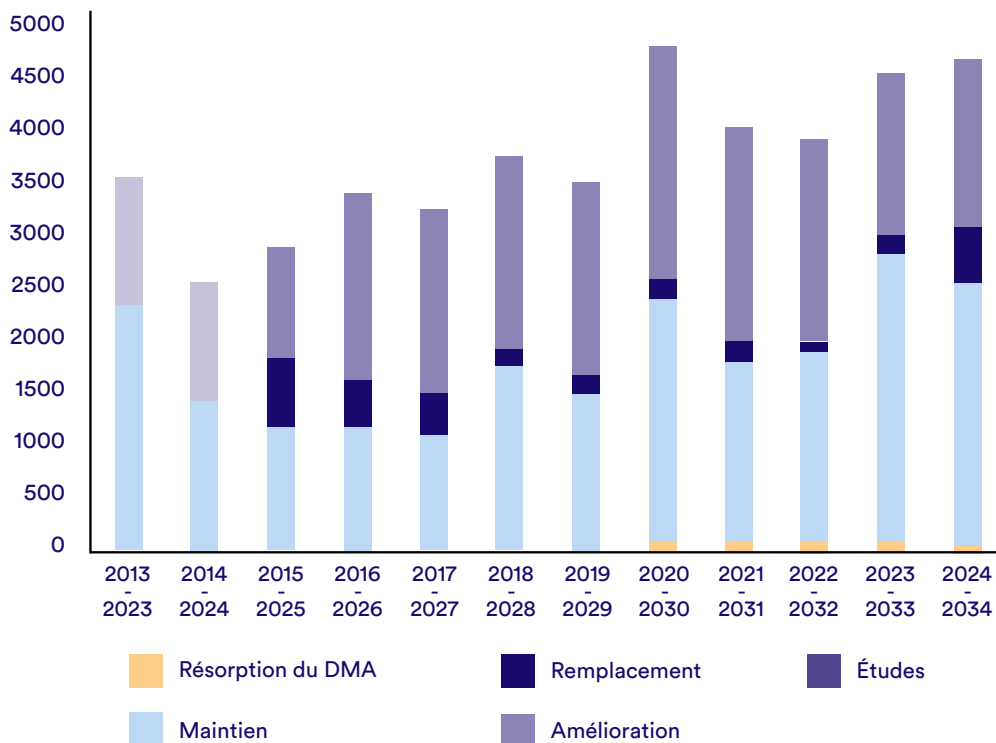
Source : PQI 2024-2034, compilation AppEco.

Du côté des infrastructures de transport maritime, aérien, ferroviaire et autres ainsi que du transport collectif, les dépenses prévues au PQI pour la résorption du DMA sont pratiquement nulles, et ce depuis le PQI 2013-2023 (Soulignons cependant que certaines de ces infrastructures, notamment les aéroports et ports de Québec et de Montréal, sont sous la responsabilité du gouvernement du Canada (Figure 9 et Figure 10). Il n'a pas été possible d'obtenir d'information sur le DMA et les investissements des infrastructures de transport sous la responsabilité du gouvernement fédéral.)

Dans le cas du transport maritime, aérien, ferroviaire et autre, la proportion du maintien d'actifs dans le total tend à croître depuis 2017, pour atteindre 54 % (2 473 M\$). Lorsqu'on inclut la résorption du DMA, le remplacement et les projets de remplacement à l'étude, c'est 67 % des investissements qui sont prévus en maintien du parc.

Soulignons cependant que certaines de ces infrastructures, notamment les aéroports et ports de Québec et de Montréal, sont sous la responsabilité du gouvernement du Canada. Il n'a pas été possible d'obtenir d'information sur le DMA et les investissements des infrastructures de transport sous la responsabilité du gouvernement fédéral.

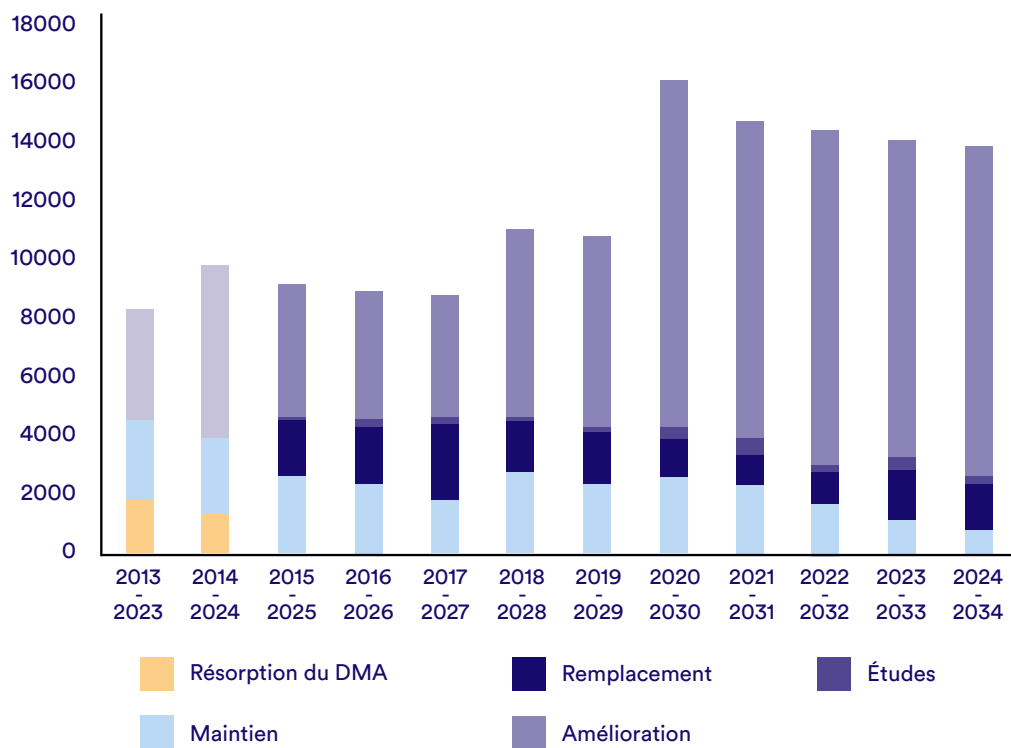
FIGURE 9. DÉPENSES PRÉVUES AU PQI POUR LE TRANSPORT MARITIME, AÉRIEN, FERROVIAIRE ET AUTRES – EN M\$ CONSTANTS



Source: PQI 2013-2023 à 2024-2034. Calcul d'AppEco. Note: un changement dans les catégories du PQI fait en sorte qu'il est impossible de scinder le remplacement et l'amélioration avant 2015.

Pour le transport en commun, il y a plutôt une diminution, puisque la proportion associée au maintien est de 5,5% (741 M\$) pour 2024-2034 comparativement à une moyenne supérieure à 20% pour les PQI 2013-2023 à 2023-2033. À cela s'ajoute 1 628 M\$ en remplacement d'infrastructure. Au total, c'est 2,4 G\$ en investissement qui sont prévus pour le maintien du parc d'infrastructures de transport en commun. C'est dans le dernier PQI (2024-2034) que les sommes prévues pour le maintien des actifs en transport en commun ont été les plus faibles⁸. Par exemple, le PQI présenté deux ans plus tôt prévoyait le double des investissements en maintien d'actifs pour le transport en commun, soit plus de 1,5 G\$ (2,7 G\$ en incluant le remplacement). De plus, aucune somme n'est prévue pour la résorption du DMA malgré que plusieurs infrastructures, notamment celles du métro de Montréal, aient des besoins d'entretien documentés (Société de transport de Montréal, 2024).

FIGURE 10. DÉPENSES PRÉVUES AU PQI POUR LE TRANSPORT COLLECTIF – EN M\$ CONSTANTS



Source : PQI 2013-2023 à 2024-2034. Calcul d'AppEco. Note : un changement dans les catégories du PQI fait en sorte qu'il est impossible de scinder le remplacement et l'amélioration avant 2015.

⁸Pour les PQI examinés, soit de 2013-2023 à 2024-2034

CONCLUSION

En somme, les infrastructures routières québécoises sont moins âgées qu'en Ontario et dans le reste du pays, et ce, malgré les limites méthodologiques associées à l'évaluation de cet indicateur. Toutefois, la proportion de ces infrastructures en mauvais ou très mauvais état avoisine 20 % à 25 % dans plusieurs catégories, ce qui est pire qu'ailleurs au Canada, où la moyenne nationale (incluant le Québec) ne dépasse jamais 15 %. Ainsi, la combinaison de la conception, de la construction et de l'entretien des infrastructures québécoises laisse à désirer comparativement aux standards observés dans les autres provinces, lesquelles sont soumises à des aléas climatiques très similaires aux nôtres.

Les données des PQI indiquent que les routes du Québec sont en pire état que les structures. La ventilation de ces données par région révèle que Capitale-Nationale a les routes en meilleur état, suivie de près par la Mauricie et la Montérégie. À l'opposé, Chaudière-Appalaches a les routes en pire état, suivi de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine et du Bas-Saint-Laurent. Le VGQ a un classement un peu différent basé sur le fichier maître du ministère, mais montrant des ordres de grandeur comparables.

Ces dernières années, les investissements en résorption du DMA et en maintien ont crû jusqu'en 2022, mais stagnent depuis. À moins de bonifier les sommes investies, l'efficacité des interventions, ou les deux à la fois, le décalage du Québec par rapport au reste du pays demeurera au beau fixe.

REVUE DE LITTÉRATURE

Cette section présente certains constats généraux ressortant de la littérature internationale sur l'économie des infrastructures. La littérature sur l'impact de l'entretien des infrastructures de transport est très concentrée sur le transport routier et concerne peu les autres modes de transport que sont le transport collectif, les infrastructures portuaires et aéroportuaires, les traversiers et le transport ferroviaire. C'est encore plus vrai pour ce qui est des données disponibles. Hormis pour les routes, très peu d'informations sont disponibles sur l'état des autres infrastructures de transport au Québec et l'entretien réalisé.

Ainsi, vu les objectifs du présent mandat, l'accent a été mis sur le réseau routier, la dualité des coûts de construction et d'entretien, l'impact d'un entretien déficient et le rôle économique des infrastructures.

DURÉE DE VIE DES ROUTES

La durée de vie d'une route est fonction de sa qualité de conception et de construction, de l'importance du trafic routier (notamment les camions lourds) utilisant cette route, ainsi que de l'adéquation des travaux et dépenses d'entretien durant sa vie utile. Cela dit, de façon générale, la durée de vie initiale spécifiée pour les chaussées se situe généralement entre 20 et 30 ans. Le trafic de véhicules lourds pour le dimensionnement en termes d'équivalent de charge axiale simple (ECAS) varie grandement, soit entre 1 et 200 millions (Applied Research Associates inc., 2020). La valeur d'ECAS donne une indication du nombre de véhicules, ou passages, que peut recevoir la chaussée tout au long de la période en service prévue lors de sa construction (Gendron, 2001).

GOUVERNANCE

Les organisations responsables de l'entretien des infrastructures routières doivent s'assurer que leurs pratiques permettent de maintenir la qualité et la disponibilité des infrastructures aux

individus et aux entreprises l'utilisant ou pouvant le faire. À ces fins, en juin 2019, les ministres des Finances et les gouverneurs de banque centrale des pays du G20 ont approuvé les Principes du G20 sur les investissements dans des infrastructures de qualité, en soulignant que « une gouvernance solide des infrastructures sur l'intégralité du cycle de vie du projet est l'un des principaux facteurs à prendre en compte pour garantir sur le long terme l'efficacité, la responsabilité, la transparence et l'intégrité de l'investissement dans les infrastructures. » (OCDEb, 2020).

Spécifiquement, ces principes adoptés via l'OCDE incluaient le fait de veiller à ce que l'actif assure sa fonction tout au long du cycle de vie, incluant l'optimisation des coûts sur l'ensemble du cycle de vie de l'infrastructure (note: coûts économiques complets, incluant l'ensemble des avantages et coûts associés); le suivi de la performance des actifs; l'examen régulier de la valeur et la dépréciation des actifs, ainsi que leur impact sur les comptes publics et la planification et la gestion de la fin des contrats d'infrastructures (marchés publics, PPP et contrats de concession) – peu applicable dans le contexte québécois, mais quand même pertinent.

À ce titre, le MTMD publie des données à l'échelle régionale sur l'état des infrastructures sous sa responsabilité et des coûts associés. De plus, il a fait preuve d'introspection, faisant notamment analyser ses pratiques et procédés liés aux revêtements routiers via une revue par les pairs en les comparant à ceux de cinq ministères des transports canadiens (Alberta, Saskatchewan, Manitoba, Ontario et Nouveau-Brunswick) et cinq départements de transports américains (Minnesota, New York, Vermont, New Hampshire et Maine) (Applied Research Associates inc., 2020). Cette analyse a conclu que le MTMD a mis en place des stratégies, des processus et des procédures très similaires à ceux des organisations homologues responsables de la formulation des enrobés, des matériaux, de la production et de la pose, ainsi que du contrôle et de l'assurance

de la qualité des enrobés. Certains domaines techniques pour lesquels les exigences du MTQ surpassent celles des organisations homologues concernent, entre autres, le dimensionnement des chaussées qui quantifie les répercussions potentielles du gel sur la performance de la chaussée, une méthode de formulation volumétrique modifiée des enrobés, des essais de performance à l'orniérage, un coefficient d'écoulement pour les granulats fins pour améliorer la résistance à l'orniérage, ainsi qu'une fréquence généralement plus élevée des essais de contrôle et d'assurance de la qualité sur le bitume et les enrobés.

Le VGQ a néanmoins exprimé des réserves sur les proportions de chaussées en mauvais état et a proposé quatre recommandations correctives, soit en substance (a) de bonifier l'information que le ministère communique sur l'état du réseau routier; (b) de déterminer des indicateurs, des modèles de projection et des cibles permettant au ministère d'évaluer les niveaux d'investissement requis afin d'assurer à la fois le bon état des chaussées et la pérennité du réseau routier; (c) de s'assurer que les directions générales territoriales planifient et réalisent les travaux de réhabilitation majeure nécessaires à l'atteinte des cibles ministérielles; et (d) de déterminer des critères pour sélectionner les projets innovants les plus prometteurs en fonction des enjeux concrets du MTMD (Vérificateur général du Québec, 2023).

IMPACT D'UN SOUS-ENTRETIEN

La dégradation des routes peut être causée par plusieurs facteurs comme le volume de circulation, les conditions climatiques, des défauts de conception et de fabrication, l'âge des infrastructures et un manque d'entretien (Hasan & Jaber, 2024).

Le niveau de financement de l'entretien des routes peut avoir de nombreuses répercussions sur l'état des routes. La réduction des budgets d'entretien peut entraîner la dégradation de l'infrastructure, causant différentes conséquences défavorables telles qu'une augmentation des taux d'accidents, une usure accrue des véhicules

menant à des surcoûts d'utilisation, l'allongement de la durée des trajets et la réduction de leur fiabilité, l'augmentation du bruit et des vibrations, une hausse de la consommation de carburant et des émissions (incluant de GES), le risque accru de défaillance des actifs, la diminution de la capacité de la route (voire même sa fermeture) pouvant conduire à l'isolement, les inondations et la pollution dues à un drainage inadéquat, etc. (Gould, Parkman, & Buckland, 2013) et (Burningham & Stankevich, 2005).

Les analyses ont établi que sur la durée de vie de la route, le coût d'entretien annuel représentait une petite part du coût d'investissement initial, généralement entre 2 % et 3 % pour une grande route revêtue et entre 5 % et 6 % pour une route rurale non revêtue (Donnges, Edmonds, & Johannsen, 2007). Toutefois, sans ces dépenses régulières, la route se dégrade, perd de ses qualités, ce qui occasionne les dommages précités. Sans entretien, les bénéfices physiques et économiques pour la société sont perdus à long terme, alors que les coûts d'un entretien approprié sont relativement faibles par rapport au total des coûts pour l'autorité routière (Association mondiale de la Route, 2014).

Lorsqu'on laisse une route se dégrader au point d'atteindre un « mauvais état », chaque dollar retenu sur l'entretien de la route augmente les coûts d'exploitation des véhicules de 2 à 3 dollars. Les coûts économiques de l'entretien insuffisant des routes sont supportés au premier chef par les usagers. En outre, quand le niveau du trafic augmente sur des routes mal entretenues, la proportion des coûts d'exploitation des véhicules sur les coûts totaux du transport routier augmente fortement (Heggie & Vickers, 1999).

Les exemples à l'international sont nombreux. Les surcoûts liés à l'entretien déficient des routes étaient estimés à environ 1,2 G\$ en Afrique, soit près de 0,9 % du PIB. En Amérique latine et dans les Caraïbes, les chiffres correspondants étaient de 1,7 G\$ par an en 1992, soit 1,4 % du PIB de chacun des pays. Le ministère des Transports de surface en Inde a estimé que 4 G\$ pourraient être économisés avec un meilleur

entretien routier — soit plus de deux fois les dépenses annuelles d'entretien et de travaux majeurs des routes nationales et d'État (ministère indien des Transports de surface 1996) et (Heggie & Vickers, 1999).

Un mauvais entretien accroît également les coûts à long terme de la conservation du réseau en bon état. Le coût d'entretien pendant 15 ans d'une route revêtue est trois fois moindre que celui de la remettre en état, faute de maintenance. Par conséquent, le ratio avantages-coûts d'un entretien régulier des routes varie entre 2 et 3 (Thruscutt, Mason, Ray, & Lane, 1991) et (Heggie & Vickers, 1999).

Si ces exemples portent sur des pays bien différents du Québec, la dynamique économique demeure pertinente et directement applicable, à savoir qu'un entretien déficient engendre des coûts qui augmentent plus que linéairement avec l'ampleur de la dégradation routière.

TABLEAU 7. ANALYSE AVANTAGES-COÛTS DE L'ENTRETIEN SUR LES COÛTS DES VÉHICULES

Encadré 2.1. L'impact de l'entretien routier sur les coûts d'exploitation des véhicules

Cet exemple analyse l'impact de l'entretien des routes sur les CEV en utilisant les données de 33 pays. Il compare un nombre limité de stratégies potentielles d'entretien des routes à un cas de base consistant en la maintenance de routine uniquement (i.e. le travail sur les abords de routes). Les quatre stratégies évaluées sont :

- Point à temps et revêtement de 5 cm quand la rugosité atteint 6,0 (m/km), sur l'échelle de rugosité internationale (IRI).
- Point à temps et revêtement de 5 cm quand la rugosité atteint 5,0 (m/km), sur l'échelle de rugosité internationale (IRI).
- Point à temps et revêtement de 5 cm quand la rugosité atteint 4,0 (m/km), sur l'échelle de rugosité internationale (IRI).
- Point à temps et revêtement de 5 cm quand la rugosité atteint 3,0 (m/km), sur l'échelle de rugosité internationale (IRI).

L'évaluation se place sur une période de 50 ans période durant laquelle le trafic est supposé croître à un taux

annuel de 3 %. Les bénéfices et les coûts sont actualisés à un taux de 12 %.

Les résultats sont résumés ci-dessous pour des routes de bonnes conditions pour un trafic à double sens moyen (ADT) de 300, 1 000, 3 000, et 10 000 véhicules par jour (vpd). 30 % du trafic représentent les camions à charge moyenne (cad la charge correspondant au chargement moyen des 33 pays). Afin de rendre compréhensible à une plus grande audience, les dépenses d'entretien et les économies sur les CEV ont été exprimées en équivalent annuel de frais épargnés rapportés aux économies réalisées plutôt qu'en termes de VAN. Le ratio de rentabilité montre ainsi les bénéfices équivalents annuels pour chacune des stratégies.

On montre que l'entretien routier est très rentable, avec des ratios de rentabilité qui varient de 1,4 quand le volume de trafic est de 300 vpd jusqu'à 44,8 quand il est de 10 000 vpd. Ce qui représente pour chaque dollar déboursé en entretien des économies en CEV allant de 1,4 \$ par an à 44,8 \$

	ADT = 300 vpd				Bonne condition, ADT = 1,000 vpd			
	Stratégie : 1	2	3	4	Stratégie :	1	2	3 4
Entretien supplémentaire (dollars par an) ^a	2,39	4,83	7,96	10,15	2,72	4,94	8,04	10,13
Economie de CEV (dollars par an) ^b	3,32	4,74	5,88	6,15	12,48	16,83	20,69	21,59
Ratio Coût Bénéfice ^c	1,39	0,98	0,74	0,61	4,59	3,41	2,57	2,13
Valeur nette actualisée (millions de dollars)	8,69	-0,85	-19,31	-37,26	90,73	110,63	117,62	106,59
Bénéfice Coût supplémentaire	n.a.	0,58	0,37	0,12	n.a.	2,04	1,24	0,43

	ADT = 3,000 vpd				ADT = 10,000 vpd			
	Stratégie : 1	2	3	4	Stratégie :	1	2	3 4
Entretien supplémentaire (dollars par an) ^a	4,07	5,82	8,42	10,51	3,88	5,68	8,32	10,08
Economie de CEV (dollars par an) ^b	56,02	67,26	78,05	80,86	173,83	213,54	250,51	258,79
Ratio Coût Bénéfice ^c	13,76	11,55	9,27	7,69	44,84	37,60	30,13	25,69
Valeur nette actualisée (millions de dollars)	483,14	571,40	647,64	654,28	1 580,7	1 933,31	2 252,68	2 313,33
Bénéfice Coût supplémentaire	n.a.	6,42	5,16	1,34	n.a.	22,06	14,00	4,71

n.a. non applicable.

a. Economie de CEV Equivalentes annuelles attribuables aux dépenses supplémentaires d'entretien.

b. Dépenses annuelles équivalentes en addition à la maintenance de routine.

c. Economie de CEV divisée par les dépenses de maintenance supplémentaire.

Source: (Heggie & Vickers, 1999).

Un bon exemple de problème de sécurité routière a été vécu sur le réseau routier principal écossais en octobre 2007 sur l'A83 au col de Rest and Be Thankful dans le comté d'Argyll et Bute (Transport Scotland, 2012). Un glissement de terrain s'est produit, fermant la route pendant 12 jours. Aucun accident n'a été signalé et les impacts économiques ont été évalués principalement sur la base d'une analyse quantifiée des perturbations pour les utilisateurs de la route (c'est-à-dire le temps supplémentaire nécessaire pour terminer leurs trajets). Les autres effets économiques sur l'économie locale (par exemple, la perte de commerce) n'ont pas été évalués. Les statistiques clés comprennent :

- Le trafic quotidien moyen sur le site était d'environ 2 250 véhicules, dont environ 4 % de poids lourds.
- Le détour était estimé à 41 km supplémentaires avec un temps de trajet moyen supplémentaire de 34 minutes.
- L'impact économique a été estimé (aux prix de 2008) à 320 000 £, représentant l'estimation centrale d'une fourchette qui pourrait varier entre 180 000 et 620 000 £ en fonction des hypothèses concernant le nombre de trajets effectivement déviés plutôt qu'annulés ou reportés jusqu'à la réouverture de la route.
- Si l'évènement s'était produit pendant la saison touristique de pointe (été), l'estimation centrale aurait augmenté à 540 000 £ en raison de l'augmentation du trafic (Parkman, Bradbury, Peeling, & Booth, 2012).

En 2018, le conducteur moyen aux États-Unis perdait 599 \$US par an, soit 130 G\$ US à l'échelle nationale, en coûts supplémentaires d'exploitation de véhicule en raison de la conduite sur des routes nécessitant des réparations. Cela comprend les frais supplémentaires de réparation, l'accélération de la détérioration et de la dépréciation des véhicules, les frais de maintenance accrus et la consommation de carburant supplémentaire.

Le Tableau 8 détaille les 20 principales zones urbaines des États-Unis (population de plus de 500 000 habitants et de 200 000 à 500 000 habitants) où les conducteurs supportent les coûts annuels les plus élevés d'exploitation de véhicule en raison de la mauvaise qualité des routes.

TABLEAU 8. SURCÔÛTS D'ENTRETIEN DES VÉHICULES AUTOMOBILES DUS À L'ENTRETIEN DÉFAILLANT DES ROUTES AUX ÉTATS-UNIS

Rang	Zones urbaines de grande taille de plus de 500K+ habitants	État	VOC	Zones urbaines de taille moyenne entre 200K et 500K d'habitants	État	VOC
1	San Francisco-Oakland, CA	CA	1 049 \$	Jackson, MS	MS	944 \$
2	San Jose, CA	CA	983 \$	Antioch, CA	CA	942 \$
3	Milwaukee, WI	WI	944 \$	Concord, CA	CA	923 \$
4	Los Angeles-Long Beach-Anaheim, CA	CA	921 \$	Madison, WI	WI	910 \$
5	Tulsa, OK	OK	898 \$	Laredo, TX	TX	858 \$
6	Oklahoma, OK	OK	897 \$	Appleton, WI	WI	855 \$
7	Cleveland, OH	OH	887 \$	Oxnard, CA	CA	852 \$
8	Honolulu, HI	HI	851 \$	Lubbock, TX	TX	801 \$
9	Akron, OH	OH	837 \$	Green Bay, WI	WI	795 \$
10	Riverside-San Bernardino, CA	CA	796 \$	Fayetteville-Springdale-Rogers, AR-MO	AR-MO	782 \$
11	El Paso, TX-NM	TX-NM	788 \$	Santa Clarita, CA	CA	780 \$
12	Baton Rouge, LA	LA	755 \$	Santa Rosa, CA	CA	776 \$
13	Fresno, CA	CA	755 \$	Little Rock, AR	AR	771 \$
14	Sacramento, CA	CA	754 \$	Victorville-Hesperia, CA	CA	768 \$
15	Memphis, TN-MS-AR	TN-MS-AR	746 \$	Thousand Oaks, CA	CA	765 \$
16	Denver-Aurora, CO	CO	739 \$	La Fayette, LA	LA	765 \$
17	Philadelphia, PA-NJ-DE-MD	PA-NJ-DE-MD	732 \$	Stockton, CA	CA	743 \$
18	Detroit, MI	MI	732 \$	Shreveport, LA	LA	727 \$
19	Bridgeport-Stanford, CT-NY	CT	730 \$	South Bend, IN-MI	IN-MI	720 \$
20	Providence, RI-MA	RI-MA	724 \$	Fort Wayne, IN	IN	719 \$

Note: VOC signifie coût d'opération par véhicule.

Source: (TRIP, 2018). Traduction AppEco.

Voici un cas d'État américain éprouvant des difficultés en termes d'état physique de ses infrastructures routières, soit le Maine. Il est estimé que le coût annuel de réparation pour les conducteurs du Maine directement lié à l'état des routes est de 541\$.

ÉTAT DES INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES DANS LE MAINE⁹

LES ROUTES DU MAINE OFFRENT DES TRAJETS DIFFICILES

L'état des routes et le financement local inadéquat ont pour incidence que 44 % des routes majeures et des autoroutes sont dans une condition mauvaise ou médiocre. Conduire sur ces routes difficiles coûte 541\$ par année en coût d'opération du véhicule au chauffeur moyen du Maine, dans l'État complet, cela revient à un total de 563 M\$. Le tableau suivant détaille la condition des chaussées sur les routes majeures dans les centres urbains les plus grands de l'État et dans l'État.

Lieu	Mauvaise	Médiocre	Acceptable	Bonne
Bangor	24 %	17 %	12 %	47 %
Lewiston-Auburn	14 %	17 %	13 %	56 %
Portland	22 %	24 %	15 %	40 %
Maine	23 %	21 %	14 %	42 %

CONDITION DES CHAUSSÉES SUR LES ROUTES MAJEURES DES PLUS GRANDS CENTRES URBAINS DU MAINE ET DE L'ÉTAT

Chaussée	Mauvaise	Médiocre	Acceptable	Bonne
Chaussée rurale	22 %	20 %	14 %	44 %
Chaussées urbaines	26 %	25 %	16 %	33 %
Maine	23 %	21 %	14 %	42 %

CONDITION DES PONTS DU MAINE

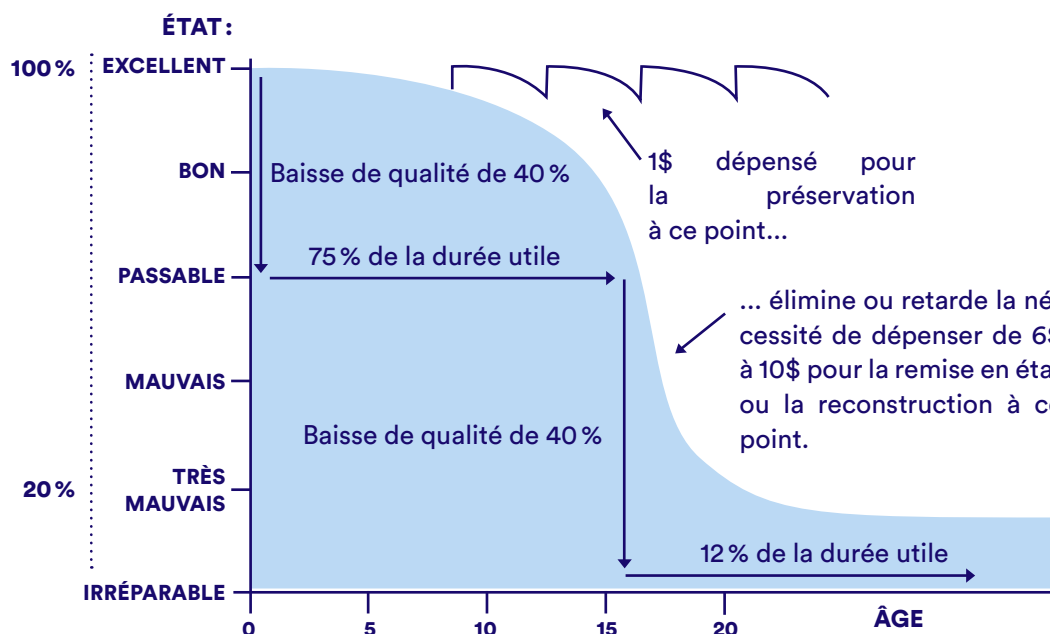
Dans le Maine, 13 % des ponts sont identifiés comme étant dans une condition structurelle mauvaise à déficiente, le sixième taux le plus important aux États-Unis. Les ponts jugés dans une condition structurelle mauvaise à déficiente sont significativement affectés par la détérioration du tablier du pont, les supports et d'autres composantes majeures du pont. 55 % des ponts du Maine sont dans un état acceptable et les 32 % restant sont dans une bonne condition. La plupart des ponts sont construits pour une durée de vie de 50 ans avant de nécessiter une réparation majeure ou un remplacement, bien que les nouveaux ponts puissent durer plus de 75 ans. Dans le Maine, 59 % des ponts ont été bâtis en 1969 ou plus tôt, ce qui soulève le Maine au cinquième rang des états où ce type d'infrastructures est le plus âgé aux États-Unis. Le tableau en ci-dessous détaille les conditions des plus grands centres urbains de l'État.

⁹Source : (TRIP, 2021). Traduction AppEco.

Lieu	Nombre de ponts en condition structurelle mauvaise à déficiente	% de pont en condition structurelle mauvaise à déficiente	Nombre de ponts en condition acceptable	% de pont en condition acceptable	Nombre de ponts en bonne condition	% de pont en bonne condition	Total de pont
Bangor	38	13 %	175	60 %	81	28 %	294
Lewiston-Auburn	10	8 %	62	47 %	60	45 %	132
Portland	27	8 %	185	55 %	124	37 %	336
Maine	325	13 %	1362	55 %	786	32 %	2473

Les coûts de réparation à long terme augmentent considérablement lorsque l'entretien des routes et des ponts est reporté, car cela accélère la nécessité d'interventions plus coûteuses qui seraient survenues plus tard dans la durée de vie des infrastructures de transport. Cette dynamique est illustrée à la Figure 11, ci-dessous. Cela est dû à la non-linéarité des dommages que subissent les routes lorsqu'elles sont mal entretenues : après un certain temps, les défaillances s'aggravent, ce qui fait augmenter en flèche les coûts liés à leur réparation.

FIGURE 11. ILLUSTRATION SCHÉMATISÉE DE LA NON-LINÉARITÉ DE L'ÉTAT DES INFRASTRUCTURES SELON LES DÉPENSES D'ENTRETIEN



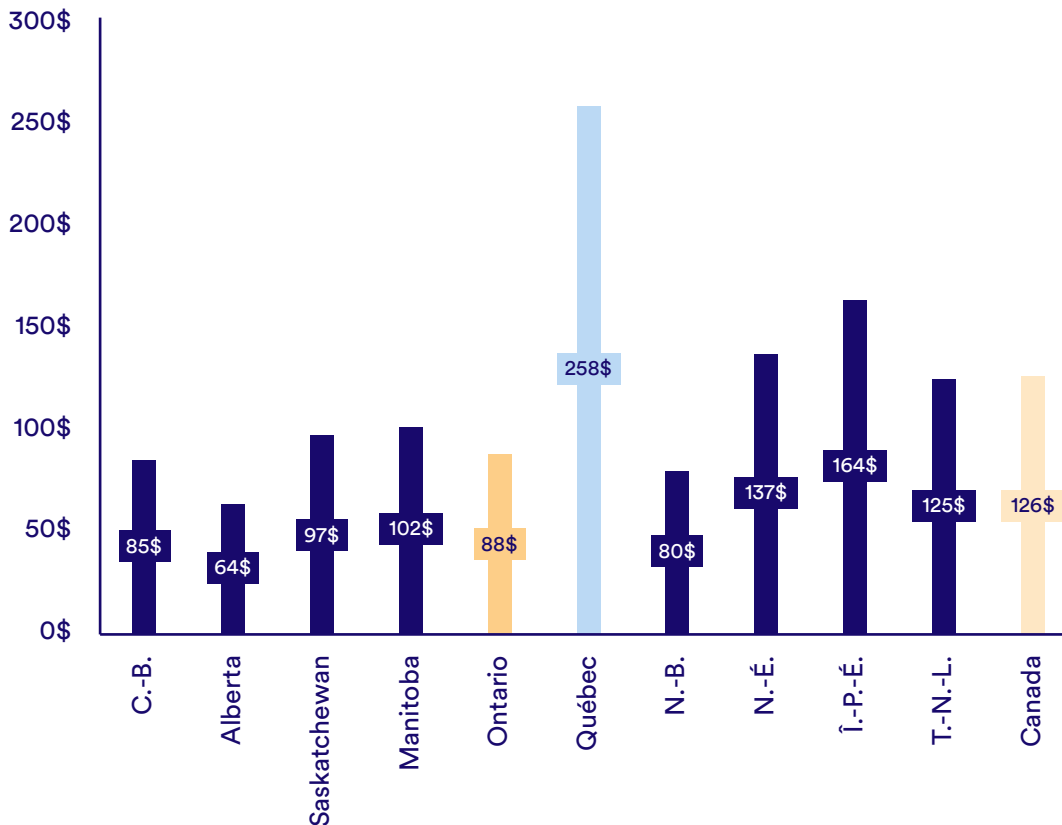
Source : tiré de (Fédération canadienne des municipalités, 2019), p. 12.

Un rapport sur l'entretien des chaussées a révélé que chaque dollar américain différé en maintenance des routes et des ponts entraîne des coûts supplémentaires futurs de 4 à 5 dollars – soit encore davantage qu'observé dans les pays en développement (TRIP, 2018).

Ce multiple plus élevé est dû essentiellement à la force des économies développées, qui comptent au quotidien sur des infrastructures performantes et abondantes. Lorsque des perturbations surviennent à leur état, la valeur des échanges économiques qui en souffrent est considérable. Chaque année, 28 G\$ de marchandises sont expédiés vers et depuis des sites aux États-Unis, dont près des trois quarts le sont par camion et 14 % supplémentaires sont transportés par des services de messagerie ou des livraisons multimodales, incluant le transport routier (TRIP, 2018).

Selon un rapport commandé par CAA en 2021, le coût annuel moyen dû aux mauvaises conditions des routes est de 126 \$ par véhicule au Canada (CPCS, 2021). Ce coût au Québec est de 258 \$ par an par véhicule, soit le plus élevé des provinces – un résultat désolant, mais cohérent avec ceux précédemment mentionnés sur l'état du réseau routier.

FIGURE 12. COÛT ANNUEL MOYEN DES ROUTES EN MAUVAIS ÉTAT PAR VÉHICULE, PAR PROVINCE (EN DOLLARS PAR ANNÉE) - 2021



Source : Analyse de CPCS, commandée par CAA. Compilation par AppEco.

ENTRETIEN ROUTIER: MODE D'EMPLOI

Les décideurs dans le domaine de l'entretien et la réhabilitation des infrastructures sont confrontés à des décisions difficiles concernant la programmation des sommes à dépenser par actif (Barco, 1994) et (Hegazy & Saad, 2014). À ce titre, l'OCDE préconise de définir une vision stratégique à long terme en matière d'infrastructures qui, notamment :

1. S'appuie sur une évaluation rigoureuse des besoins actuels et futurs en infrastructures aux niveaux national et infranational, et de la façon dont il convient de hiérarchiser ces besoins par ordre de priorité ainsi que d'y répondre.
2. Soit viable sur le plan budgétaire, soit en adéquation avec les dotations budgétaires et concorde avec le cadre de dépenses à moyen terme, lequel assure les parties intéressées de l'existence de ressources stables sur plusieurs années (OCDEb, 2020).

Elle stipule ainsi qu'il importe que les États aient une approche structurée pour la planification de leurs investissements en infrastructures, notamment afin de respecter la capacité de payer des États.

Les juridictions ont presque toujours des limites monétaires pour la réalisation de leurs travaux. Il leur importe donc de pouvoir faire un choix éclairé en fonction des besoins et des moyens dont ils disposent. De nombreux modèles ont été développés pour guider les décideurs. Des modèles Markoviens ou inspirés de modèles issus de la biologie ou des modèles de prise de décision multicritère¹⁰ ont été développés pour identifier les projets à prioriser (Hasan & Jaber, 2024).

Les méthodes multicritères, par exemple, cherchent à évaluer un ensemble de critères sélectionnés, comme la capacité financière de l'État, la circulation, les risques d'accident, le niveau de détérioration d'une infrastructure, etc. En évaluant de façon structurée tous ces cri-

¹⁰Multi-criteria decision making.

tères, il est possible d'en arriver à une solution optimale et de fournir aux décideurs des recommandations sur les meilleurs investissements réalisés. Hasan et Jaber ont démontré d'ailleurs qu'il est possible d'obtenir des résultats de qualité même si les critères d'évaluation sont flous et qui prennent en compte l'incertitude.

Une autre technique pour planifier l'entretien des routes est l'utilisation de modèles d'optimisations. Dans ce cas-ci, le problème d'optimisation de l'entretien des routes est de balancer les coûts de maintenance par rapport aux coûts des usagers à travers le temps. Cela se fait en maximisant le bien-être qu'une route donne aux utilisateurs et en minimisant les coûts. Cette technique nécessite la création d'un index de l'état des routes qui prend en compte leurs attributs. Plusieurs approches d'optimisation peuvent être appliquées telles que la probabiliste, la déterministe et à partir d'algorithmes génériques, selon le choix (O.Harvey, 2012).

De plus, afin d'optimiser les décisions d'entretien, une analyse détaillée des coûts du cycle de vie (LCCA) doit être faite afin d'optimiser l'allocation des fonds limités de réhabilitation (Federal Highway Administration, 1999; Vanier, 2001; Ugarelli et DiFederico, 2010) et (Hegazy & Saad, 2014).

En zone rurale, les routes sont plus sujettes à rencontrer des difficultés de planification pour plusieurs raisons dont à la distinction entre les travaux d'entretien et les autres types de travaux routiers, la détermination des coûts d'entretien, la disponibilité des fonds nécessaires, la planification et à qui revient la responsabilité d'entretenir ces infrastructures. Pourtant le bon entretien est d'autant plus important parce que «Des routes mal entretenues limitent la mobilité, augmentent sensiblement les frais de fonctionnement des véhicules, accroissent le taux des accidents, ainsi que les coûts humains et les dommages matériels y afférents, et aggravent l'isolement, la pauvreté, l'état de santé des habitants et l'analphabétisme dans les collectivités rurales.» (Bunningham & Stankevich, 2005).

Au Québec, les MRC sont responsables de la gestion des routes rurales, notamment parce que de nombreux facteurs locaux, tels que la situation économique, ne sont pas transférables d'une municipalité à l'autre. Des guides de planification créés par le ministère du Transport du Québec et la Fédération canadienne des municipalités et le Conseil national de recherches du Canada sont disponibles pour aider les MRC à mieux planifier leurs projets et les municipalités doivent se doter d'un plan d'intervention (Ministère des Transports, 2021) et (Fédération Canadienne des municipalités et le Conseil national des recherches du Canada, 2003).

Dans ce guide de la Fédération canadienne des municipalités et du Conseil national des recherches, la planification passe par huit étapes :

1. L'établissement d'un niveau de service qui comprend les attentes en termes de niveau de sécurité minimal des chaussées, de niveau de sécurité souhaité des chaussées et d'un niveau de déclenchement des travaux d'entretien. Ces niveaux sont d'une grande importance afin de décider quand les travaux d'entretien doivent être réalisés.
2. L'évaluation de l'état de la chaussée et des prévisions de tenue de la chaussée avant le niveau de sécurité minimal de la chaussée. Les tenues permettent de mesurer quelle route peut être jugée acceptable plus longtemps.
3. La détermination des besoins pluriannuels (5 ans et plus) si la ville est grande ou à court terme si la ville est plus petite (5 ans et moins).
4. La priorisation selon des critères sélectionnés.
5. La budgétisation consiste à allouer des fonds pour les projets potentiels.
6. La conception des projets.
7. La mise en œuvre.
8. Le contrôle du projet.

Ce guide pourrait cependant être transposé à plus grande échelle et pas seulement pour les municipalités. Le guide du ministère des Transports du Québec ajoute aussi une analyse socioéconomique de la région pour déterminer les priorités des routes à entretenir. Il s'agit d'une approche plus centrée sur l'impact économique et moins sur les dommages. Ce guide suggère une planification sur 3 ans.

Pour la planification des coûts de traitements, la création d'un répertoire par région des prix moyens de traitements par kilomètres est suggérée par la NRRDA pour améliorer l'estimation des coûts et mieux allouer les ressources. Chaque type d'entretien se verra allouer une proportion en pourcentage du budget selon les besoins de la municipalité. Entre 15 % et 20 % du budget alloué à l'entretien devraient être accordés à l'entretien d'urgence de manière à prioriser l'entretien de routine et l'entretien périodique qui sont souvent reportés faute de moyens financiers suffisant (NRRDA, 2014).

La mise en place d'un système d'évaluation permet de suivre l'évolution de la planification de l'entretien et d'évaluer la performance des municipalités. Il s'agit d'une manière de suivre la trace des dépenses et d'observer si elles sont effectives et améliorent la situation de l'entretien des routes (NRRDA, 2014).

En bref, plusieurs moyens et outils mathématiques existent pour planifier les travaux d'entretien routier et simplifier la priorisation des projets selon les coûts et les impacts que ceux-ci peuvent avoir. Une bonne gestion passe d'abord par une bonne connaissance des niveaux d'états des routes souhaités, puis une prise en compte des contraintes et des impacts du projet et finalement par un suivi régulier.

LES AUTRES MODES DE TRANSPORT

TRANSPORT EN COMMUN

Un système de transport en commun efficient et fiable est un contributeur important au développement socioéconomique d'un pays (Nallusamy, 2016). Au Québec, il existe neuf sociétés de transport en commun¹¹, desservant les neuf

¹¹Trois dans la région de Montréal, deux dans la région de Québec, une à Sherbrooke, une à Trois-Rivières, une en Outaouais et une au Saguenay (Gouvernement du Québec, s.d.).

villes les plus peuplées ici même (Institut de la statistique du Québec, 2024).

Parmi les exemples québécois d'infrastructures stratégiques majeures contribuant à la mobilité durable, il y a le réseau de métro de la Société de Transport de Montréal (STM) qui s'étend sur 71 km avec 68 stations. En 2023, ce dernier a parcouru plus de 83,3 millions de kilomètres, avec 8,6 millions de passages effectués à la station de Berri-UQAM à elle seule (Société de transport de Montréal, 2024). Pour le réseau d'autobus, ce sont 65 millions de kilomètres commerciaux qui ont été parcourus par 1 922 bus sur 228 lignes (Société de transport de Montréal, 2024).

La durée de vie utile moyenne prévue des nouveaux autobus au diésel, des autobus hybrides et des abribus au Québec est de 16 ans. Pour les gares et les terminus de voyageurs, la durée de vie moyenne est de 30 ans (Statistique Canada, 2022). Le vieillissement du parc d'autobus est une des causes principales de l'augmentation du nombre de pannes (Société des transports de Laval, 2024). Du côté de la STM, la fiabilité de matériel roulant est sensiblement sous la moyenne internationale (11e sur 13), évaluée par le International Bus Benchmarking Group (IBBG) (Société de transport de Montréal, 2024). Cela est notamment dû à l'âge du matériel roulant qui dépasse, en moyenne, la quarantaine d'années.

L'exemple du métro de Montréal (STM)

Le métro de Montréal est l'infrastructure de transport la plus achalandée au Québec, et même au Canada, avec plus de 800 000 déplacements par jour.

Une partie importante de cette infrastructure a été construite dans les années 1960, moment où un grand nombre d'infrastructures stratégiques ont été construites au Québec.

En 1966, la STM procédait à la mise en service des premiers métros (336 voitures MR-63). Entre 1976 et 1980, 423 voitures MR-73 ont été ajoutées au parc de voitures de métro. En 2015, le remplacement des voitures MR-63 débute avec l'introduction des nouveaux trains AZUR (468 voitures).

En comparant le niveau d'investissement normale-

ment requis pour éviter l'augmentation du DMA au niveau d'investissement réellement réalisé, la STM estime qu'un DMA de 6 GS au minimum a été constitué au cours des dernières années. Des travaux sont en cours pour avoir un portrait juste de la situation.

Selon des documents de la STM, le nombre de signalements d'actifs en état critique a plus que triplé de 2018 à 2022 et le nombre de demandes de réparations non résolues est passé de 17 en 2017 à 2 757 en 2023. De 2013 à 2023, le nombre d'interruptions causées par un bris des actifs du métro a plus que doublé, passant de 61 à 153.

Les données présentées par la STM tendent à démontrer que le métro a atteint un niveau de dégradation élevé.

Dans un tel contexte, il est primordial que des examens assidus des composantes des bus et des rames de métro (freins, pneus, moteur, système de pilotage...) soient effectués afin de minimiser les risques d'accident (Cursa, s.d.), dans l'attente du remplacement du matériel défectueux.

Le fort niveau d'utilisation des transports en commun et les courtes durées de vie des autobus et des abribus font en sorte que l'entretien du système d'autobus peut avoir un impact important sur le trafic quotidien. En effet, un entretien insuffisant peut réduire la disponibilité des infrastructures et des autobus, et entraîner une augmentation de l'utilisation de moyens de déplacement alternatifs, tels que la voiture. Dans les zones où les transports en commun représentent une plus faible proportion du trafic, les perturbations de réseau peuvent également aboutir sur le choix d'alternatives plus fiables, causant par exemple une congestion du trafic routier (Eltved, Breyer, Ingvardson, & Nielsen, 2021).

Le vieillissement des infrastructures entraîne des interruptions de plus en plus fréquentes, car elles nécessitent un entretien régulier et des rénovations majeures (Eltved, Breyer, Ingvardson, & Nielsen, 2021). C'est le cas pour le métro de Montréal, dont les arrêts fréquents pour cause de défaillance technique continuent de pertur-

ber les mouvements de passagers. Entre 2019 et 2021, plus de 2 000 interruptions de service dans le métro de Montréal étaient principalement attribuées à des défaillances du côté du matériel roulant, tandis que l'équipement fixe était responsable d'environ 1 500 interruptions (Données ouvertes de la ville de Montréal, 2022).

Du fait du flux élevé de passagers par heure dans le métro montréalais, les conséquences économiques d'un sous-entretien seraient considérables. Par exemple, la fermeture de la ligne de train de banlieue vers Deux-Montagnes à Montréal a nécessité des ajustements significatifs dans les habitudes des usagers, amenant certaines entreprises à mettre en place des mesures d'adaptation. Sachant que cette ligne transporte moins de passagers que le métro de Montréal, il est possible d'anticiper des impacts de bien plus grande ampleur pour ce dernier.

Les travaux de maintenance comprennent l'entretien préventif et l'entretien correctif. L'entretien préventif est l'une des activités les plus cruciales pour les sociétés de transport en commun, le but étant de maintenir en état de marche le matériel roulant (autobus, métros, trains) et les infrastructures associées (stations de métro, abribus, gares, terminus), et de réduire la fréquence d'incidents et d'interruptions imprévues.

Pour le métro, l'entretien consiste notamment à s'assurer que les tunnels, rails et quais permettent la circulation sécurisée des trains. Il est aussi nécessaire que le matériel roulant soit entretenu régulièrement et que ses composantes mécaniques soient examinées, pour éviter les bris et les pannes de service, et permettre la correction de toute défaillance avant qu'elle ne s'aggrave.

L'entretien correctif, lui, a pour objectif de corriger les problèmes urgents une fois des défaillances repérées, pour remettre les véhicules de transport en service, et donc éviter des pannes de service inattendues (Nallusamy, 2016).

RÉSEAU FERROVIAIRE

Avec un réseau ferroviaire de 43 461 km (Transports Canada, 2023), dont 6 300 au Québec (Gouvernement du Québec, 2024), le Canada

dispose d'une infrastructure large pouvant assurer le transport de millions de passagers et le fret de grandes quantités de marchandises. Il est estimé que chaque année, les chemins de fer canadiens permettent de déplacer « plus de 88 millions de passagers, et des marchandises d'une valeur de plus de 328 milliards de dollars d'un bout à l'autre du pays » (Bureau du vérificateur général du Canada, 2021). Le réseau de rails permet de transporter environ 70 % des volumes de marchandise déplacés par voie terrestre (Ibid.).

Au Québec, le réseau ferroviaire a permis de transporter un peu plus de 36 millions de tonnes de marchandise en 2022 à destination du Québec et près de 22 millions de tonnes pour l'exportation en provenance du Québec (Statistique Canada, 2024). Sur les lignes desservies par VIA Rail Canada seule, ce sont plus de 2,5 millions de passagers qui ont été déplacés en transit, à destination ou en provenance du Québec en 2022 (VIA Rail Canada, 2022).

Ces chiffres témoignent de l'importance stratégique du réseau ferroviaire dans l'économie québécoise et canadienne.

Les deux principales composantes à considérer dans l'estimation de la durée de vie sont le matériel roulant et les infrastructures ferroviaires. On retrouve, dans cette première catégorie, les locomotives, dont la durée de vie est d'environ 40 ans (Pronk, Coble, & Stewart, 2009). Pour ce qui est des wagons, elle est d'environ 50 ans (Union Pacific, 2021). En termes d'infrastructures, les rails, traverses et ballasts ont une durée de vie entre 20 et 40 ans (Northfolk Southern, 2023), selon la fréquence d'usage et la qualité de l'entretien.

En effet, ces composantes subissent des conditions difficiles et d'innombrables cycles de charge dommageables au cours de leur durée de vie. Il faut noter que ces conditions, couplées à l'intensité variable des flux de transport, impactent les infrastructures ferroviaires de manière hétérogène le long des rails, de sorte que les besoins d'entretien varient, parfois largement, entre les différentes sections d'un chemin de fer (Sauni et al., 2020).

Pour atténuer ce dernier face à l'usure accélérée

(Bureau du vérificateur général du Canada, 2021), il est essentiel d'agir sur les facteurs modulables qui influent sur la sécurité des voies ferrées. Parmi les sept facteurs¹² de détérioration des voies ferrées identifiés, la littérature (Xu, Liu, Wang, Wang, & Sun, 2013), l'entretien joue un rôle clé en soutenant l'optimisation de la gestion de risque. En effet, certaines composantes présentent un risque de défaillance particulièrement élevé, comme les rails, dont l'intégrité structurelle peut être affaiblie de plusieurs manières¹³ (Pyke, 2019) du fait du passage répété de trains lourdement chargés. On peut également mentionner le ballast, qui est un lit de pierres sur lequel repose une voie de chemin de fer. Il permet de stabiliser le sol et d'éviter la déformation des rails. Cependant, il s'use en se polissant avec le temps, et nécessite donc un entretien important (Roux-Sablrier, Ladier, Vercaene, & Bontems). L'aiguillage est un autre élément fondamental, car il dirige les trains dans la direction voulue. Or sa nature mobile, donc plus vulnérable, est un facteur de risque important (Grossoni, Hughes, Bezin, Bevan, & Jaiswal, 2021). Enfin, les traverses jouent un rôle crucial, car elles maintiennent l'écartement des rails et transmettent les charges du trafic au ballast en diminuant les pressions de contact (Yu, Jeong, Marquis, & Coltman, 2015). Or, leur exposition au climat (les traverses sont souvent en bois ou en béton) et le phénomène de pulvérisation du ballast, notamment, peuvent vite compromettre leur sécurité sans un entretien régulier.

En termes de sécurité physique des actifs et des personnes, le sous-entretien peut entraîner des conséquences importantes. Environ 50 % des accidents ferroviaires survenus en 2023 au Canada sont dus à des déraillements (Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2024). Moins évident, l'impact du sous-entretien de la végétation environnante peut être grave. En sus d'une réduction de la visibilité aux passages à niveau publics et pour les conducteurs (CN Rail, 2024), la prolifération de la végétation peut entraver le fonctionnement des aiguillages et causer l'assouplissement du sol; et donc des défauts aux voies (ex. courbement des rails, pourrissement des structures en bois). Les herbes sèches

peuvent déclencher des incendies à cause des étincelles provenant des trains en circulation et des éclairs (VIA Rail, 2015).

À noter, le contexte canadien, de par ses conditions extrêmes (neige, glace, pergélisol), influence tant les durées de vie des composantes ferroviaires susmentionnées que la nature, la fréquence et le coût de leur maintenance. Tel que requis par la section 151.01 (2) de la Loi sur les transports au Canada (1996), un rapport doit être remis au ministre relatif aux conditions hivernales. Ce plan et toutes autres mesures d'entretien hivernal sont avant tout mandatés dans le but d'assurer la sécurité physique des personnes. Et pour cause, le BSTC rapporte une augmentation du taux d'accidents aux passages à niveau (croisement entre une voie ferrée avec une voie routière) de 61% en hiver (Transportation Safety Board of Canada, 2021).

La vulnérabilité des transports ferroviaires aux conditions saisonnières est exacerbée par les changements climatiques et les événements climatiques extrêmes. Des inondations en Nouvelle-Écosse et des feux de forêt Colombie-Britannique ont causé des dommages majeurs aux lignes ferroviaires de CN et CP et fortement impacté les flux de marchandises aux ports de Vancouver et de Halifax (Evans, Pete, 2021; Cooke, Alex, 2023).

Les retombées économiques d'un sous-entretien peuvent être nombreuses. Les retards, voire les interruptions de transport, peuvent causer, entre autres, des pénuries de produits commerciaux, des pertes d'emplois, des fermetures d'usines, une augmentation des coûts pour les consommateurs et les entreprises, un plus fort achalandage routier dû aux camions, et la perturbation de milliers de trajets (Association of American Railroads, 2022). De plus, les impacts sur les ports maritimes sont particulièrement notables, du fait de l'interdépendance du système bimodal

¹²(1) les charges des roues sur les rails, (2) les caractéristiques de la voie, (3) les matériaux et la fabrication, (4) la conception et la construction, (5) l'entretien, (6) l'environnement et (7) le terrain.

¹³Usure, fatigue du contact roulant, fatigue du patin, fluage plastique, ondulation, corrosion, fissuration des trous d'éclissage.

de transport portuaire-ferroviaire.

AÉROPORTS

Le transport aérien est un pilier essentiel de l'économie mondiale et canadienne. En 2023, les aéroports québécois ont transporté plus de 23 millions de passagers répartis sur 299 123 vols (Statistiques Canada, 2023). Environ 15 millions de passagers (répartis sur 100 318 vols commerciaux) ont embarqué ou débarqué de l'Aéroport International Montréal-Trudeau au cours des douze derniers mois (Aéroport de Montréal, 2024).

Le principal enjeu lié à l'entretien des infrastructures aéroportuaires est la sécurité des transports. Pour cette raison, les normes d'entretien des avions sont très strictement définies à travers le monde et au Canada, dont l'adhésion à l'Organisation de l'Aviation civile internationale (OACI) l'assujettit à des normes rigoureuses (Association québécoise du transport aérien, 2016). En effet, les spécificités du transport aérien incluent des exigences techniques et de sécurité uniques. Les diverses composantes de ce mode de transport nécessitent donc un entretien minutieux pour assurer leur sécurité et leur opérationnalité.

On retrouve en premier lieu les aéronefs, dont la durée de vie est entre 20 et 30 ans pour les avions passagers et entre 30 et 40 ans pour les avions de fret (Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne, s.d.). Les infrastructures, elles, comprennent tout d'abord les chaussées aéronautiques; qui représentent l'ensemble des aires sur lesquelles circulent, manœuvrent et stationnent les avions. La chaussée a une durée de vie de 20 ans environ (Aéroport International Jean-Lesage de Québec, 2024) et comprend les pistes (zones de décollage et d'atterrissage), le taxiway (voie de circulation terrestre), et le tarmac (zone de service et de stationnement). Ces zones pavées sont essentielles au fonctionnement des aéroports et leur entretien régulier permet de réduire grandement les accidents (Di Mascio & Moretti, 2019).

Les infrastructures incluent également les hangars (zone de stockage et d'entretien des avions)

et les aérogares (bâtiments par lesquels transitent les personnes ou les marchandises), qui nécessitent aussi des activités d'entretien régulières.

Les aéroports sont des structures complexes et très exigeantes en termes de gestion. Il importe de s'assurer que les infrastructures en place, tout particulièrement les chaussées, assurent une circulation efficace, rapide et sécuritaire des avions (Kovacic, Doler, & Sever, 2021). Ces auteurs étudient comment surveiller efficacement l'état des pistes de l'aéroport et en assurer l'entretien continu. Ceci permet de réduire les coûts d'entretien et des complications coûteuses telles que des fermetures subites.

Il existe de nombreux risques associés au sous-entretien. En cas de sous-financement, les infrastructures aéroportuaires risquent de se détériorer prématurément, rendant l'aéroport moins facilement utilisable et compliquant l'atterrissage et le décollage des avions. De plus, le report des activités de maintenance entraîne une augmentation inévitable des coûts futurs et prolonge les périodes de mise hors service du système (de Souza & Filho, 2020). Par conséquent, la circulation des avions en serait fortement affectée. Or les fermetures soudaines pour des réparations d'urgence, causant des retards et des annulations de vols, ainsi que des perturbations des chaînes d'approvisionnement, ont un impact économique significatif. Le sous-entretien peut également générer des pertes financières pour les compagnies aériennes, nuire à l'expérience des passagers, et dégrader le capital réputationnel de l'aéroport.

D'autres chercheurs ont démontré que des infrastructures de meilleure qualité réduisent les coûts de transport et favorisent les échanges commerciaux (Micco & Serebrisky, 2004).

Il faut également rendre compte du contexte géographique et de l'impact des changements climatiques dans les enjeux d'entretien des aéroports. Au Québec, le déneigement et le déglçage s'ajoutent aux opérations d'entretien régulier nécessaires pour maintenir le bon fonctionnement des aéroports, comme le balayage, l'entretien des marques de balisage, le scelle-

ment des fissures, ou encore le dégommeage (nettoyage des marques de gomme provenant des pneus des avions) (Direction générale de l'aviation civile, 2015).

Toutes ces opérations d'entretien des infrastructures visent principalement à maintenir l'aéroport dans un état optimal pour assurer la sécurité des transporteurs et réduire leurs coûts de transport.

PORTS MARITIMES

Les ports jouent un rôle stratégique dans le développement commercial et économique de leur région (Ministère des Transports, s.d.). En effet, le commerce maritime représente aujourd'hui plus de 80 % du volume des échanges internationaux de marchandises (Kishore et al., 2024).

Le Port de Montréal

Le Port de Montréal est une infrastructure de grande importance pour l'économie du Québec et de l'est du Canada. En 2023, plus de 35,3 millions de tonnes de marchandises ont été importées ou exportées par les infrastructures du port. Plus de 2 000 navires par année, 60 à 80 trains par semaine et 2 500 camions par jour transitent par les installations du Port de Montréal (Port de Montréal, s.d. a). Ce réseau intermodal, relié à plus de 100km de voies ferrées (Port de Montréal, s.d. b), permet d'atteindre près de 110 millions de consommateurs en Amérique du Nord (Port de Montréal, 2024).

À cela s'ajoutent 67 000 croisiéristes et membres d'équipage qui ont mis pied à terre à Montréal en 2023 (Port de Montréal, s.d. a).

La performance des ports contribue au développement économique de leurs pays, tandis que leur mauvaise gestion réduit les flux d'échanges (Kishore, Pai, Ghosh, & Pakkan, 2024). Dans une optique de gestion de risques, et au vu des flux logistiques complexes et des conditions physiques difficiles, la pérennité des ports repose largement sur un entretien adéquat de leurs multiples composantes. Pourtant, de nombreuses infrastructures portuaires sont grandement détériorées. Environ 60 % des ports ayant été construits avant les années 1950 (Zhang, Kim,

Tee, & Lam, 2017), l'intégrité structurelle des ports est aujourd'hui un enjeu d'importance capitale.

En effet, certaines composantes présentent un risque de défaillance particulièrement élevé. Les structures (quais, jetées, etc.) et les équipements (grues, systèmes de manutention, etc.) doivent faire l'objet d'inspections régulières pour évaluer l'usure due à un usage fréquent et à la corrosion (Valdez, et al., 2016).

Selon les directives de l'OIT, «les équipements mobiles utilisés dans les zones portuaires, et notamment les véhicules de toutes sortes, qui sont le plus souvent à l'origine des accidents graves et des accidents mortels survenant dans les ports, devraient être correctement entretenus et maintenus en bon état de marche. Un soin particulier devrait être apporté à l'entretien des freins et des systèmes de freinage». De plus, «une attention particulière devrait être portée aux équipements qui nécessitent un entretien moins régulier, notamment les couronnes d'orientation dans le cas des grues à bord des navires» (Bureau International du Travail, 2016).

Enfin, pour maintenir une profondeur d'eau suffisante, essentielle pour l'accessibilité et la sécurité de la navigation, des travaux de dragage doivent avoir lieu fréquemment (Sepehri, Kirichek, van den Heuvel, & van Koningsveld, 2024). La gestion des sédiments marins dragués doit être prise en compte dans les plans de maintenance des ports (Kaliannan, Chan, & Suratkon, 2015).

Ces éléments nécessitent un entretien régulier, sans lequel les ports s'exposent à des impacts négatifs. En premier lieu, il est question d'accidents et de sinistres. Ces derniers peuvent avoir une cause technique, humaine ou extérieure. Les causes techniques, les plus enregistrés dans les ports maritimes, «résident dans les vices de construction, les défauts d'entretien, les défaillances dans les dispositifs de sûreté et/ou sécurité, les effondrements d'infrastructures portuaires, etc.» (Aidara, 2018).

Les causes extérieures, elles, «renvoient aux intempéries, les tempêtes, les inondations et tout autre évènement extérieur dont la réalisation est

susceptible de créer une perturbation ou une paralysie de l'activité portuaire» (Aidara, 2018). En effet la dimension environnementale est un enjeu central pour les ports. Ces derniers exercent une grande influence sur la pollution des eaux et de l'air et par conséquent, une responsabilité environnementale d'entretien. Des considérations relatives à l'impact environnemental des activités portuaires ont ainsi donné lieu à des lois, des règlements et des initiatives visant à réduire la pollution de l'air et de l'eau environnants (Port de Montréal, 2023). Ce suivi environnemental fait partie des responsabilités d'entretien des autorités portuaires, et prendra encore plus d'importance dans les années à venir, compte tenu de l'objectif mondial de décarbonisation des transports (Marsh, 2019) et les impacts déjà ressentis des changements climatiques (précipitations, inondations, brouillard intense, etc.) (Clear Seas, 2022).

Le Port de Saguenay

Le Port de Saguenay peut transborder environ 718 600 tonnes de marchandises dans une année, et reçoit annuellement autour de 80 navires à son terminal maritime. Cette infrastructure économique régionale stratégique, a permis principalement le déplacement maritime du sel de déglacage, de la biomasse forestière à destination de l'Europe, sans oublier les intrants et marchandises destinés aux industries régionales de l'aluminium, de la métallurgie et des pâtes et papier. En plus d'avoir permis le recours au concept de transport maritime sur courtes distances pour rejoindre le Nord du Québec, les installations portuaires au quai de Bagotville de La Baie ont reçu la visite de 120 000 croisiéristes du monde entier, pour près de 80 escales également. (Rapport annuel 2023, Port de Saguenay).

Finalement, le sous-entretien d'une installation portuaire comporte un coût économique. L'entretien régulier est un aspect essentiel de la performance des ports, notamment parce qu'il permet d'éviter l'interruption prolongée des opérations. Si de petites activités de maintenance sont reportées, elles peuvent entraîner une détérioration de l'état des infrastructures et nécessiter des réparations plus longues et plus

coûteuses. En sus de ces coûts additionnels, les retards dans la manutention des marchandises causés par une disruption des services portuaires peuvent entraîner des pertes économiques importantes (Sepehri, Kirichek, van den Heuvel, & van Koningsveld, 2024), notamment du fait qu'elles peuvent engendrer un blocage dans la chaîne d'approvisionnement internationale (Zhang, Kim, Tee, & Lam, 2017) et avoir un impact direct sur le secteur ferroviaire (WSP, 2021). Il faut également prendre en compte les répercussions réputationnelles liées à un sous-entretien du port, qui pourrait être délaissé au profit d'autres ports plus sécuritaires, fiables et performants (Sepehri, Kirichek, van den Heuvel, & van Koningsveld, 2024).

Le Port de Québec

Le Port de Québec est le plus ancien port du Canada et le dernier port en eau profonde du corridor Saint-Laurent/Grands Lacs. En 2023, près de 28 Mt de marchandises ont été manutentionnées au port. Quelque 154 000 croisiéristes à bord de 41 navires distincts ont passé par le port durant l'année 2023 (Port de Québec, 2023).

TRAVERSIERS

Les traversiers ont le mandat d'assurer la circulation entre deux lieux généralement rapprochés, mais qui ne bénéficient pas de l'existence d'un pont à proximité. À certains endroits au Québec, il s'agit du seul moyen de se rendre à destination comme à Tadoussac.

L'âge moyen des traversiers québécois est de 27 ans, tandis que celui des infrastructures terrestres est de 29 ans (Société des traversiers du Québec, 2023). En revanche, l'état des infrastructures sous la responsabilité de la Société des traversiers du Québec («STQ») s'est amélioré au cours des dernières années. Durant l'année 2022-2023, la STQ a effectué environ 4,6 millions de passages voyageurs.

Selon BCFerries, un traversier a une durée de vie standard entre 15 et 40 ans selon le type de traversier. Donc, un navire ayant 40-50 ans dépasse la durée de vie standard et augmente les risques de problèmes mécaniques et finalement, un na-

vire de plus de 50 ans a largement dépassé sa durée de vie (BcFerries, 2024).

Pour ce mode de transport, l'entretien consiste à maintenir en fonction les infrastructures portuaires (quais, embarcadères, immeubles, etc.) et les traversiers eux-mêmes. La réglementation canadienne impose que les traversiers reçoivent une certification pour pouvoir opérer et celle-ci prévoit des normes d'entretien spécifiques. Les opérations de maintenance ont pour objectif d'assurer le service de façon sécuritaire, afin qu'il puisse répondre aux besoins des utilisateurs et réduire les frais d'exploitation. Elles s'apparentent beaucoup aux opérations de maintenance des ports auxquelles s'ajoutent celles des traversiers. La partie immergée des traversiers, étant une composante critique, nécessite un suivi particulier. L'état de la coque est surveillé pour détecter la corrosion et les fissures possibles pouvant nuire à la durée de vie des traversiers (Mackay, 2017).

La maintenance peut être divisée en trois types de travaux : les mises à niveau majeures, les opérations de maintenance et les remises en état. Les mises à niveau majeures constituent des travaux qui allongent le cycle de vie du traversier et nécessitent un plan de gestion du capital. Ils sont généralement effectués aux 10-15 ans. Les opérations de maintenance consistent en de petits travaux de routine qui permettent à chaque composante de fonctionner optimalement. Les remises en état sont réalisées lorsque des portions importantes du navire doivent être remplacées, en vue d'assurer que le navire ne comporte pas de problème de sécurité pour les passagers, la cargaison et la circulation maritime (BcFerries, 2024).

L'environnement du Québec ajoute aussi des difficultés. Les glaces durant l'hiver rendent non seulement la navigation difficile, mais aussi l'entretien des navires (Société des traversiers du Québec, 2021). Les bris et les pannes surviennent plus souvent lors de températures extrêmes. La durée de vie diminue à cause de ces risques accrus et le navire nécessite plus d'entretien (Ministère des Transports du Québec, 2012).

CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les changements climatiques, en particulier les événements climatiques extrêmes, sont un des facteurs majeurs affectant la durée de vie des infrastructures de transports. Inondations, vents forts, sécheresses, feux de forêt, érosion des berges, cycle de gel-dégel, etc.; tous ont des impacts néfastes sur l'état de santé des structures de transport. Les pluies fortes peuvent provoquer des inondations et des glissements de terrain, affectant les autoroutes, les chemins de fer et les ponts, tandis que l'augmentation des températures peut entraîner des fissures dans les routes et des dommages aux voies ferrées (Filho, et al., 2024). La chaleur extrême, couplée aux sécheresses, augmente considérablement le risque de feux de forêt, qui peuvent ravager les infrastructures à proximité (Environmental Protection Agency, s.d.).

Le tableau de la page suivante fournit une synthèse des impacts climatiques par catégorie de transport. Parmi les plus affectées, on retrouve les infrastructures côtières comme les ports maritimes, de nombreux aéroports et les routes côtières. En plus de souffrir des impacts météorologiques (érosion, corrosion, etc.), ces dernières sont vulnérables à l'élévation du niveau de la mer, aux fortes tempêtes et aux ouragans. En 2023 en Nouvelle-Écosse, « les inondations ont endommagé des bâtiments, emporté des routes et des ponts et coupé la seule liaison ferroviaire reliant Halifax au reste du Canada » (Ness, 2024). De plus, en raison de sa présence fréquente sur les côtes et de l'importance de la densité de l'air pour les décollages, le transport aérien est l'un des secteurs de transport les plus vulnérables (Université de Sydney, 2019).

TABEAU 9. IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES PAR TYPE D'INFRASTRUCTURE

Mode de Transport	Températures Extrêmes	Tempêtes	Sécheresse	Feu
Transport actif (marche et vélo)	* Passe du transport actif au transport en véhicule ou aux transports en commun.	* Passe du transport actif au transport en véhicule ou aux transports en commun.	* Effets néfastes pour la santé des marcheurs et des cyclistes causés par la dégradation des qualités de l'air.	* Passe du transport actif au transport en véhicule ou aux transports en commun.
	* Effets néfastes pour la santé des marcheurs et des cyclistes.	* Obstacles et infrastructures endommagées.		* Réduction du transport actif à cause des effets à court et long terme sur la santé.
Aviation	* Dommages de la piste à cause de la chaleur et de la fonte du pergélisol.	* Inondation des aéroports côtiers.	* Affaissement des sols.	* Augmentations des risques d'inondations à cause de la perte de végétaux aux sols.
	* Changement des horaires des vols.		* Augmentation des risques de tempêtes de poussières.	
Routes	* Augmentation des activités d'insectes et de chance de frapper des oiseaux			
	* Création de fissures, sillons et déformations à cause de la chaleur et de la fonte du pergélisol.	* Dommages causés par les inondations, l'érosion, les sols saturés et l'augmentation du niveau de l'eau.	* Réduction de l'intégrité des chaussées à cause de l'affaissement des sols et du pompage des eaux souterraines.	* Fermeture de route et réduction de la visibilité.
	* Conditions de travail non sécuritaires.	* Augmentations des risques de glissements de terrain.	* Réduction de la stabilité des pentes en raison de la diminution de l'absorption par les semis en bordure de route.	* Obstructions et coulée de débris.
Rail s	* Augmentation de la fréquence de maintenance.	* Diminution du cycle de vie à cause des événements.	* Maintenance d'urgence des ponts.	Augmentation des chances de ruissellement.
		* Les routes d'autobus et les lignes de voyage sont bloquées ou détournées à cause des inondations.	* Réduction de la visibilité et augmentation des fermetures pour les tempêtes de poussières.	* Réduction de la stabilité des pentes à cause des dommages du feu.
	* Flambage des rails.	* Inondations des ponts, tunnels et rails.	* Changement dans la stabilité des sols qui affectent la géométrie des rails et leur intégrité.	* Équipement endommagé.
Pipeline	* Réduction de la vitesse des trains.	* Endommagement des terrains.		* Interruption du système et changement de routes.
	* Affaissement de la ligne caténaire.			
	* Dommages à la structure causés par la fonte de pergélisol.	* Débordement des systèmes de drainage.	* Bins de pipelines causés par l'affaissement des sols.	* Toxicité dans le plastique des systèmes d'eau causé par le feu.
	* Déplacements, expositions et fractures des pipelines en raison de fortes précipitations.		* Conduites affaiblies en raison d'un ruissellement incontrôlé et d'un flux de débris.	

Source: (National Climate Assessment, 2024)

Au Canada, une grande partie des coûts des changements climatiques sont dus à leurs impacts sur les infrastructures de transport (Ness, 2024). La fonte du pergélisol en Alaska a déjà causé des dommages significatifs aux tarmacs et aux chemins de fer (Environmental Protection Agency, s.d.). Étant donné qu'environ 50 % du Canada repose sur du pergélisol (Harris, 2010), l'augmentation des températures des sols constitue une menace majeure pour les infrastructures canadiennes, en particulier dans les régions septentrionales. En effet, il est attendu que les coûts des dommages aux routes dépassent \$50 millions de dollars dans les Territoires du Nord-Ouest et \$70 millions au Yukon annuellement durant les deux à trois prochaines décennies (Ness, 2024).

Les conséquences sociétales sont également considérables. L'affaiblissement des infrastructures, voire leur destruction, entraînerait une augmentation des coûts d'entretien, de renouvellement et de remplacement (Climate Data, s.d.), tandis que les interruptions du trafic posent des risques tant pour les chaînes d'approvisionnement mondiales (National Climate Assessment, 2024) que pour l'accès local et régional aux services sociaux et aux besoins essentiels tels que la nourriture, les médicaments et les services d'urgence (Environmental Protection Agency, s.d.). Enfin, il convient de noter que les changements dans les flux de passagers et de marchandises font partie des impacts indirects des changements climatiques (Koetse & Rietveld, 2009). Ces nouveaux afflux pour les aéroports, ports maritimes, routes et trains concernés nécessiteront des efforts d'entretien accrus pour maintenir la sécurité et l'efficacité du service en réponse à leurs nouveaux volumes de transit.

SOMMAIRE

La longévité des infrastructures de transport dépend de sa conception, du trafic (notamment des poids lourds), des conditions climatiques et, bien entendu, de leur entretien régulier et adapté à ses caractéristiques spécifiques.

Dans la mesure où les organisations responsables ont déterminé qu'une infrastructure vaut

la peine d'être mise en place et utilisée, elles doivent alors l'entretenir de façon adéquate pour garantir sa qualité et sa disponibilité. En 2019, les principes du G20 sur les investissements dans des infrastructures de qualité ont été approuvés, soulignant l'importance d'une gouvernance solide sur tout le cycle de vie des projets.

Le MTMD publie des données sur l'état des infrastructures routières et ses pratiques se comparent favorablement à celles de plusieurs ministères des transports canadiens et américains. Néanmoins, le VGQ a relevé plusieurs enjeux relatifs à l'entretien routier et proposé quatre recommandations pour améliorer la situation.

Un financement insuffisant de l'entretien conduit à la dégradation des infrastructures de transport, augmentant les taux d'accident, l'usure, les coûts d'utilisation, les temps de trajet, et les émissions de GES. Sur la durée de vie d'une infrastructure, le coût d'entretien annuel ne représente qu'une petite fraction du coût initial, mais un entretien déficient augmente considérablement les coûts à long terme. Des exemples internationaux montrent que les coûts économiques de l'entretien insuffisant sont significatifs. Par exemple, aux États-Unis, les conducteurs perdent en moyenne 599 \$US par an en raison de la mauvaise qualité des routes. En Inde, 4 G\$ pourraient être économisés avec un meilleur entretien routier.

En définitive, les dirigeants gouvernementaux doivent optimiser les décisions d'entretien avec une analyse détaillée des coûts du cycle de vie (LCCA). L'OCDE recommande de sélectionner les prestataires sur des critères de qualité et de prix, d'évaluer la répartition des risques, et de mettre en place des relations contractuelles équilibrées.

CONSULTATIONS

Dans le cadre du mandat, plus d'une centaine de membres et représentants des régions administratives du Québec ont été rencontrés entre le 20 mars et le 13 juin 2024. Les objectifs de ces rencontres étaient, d'abord, d'obtenir un portrait des infrastructures de transport principales nécessitant des réparations ou des mesures d'entretien pour leur région; et, en second lieu, de poser des questions relatives à l'importance d'entretenir ou de bonifier les infrastructures de transport et leur impact sur l'économie de la région.

Pour ce faire, un guide de discussion a été développé par AppEco, puis approuvé par la FCCQ et transmis aux chambres de commerce au préalable. Il concernait les principales infrastructures nécessitant des investissements majeurs, les projets d'importance à venir, l'impact d'un sous-entretien ainsi que d'autres informations sur l'état ou l'opinion générale des infrastructures routières, de transport en commun, aéroportuaire, ferroviaire et maritime. De plus, les résultats de l'état de l'ensemble du réseau routier provenant du *Bilan de l'état des chaussées du réseau supérieur québécois* (version 2022) du MTMD ont été présentés à chaque région lors des consultations dans l'optique de vérifier si la perception des membres était cohérente avec ces informations.

Le rapport des consultations est présenté sur le site web de la FCCQ, incluant l'identification des infrastructures nécessitant des investissements majeurs. Plusieurs intervenants ont reconnu que leur point de vue était principalement basé sur leur expérience personnelle et non sur une connaissance approfondie de l'état des infrastructures de leur région. Dans certains cas, p. ex., le pont Pierre-Laporte de Québec, l'importance stratégique de certaines infrastructures a été souligné, sans nécessairement parler de leur mauvais entretien.

Un des éléments souvent mentionnés est l'importance de ne pas seulement réparer les infrastructures, mais aussi de les modifier, bonifier,

ou remplacer. Selon les participants, le gouvernement devait profiter de la réparation des tronçons de route pour y apporter des ajustements, afin de les ajuster à la réalité actuelle. Quelques exemples cités: l'aménagement de voies de déviation (Abitibi-Témiscamingue), de voies pour du transport en commun (Montérégie), de voies pour répondre à une hausse importante de la circulation (Centre-du-Québec) ou des voies pour du transport actif (Gatineau).

IMPACT ÉCONOMIQUE D'UN SOUS-ENTRETIEN

Quelques exemples de l'impact du sous-entretien ont été fournis comme étant particulièrement stratégiques. Entre autres, des conséquences importantes peuvent survenir dans les régions plus éloignées où le nombre de trajets alternatifs est plus faible et où lorsque des municipalités sont éloignées. Dans ces cas, un mauvais entretien peut engendrer des dépenses et des délais importants pour les entreprises et il peut être difficile pour les citoyens d'accéder à des services de base ou d'urgence. Malgré le côté critique des infrastructures routières et aéroportuaires, des intervenants ont soulevé que leur état a atteint parfois des niveaux de délabrement très importants et que, dans plusieurs cas, il ne semble pas y avoir de perspective d'amélioration.

TRANSPORT ROUTIER

Le transport routier a occupé une grande part des échanges, vu son utilisation nettement plus grande que les autres types et le fait que la majorité des intervenants s'avouaient peu informés de l'état de ces autres infrastructures. D'ailleurs, une majorité des participants ont cité leur faible connaissance de l'état de l'ensemble des infrastructures de transport de leur région et de la difficulté d'en savoir plus (note: sans consulter des statistiques ou rapports officiels à cet effet).

Cela dit, lorsque des informations concernant l'état des routes de leur région leur ont été présentées, les personnes consultées ont générale-

ment affirmé que le portrait était conforme à leur perception de la situation. Ainsi, sans avoir de données précises à leur disposition, leur connaissance commune de la situation permet d'avoir un portrait relativement fidèle de la situation.

TRANSPORT EN COMMUN

Plusieurs régions ont affirmé que le service de transport en commun était peu utilisé, car l'offre était insuffisante pour induire un changement de comportement. À ce sujet, les différents intervenants ont convenu qu'il fallait surtout augmenter l'offre et qu'il y avait somme toute peu d'enjeux d'entretien, compte tenu de l'utilisation limitée.

TRANSPORT AÉRIEN, FERROVIAIRE ET PORTUAIRE

Les participants aux consultations ont reconnu ne disposer que de peu ou pas d'information sur l'état des aéroports, ports et chemins de fer. Lorsque des personnes dont l'emploi était rattaché à ces infrastructures étaient présentes, une majorité a affirmé que leurs infrastructures nécessitaient des investissements pour leur entretien, sans toutefois mentionner que la situation était critique.

CONSTAT GÉNÉRAL

Une très forte majorité des intervenants ont affirmé que l'entretien des infrastructures en place était prioritaire comparativement à l'ajout de nouvelles infrastructures. Cependant, les échanges ont souvent porté sur la nécessité d'ajuster ou de bonifier certaines infrastructures. Autrement dit, malgré l'importance reconnue d'un entretien accru, un équilibre entre maintien et ajouts était souhaité.

MODÉLISATION DE L'ENTRETIEN DES ROUTES

Suivant la construction d'une infrastructure, peu importe sa nature, elle devra nécessairement être entretenue lors des années suivantes afin de préserver sa fonction. Par conséquent, les États se doivent d'investir régulièrement des sommes importantes pour le maintien des infrastructures publiques sous sa responsabilité.

Dans le cas des infrastructures de transport, après une progression importante du DMA jusqu'en 2019, une légère amélioration a eu lieu au cours des dernières années. Cependant, les projections les plus récentes, basées sur les investissements annoncés dans le dernier PQI, ne laissent pas présager une réhabilitation marquée du réseau routier.

L'état des infrastructures routières et leur entretien entraînent des conséquences sur la sécurité, les bris et accidents, la fluidité et l'activité économique. Il est cependant difficile a priori de bien comprendre l'ensemble de ces conséquences et, surtout, d'évaluer leur ampleur. Pour cette raison, une modélisation de l'évolution du DMA et des conséquences économiques de différents scénarios d'investissement du gouvernement a été développée. En particulier, elle vise à déterminer l'impact économique net pour la société de l'équilibre entre les investissements publics consacrés à l'entretien des routes et ceux visant l'ajout de nouvelle capacité.

Le reste de cette section comprend trois parties, soit un résumé des données employées, de la méthodologie retenue et des résultats de la modélisation de l'évolution du DMA.

DONNÉES

Au chapitre des données sur les infrastructures de transport, un manque significatif de disponibilité de nombreux indicateurs pertinents pour cette étude a été constaté, pour au moins trois raisons principales.

Tout d'abord, l'accessibilité de certaines don-

nées s'avère problématique. Bien que plusieurs d'entre elles existent, dans plusieurs cas, elles ne sont pas disponibles sous forme de données ouvertes à des fins de recherche externe. Par exemple, le MTMD ne publie pas les données dont il dispose sur l'indice d'état gouvernemental ou le DMA par actif routier. Le ministère utilise un système dénommé GCH, qui répertorie des informations sur les auscultations de chaque segment de chaussée, mais ce système reste inaccessible au grand public. L'une des recommandations du rapport du Vérificateur général du Québec à l'intention du MTMD est d'ailleurs de « bonifier l'information que le ministère communique sur l'état du réseau routier » (Vérificateur général du Québec, 2023). Des demandes d'accès à l'information ont été formulées dans le cadre de cette étude, sans obtenir les résultats attendus.

Par ailleurs, il existe une réticence chez certains groupes à partager leurs renseignements, en raison de préoccupations liées à la confidentialité et à la compétitivité. C'est notamment le cas dans le secteur ferroviaire, où la concurrence entre les entreprises empêche le partage de certaines données de nature privée. Dans ce genre de situations, il a été nécessaire de s'appuyer davantage sur la littérature existante pour établir des constats généraux, avec les limites que cela impose.

Enfin, certains indicateurs ne sont tout simplement pas collectés par les autorités responsables. Pour les chaussées, les données sur l'état du réseau qui ne sont pas sous la responsabilité du MTMD ne font pas l'objet de collectes systématiques¹⁴. Cela rend difficile l'établissement d'un portrait précis de la situation au niveau municipal, à l'exception par exemple de la Ville de

¹⁴La majorité des bâtiments municipaux ainsi que la voirie locale ne sont pas suivis au PAGI du Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (Cirano, 2023).

Montréal qui recueille ce type d'informations.

Dans ce contexte, la modélisation s'est concentrée uniquement sur les chaussées du réseau supérieur québécois, car c'est le seul mode de transport pour lequel il a été possible d'extraire et d'utiliser les données requises sur les indicateurs pertinents. Les principales sources utilisées dans cette analyse sont présentées ci-dessous.

Débit de circulation : les données sur le débit de circulation du MTMD sont disponibles en données ouvertes. Il est ainsi possible d'obtenir le débit journalier moyen annuel (DJMA) de chaque route sous la responsabilité du ministère. Dans la même base de données, il est aussi possible d'extraire la part de camion parmi l'ensemble de la fréquentation. Lorsque jumelée aux données du réseau routier RTSS, également en données ouvertes, il est possible de faire l'appariement de la classe de la route en utilisant son identifiant unique. Ceci permet d'établir pour le DJMA et la part de camion la moyenne et l'écart-type par classe de routes, tel que présenté au tableau ci-dessous.

TABLEAU 10. STATISTIQUES SUR LE DJMA PAR CLASSE DE ROUTES, NOMBRE MOYEN DE VÉHICULES PAR JOUR - TOUS TYPES CONFONDUS

Classe	n	DJMA	
		Moyenne	Écart-type
Autoroute	n	53 130	39 655
Nationale	n	8 906	11 847
Régionale	n	5 259	5 189
Collectrice	n	2 458	3 433

Source : AppEco et données ouvertes sur le débit de circulation et le réseau routier RTSS.

Par la suite, une fonction log-normale a été employée pour établir le débit moyen de chaque route type du modèle en prenant en compte la moyenne, l'écart-type, la classe de la route, son niveau de détérioration¹⁵ ainsi que la présence ou non de travaux majeurs¹⁶.

Bilan de l'état des chaussées : Ce document de la Direction des chaussées du MTMD dresse le bilan des données recueillies lors de l'auscultation des routes du réseau supérieur en 2022. Pour chaque classe de route, il est possible d'obtenir le DMA et l'indice d'état médian pour l'ensemble du réseau, de même que le pourcentage de route comportant une déficience majeure, mineure, ou aucune – donc, en bon état. Le nombre de kilomètres de route est aussi publié pour chaque classe. Ces données ont permis d'établir la composition initiale de l'IEG et le nombre de routes de chaque classe dans le modèle.

Plan québécois des infrastructures : la plus récente version du PQI établit l'investissement prévu pour les dix prochaines années (de 2024 à 2034). Il est aussi possible de décomposer ces sommes en maintien et en bonification. Bien que ces informations ne soient pas directement utilisées dans le modèle, elles ont été utiles lors de l'élaboration des scénarios et pour effectuer des comparatifs.

Plans annuels de gestion des investissements publics en infrastructures (PAGI) : Le PAGI contient les valeurs du DMA du réseau supérieur pour les routes ayant un IEG de «D» et «E», soit respectivement 1 881 M\$ et 8 100 M\$. En combinant ces valeurs à la proportion de l'IEG du réseau et les kilomètres totaux, le DMA unitaire se calcule à 317 980 \$ par kilomètre pour les routes ayant une déficience mineure et à 839 244 \$/km pour celles comportant une déficience majeure.

Guide de l'AAC des projets publics en transport routier du MTMD : ce document rassemble plusieurs paramètres utilisés pour la modélisation. D'abord, la valeur horaire du temps permettant d'établir le coût d'opportunité pour les voitures

¹⁵Le DJMA est affecté par un facteur d'ajustement allant de 0 à 1 en fonction de son niveau de détérioration et de son IEG.

¹⁶La présence de travaux majeurs a pour effet de diminuer par deux le DJMA pour la période du chantier.

de passagers (30,27\$ pour le motif affaires et 15,95\$ pour les autres) et pour les camions (52,50\$ pour un régulier et 33,77\$ pour un lourd). Une autre donnée utilisée concerne les coûts environnementaux, disponibles selon le type de voiture et sa vitesse. Ces coûts varient dans le modèle entre 0,03\$ et 0,19\$ par kilomètre par véhicule pour l'année 2023, puis augmentent dans le temps à une inflation moyenne de 2,7%. La dernière valeur provenant de cette source est le coût d'utilisation des véhicules, ce qui a servi à modéliser le coût des bris. Cette information est à nouveau disponible par type de véhicule et a ensuite été ajustée par un facteur de 0,5 à 1,5 selon l'IEG. Puisque le Guide utilise des valeurs de 2019, l'ensemble de ces paramètres ont été

ajustés en dollars de 2023 pour tenir compte de l'évolution de l'indice des prix à la consommation du Québec durant l'intervalle.

Données sur les rapports d'accidents de la SAAQ: elles indiquent le nombre d'accidents sur le territoire du Québec en 2022. Il est possible d'utiliser ces informations pour calculer le nombre d'accidents et leur gravité (mortel ou grave, léger ou encore dommages matériels uniquement) selon la vitesse et donc par classe de route dans le modèle. Ces résultats sont ensuite jumelés avec la valeur statistique d'une vie ou le coût d'un accident selon la gravité provenant du Guide de l'AAC du MTMD pour établir les coûts économiques des accidents par classe de route.

TABLEAU 11. STATISTIQUES DU MODÈLE SUR LES ACCIDENTS

Coût par accident		Nombre d'accidents par kilomètre	
Décès	5 538 319\$	Mortel ou grave	0,04
Blessés graves	1 453 268\$	Léger	0,62
Blessés légers	156 143\$	Dommages matériels seulement	2,69
Dommages matériels seulement	30 286\$	Dommages matériels inférieurs au seuil du rapportage	0,56
Dommages matériels inférieur au seuil	2 000\$		

Coût par classe de route par kilomètre

Autoroute	139 652\$
Nationale	52 061\$
Régionale	20 669\$
Collectrice	49 094\$

Source : AppEco et données ouvertes de la SAAQ sur les accidents

MÉTHODOLOGIE

La mise en place d'une infrastructure génère des avantages et des coûts importants sur l'ensemble de sa durée de vie. L'analyse avantages-coûts permet de comparer sur une base commune différents scénarios d'établissement de cette infrastructure, en vue de déterminer celui à privilégier. Concrètement, il s'agit d'identifier et de mesurer en termes monétaires les avantages et les coûts, qu'ils soient directs ou indirects.

PARAMÈTRES ET SCÉNARIOS

Les paramètres généraux de l'analyse sont les suivants :

- Portée : avantages et coûts au Québec d'investissements dans le réseau routier supérieur ;
- Durée : 20 ans, avec possibilité de travaux majeurs lors des deux premières années et d'ajout de routes lors des dix premières ;
- Unité monétaire : dollars canadiens constants de 2023 ; et
- Taux d'actualisation réel : pour tenir compte du fait que la valeur d'un dollar diminue avec le temps, un taux d'actualisation réel de 2,7 % est employé.

Afin d'estimer l'impact des différents scénarios d'investissement pour l'ensemble du Québec, une simplification a été employée. Concrètement, vingt (20) routes types ont été élaborées de façon à représenter les caractéristiques du réseau routier existant, soit en termes de classe de routes, d'indice IEG, de débit journalier et de la part de camions qui y circulent. Le Tableau 12 compare d'ailleurs les statistiques de ce panier de routes à celles de l'ensemble du réseau québécois.

TABLEAU 12. COMPARATIF DES INDICATEURS DU MODÈLE PAR RAPPORT À L'ENSEMBLE DU RÉSEAU

Indicateur		Modélisation AppEco	Ensemble du réseau
Taille du réseau	km	400	31 134
Autoroute	%	15	16
Nationale	%	35	34
Régionale	%	20	21
Collectrice	%	30	29
IEG			
A	%	20	17
B	%	20	22
C	%	10	11
D	%	20	19
E	%	30	31
Débit de circulation			
Autoroute	n	53 289	53 130
Nationale	n	9 057	8 906
Régionale	n	5 987	5 259
Collectrice	n	2 267	2 458
Part de camion			
Autoroute	%	14,9	12,9
Nationale	%	12,5	12,4
Régionale	%	10,4	11,7
Collectrice	%	10,3	11,8

Source : AppEco.

À partir de ce réseau routier simplifié, plusieurs scénarios différents ont été modélisés. Ils ont été élaborés selon trois paramètres différents, soit les dépenses d'entretien en proportion (pourcentage) de celles optimalement requises, la présence de travaux majeurs visant à résorber le DMA existant et la bonification du réseau :

→ Le pourcentage d'entretien se définit comme étant le montant dépensé en entretien pour une route par rapport à ce qui est nécessaire pour maintenir son état. Un investissement à un niveau de 100 % permet d'éviter que l'actif routier ne se détériore, alors qu'un investissement à 0 % entraîne une détérioration rapide de la route en question.

→ La présence de travaux majeurs signifie que des chantiers sont entrepris sur les routes ayant un IEG de «D» ou «E» pour éliminer leur DMA et redresser leur indice d'état à «A». Pour les routes ayant un IEG de «D» les travaux s'échelonnent sur un an, durant lequel le débit est réduit de moitié, alors que pour les routes à «E», ces travaux et leur impact sur le débit durent deux ans.

→ La bonification correspond à la création de nouvelles infrastructures routières, soit l'ajout de nouvelles routes types de 20 km avec un indice d'état «A». Comme les routes existantes déjà modélisées, ces nouvelles routes ont une classe de route, un débit journalier et un pourcentage de camion qui leur est propre.

Le Tableau 13 présente une brève description de chacun des scénarios analysés dans la section des résultats.

Le premier scénario correspond à une situation où le Québec réalise un chantier majeur pour remettre à niveau l'ensemble des infrastructures routières du modèle tout en entretenant optimalement celles qui sont déjà en bon état. Puisque toutes les routes ayant un IEG à «D» et «E» sont rénovées dans ce scénario, et que toutes les autres sont bien entretenues, le DMA à la fin de la période de ce scénario est de zéro.

Le deuxième scénario représente le cas où l'entretien est inadéquat. Il s'agit de laisser le réseau routier se dégrader rapidement en n'investissant que 50 % de ce qu'il faudrait en entretien. Ni travaux ni bonification ne s'ajoutent à cela. Bien que ce scénario ait un coût très faible, il entraîne une dégradation rapide et grave des chaussées, impactant négativement son utilisation.

Les scénarios trois à cinq illustrent le cas où le gouvernement tente d'entretenir adéquatement le réseau, soit à hauteur de 85 % de l'optimum, tout en continuant de le bonifier via la construction de quelques routes – 1 à 4 durant une période de dix ans selon le scénario. Dans certains cas, des travaux majeurs sont également entrepris pour réduire le DMA existant. L'entretien inférieur à 100 % vise à réduire les coûts pour le gouvernement, tout en entretenant de façon notable les infrastructures en place.

Finalement, le scénario 6 reprend la même spécification que le premier scénario, mais en ajoutant une seule route. Il permet de contraster l'impact de bonifier à la marge le réseau routier si et seulement si l'État s'occupe idéalement des infrastructures déjà en place.

TABEAU 13. DESCRIPTION DES SCÉNARIOS DE LA MODÉLISATION

Scénario	Description des scénarios	Entretiens	Travaux majeurs	Bonification
Scénario 1	Entretiens optimaux avec travaux majeur	Entretien à 100 %	Travaux sur les routes avec IEG à D et E	Pas de bonification
Scénario 2	Entretiens inadéquats à 50 %	Entretien à 50 %	Pas de travaux majeurs	Pas de bonification
Scénario 3	Entretiens adéquats et construction de 4 routes	Entretien à 85 %	Pas de travaux majeurs	Construction de 4 nouvelles routes
Scénario 4	Entretiens adéquats, travaux majeurs et construction de 2 routes	Entretien à 85 %	Travaux sur les routes avec IEG à D et E	Construction de 2 nouvelles routes
Scénario 5	Entretiens adéquats, travaux majeurs et construction d'une route	Entretien à 85 %	Travaux sur les routes avec IEG à D et E	Construction d'une nouvelle route
Scénario 6	Entretiens optimaux, travaux majeurs et construction d'une route	Entretien à 100 %	Travaux sur les routes avec IEG à D et E	Construction d'une nouvelle route

Source : AppEco.

ANALYSE AVANTAGES-COÛTS

Parmi les principaux coûts directs identifiés et quantifiables pour une route, notons :

- Les coûts d'investissement liés à la construction - (Inv)
- Les coûts d'entretien (réparation des nids-de-poule, balayage, nettoyage, marquage, etc.) - (Ent)
- Les travaux majeurs (réhabilitation et reconstruction périodique) - (Trav)

D'autres coûts indirects sont aussi inclus dans l'analyse, dont ceux liés à l'environnement (Env), les accidents (Acc) et les bris des voitures et des camions (Bris).

L'expression ci-dessous, où l'indice t représente la période et i chaque infrastructure, rassemble ces différents coûts :

$$Coûts_{t,i} = Inv_{t,i} + Ent_{t,i} + Trav_{t,i} + Env_{t,i} + Acc_{t,i} + Bris_{t,i}$$

Les coûts totaux pour l'ensemble des routes (N) pour toute la période (20 ans) sont alors donnés par le calcul suivant :

$$Coûts\ totaux = \sum_{i=1}^N \sum_{t=0}^{20} Coûts_{t,i}$$

Quant aux avantages des routes, le principal est lié à son usage. En effet, un réseau routier efficace permet le déplacement des usagers, de même que le transport de marchandises. Plus les routes sont en bon état, grâce à un entretien adéquat et la conduite des travaux préventifs en temps opportun, plus le débit de déplacement sera élevé, générant ainsi des avantages économiques conséquents. Leur calcul correspond au coût d'opportunité calculé à partir de la valeur horaire (VH) du temps pour les véhicules de passagers et les camions par catégorie de route, donc en fonction de la distance parcourue (toujours la même par construction, soit 20 km par route) et de la vitesse (variable par type de route) :

$$Avantages_{t,i} = F(VH_{t,i}, DJMA_{t,i}, Distance_i, Vitesse_i)$$

Tout comme les coûts, les avantages totaux s'obtiennent comme suit :

$$\text{Avantages totaux} = \sum_{i=1}^N \sum_{t=0}^{20} \text{Avantages}_{t,i}$$

Le ratio avantages-coûts (A/C) permet enfin de quantifier les avantages totaux actualisés par rapport aux coûts devant être engagés pour les produire :

$$\text{Ratio A/C} = \frac{\text{Avantages totaux}}{\text{Coûts totaux}}$$

Un ratio supérieur à 1 signifie que l'ensemble des avantages liés au projet (ici : des investissements dans le réseau routier) surpassent les coûts. Il est également possible de comparer le ratio de chaque scénario pour classer les scénarios considérés du meilleur au pire, c'est-à-dire du ratio le plus élevé au plus faible.

RÉSULTATS

Le Tableau 14 présente les principaux résultats des six scénarios. Les scénarios 1 et 6 sont les deux obtenant les ratios avantages-coûts (A/C) les plus élevés, soit 5,5 et 5,4, indiquant qu'il s'agit des meilleures options parmi les six présentées. Dans les deux cas, le gouvernement entretient les routes de façon optimale (à 100 % de ce qui est nécessaire). À l'exception du scénario 2, le coût sur l'ensemble de la période est relativement similaire pour l'ensemble des scénarios, soit environ 0,5 G\$ à 0,6 G\$.

Cela signifie que d'un point de vue économique, l'entretien optimal combiné aux travaux majeurs est toujours plus avantageux et, ce, sans être plus coûteux que d'autres scénarios prévoyant un entretien moindre et une bonification plus ou moins importante du réseau.

Pour le lecteur habitué aux résultats d'analyse avantages-coûts proches de l'unité, les ratios A/C obtenus ici peuvent sembler très élevés. Cela s'explique par le fait que de disposer et d'utiliser des routes au Québec comporte des avantages dépassant nettement les coûts associés, même dans l'éventualité où ces routes se détérioraient encore davantage - quiconque a déjà voyagé sur des routes dans des pays en

développement comprendra cette réalité. Cela dit, l'analyse démontre qu'il est possible d'améliorer grandement l'utilisation des fonds publics pour les infrastructures routières, de deux façons principales, à la fois simples et intuitives. D'abord, il faudrait effacer le DMA qui mine leur utilisation et accroît la congestion, les risques d'accident, les bris de véhicules et les autres externalités. Ensuite, dès l'ouverture d'une route à la circulation, il faudrait s'engager à l'entretenir de façon appropriée. Advenant le respect de ces deux conditions, le gouvernement maximiserait alors la valeur de ces actifs publics qui, idéalement, permettent de transporter personnes et marchandises de façon efficace et sécuritaire.

TABLEAU 14. PRINCIPAUX RÉSULTATS PAR SCÉNARIO

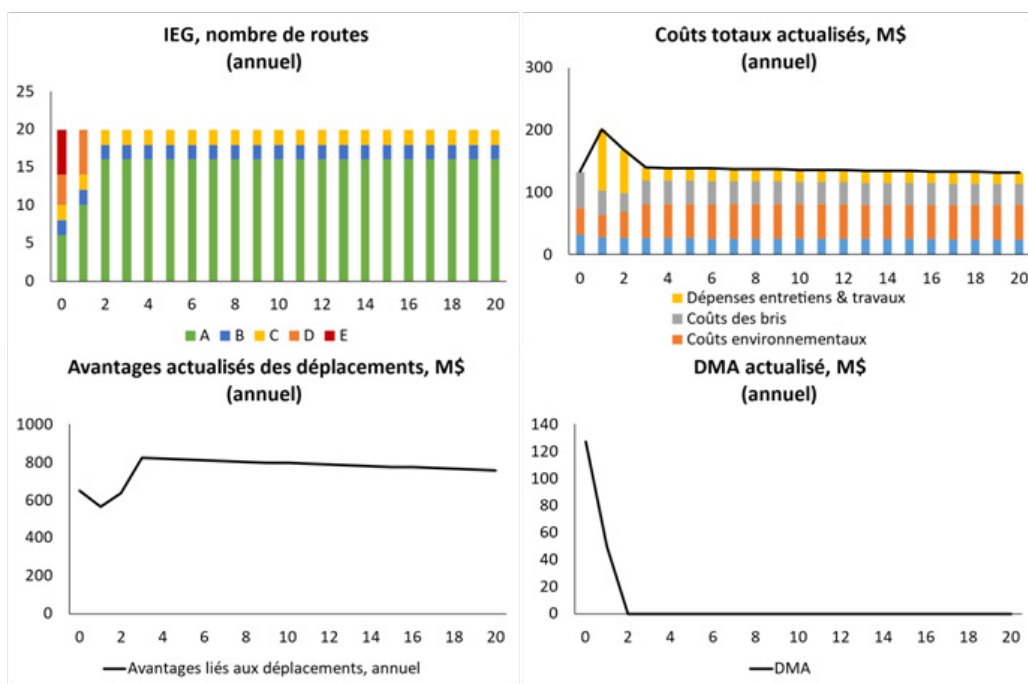
	Description des scénarios	DMA final (M\$)	Ratio A/C excluant le DMA	Ratio A/C incluant le DMA	Coût pour le gouvernement sur 20 ans (M\$)
Scénario 1	Entretiens optimaux avec travaux majeur	0	5,5	5,5	519
Scénario 2	Entretiens inadéquats à 50 %	339	3,7	3,3	196
Scénario 3	Entretiens adéquats et construction de 4 routes	179	4,1	3,9	526
Scénario 4	Entretiens adéquats, travaux majeurs et construction de 2 routes	0	5,0	5,0	584
Scénario 5	Entretiens adéquats, travaux majeurs et construction d'une route	0	5,1	5,1	538
Scénario 6	Entretiens optimaux, travaux majeurs et construction d'une route	0	5,4	5,4	581

Source : AppEco. Note : le ratio A/C avec DMA représente la somme de l'ensemble des avantages divisés par l'ensemble des coûts qui intègre le déficit du maintien des actifs.

Par exemple, dans le scénario 6, une seule route est ajoutée sur la période, représentant une augmentation de 5 % de la capacité du réseau en 20 ans. L'ajout d'infrastructure fera augmenter les besoins en entretien pour toutes les années futures (sous l'hypothèse qu'il soit souhaitable de continuer à utiliser la route) et qu'il faut donc être parcimonieux dans l'ajout de capacité. Le financement actuel et futur des infrastructures, qu'elles soient existantes ou à venir, doit donc être adéquatement planifié.

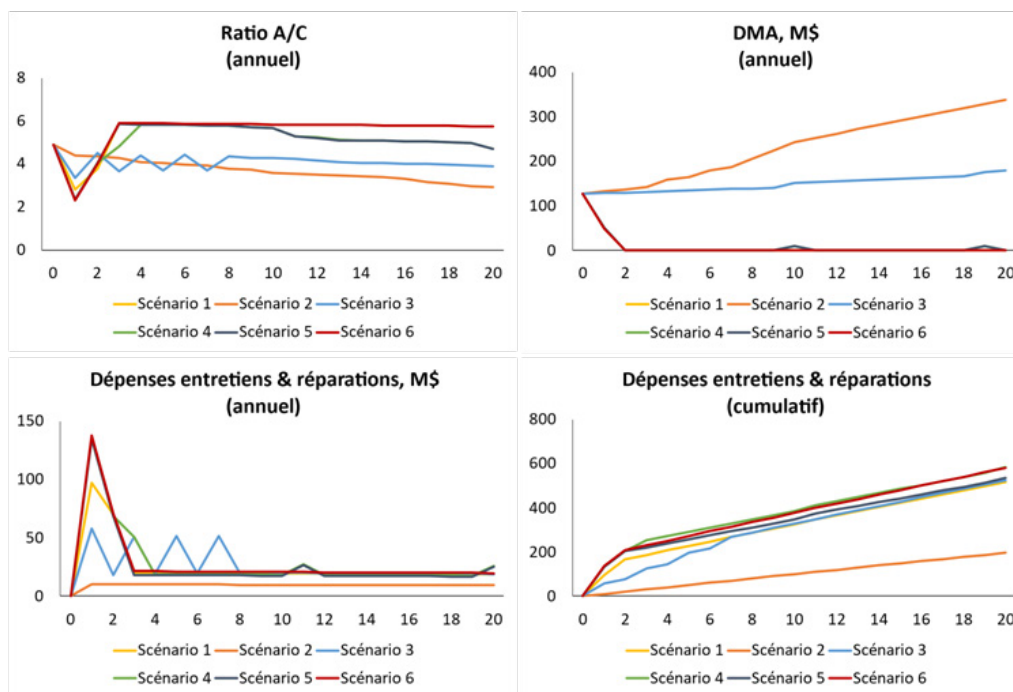
La Figure 13 présente un exemple des résultats spécifiques au scénario 1, où les quatre graphiques représentent les différentes dynamiques de ce scénario. Le graphique en haut à gauche représente l'évolution sur 20 ans de l'état du réseau routier mesuré par l'IEG. Le constat est que les routes ayant un IEG de «D» ou «E» passent à «A» étant donné que des travaux majeurs sont effectués dès la première année. Par la suite, sur le reste de la période, le réseau reste stable, car l'investissement optimal en entretien implique qu'il n'y a aucune détérioration. Le graphique en haut à droite représente l'évolution des coûts totaux actualisés et ajustés à l'inflation par catégorie. À l'exception des deux premières périodes, là où des travaux majeurs sont entrepris, les coûts sont relativement stables, ce qui découle de la stabilité de l'IEG des routes. Le troisième graphique quant à lui montre les avantages actualisés. Ceux-ci sont assez stables sur la période sauf lors des premières périodes là où le débit moyen est affecté par la présence de travaux majeurs. Enfin, le dernier graphique représente le DMA. Puisqu'il n'y a pas de route avec un IEG de «D» ou «E», celui-ci diminue rapidement à zéro dans le premier scénario.

FIGURE 13. ÉVOLUTION DES PRINCIPAUX RÉSULTATS SPÉCIFIQUES AU SCÉNARIO 1



La Figure 14 résume les résultats de l'ensemble des 6 scénarios en quatre graphiques au lieu d'analyser les scénarios un par un. La plus grande volatilité dans les dépenses par période des scénarios 3 à 5 est due aux travaux majeurs ayant lieu à divers moments durant la période considérée, de même que la construction d'un certain nombre de routes lors des premières années. À l'exception des scénarios 2 et 3, l'ensemble des scénarios entraîne un DMA de près de zéro étant donné la présence de travaux pour les routes avec une déficience mineure ou majeure.

FIGURE 14. ÉVOLUTION DES PRINCIPAUX RÉSULTATS PAR SCÉNARIO



En résumé, ce qui procure le plus d'avantages par rapport aux coûts dans la modélisation est de combiner les travaux majeurs et l'entretien. Une fois que c'est chose faite, il est possible de bonifier à la marge le réseau en s'assurant d'abord de ne pas négliger l'entretien des infrastructures existantes.

LIMITES

Comme dans chaque modélisation, l'analyse repose sur une simplification de la réalité qui est complexe. Le modèle exclut donc certains aspects, ce qui représente des limites à prendre en considération dans l'interprétation des résultats.

Premièrement, les routes dans le modèle sont, par hypothèse, indépendantes les unes des autres. Cela signifie que ce qui se passe sur une route en particulier ne va pas influencer ce qui se passe sur les autres routes. Cela implique que des travaux majeurs sur une route ou sa détérioration n'auraient pas d'effet sur les autres routes. En pratique, il est réaliste d'imaginer qu'une route en mauvais état ou en construction aurait pour effet d'augmenter la circulation autour de cet axe.

Deuxièmement, le modèle ne prend pas en compte le niveau de congestion autrement qu'en réduisant le débit lorsque son état se dégrade ou lors de travaux majeurs. Cela peut avoir comme conséquence de surestimer les avantages économiques des utilisateurs ainsi que de sous-estimer les coûts environnementaux. En effet, un individu coincé dans le trafic passe plus de temps que prévu dans son véhicule, ce qui constitue un coût d'opportunité puisqu'il n'est pas productif durant cette période. De la même façon, un véhicule à l'arrêt ou prenant plus de temps pour parcourir une distance polluera davantage. Malheureusement, l'absence de données sur le niveau de congestion des routes ne permet pas de prendre ce paramètre en considération dans cette étude.

Troisièmement, le modèle considère qu'il y a suffisamment de ressources pour rapidement réparer les routes. En effet, il n'y a aucune contrainte budgétaire ou en main-d'œuvre limitant le nombre de travaux majeurs ou d'entretiens pour

une période donnée. Dans les faits, il ne serait pas réaliste de tenter d'éliminer le DMA pour tous les actifs ayant un IEG de D et E dès la première année.

Finalement, les résultats de la modélisation permettent d'observer l'impact des différents choix pour le réseau routier, mais il est difficile d'extrapoler ceux-ci aux autres modes de transport. La section 6 discute davantage de ce point d'un point de vue qualitatif. Dans le même ordre d'idées, le modèle incorpore uniquement les véhicules et les camions sans prendre en compte le transport en commun étant donné l'absence de données à ce sujet.

En définitive, ces limites sont davantage susceptibles de sous-estimer les avantages et les coûts liés aux dépenses pour le réseau routier, sans toutefois affecter la comparaison des scénarios entre eux. Plus encore, il n'y a pas raison de croire que ces limites biaisent significativement les résultats à la hausse ou à la baisse. Par conséquent, si l'ampleur exacte des ratios A/C pouvait différer advenant la résolution de certaines limites, il est raisonnable de croire que le classement des scénarios demeurerait inchangé, et donc que les conclusions de l'analyse resteraient intactes.

IMPLICATIONS DES CONSTATS SUR LE RÉSEAU ROUTIER POUR LES AUTRES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

La modélisation précédente démontre que c'est en résorbant le DMA et en entretenant adéquatement les infrastructures routières existantes que le gouvernement générerait le plus d'avantages économiques pour la société. Voici dans quelle mesure ces observations sont également applicables aux autres types d'infrastructures de transport.

TRANSPORT EN COMMUN

Le transport en commun englobe le transport par autobus, par train et par métro. Ce moyen de transport permet de déplacer un très grand nombre de personnes sur des axes généralement fixes.

Comme discuté précédemment, un mauvais entretien peut engendrer un service moins efficace et ultimement une fermeture de services temporaire ou permanente, comme pour la station Saint-Michel à Montréal en 2024, pour une durée de plusieurs semaines.

Pour le métro et le train, les infrastructures de transport sont similaires, soit des rails et des voitures. Leur entretien, autant en termes de fréquence, qu'en termes de type et de coût d'entretien, est évidemment différent de l'entretien des routes, mais les conséquences sont très similaires. Ainsi, les résultats de la modélisation précédente, si elle avait été faite avec les données appropriées, auraient très probablement été très similaires. En fait, étant donné le nombre de personnes transportées, les conséquences d'un mauvais entretien pourraient être bien plus importantes.

Finalement, comme les autobus empruntent les routes pour se rendre à destination, les conclu-

sions de la modélisation se transposent encore mieux à ce mode de transport en commun.

TRANSPORT FERROVIAIRE

Le train est très similaire au transport routier en ce sens qu'il permet le déplacement de personnes et de marchandises sur des voies qui lui sont principalement réservées. Du fait d'un plus faible achalandage en général, mais d'une plus grande quantité de passagers et équipements dans un seul transit, il est probable que l'ampleur des impacts d'un sous-entretien soit différente que celle des routes.

Un second élément de différenciation se trouve dans la nature des composantes structurelles de ce mode de transport. La durée de vie initiale des rails, ballast, trains et wagons sont plus longues que leur équivalent pour le transport routier. Par contre, les règles d'entretien déterminées par le gouvernement sont plus détaillées et strictes. Ainsi, l'entretien de ces infrastructures est différent de celui des routes.

Cependant, un faible entretien réduit la vitesse de transport et peut engendrer des accidents qui causeront des pertes économiques non négligeables.

En bref, malgré le fait que leur ampleur diffère, les conclusions de la modélisation s'appliquent bien au transport ferroviaire, vu qu'ils tiennent compte de l'impact sur la circulation de différents scénarios d'entretien et de l'impact possiblement néfaste d'un sous-entretien.

AÉROPORTS

L'entretien des aéroports consiste principalement à s'assurer que les surfaces de circulation

permettent le déplacement des avions, les décollages et atterrissages. À cela s'ajoutent les entretiens des hangars et aérogares. La littérature citée plus haut indique qu'un mauvais entretien de ces infrastructures peut avoir des conséquences économiques importantes notamment en réduisant la vitesse de la circulation et affectant négativement la réputation de l'aéroport. Le mauvais entretien peut aussi accroître le nombre d'accidents et mener à des bris de service, tous des événements similaires au secteur routier.

Ainsi, si la modélisation précédente ne semble pas, à première vue, s'appliquer aussi naturellement aux infrastructures aéroportuaires que pour les autres modes de transport, elle renseigne néanmoins sur l'importance de les entretenir adéquatement pour assurer une circulation efficace et sécuritaire.

PORTS

Du côté des ports, les opérations de maintenance visent, comme pour les aéroports, à permettre que les navires puissent circuler et opérer efficacement et en toute sécurité. Si les installations sont en mauvais état, les navires devront circuler plus lentement, déchargerons et chargerons leur marchandise plus lentement, ce qui entraînera des coûts non négligeables et nuira à leur réputation, ce qui pourrait modifier le comportement des compagnies de transport.

En somme, tout comme les routes, un mauvais entretien des ports affecte la circulation des biens et des personnes et augmente les risques d'accident. Du fait de leur importance systémique, les conséquences d'un mauvais entretien pourraient être très importantes advenant que cela rende impossible l'utilisation des installations.

Bien que les infrastructures des ports diffèrent sensiblement des infrastructures routières, les fonctions partagées avec le réseau routier sont suffisantes pour que les conclusions de la modélisation soient instructives pour le contexte portuaire.

TRAVERSIERS

Encore ici, les conclusions de la modélisation, à savoir que le DMA doit être réduit et que l'entretien est bénéfique, peuvent être transposées aux traversiers. Agissant, en quelque sorte, comme un pont entre deux points pour les voitures et camions qui les empruntent, les conséquences d'un sous-entretien seront donc très similaires à celle des infrastructures routières. Que ce soit la réduction de la vitesse de circulation, un bris de services, une augmentation des accidents, les impacts sont apparentés et justifient que les résultats de la modélisation soient transférés au transport par traversiers.

Cela dit, la nature de l'entretien diffère évidemment entre les traversiers et les routes.

RÉCAPITULATIF

Lorsque vient le temps d'allouer des sommes pour les infrastructures, un gouvernement doit considérer et sopeser de nombreux impératifs, dont principalement ses capacités financières, l'arbitrage des besoins et des souhaits d'ajout, les aspects régionaux, le contexte politique, les différents types d'infrastructures et leur état physique. Ces considérations sont d'autant plus importantes pour les infrastructures de transport étant donné leur aspect névralgique pour une société, car permettant à sa population et aux biens de se déplacer, ainsi que les coûts considérables qu'elles représentent.

La revue de littérature et la modélisation développée dans la présente étude en arrivent aux mêmes conclusions, soit que l'entretien des infrastructures doit être une priorité pour le gouvernement. Les résultats de l'analyse le démontrent : c'est en maintenant les infrastructures de transport existantes en bon état de fonctionnement et en résorbant leur déficit d'entretien que la société en retirera les avantages les plus importants. De plus, les retards d'exécution des travaux requis augmentent non seulement les coûts des réparations, mais aussi le risque social et économique d'une défaillance majeure. En clair, les implications négatives d'attendre avant de régler le problème sont trop coûteuses pour ne rien faire.

La modélisation révèle aussi que malgré l'importance de l'entretien et de réaliser les travaux requis, il demeure possible de continuer à construire des routes. Entre autres, le 6e scénario indique que l'ajout de 5% de routes sur 20 ans, tout en assurant l'entretien adéquat de l'ensemble des infrastructures, est compatible avec cet objectif d'équilibrer entretien et bonification. Considérant les 31 000 km de routes sur le réseau supérieur, un ajout de 5% représente une distance de 1 550 km, soit plus de trois fois la distance entre Gatineau et Québec. Il s'agit évidemment d'une illustration, sachant qu'une telle bonification peut se traduire de nombreuses façons : ajout de sorties d'autoroute, ajout de voies, fréquence accrue (p. ex., trains, autobus, métro), etc.

Bref, le gouvernement dispose d'une marge de manœuvre appréciable pour bonifier le réseau routier et les autres infrastructures de transport, à condition toutefois de maintenir un financement adéquat et durable pour l'entretien et la résorption du DMA.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS DE LA FCCQ

Les infrastructures de transport font partie intégrante de notre tissu économique, et plus largement, du quotidien de tous les Québécois. Que ce soit pour le travail, réaliser des achats, étudier, ou toute autre raison, chacun se déplace, idéalement de façon aussi efficace et sécuritaire que possible. Pour les entreprises, en plus de la main-d'œuvre et des déplacements par affaires, les mouvements de marchandises dépendent d'infrastructures de transport efficaces et fonctionnelles.

Pour plusieurs localités, perdre l'accès à une route, à un pont ou à un aéroport, peut enclaver la population et entraîner des répercussions importantes. Pour les travailleurs qui doivent se déplacer, c'est une question de fiabilité. Pour nos échanges commerciaux, c'est notre accès aux biens, mais aussi notre réputation qui est en jeu.

La présente étude met en lumière qu'une majorité de nos routes sont en mauvais ou très état, un constat qui s'observe malheureusement à l'œil nu. Cependant, les implications derrière cette situation doivent être soulevées, car la question suivante est complexe : par où commencer? La modélisation et la littérature de cette étude font état de la réalité à laquelle le Québec est confronté, mais aussi, des possibilités de scénario pour nous rediriger collectivement.

Nous arrivons essentiellement à la même conclusion qui s'applique à tous les autres modes de transports ou presque : on doit accroître l'intensité de nos efforts collectifs en ce qui a trait à la réparation et l'entretien des infrastructures de transport.

En assurant un maintien plus adéquat et continu des capacités existantes, de même qu'une réelle volonté de résorber le déficit en la matière, le

gouvernement éviterait des coûts beaucoup plus élevés dans le futur et maximiserait les retombées économiques et sociales pour la société. Cela est vrai pour nos routes, mais aussi pour le transport collectif et les infrastructures assurant l'intermodalité des déplacements de personnes et de marchandises, comme les aéroports, les chemins de fer et les ports maritimes, pour ne nommer que celles-ci. Le tout avec pour objectif d'assurer la pérennité de l'ensemble des infrastructures de transport au Québec, et ainsi, retrouver notre fierté lorsque vient le moment d'utiliser celles-ci pour ses déplacements.

À la lecture de l'étude produite par AppEco, la FCCQ propose 10 recommandations à l'intention des ordres de gouvernement, soit les gouvernements du Québec, fédéral et les municipalités, pour s'attaquer réellement au déficit de maintien des actifs, et assurer la pérennité des infrastructures de tous les modes de transport au Québec :

1.

Vu la dégradation actuelle des infrastructures de transport, les ordres de gouvernement doivent d'abord prioriser deux types d'investissements dans leur planification des infrastructures, soit les travaux visant à résorber le déficit de maintien d'actifs (DMA) et l'entretien adéquat des actifs existants ;

2.

L'ajout de nouvelles infrastructures de transport peut se justifier économiquement s'il s'effectue à un rythme plus modéré, dans un souci d'une absence importante advenant une évolution démographique, et seulement si le financement actuel et futur d'entretien de l'ensemble des actifs est assuré ;

3. Un portrait précis de l'état de toutes les infrastructures de transport, incluant leur DMA, doit être réalisé rapidement afin de prioriser les investissements et ce, pour tous les ordres de gouvernement. Ce portrait devrait être publié et mis à jour sur une base annuelle.
4. La planification des travaux d'infrastructures devrait tenir compte de leur état physique et de leur cycle de vie, des disponibilités budgétaires, des volumes de circulation, de la sécurité des déplacements et des communautés, des conséquences environnementales (GES, autres externalités), etc.
5. Les infrastructures routières hors des grands centres devraient obtenir davantage d'attention des gouvernements qu'actuellement, car plusieurs d'entre elles sont dans un état particulièrement détérioré.
6. Puisque le scénario 6 représente le meilleur ratio avantage/coûts, le gouvernement du Québec devrait favoriser cette option, tel qu'indiqué dans l'étude.

Que les ordres de gouvernement accordent une plus grande attention dans leur planification à la résorption du DMA dans les infrastructures de mobilité durable, notamment le gouvernement fédéral afin qu'il consacre une part importante aux sommes comprises dans le Fonds permanent pour le transport en commun, pour ainsi prendre en compte les besoins de maintien d'actifs en transport en commun et aide à rattraper les investissements à réaliser tout en s'assurant de maintenir le niveau de service et de sécurité requis au sein de leurs infrastructures. Aussi, que le Québec ait sa juste part financière pour répondre aux besoins en termes de transport collectifs et ruraux.
7. Que les ordres de gouvernement accordent une plus grande attention dans leur planification à la résorption du DMA dans les infrastructures de mobilité durable, notamment le gouvernement fédéral afin qu'il consacre une part importante aux sommes comprises dans le Fonds permanent pour le transport en commun, pour ainsi prendre en compte les besoins de maintien d'actifs en transport en commun et aide à rattraper les investissements à réaliser tout en s'assurant de maintenir le niveau de service et de sécurité requis au sein de leurs infrastructures. Aussi, que le Québec ait sa juste part financière pour répondre aux besoins en termes de transport collectifs et ruraux.
8. Que le Secrétariat du Conseil du trésor présente le plus rapidement possible, les règlements modifiant les modes d'octroi de contrats dans les processus d'appel d'offres, afin que ceux-ci privilégient des critères de qualité, d'innovation, d'expertise, de durabilité et de performance environnementale, en incluant le prix, plutôt que le recours systématique au plus bas soumissionnaire conforme. En plus d'inciter davantage d'entreprises québécoises à soumissionner sur les contrats publics de l'État québécois, nous bénéficierons collectivement des innovations retrouvées dans nos entreprises, et maximiserons la durée de vie des infrastructures de transport avec des procédés. Se donner pour objectif que dans les cinq prochaines années, qu'une majorité de contrats publics en matière de transports, utilisent ces critères dans les projets de réhabilitation de nos infrastructures de transport au Québec.
9. Considérant que le développement de nouvelles infrastructures en transport collectif s'annexerait aux infrastructures déjà existantes, les investissements destinés au maintien d'actifs doivent être rapidement bonifiés et pérennisés pour assurer un service intermodal qui opérerait au sommet de la capacité projetée.
10. Les programmes gouvernementaux québécois suivants devraient être prolongés ou réactivés, en plus d'être bonifiés:
 - Programme d'aide québécois pour les infrastructures aéroportuaires régionales (PAQIAR) – A pris fin le 31 mars 2022
 - Programme en efficacité du transport maritime, aérien et ferroviaire (PETMAF) – Suspendu
 - Programme d'investissement en infrastructures maritimes (PIIM) – Échéance le 31 mars 2025
 - Programme d'aide gouvernementale au transport collectif des personnes (PAGTCP) – Échéance le 31 mars 2025

RÉFÉRENCES

- Aéroport de Montréal. (2024). *Enplaned / deplaned passengers (GRI AO1)*. Récupéré sur Aéroport de Montréal: https://www.admtl.com/sites/default/files/2024/Statistiques_ADM_SiteWeb_EN_aout_R.pdf
- Aéroport International Jean-Lesage de Québec. (2024, aout 9). *Réouverture complète des pistes d'atterrissage à YQB*. Récupéré sur Aéroport de Québec: <https://www.aeroportdequebec.com/fr/a-propos/blogue/reouverture-comple-des-pistes-datterrissage-a-yqb>
- Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne. (s.d.). *Durabilité dans la phase de fin de vie des aéronefs*. Récupéré sur <https://www.easa.europa.eu/fr/light/topics/sustainability-end-life-phase-aircraft#:~:text=Les%20a%20C3%A9ronefs%20sont%20re-tir%C3%A9s%20de,pour%20les%20avions%20de%20fret>.
- Aidara, T. (2018). *La gestion des risques et des assurances portuaires*.
- Applied Research Associates inc. (2020). *Revue et analyse comparative des enrobés*. pour le ministère du Transport du Québec.
- Associates, Applied Research. (2020). *Revue et analyse comparative des enrobés – Ministère des Transports du Québec*.
- Association canadienne des automobilistes. (2021). *Coût des routes en mauvais état au Canada*.
- Association des chemins de fer du Canada. (2023). *Tendances ferroviaires 2023*. Récupéré sur <https://www.railcan.ca/wp-content/uploads/2023/12/FR-RAC-RAIL-TRENDS-2023.pdf>
- Association mondiale de la Route. (2014). *Importance de l'entretien routier*.
- Association of American Railroads. (2022). *The economic impact of a railroad shutdown*. Récupéré sur <https://www.aar.org/wp-content/uploads/2022/09/AAR-Rail-Shutdown-Report-September-2022.pdf>
- Association québécoise du transport aérien. (2016). *Portrait de la flotte québécoise*.
- Autorité de régulation des transports. (2023). *Scénarios de long terme pour le réseau ferroviaire français (2022-2023)*.
- BcFerries. (2024). *Fleet maintenance overview*.
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. (2024). *Sommaire statistique - Événements de transport ferroviaire en 2023*.
- Bureau du vérificateur général du Canada. (2021). *Rapport 5 — Audit de suivi sur la sécurité ferroviaire — Transports Canada*. Récupéré sur https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_oag_202102_05_f_43751.html
- Bureau International du Travail. (2016). *Sécurité et santé dans les ports*. Récupéré sur https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@sector/documents/normativeinstrument/wcms_546258.pdf
- Burningham, & Stankevich. (2005). *Importance de l'entretien des routes et moyens d'y parvenir*.
- Burningham, S., & Stankevich, N. (2005). *Why road maintenance is important and how to get it done*. Washington, DC: The World Bank.
- CFFP. (2019). *Les infrastructures publiques au Québec: de la Révolution tranquille à aujourd'hui*.
- Cirano. (2023). *Plan québécois des infrastructures: comparaison interprovinciale et soutenabilité*.
- Clear Seas. (2022). *Vulnérabilité de l'environnement maritime canadien aux changements climatiques*.

Climate Data. (s.d.). *Transportation Module Overview*. Récupéré sur Climate Data: <https://climatedata.ca/explore/sector/transportation/transportation-module-overview/>

CN Rail. (2024). *Programme annuel de gestion de la végétation - Avril 2024 - Octobre 2024*.

Cooke, Alex. (2023, juillet 28). CN Rail reopens Nova Scotia link cut off by recent floods in under a week. *Global News*. Récupéré sur <https://globalnews.ca/news/9862891/cn-rail-reopens-nova-scotia-flood/>

CPCS. (2021). *Coût des routes en mauvais état au Canada*. Récupéré sur https://www.caa.ca/app/uploads/2021/03/Poor-Roads-study-Final_FR.pdf

Cursa. (s.d.). 37. *Maintenance of public transport vehicles*. Récupéré sur Cursa: <https://cur-sa.app/en/page/maintenance-of-public-transport-vehicles>

de Souza, N. M., & Filho, A. T. (2020). A systematic airport runway maintenance and inspection policy based on a delay time modeling approach. *Automation in Construction*.

Di Mascio, P., & Moretti, L. (2019). Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces. *Case Studies in Construction Materials*. Récupéré sur <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509519301688>

Direction générale de l'aviation civile. (2015). *Les chaussées aéronautiques*. Récupéré sur Service technique de l'aviation civile: <https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/chaus-saero.pdf>

Données ouvertes de la ville de Montréal. (2022). *Incidents - réseau du métro*. Récupéré sur Données ouvertes de la ville de Montréal: <https://donnees.montreal.ca/dataset/incidents-du-reseau-du-metro/resource/518d9c92-89a3-408a-8ac4-04ee43e2ac9e?filters=Cause%20primaire%3A%3%89quipements%20fixes%7CCause%20primaire%3A%3%89quipements%20fixes%7CAnn%C3%A9e%20ci-vile%3A2021>

vile%3A2021

Donnges, C., Edmonds, G., & Johannsen, B. (2007). *Rural road maintenance, Sustaining the Benefits of Improved Access*.

Eltved, M., Breyer, N., Ingvardson, J. B., & Nielsen, O. A. (2021). *Impacts of long-term service disruptions on passenger travel behaviour: A smart card analysis from the Greater Copenhagen area*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies.

Environmental Protection Agency. (s.d.). *Climate Change Impacts on Transportation*. Récupéré sur EPA: <https://www.epa.gov/climateimpacts/climate-change-impacts-transportation>

Evans, Pete. (2021, novembre 16). *Stressed supply chains snarled anew as B.C. floods wash out rail lines, roads*. *CBC News*. Récupéré sur <https://www.cbc.ca/news/business/bc-floods-rail-impact-1.6250554>

Fédération canadienne des municipalités. (2019). *Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes de 2019 - Suivi de l'état des infrastructures publiques essentielles du Canada*.

Fédération Canadienne des municipalités et le Conseil national des recherches du Canada. (2003). *Processus de planification des priorités et de budgétisation relatif à l'entretien ou à la réhabilitation des chaussées*.

Filho, W. L., Zuniga, R. A., Sierra, J., Pimenta, D. M., Nagy, G. J., & Aina, Y. A. (2024). An assessment of priorities in handling climate change impacts on infrastructures. *Sci Rep*, 14, 1-16. Récupéré sur <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64606-3>

Gendron, P.-M. (2001). *Éléments essentiels à l'implantation d'un système de gestion des chaussées*. Montréal.

Gould, E., Parkman, C., & Buckland, T. (2013). *The Economics of Road Maintenance*. London.

Gouvernement de Colombie-Britannique. (s.d.). *Appendix E - Ferry facility maintenance*.

- Gouvernement du Québec. (2024). *Infrastructures ferroviaires*. Récupéré sur Gouvernement du Québec: <https://www.quebec.ca/transports/infrastructures-projets/infrastructures/ferroviaires>
- Gouvernement du Québec. (s.d.). *Transport collectif*. Récupéré sur Gouvernement du Québec: <https://www.quebec.ca/transports/transport-collectif>
- Grossoni, I., Hughes, P., Bezin, Y., Bevan, A., & Jaiswal, J. (2021). Observed failures at railway turnouts: Failure analysis, possible causes and links to current and future research. *Engineering Failure Analysis*. Récupéré sur <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630720315119>
- Groupe Critical 5. (2015). *Rôle des infrastructures essentielles au chapitre de la prospérité nationale*.
- Harris, S. A. (2010, juillet 7). *Permafrost*. Récupéré sur The Canadian Encyclopedia: <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/permafrost>
- Hasan, A., & Jaber, F. K. (2024). *Prioritizing road maintenance: A framework integrating fuzzy best-worst method and VIKOR for multi-criteria decision making (Vol. 14)*.
- Hegazy, T., & Saad, D. A. (2014). *A microeconomic perspective on infrastructure rehabilitation*. Construction management and economics.
- Heggie, I., & Vickers, P. (1999). *Financement et gestion commerciale des routes*. La Banque Mondiale.
- Institut de la statistique du Québec. (2024). *Estimations de la population des municipalités de 25 000 habitants et plus, Québec, 1^{er} juillet 2001 à 2023*. Récupéré sur <https://statistique.quebec.ca/fr/produit/tableau/estimations-de-la-population-des-municipalites-de-25-000-habitants-et-plus>
- Kaliannan, S., Chan, C. M., & Suratkon, A. (2015). Developing a DMS (Dredged Marine Sediments Management Framework for Beneficial Reuse in Artificial Land Creation. *Applied Mechanics and Materials*, 802, 655-660. Récupéré sur <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.802.655>
- Kishore, L., Pai, Y. P., Ghosh, B. K., & Pakkan, S. (2024). Maritime shipping ports performance: a systematic literature review. *Discover Sustainability*.
- Koetse, M. J., & Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(3), 205-221. Récupéré sur <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.004>
- Kovacic, B., Doler, D., & Sever, D. (2021). *Innovative business model for the management of airports in purpose to indentify runway damage in time*. Sustainability.
- Ma, Cheng, & Li. (2018). *Road maintenance optimization model based on dynamic programming in urban traffic network*.
- Mackay, S. (2017, juillet 24). *Ferries: the maintenance masterpiece*. Récupéré sur Engineering Institute of Technology: <https://www.eit.edu.au/ferries-the-maintenance-masterpiece/>
- Marsh. (2019, novembre 19). *Principaux enjeux maritimes mondiaux auxquels fait face l'industrie du transport*. Récupéré sur Marsh: <https://www.marsh.com/fr-ca/industries/marine/insights/top-global-maritime-issues-facing-the-shipping-industry.html>
- Micco, A., & Serebrisky, T. (2004). *Infrastructure, competition regimes and air transport costs: cross country evidence*. World bank.
- Ministère des Transports. (2021). *Guide d'élaboration d'un plan d'intervention 2021-2024*.
- Ministère des Transports du Québec. (2012). *Étude sur le prolongement de la période du service traversier entre Rivière-du-Loup et Saint-Siméon*.

- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (2022). *Bilan de l'état des chaussées du réseau routier supérieur québécois 2022*.
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (2022). *Bilan de l'état des structures sous la responsabilité du Ministère des Transports et de la Mobilité durable*.
- Ministère des Transports. (s.d.). *Port Infrastructure*. Consulté le octobre 2, 2024, sur Ministère des Transports et de la Mobilité Durable: <https://www.transports.gouv.qc.ca/en/maritime-transport/port-infrastructure/Pages/default.aspx>
- Nallusamy, S. (2016). *A Proposed Model for Lead Time Reduction during Maintenance of Public Passenger Transport Vehicles*. International Journal of Engineering Research in Africa.
- National Climate Assessment. (2024). *Fifth National Climate Assessment, Risks to supply chains*. Récupéré sur National Climate Assessment: <https://nca2023.globalchange.gov/chapter/focus-on-4/>
- National Climate Assessment. (2024). *Fifth National Climate Assessment, 13. Transportation*. Récupéré sur National Climate Assessment 2023: <https://nca2023.globalchange.gov/chapter/13/>
- Ness, R. (2024). *Time to stop building infrastructure for yesterday's climate*. Récupéré sur Climate Institute: <https://climateinstitute.ca/impacts-building-infrastructure-yesterday-s-climate/>
- Northfolk Southern. (2023). *Class I Railroad Annual Report*. Récupéré sur https://filecache.investorroom.com/mr5ir_nscorp/832/2022_NS%20Consolidated%20R1%20Excel%20Schedules%20and%20Footnotes.pdf
- NRRDA. (2014). *Managing maintenance of rural roads*.
- O. Harvey. (2012). *Optimising road maintenance*.
- OCDEa. (2021, juillet 9). *Prise en compte du cycle de vie dans la réalisation des infrastructures*. Consulté le 06 07, 2024, sur OECD Library: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/6b645fda-fr/index.html?itemId=/content/component/6b645fda-fr#>
- OCDEb. (2020, juillet 16). *Recommandation du Conseil sur la gouvernance des infrastructures*. Consulté le Juin 7, 2024, sur Instruments juridiques de l'OCDE: <https://legalinstruments.oecd.org/fr/instruments/OECD-LEGAL-0460>
- Parkman, C., Bradbury, T., Peeling, D., & Booth, C. (2012). *Economic, Environmental and Social impacts of changes in maintenance spend on local roads in Scotland*. Transport Scotland.
- Port de Montréal. (2023, septembre 6). *Improving water quality: the ports of Montreal, Quebec and Trois-Rivières launch an innovation challenge*. Récupéré sur Port de Montréal: <https://www.port-montreal.com/en/the-port-of-montreal/news/news/water-challenge>
- Port de Montréal. (2024). *Rapport annuel 2023*.
- Port de Montréal. (s.d. a). *Statistiques*. Récupéré sur Port de Montréal: <https://www.port-montreal.com/fr/le-port-de-montreal/le-port-en-bref/statistiques>
- Port de Montréal. (s.d. b). *Rapports et statistiques*. Récupéré sur Port de Montréal: <https://www.port-montreal.com/fr/marchandises/rapports-statistiques>
- Port de Québec. (2023). *Rapport 2023 - Rétrospective*. Récupéré sur <https://www.portquebec.ca/a-propos-du-port/bilans-annuels/retrospective>
- Pronk, A., Coble, J., & Stewart, P. (2009). Occupational exposure to diesel engine exhaust: A literature review. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 443–457. Récupéré sur <https://doi.org/10.1038/jes.2009.21>
- Pyke, D. (2019, juillet 16). *Rail101 - Types of rail failure - 1*. Récupéré sur LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/rail101-types-rail-failure-1-daniel-pyke>

Roux-Sablier, M., Ladier, A.-L., Vercaene, S., & Bontems, T. (s.d.). Planification des opérations de ballastage pour la maintenance des voies ferrées. *19ème Congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2018)*. Récupéré sur <https://hal.science/hal-01765077v1>

Sepehri, A., Kirichek, A., van den Heuvel, M., & van Koningsveld, M. (2024). Smart, sustainable, and circular port maintenance: A comprehensive framework and multi-stakeholder approach. *Journal of Environmental Management*, 370, 1-17. Récupéré sur <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122625>

Société de l'Assurance Automobile du Québec. (s.d. a). *Véhicule lourd - Vérification mécanique périodique obligatoire*. Récupéré sur Société de l'Assurance Automobile du Québec: <https://saaq.gouv.qc.ca/transport-biens/vehicule-lourd/verification-entretien-mecanique/verification-mecanique-obligatoire>

Société de l'Assurance Automobile du Québec. (s.d. b). *Véhicule lourd - Programme d'entretien préventif (PEP)*. Récupéré sur Société de l'Assurance Automobile du Québec: <https://saaq.gouv.qc.ca/transport-biens/vehicule-lourd/verification-entretien-mecanique/programme-entretien-preventif>

Société de transport de Montréal. (2014). *À quel moment faut-il remplacer les voitures de métro MR-73?* Récupéré sur https://www.stm.info/sites/default/files/affairespubliques/Nouvelles/ap_briefing_mr_73_oct_2014_stm.pdf

Société de transport de Montréal. (2024). *Mémoire de la STM dans le cadre de la consultation parlementaire sur le projet de loi 62*. Montréal.

Société de transport de Montréal. (2024, 03 04). *Moderniser le réseau de métro de la STM, c'est dans le vent!* Récupéré sur <https://www.stm.info/fr/presse/nouvelles/2024/moderniser-le-reseau-de-metro-de-la-stm--c-est-dans-le-vent-#:~:text=D'ici%202030%2C%2093%20%25,am%C3%A9liorer%20la%20qualit%C3%A9%20des%20services>

lit%C3%A9%20des%20services

Société de transport de Montréal. (2024). *Rapport d'activité 2023*. Récupéré sur <https://www.stm.info/fr/a-propos/informations-entreprise-et-financieres/rapport-annuel-2023/rapport-dactivite>

Société des transports de Laval. (2024). *Indicateurs de performance*. Récupéré sur <https://stlaval.ca/a-propos/diffusion/indicateurs>

Société des traversiers du Québec. (2020). *Plan stratégique 2020-2025*. Québec.

Société des traversiers du Québec. (2021). *Rapport annuel de gestion*.

Société des traversiers du Québec. (2023). *Rapport annuel de gestion 2022-2023*. Récupéré sur https://www.traversiers.com/fileadmin/fichiers_client/Diffusion_info/Rapport_annuel_gestion/STQ-Rapport_annuel_2022-2023.pdf

Statistique Canada. (2022). *Durée de vie utile moyenne prévue des nouveaux actifs de transport en commun de propriété publique, Infrastructure Canada*. Récupéré sur <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3410025401>

Statistique Canada. (2024, 10 29). *Origine et destination des marchandises transportées par l'industrie ferroviaire*. Récupéré sur Statistique Canada: <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv.action?pid=2310006201>

Statistiques Canada. (2023). *Trafic aérien de passagers aux aéroports canadiens, annuel*. Récupéré sur Statistiques Canada: <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv.action?pid=2310025301>

Thruscott, S., Mason, M., Ray, M., & Lane, J. (1991). *Assessment of needs and priorities for road rehabilitation in six east european countries: Results of a 1990 world bank survey*.

Transport Scotland. (2012). *Economic, Environmental and Social Impacts of Changes in Maintenance Spend on Local Roads in Scotland*.

Transportation Safety Board of Canada. (2021, 06 23). Récupéré sur Canada.ca: <https://www>

canada.ca/en/transportation-safety-board/news/2021/06/tsb-launches-safety-issue-investigation-into-higher-rate-of-railway-crossing-accidents-during-winter-in-canada.html

Transports Canada. (2023). *Les transports au Canada 2023 - Réseau ferroviaire*. Récupéré sur Gouvernement du Canada: <https://tc.canada.ca/fr/services-generaux/transparence/gestion-rapports-ministeriels/rapports-annuels-transports-canada/transports-canada-2023/reseau-ferroviaire>

TRIP. (2018). *Bumpy road ahead: America's roughest rides and strategies to make our roads smoother*.

TRIP. (2021). *Maine Transportation by the Numbers*.

Union Pacific. (2021, juillet 9). *What Is a Boxcar Rail Car?* Récupéré sur Union Pacific: <https://www.up.com/customers/track-record/tr081721-what-is-a-boxcar-rail-car.htm>

Université de Sydney. (2019, novembre 27). *How climate change impacts infrastructure: experts explain*. Récupéré sur Université de Sydney: <https://www.sydney.edu.au/news-opinion/news/2019/11/27/how-climate-change-impacts-infrastructure--experts-explain.html>

Valdez, B., Ramirez, J., Eliezer, A., Schorr, M., Ramos, R., & Salinas, R. (2016). Corrosion assessment of infrastructure assets in coastal seas. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 124–134. Récupéré sur <https://doi.org/10.1080/20464177.2016.1247635>

Vérificateur général du Québec. (2023). *Rapport du Vérificateur général du Québec à l'Assemblée nationale*. Montréal.

VIA Rail. (2015). *Gestion de la végétation: accroître la sécurité des voies ferrées*. Récupéré sur https://www.viarail.ca/sites/all/files/media/pdfs/About_VIA/vegetation_FR.pdf

VIA Rail Canada. (2022). *Rapport annuel*. Récupéré sur https://media.viarail.ca/sites/default/files/publications/VIA%20Rail_Rapport%20Annuel%202022_0.pdf

nuel%202022_0.pdf

WSP. (2021, mai 4). *Comment les ports devraient-ils faire face aux risques liés aux changements climatiques?* Récupéré sur WSP: <https://www.wsp.com/fr-ca/insights/ports-risques-lies-au-changement-climatique>

Xu, P., Liu, R.-K., Wang, F., Wang, F.-T., & Sun, Q.-X. (2013). Railroad Track Deterioration Characteristics Based Track Measurement Data Mining. *Mathematical Problems in Engineering*. Récupéré sur <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2013/970573>

Yu, H., Jeong, D., Marquis, B., & Coltman, M. (2015). Railroad Concrete Tie Failure Modes and Research Needs. 2015 *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*. Récupéré sur <https://railtec.illinois.edu/wp/wp-content/uploads/2015-Railroad-Concrete-Tie-Failure-Modes-and-Research-N.pdf>

Zen, K. (2005). Corrosion and life cycle management of port structures. *Corrosion Science*, 2353–2360. Récupéré sur <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.04.003>

Zhang, Y., Kim, C., Tee, K. F., & Lam, J. S. (2017). Optimal sustainable life cycle maintenance strategies for port infrastructures. *Journal of Cleaner Production*, 1693–1709. Récupéré sur <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.120>



Par :

Philippe Gougeon, Directeur et économiste
Guillaume Faucher, Économiste
Oumaima Zaki, Analyse de politiques

Avec la collaboration de :

Pierre Emmanuel Paradis, Président et économiste
Cassandra Lauzon, Économiste
Annie Gaudreau, Stagiaire-économiste

Fédération des chambres de commerce du Québec :

Philippe Noël, Vice-président, Affaires publiques et économiques
Laurent Corbeil, Conseiller, Affaires publiques et économiques