

TP 13030F

Technologies de transport durable : cadre d'action

Préparé pour

Centre de développement des transports
Sécurité et Sûreté
Transports Canada

par

DELCAN

Septembre 1997

TECHNOLOGIES DE TRANSPORT DURABLE :
CADRE D'ACTION

par

M. Gravel, D.S. Kriger et A. Peña

DELSCAN

Septembre 1997

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des transports.

This document is also available in English under the title “*Sustainable Transport Technology: Framework for Action*”, TP 13030E.



1. N° de la publication de Transports Canada TP 13030F		2. N° de l'étude 7809		3. N° de catalogue du destinataire	
4. Titre et sous-titre Technologies de transport durable : cadre d'action				5. Date de la publication Septembre 1997	
				6. N° de document de l'organisme exécutant	
7. Auteur(s) M. Gravel, D.S. Kriger, et A. Peña				8. N° de dossier - Transports Canada ZCD1450-161	
9. Nom et adresse de l'organisme exécutant Delcan Corporation 2001 Thurston Drive P.O. Box 8004 Ottawa, Ontario K1G 3H6				10. N° de dossier - TPSGC XSD91-0060-(671)	
				11. N° de contrat - TPSGC ou Transports Canada T8200-1-1503	
12. Nom et adresse de l'organisme parrain Centre de développement des transports (CDT) 800, boul. René-Lévesque Ouest 6 ^e étage Montréal (Québec) H3B 1X9				13. Genre de publication et période visée Final	
				14. Agent de projet Trevor N. Smith	
15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.)					
16. Résumé Le présent rapport fait l'inventaire et une catégorisation des technologies pouvant s'inscrire dans une stratégie de transport durable; évalue ces technologies et sélectionne celles qu'il y a lieu de soumettre à une évaluation approfondie par Transports Canada; examine l'applicabilité des technologies sélectionnées et le rôle possible du gouvernement fédéral dans l'avancement de ces technologies; et expose des critères pratiques pour l'évaluation du potentiel des technologies retenues. Les technologies offrant le meilleur potentiel d'atténuation des effets néfastes des transports sur l'environnement sont regroupées dans les sous-catégories suivantes : consommation réduite de ressources, innovations touchant les véhicules, véhicules utilisant des carburants de substitution, innovations touchant les moteurs, et régulation du trafic. Ces domaines devraient faire l'objet d'une évaluation future. Le rapport recommande enfin l'élaboration d'un plan d'action assorti d'orientations politiques, et définit les rôles possibles de Transports Canada et des autres ministères et organismes fédéraux. Il propose finalement des mécanismes propres à susciter la coopération entre les divers paliers de gouvernement, les organismes publics, le secteur privé, ainsi que les établissements d'enseignement et de recherche.					
17. Mots clés Durabilité de l'environnement, développement durable, transport durable, technologies de transport durable			18. Diffusion Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.		
19. Classification de sécurité (de cette publication) Non classifiée	20. Classification de sécurité (de cette page) Non classifiée	21. Déclassification (date) —	22. Nombre de pages xii, 74	23. Prix —	



1. Transport Canada Publication No. TP 13030F		2. Project No. 7809		3. Recipient's Catalogue No.	
4. Title and Subtitle Technologies de transport durable : cadre d'action				5. Publication Date September 1997	
				6. Performing Organization Document No.	
7. Author(s) M. Gravel, D.S. Kriger, and A. Peña				8. Transport Canada File No. ZCD1450-161	
9. Performing Organization Name and Address Delcan Corporation 2001 Thurston Drive P.O. Box 8004 Ottawa, Ontario K1G 3H6				10. PWGSC File No. XSD91-0060-(671)	
				11. PWGSC or Transport Canada Contract No. T8200-1-1503	
12. Sponsoring Agency Name and Address Transportation Development Centre (TDC) 800 René Lévesque Blvd. West 6th Floor Montreal, Quebec H3B 1X9				13. Type of Publication and Period Covered Final	
				14. Project Officer Trevor N. Smith	
15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)					
16. Abstract <p>This report identifies and categorizes technologies that potentially can support sustainable transport; assesses and screens these technologies for further detailed evaluation by Transport Canada; comments on the applicability of the screened technologies and the federal government's possible role in supporting them; and develops practical criteria for evaluation of their potential.</p> <p>The sub-categories that offered the broadest potential to reduce adverse effects are: reduced resource consumption, advanced vehicle developments, alternative fuel powered vehicles, advanced engine developments, and traffic management. These areas should be the focus of a future assessment.</p> <p>The report also recommends the development of an action plan detailing policy directions and possible roles for Transport Canada and other federal departments and agencies. In addition, it establishes the mechanisms for broad, cooperative efforts with other governments, other public agencies, the private sector, and academic and research institutions.</p>					
17. Key Words Environmental sustainability, sustainable development, sustainable transport, sustainable transport technology				18. Distribution Statement Limited number of copies available from the Transportation Development Centre	
19. Security Classification (of this publication) Unclassified		20. Security Classification (of this page) Unclassified		21. Declassification (date) —	22. No. of Pages xii, 74
					23. Price —

SOMMAIRE

OBJECTIFS

Le ministre des Transports doit déposer au Parlement, d'ici décembre 1997, sa Stratégie de développement durable (SDD), soit un ensemble d'actions qui visent tant la gestion interne du Ministère que l'ensemble du secteur des transports.

La présente recherche avait pour objet d'appuyer l'élaboration de cette stratégie. *Technologies de transport durable : cadre d'action* comportait les quatre grandes tâches suivantes :

- **inventorier et catégoriser les technologies** pouvant s'inscrire dans une stratégie de transport durable;
- **évaluer les technologies et sélectionner** celles qui seront soumises à une évaluation approfondie par Transports Canada;
- **examiner l'applicabilité** des technologies sélectionnées et le rôle possible du gouvernement fédéral dans l'avancement de ces technologies;
- **élaborer des critères pratiques** pour l'évaluation du potentiel des technologies retenues.

Pour les besoins de l'étude, une **technologie de transport durable** est une technologie qui permet de réduire la consommation des modes de transport fondés sur l'utilisation de ressources non renouvelables, et dont la mise en oeuvre appuie les objectifs de sécurité, d'économie, d'accessibilité, ainsi que les valeurs de la société.

Quant au **transport durable**, il se définit comme un service de transport sûr, efficace, efficient et abordable, instauré et exploité selon des méthodes qui minimisent les effets du transport sur l'environnement.

Le **développement durable** s'entend d'un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.

PRODUITS

Les principaux résultats de la recherche ont servi à l'élaboration de quatre grands produits.

Le premier produit est un *inventaire* détaillé des technologies de transport durable.

Le deuxième est une *catégorisation* de ces technologies selon leur type, le mode de transport, et leur impact possible. Le fait de classer ainsi les technologies permet de les comparer et de les évaluer de

façon systématique et cohérente. On trouvera en annexe les critères à utiliser pour l'évaluation approfondie des technologies.

Ces deux produits ont mené à l'établissement des sous-catégories de technologies de transport durable les plus prometteuses en ce qui a trait à l'atténuation des effets du transport sur l'environnement. Ce sont : **la consommation réduite de ressources, les innovations touchant les véhicules, les véhicules utilisant des carburants de substitution, les innovations touchant les moteurs, et la régulation du trafic**. L'évaluation approfondie devrait porter sur ces sous-catégories.

La *consommation réduite de ressources* comprend des mesures destinées à réduire le poids des véhicules, comme le recours à des matériaux composites pour remplacer l'acier dans les voitures et les autobus, et à doter les véhicules de carrosseries aérodynamiques.

Les *innovations touchant les véhicules* englobent les percées effectuées dans le domaine des véhicules électriques et hybrides (systèmes embarqués de production et de stockage de l'énergie) et des véhicules mus à l'hydrogène ou à l'hythane (mélange de gaz naturel gas et d'hydrogène).

Dans la sous-catégorie des *véhicules utilisant des carburants de substitution* entrent les systèmes de propulsion alimentés à l'alcool (éthanol, méthanol), au gaz naturel (GNC, GNL), et au propane (GPL).

Les *innovations touchant les moteurs* visent les matériaux céramiques utilisés pour certains éléments des moteurs, et les systèmes qui permettent une combustion plus complète du carburant et le stockage de l'énergie (p. ex., les volants d'inertie), qui atténuent les effets nocifs des moteurs à combustion interne courants.

La *régulation du trafic* vise des mesures qui optimisent le mouvement des véhicules. On désigne Systèmes intelligents de transport (SIT) les technologies reliées à ce type de régulation. Exemples de ces SIT : les systèmes qui informent en temps réel les conducteurs et les administrateurs de l'état du réseau, contribuant à minimiser les retards, et les systèmes de péage électronique qui aident les administrateurs à limiter la pression exercée sur le réseau routier.

Le troisième produit, et peut-être le plus important, est l'énoncé de deux orientations de principe qui concourent aux objectifs de transport durable. La première de ces orientations vise le perfectionnement des technologies de transport existantes et le maintien (sinon la réduction) des niveaux de consommation actuels. La seconde orientation vise les technologies de transport tout à fait nouvelles et appelle à une véritable mutation.

Ces deux orientations prennent tout leur sens lorsqu'elles sont vues en séquence. C'est que le passage du premier au deuxième groupe de technologies se produira vraisemblablement lorsque diminueront les avantages associés aux technologies du premier groupe, lesquelles se verront relayées par celles du deuxième groupe, davantage efficaces pour l'atteinte des objectifs de transport durable. En d'autres mots, on peut prévoir un moment charnière où les perfectionnements techniques courants et à court terme ne généreront plus que de modestes avantages, alors que l'implantation d'une nouvelle technologie procurera des avantages substantiels. Les perfectionnements techniques courants et à court terme appartiennent au premier groupe de technologies; tandis que les perfectionnements à long

terme intéressent le second groupe. Les technologies de ce dernier groupe sont nécessairement plus complexes et plus coûteuses que celles du premier groupe.

Un quatrième produit résultant de l'étude est l'inventaire des rôles ou des actions possibles du gouvernement fédéral dans le développement, la mise en oeuvre et la promotion des technologies de transport durable, dans le respect des orientations susmentionnées. Sept rôles et actions possibles ont été recensés.

1. *Courtier en information* -- servir de plaque tournante d'idées, d'information, et d'innovations.
2. *Courtier en commercialisation* -- promouvoir l'utilisation des technologies de transport durable et de leurs applications dans tous les aspects du transport, au Canada et partout dans le monde.
3. *Courtier en financement* -- rechercher des partenaires financiers et des commanditaires potentiels et les mettre en contact.
4. *Élaboration de normes* -- élaborer des instruments normalisés de mesure de la durabilité d'une technologie, qui aideront les chercheurs canadiens à se fixer des objectifs, et qui permettront de mesurer les progrès accomplis par rapport aux objectifs énoncés dans la SDD.
5. *Pratiques d'employeur* -- démontrer la viabilité des technologies, et les mettre à l'essai en situation réelle avant de les commercialiser à grande échelle.
6. *Élaboration de politiques* -- élaborer des politiques et des méthodes types, les proposer à des pays en développement, et coordonner les actions des gouvernements et organismes fédéraux, provinciaux et municipaux.
7. *Incitatifs fiscaux* -- élaborer des mesures d'incitation fiscale propres à appuyer les technologies de transport durable.

À ces rôles du gouvernement fédéral pourrait s'ajouter celui de faciliter, le moment venu, le passage du premier groupe de technologies au deuxième, et d'instaurer un cadre politique et fiscal favorable.

RECOMMANDATIONS / DÉMARCHES FUTURES

Comme premier pas vers la mise en oeuvre du présent rapport, il est recommandé de procéder à une évaluation approfondie des technologies candidates, à la lumière des critères proposés à cette fin.

Une deuxième étape serait d'élaborer un plan d'action pour la mise en application des orientations de principe et des rôles recommandés, à Transports Canada et dans les autres ministères et organismes fédéraux, et d'établir des mécanismes aptes à favoriser une concertation étroite avec les autres paliers de gouvernement, les autres organismes publics, le secteur privé, ainsi que les établissements d'enseignement et de recherche.

Toute action entreprise par les fournisseurs de services de transport et/ou le gouvernement fédéral nécessite des prises de position fermes et cohérentes en ce qui a trait au comportement des usagers, à la fiscalité et aux technologies. Aucun des ces trois ordres de politiques ne peut seul garantir l'atteinte des objectifs de transport durable. Pas plus que la technologie n'est une panacée pour tous les problèmes de la société. Mais des efforts concertés à l'échelle de tout le pays peuvent nous faire grandement progresser vers nos objectifs de transport durable. Finalement, l'atteinte de ces objectifs dépend pour une grande part de l'accueil réservé par le public voyageur aux technologies de transport durable.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1-1
1.1	Contexte	1-1
1.2	Objet de la recherche	1-2
1.3	Définition d'une technologie de transport durable	1-2
1.4	Démarche	1-7
2.	CONTEXTE DE LA RECHERCHE	2-1
2.1	Aperçu de la contribution des transports aux impacts environnementaux	2-1
2.2	Répartition modale des activités de transport	2-1
2.2.1	Transport des passagers	2-3
2.2.2	Transport de marchandises	2-6
2.3	Impacts des modes de transport sur la durabilité	2-7
2.3.1	Consommation d'énergie non renouvelable	2-7
2.3.2	Consommation d'autres ressources	2-11
2.3.3	Pollution atmosphérique	2-13
2.3.4	Autres impacts	2-18
3.	TECHNOLOGIES CANDIDATES	3-1
3.1	Critères de sélection des technologies candidates	3-1
3.2	Cadre de catégorisation des technologies	3-2
3.3	Inventaire et catégorisation des technologies candidates	3-3
3.4	Tendances de la R&D en technologies de transport	3-4
3.4.1	Véhicule	3-4
3.4.1.1	Réduction de la consommation	3-4
3.4.1.2	Innovations touchant les véhicules	3-6
3.4.2	Propulsion	3-7
3.4.2.1	Véhicules utilisant des carburants de substitution	3-7
3.4.3	Régulation	3-8
3.4.3.1	STI	3-8
3.5	Liste des technologies candidates	3-9
4.	ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES	4-1
4.1	Démarche	4-1
4.2	Résultats de l'évaluation	4-6

5.	ORIENTATIONS.....	5-1
5.1	Aperçu	5-1
5.2	Le rôle des technologies à l'intérieur d'une stratégie de transport durable.....	5-1
5.3	Le rôle du gouvernement fédéral.....	5-4
5.4	Consultation d'experts.....	5-13
5.5	Consultation interne	5-14
5.6	Obstacles et opportunités.....	5-14
5.7	Critères d'évaluation approfondie.....	5-15
6.	CONCLUSIONS.....	6-1
6.1	Vision de l'avenir	6-1
6.2	Sommaire des principales conclusions, conséquences et responsabilités	6-1
6.3	Recommandations/Démarches futures	6-3

RÉFÉRENCES

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1	Composantes du développement durable	1-3
Figure 1-2	Composantes du transport durable	1-6
Figure 2-1	Passagers-kilomètres de déplacements intérieurs, 1990	2-3
Figure 2-2	Déplacements interurbains intérieurs, 1992	2-3
Figure 2-3	Passagers transportés par des transporteurs interurbains, 1960-1993	2-4
Figure 2-4	Croissance des déplacements quotidiens vers la zone métropolitaine de Toronto, 1986-1991	2-5
Figure 2-5	Nombre annuel de déplacements en transport en commun par habitant au Canada, 1950-1995	2-5
Figure 2-6	Transport interurbain de marchandises, 1993-1994	2-6
Figure 2-7	Transport de marchandises par des transporteurs domiciliés au Canada, 1980-1993	2-6
Figure 2-8	Répartition modale de l'énergie consommée pour le transport de passagers, 1994 ..	2-8
Figure 2-9	Émissions planétaires d'oxydes d'azote et d'oxydes de soufre dues à la combustion de carburants fossiles	2-14
Figure 2-10	Concentrations planétaires des gaz à effet de serre	2-14
Figure 2-11	Évolution de la température du globe, de 1850 à 1979	2-21
Figure 5-1	Efficacité énergétique des avions commerciaux : données réelles, estimations et prévisions	5-4
Figure 5-2	Évolution dans le temps de l'impact théorique de la technologie sur la consommation de ressources	5-5

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1	Évaluation sommaire de la contribution des transports aux impacts environnementaux	2-2
Tableau 2-2	Caractéristiques types des automobiles neuves en 1970, 1984 et 1994	2-10
Tableau 2-3	Principaux polluants atmosphériques dûs aux transports et sources	2-13
Tableau 2-4	Proportion de la pollution atmosphérique imputable au secteur des transports au Canada	2-15
Tableau 2-5	Évolution des émissions de CO ₂ imputables aux transports au Canada et ailleurs entre 1980 et 1993	2-17
Tableau 2-6	Classement des modes de transport selon les émissions par tonne-kilomètre	2-18
Tableau 2-7	Formes de pollution	2-19
Tableau 3-1	Catégorisation des technologies	3-3
Tableau 3-2	Catégorisation des technologies selon le mode de transport	3-5
Tableau 3-3	Exemples de technologies aptes à appuyer le transport durable	3-10
Tableau 4-1	Technologies reliées au transport routier (automobiles et camions légers)	4-2
Tableau 4-2	Technologies reliées au transport routier (poids lourds et autocars)	4-3
Tableau 4-3	Technologies reliées au transport routier (autobus urbains)	4-4
Tableau 4-4	Technologies reliées au transport aérien	4-5
Tableau 5-1	Technologies courantes et applicables à court terme menant à un accroissement de l'efficacité énergétique des véhicules lourds	5-3
Tableau 5-2	Rôle du gouvernement fédéral - Courtier en information	5-6
Tableau 5-3	Rôle du gouvernement fédéral - Courtier en commercialisation	5-7
Tableau 5-4	Rôle du gouvernement fédéral - Courtier en financement	5-8
Tableau 5-5	Rôle du gouvernement fédéral - Élaboration de normes	5-9
Tableau 5-6	Rôle du gouvernement fédéral - Pratiques d'employeur	5-10
Tableau 5-7	Rôle du gouvernement fédéral - Élaboration de politiques	5-11
Tableau 5-8	Rôle du gouvernement fédéral - Incitatifs fiscaux et financiers	5-12
Tableau 5-9	Cadre d'évaluation	5-17

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte

Les progrès rapides de la technologie qui ont marqué la période de l'après-guerre ont grandement favorisé le développement économique et le niveau de vie au Canada. Mais ce qui est moins perceptible aux yeux du public, ce sont les effets pervers des progrès techniques sur l'environnement. Cela malgré une documentation scientifique de plus en plus volumineuse faisant état des impacts considérables de la technologie sur les ressources terrestres, la flore et la faune. *Printemps silencieux*, publié par Rachel Carson en 1962, fut considéré à l'époque comme la première description populaire de ces impacts en Amérique du Nord, et a joué un rôle majeur, croit-on, dans la sensibilisation du public aux questions environnementales. Le Canada et d'autres pays du monde développé ont réagi en adoptant des lois sur la protection de l'environnement et en s'engageant dans la recherche de moyens techniques pour promouvoir la conservation de l'énergie, la lutte contre la pollution, le recyclage, etc. Des rapports comme *Halte à la croissance*, publié par le Club de Rome, ont sensibilisé encore plus le public aux enjeux environnementaux.

Beaucoup de ces travaux de recherche étaient motivés par des préoccupations économiques plutôt qu'écologiques. Ainsi, les pénuries de pétrole des années 70 ont suscité nombre d'innovations technologiques touchant la conception des véhicules et des moteurs (meilleure efficacité énergétique des moteurs, véhicules plus légers, etc.), même si, dans la même foulée, d'autres perfectionnements visaient directement la protection de l'environnement (p. ex., les convertisseurs catalytiques et l'utilisation d'essence sans plomb). À leur tour, plusieurs de ces innovations ont bénéficié de la popularisation parallèle des micro-ordinateurs et autres dispositifs de commande électronique (comme l'allumage électronique).¹

À la fin des années 80, devant des signes de plus en plus manifestes de dégradation de l'environnement, tant à l'échelle planétaire que locale, il est devenu impossible d'ignorer les agressions à l'environnement, comme celles causées par les gaz à effet de serre. *Notre avenir à tous*, rapport de la Commission Bründtland, publié en 1987 (à la rédaction duquel a grandement contribué Jim MacNeill, du Canada), tentait d'établir un lien entre la viabilité de l'économie et la viabilité de l'environnement.

En 1992, le Canada signait la *Convention cadre sur le changement climatique*, par laquelle divers pays s'engageaient à stabiliser leurs émissions de gaz à effet de serre aux niveaux de 1990, et ce, avant l'an 2000. Le *Programme national cadre sur le changement climatique* énonçait la stratégie du gouvernement fédéral et des provinces pour atteindre cet objectif, et proposait des actions qui allaient au delà de l'an 2000. Un volet important de cette stratégie consiste à promouvoir une meilleure efficacité énergétique dans tous les secteurs de l'économie canadienne. Depuis 1990, les gouvernements de tous les paliers au Canada ont mis en oeuvre ou amélioré les programmes visant à réduire les obstacles commerciaux à l'efficacité énergétique ainsi qu'à accélérer la mise au point et l'adoption de technologies offrant un meilleur rendement énergétique.^[1]

¹ Il convient de souligner que nombre des exemples cités dans *Printemps silencieux* et touchant la dégradation de la flore et de la faune au Canada émanaient de scientifiques qui -- même s'ils étaient sensibilisés aux questions environnementales -- avaient comme intérêt premier la durabilité économique de ces ressources.

1.2 Objet de la recherche

Technologies de transport durable : cadre d'action appuie l'élaboration de la stratégie de transport durable de Transports Canada. Le ministre des Transports doit déposer au Parlement, d'ici décembre 1997, sa Stratégie de développement durable (SDD), soit un ensemble d'actions qui visent tant la gestion interne du ministère que l'ensemble du secteur des transports.

MANDAT -- TECHNOLOGIES DE TRANSPORT DURABLE : CADRE D'ACTION

- ***Inventorier et catégoriser les technologies pouvant s'inscrire dans une stratégie de transport durable.***
- ***Évaluer les technologies et sélectionner celles qui seront soumises à une évaluation approfondie par Transports Canada quant à leur potentiel en tant qu'élément d'une stratégie de transport durable contribuant à la SDD du Canada.***
- ***Formuler des orientations concernant l'applicabilité des technologies sélectionnées et le rôle possible du gouvernement fédéral dans le soutien de ces technologies.***
- ***Élaborer des critères pratiques pertinents pour l'évaluation subséquente du potentiel des technologies retenues.***

L'objet de la présente recherche peut être décrit globalement par la citation suivante :

Le concept de durabilité relie entre eux de multiples objectifs touchant l'économie, l'environnement, la société et l'énergie, qui ont une incidence sur les transports et sont influencés par eux. Quelles sont les nouvelles technologies les plus susceptibles d'assurer la mobilité au meilleur coût avec le minimum d'inconvénients pour les usagers, et comment les politiques gouvernementales peuvent-elles le mieux favoriser leur commercialisation?^[2]

1.3 Définition d'une technologie de transport durable

Depuis que la Commission Bründtland a proposé le concept de *développement durable* en 1987, d'innombrables tentatives ont été faites pour trouver des moyens d'atteindre cet objectif, tant dans les transports que dans les autres sphères de l'activité humaine. Il convient donc, d'entrée de jeu, de définir ce que l'on entend par *technologie de transport durable* et de cerner le rôle de la technologie

dans la poursuite des objectifs de transport et de développement durables. Ce faisant, on verra que la définition de «durabilité» dépend beaucoup de la perspective adoptée. Ce qui nous importe ici, c'est d'élaborer des définitions utiles qui puissent éclairer notre propos.

Tout d'abord, qu'est-ce qu'une technologie de transport durable? La définition utilisée aux fins de cette recherche est celle du Centre de développement des transports (CDT)^[3], adaptée par le groupe d'experts réunis dans le cadre d'un atelier sur le transport durable (voir le paragraphe 5.4).

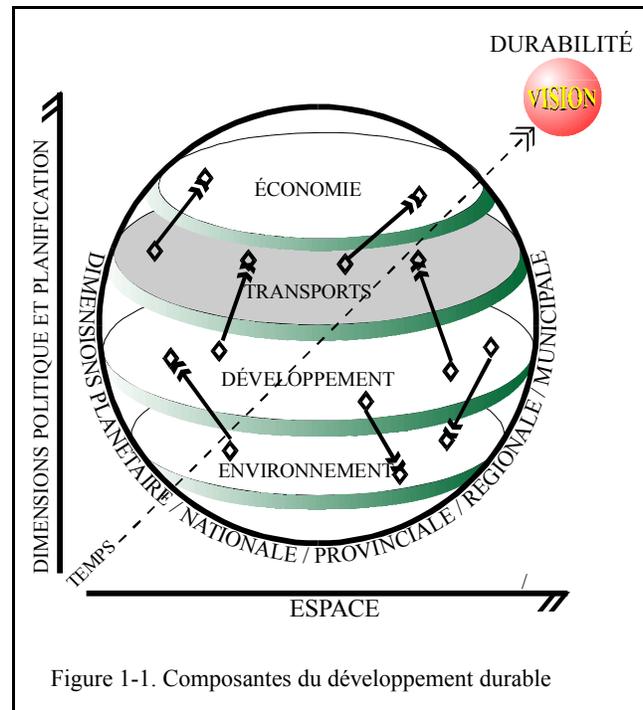
TECHNOLOGIE DE TRANSPORT DURABLE

Technologie qui permet de réduire la consommation des modes de transport fondés sur l'utilisation de ressources non renouvelables, et dont la mise en oeuvre appuie les objectifs de sécurité, d'économie et d'accessibilité, ainsi que les valeurs de la société.

Les technologies de transport durable sont des composantes importantes du transport durable, lequel à son tour est un élément majeur d'une stratégie globale de développement durable.

La technologie en soi n'est pas une panacée. Mais même si elle ne permet pas d'atteindre tous les buts poursuivis par une société, elle peut la rapprocher de ses objectifs de développement durable.

La figure 1-1 montre que les composantes du développement durable -- l'activité économique, les transports, l'environnement, etc. -- sont interreliées, même si les transports résultent plutôt des autres activités humaines. Il s'ensuit que le succès d'une stratégie de développement durable ne va pas sans le succès d'une stratégie de transport durable, et que pour être viable, une stratégie de développement durable doit intégrer toutes les stratégies qui la composent.



L'encadré ci-dessous propose une définition du développement durable :

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Le développement durable s'entend d'un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.^[4]

Le rôle du transport durable dans le développement durable est l'objet du *Cadre national d'action pour le transport durable* de Transports Canada, qui définit l'objectif du transport durable comme suit :

TRANSPORT DURABLE

Soutenir l'évolution du développement durable par la prestation et l'utilisation de services de transport sûrs, efficaces, efficients et abordables, établis instaurés et exploités d'une manière qui réduit au minimum les effets du transport sur l'environnement.^[5]

En filigrane du transport durable est inscrite la nécessité de satisfaire les objectifs de durabilité tout en assurant la *mobilité de base*. Il faut comprendre par là qu'il s'agit non seulement de diminuer la redondance du réseau des transports (p. ex., en favorisant une utilisation plus efficace de l'infrastructure existante, par le covoiturage et l'application du principe de l'utilisateur-payeur, etc.) mais aussi de combler les failles du réseau pour qu'il se présente comme un «continuum» (p. ex., en ce qui a trait à la sécurité et à l'accessibilité). Le concept de transport durable établit en outre une distinction entre les effets locaux et planétaires des activités de transport, qu'on pense notamment aux polluants atmosphériques.^[6]

Une vision du transport durable doit s'appuyer sur un ensemble de politiques, qui doivent viser à minimiser les impacts environnementaux des transports, par la prévention de la pollution, la conservation de l'énergie, la gestion des déchets et la préservation de la biodiversité :

L'élaboration de politiques de transport durable suppose à la base trois principes essentiels. Premièrement, les émissions de polluants atmosphériques dus aux transports doivent être limitées à des niveaux qui ne menacent pas la santé humaine.

Deuxièmement, la consommation des ressources énergétiques non renouvelables doit être rationalisée, non seulement pour parer à leur épuisement, mais aussi pour que leur coût demeure raisonnable, de façon que les dépenses associées au transport ne rendent

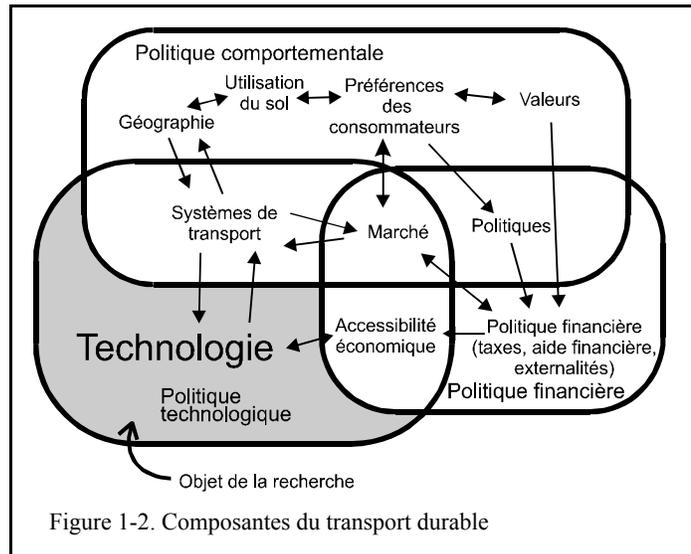
pas celui-ci inabordable. Troisièmement, les politiques sur l'utilisation du sol doivent faire en sorte de mettre fin à la congestion routière.^[7]

Les politiques de transport durable peuvent être regroupées en trois catégories, selon qu'elles visent :^[8]

1. **Les politiques comportementales**, qui visent la façon dont les voyageurs et les fournisseurs de services de transport «consomment» les services de transport et les ressources connexes. Les politiques comportementales proposent de modifier ces habitudes de consommation pour les rendre davantage conformes aux principes de durabilité. Par exemple, dans la région de York (située dans la zone métropolitaine de Toronto), l'élargissement d'une voie de circulation au delà de quatre voies n'est autorisé que pour la mise en place d'une voie réservée aux véhicules à taux d'occupation élevé. On hausse ainsi le «débit» (la mobilité) des personnes plutôt que des véhicules. Voici un autre exemple pertinent : l'utilisation des ordinateurs pour le télétravail, qui réduit les déplacements.
2. **Les politiques financières**, qui ont un effet régulateur sur la consommation des services de transport et des ressources connexes, et qui établissent le mode de tarification de ces services. À titre d'exemple, citons la mise en place, dans les zones urbaines, de tarifications fondées sur la notion de l'utilisateur-payeur, qui, pour peu qu'elles soient judicieusement appliquées, peuvent à tout le moins compenser les déséconomies externes occasionnées par la pollution, la consommation des ressources, etc., quand elles ne convainquent pas les automobilistes de se tourner vers des modes de transport plus écologiques. Autre exemple, le financement de la recherche-développement en technologies de transport durable.
3. **Les politiques technologiques**, axées sur les moyens et les innovations technologiques susceptibles d'appuyer les politiques de transport durable, et qui sont l'objet de *Technologies de transport durable : cadre d'action*. Cette catégorie ne comprend pas les systèmes de transport, ni les facteurs comportementaux qui poussent une personne à choisir un moyen de transport plutôt qu'un autre. Ces facteurs sont plutôt abordés dans la première catégorie ci-dessus (politiques comportementales).

Les trois catégories de politiques sont interreliées, comme le montre la figure 1-2. On voit en effet que les trois groupes se recoupent dans le «marché» qui, pour les besoins de la recherche, peut être défini comme le lieu de la mise en oeuvre de mesures précises par les voyageurs et les fournisseurs de services de transport. Il importe de noter que la mise en oeuvre d'actions propices au transport durable nécessite l'action concertée des trois catégories de politiques.

La figure 1-2 illustre également comment divers facteurs influencent les relations entre les trois types de politiques. Par exemple, les valeurs des consommateurs (comme le fait de consentir à payer pour les technologies de transport durable) ont un rôle déterminant sur les politiques financières (p. ex., la nécessité de puiser dans les fonds publics pour subventionner une technologie), lesquelles contribuent à leur tour à définir l'accessibilité économique d'une technologie et ses attributs (p. ex., ses caractéristiques techniques et ses applications). On peut en outre constater que nombre de relations sont bidirectionnelles.



Règle générale, le terme *technologie* se rapporte à une machine ou un procédé mécanique qui réalise certaines fonctions. On peut définir comme suit les fonctions et attributs des *technologies de transport durable* :

Progrès technologiques [qui] peuvent grandement influencer sur l'efficacité avec laquelle les ressources sont utilisées, sur la mesure dans laquelle les ressources non renouvelables peuvent être recyclées, sur le niveau des rendements durables et sur la disponibilité des machines et des procédés non polluants.^[9]

Des technologies ... capables d'atténuer de façon substantielle les risques pour l'environnement, grâce à des percées techniques importantes.^[10]

À certains égards, il est déjà possible de réduire de façon importante les répercussions du transport sur l'environnement en accélérant la diffusion des technologies d'application optimale (dites *best practice technologies*); l'attention portée à ces technologies devrait d'ailleurs constituer un volet important des politiques technologiques. On peut envisager d'autres progrès techniques pour réduire les effets nocifs des transports sur l'environnement. Mais il existe suffisamment de domaines au potentiel technologique tellement incertain, ou dans lesquels les progrès technologiques nécessaires ne sont prévisibles qu'à si long terme, que l'on ne peut se contenter d'une politique uniquement axée sur le soutien à la recherche-développement. Ce dont on aura besoin, c'est d'une appréciation minutieuse des échelles temporelles et des équilibres à réaliser, et d'une stratégie nantie de toute une gamme d'instruments par lesquels nous pourrions non seulement obtenir la meilleure technologie possible, et le meilleur de cette technologie, mais régir l'utilisation de notre technologie de façon à empêcher l'environnement de se

dégrader irrémédiablement avant que nous découvriions le remède technologique qui viendra probablement trop tard.^[11]

À noter que tout au long de la présente étude, on distinguera «technologie» de «système». Un système est la combinaison de deux technologies, ou d'une technologie avec un facteur extérieur. Par exemple, une technologie serait le véhicule utilisé pour transporter des personnes ou des biens, tandis que le système engloberait le véhicule et son infrastructure.

1.4 Démarche

La recherche a nécessité un inventaire et une synthèse systématiques d'une vaste documentation traitant des technologies se rapportant précisément au transport durable, laquelle avait été extraite d'un corpus plus large traitant du développement durable. Cette recherche documentaire visait, sans y être limitée, les technologies récentes (années 90) touchant tous les modes de transport (urbain et interurbain, marchandises et passagers).

Outre la bibliothèque de Delcan, les sources suivantes ont été consultées :

- Centre de développement des transports (CDT), Montréal
- Bibliothèque de Transports Canada, Ottawa
- ICIST (Institut canadien de l'information scientifique et technique), Ottawa
- Bibliothèque de l'Association des transports du Canada, Ottawa
- Principales bases de données d'Amérique du Nord et d'Europe

La recherche a porté avant tout sur des documents de langue anglaise, mais des documents pertinents publiés dans d'autres langues ont également été consultés.

En outre, une recherche effectuée sur le réseau Internet a surtout abouti à des produits et des innovations, mais elle a aussi mené à des spécialistes de la R&D en technologies de transport durable. Cette information est l'objet d'un rapport distinct soumis au CDT.

Le chapitre 2 aborde le contexte dans lequel s'inscrit la recherche. On y reconnaît que le potentiel d'une technologie d'atteindre des objectifs de transport durable dépend non seulement de ses attributs intrinsèques, mais aussi de la façon dont elle est appliquée. On y constate que les modes de transport les plus utilisés sont ceux auxquels on impute le plus d'effets nocifs sur l'environnement, et que ceux-ci sont principalement le transport routier (automobiles, camions légers, poids lourds, autobus urbains et autocars), suivi par le transport aérien. On peut en conclure que les technologies qui seront les plus efficaces pour atténuer les effets nocifs des transports sur l'environnement sont celles qui s'appliqueront à ces moyens de transport.

Le chapitre 3 contient l'un des principaux produits de cette recherche : une liste descriptive des technologies de transport durable candidates. La recherche documentaire a d'abord permis de recenser plus de 100 technologies. Pour offrir un outil de référence plus pratique aux fins de la recherche et pour le CDT, celles-ci ont été regroupées en cinq catégories, par mode de transport.

On trouve cette catégorisation au chapitre 3. La description détaillée de chaque technologie complète le présent rapport. Une bibliographie est jointe au rapport distinct mentionné ci-dessus.

Le second produit est une évaluation de la capacité des technologies d'atténuer les répercussions nocives des transports sur l'environnement. Le chapitre 4 est consacré à cette question : à partir des données du chapitre 2 sur l'utilisation et les impacts environnementaux des divers modes de transport, on se concentre sur les technologies applicables au transport routier et au transport aérien. Les technologies présentant le meilleur potentiel sont ensuite retenues à titre de technologies candidates. Ce chapitre établit en outre des critères pour une évaluation approfondie, par le CDT, de chaque technologie retenue. Le chapitre 5 expose les incidences liées aux résultats, les facteurs en jeu, ainsi que les obstacles et les opportunités associés à l'utilisation des technologies retenues pour la mise en oeuvre de stratégies de transport durable au Canada. Au chapitre 6, le rapport se termine sur une vision d'un avenir auquel auront été intégrées les technologies de transport durable et sur un résumé des principales conclusions de la recherche.

2. CONTEXTE DE LA RECHERCHE

2.1 Aperçu de la contribution des transports aux impacts environnementaux

Le présent chapitre établit des liens entre l'utilisation de chaque grand mode de transport au Canada et les impacts de cette utilisation sur la consommation de ressources (intrants) et les atteintes à l'environnement (extrants). Le paragraphe 2.2 présente la répartition modale de la demande de transport, et le paragraphe 2.3, les impacts de chacun des modes de transport sur l'environnement et sur la consommation de ressources. Ces deux profils conjugués donnent une mesure d'efficacité, car -- toutes choses étant égales par ailleurs -- une technologie de transport durable sera d'autant plus efficace qu'elle suscitera la plus forte utilisation et/ou qu'elle générera les plus grands avantages pour l'environnement. À l'inverse, il pourrait s'avérer futile de s'intéresser à une technologie qui viserait un mode de transport peu utilisé ou qui a peu d'effets nocifs sur l'environnement. Ces données servent de base à l'évaluation des technologies (voir le chapitre 4).

Le tableau 2-1 reprend, sur le mode synoptique, les données des paragraphes 2.2 et 2.3. Il donne une appréciation qualitative de l'utilisation des modes de transport et des impacts environnementaux qu'ils provoquent. Au Canada, le transport routier -- voitures, camions, autocars -- arrive en tête des modes de transport, tant au chapitre de l'utilisation que des répercussions sur l'environnement. Le transport aérien arrive au deuxième rang pour son importance et ses impacts, tandis que le transport maritime et le transport ferroviaire affichent une demande et des impacts environnementaux minimes, comparativement au transport routier. La sélection des technologies candidates, au chapitre 4, a été faite à partir des données du tableau 2-1, le but étant de ne pas rater la cible, c'est-à-dire de viser les technologies susceptibles de jouer le plus en faveur des objectifs de transport durable.

2.2 Répartition modale des activités de transport

Beaucoup des travaux réalisés jusqu'à maintenant sur le transport durable portaient sur le transport urbain (par opposition au transport interurbain). Mais au Canada, la responsabilité du transport urbain et du transport interurbain est partagée entre trois paliers de gouvernement. Celle du gouvernement fédéral s'exerce principalement dans les secteurs aérien, maritime et ferroviaire du transport interprovincial et international, et à l'égard des ponts et des routes qui lui appartiennent. Il en résulte une diversité de sources d'information concernant l'utilisation relative des divers modes de transport, et des trous dans l'information disponible. Qui plus est, une grande partie de cette information est fondée sur des estimations établies selon des degrés de précision et des méthodes hétérogènes, choisis en fonction d'objectifs divers. Malgré ces réserves, *Transportation in Canada: A Statistical Overview* (ACT, 1995) a constitué une précieuse source de données pour le résumé ci-après.²

² À moins d'indication contraire, les données et les figures présentées dans les alinéas 2.2.1 et 2.2.2 sont tirées de Nix, F.P., *Transportation in Canada: A Statistical Overview*, Association canadienne des transports, Ottawa, 1995, pages 4-7.

TABLEAU 2-1. ÉVALUATION SOMMAIRE DE LA CONTRIBUTION DES TRANSPORTS AUX IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

MODE DE TRANSPORT	PART DU MODE AU CANADA	ÉVOLUTION DE L'UTILISATION		IMPACTS			
		AU CANADA	DANS LE MONDE	CONSOMMATION D'ÉNERGIE NON RENOUVELABLE *	CONSOMMATION D'AUTRES RESSOURCES **	POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE †	AUTRES IMPACTS ††
Aérien (interurbain)	Élevée	Croissance rapide	Croissance rapide	Élevée	Faible	Modérée	Modérés
Ferroviaire - passagers (interurbain)	Faible	Décroissance	Croissance lente	Faible	Faible	Faible	Faibles
Ferroviaire - marchandises (interurbain)	Élevée	Décroissance	Stable	Faible	Faible	Faible	Faibles
Maritime - marchandises (international)	Faible	Croissance	Croissance	Faible	Faible	Faible	Faibles
Routier - voitures/camions légers	Élevée	Croissance stable	Croissance très rapide	Élevée	Élevée	Élevée	Élevés
Routier - poids lourds	Élevée	Croissance rapide	Croissance rapide	Modérée à élevée	Faible	Modérée	Modérés
Routier - interurbain (autocars)	Faible	Décroissance	Stable	Faible	Faible	Modérée	Modérés
Transport urbain - autobus	Modérée	Stable	Croissance lente	Faible	Faible	Modérée	Modérés
Transport urbain - transport rapide	Modérée	Stable	Croissance lente	Faible	Faible	Faible	Faibles

Les cellules ombragées indiquent des impacts *croissants* ou encore *modérés* ou *élevés*.

* Les sources d'énergie non renouvelables comprennent tous les carburants fossiles à base de pétrole.

** Par «autres ressources», on doit comprendre celles qui ont trait au véhicule comme tel (p. ex., matériaux), les besoins d'espace (p. ex., terrain) et la réparation et l'entretien du véhicule pendant sa durée de vie (p. ex., déchets).

† Les polluants atmosphériques comprennent le CO, le CO₂, les NO_x, le SO₂, le plomb, les hydrocarbures, les particules et les composés organiques volatils (à noter que l'essence au plomb n'est plus vendue au Canada mais qu'elle l'est encore dans d'autres pays).

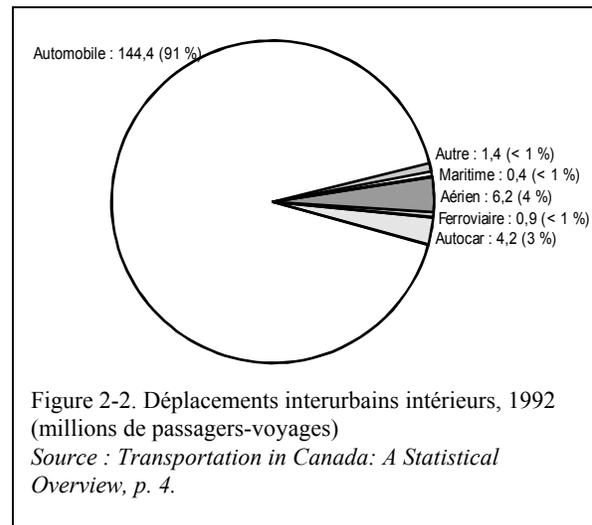
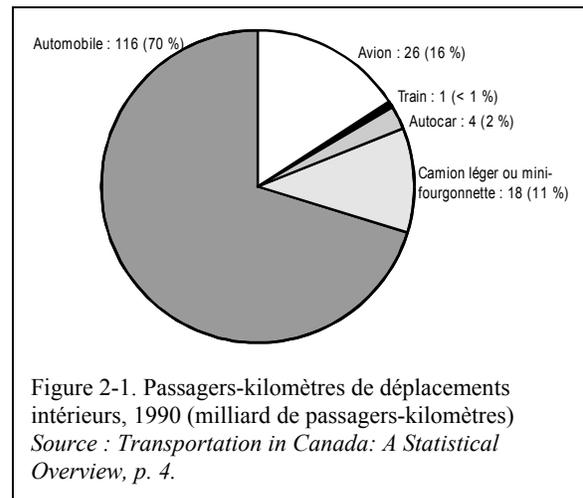
†† Parmi les autres impacts figurent les problèmes de santé, les accidents de la circulation, le bruit, les vibrations, les pluies acides et le réchauffement climatique.

Le tableau établit une distinction entre le transport de passagers et le transport de marchandises, reflétant en cela les données disponibles. Lorsque c'était possible, des distinctions ont aussi été faites entre le transport urbain et le transport interurbain. **Dans l'ensemble, ce tableau donne un aperçu de la situation vue sous différentes perspectives, selon des sources de données qui ne sont pas toujours compatibles.**

2.2.1 Transport de passagers

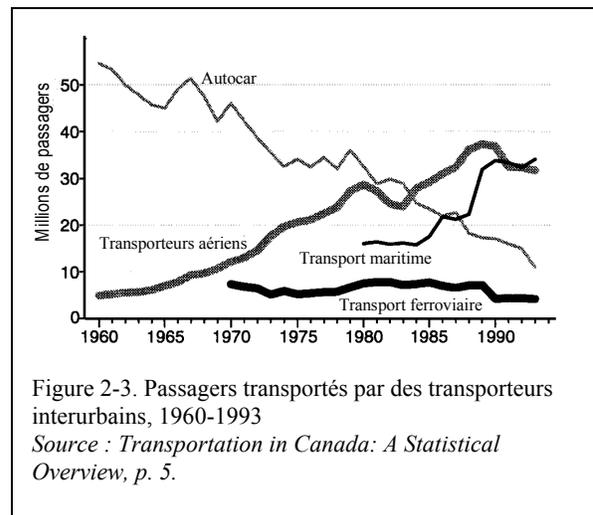
L'automobile est le moyen de transport interurbain de passagers le plus important au Canada, l'avion suivant loin derrière. Cette suprématie peut se mesurer de deux façons :

- Les *passagers-kilomètres*, une unité de mesure équivalant au déplacement d'un passager sur une distance d'un kilomètre. La figure 2-1 montre qu'en 1990, la voiture comptait pour environ 70 p. 100 de tous les passagers-kilomètres au Canada. Cette proportion grimpe à 81 p. 100 lorsqu'on inclut les camions légers (mini-fourgonnettes, camionnettes, etc.). Le transport aérien arrivait au deuxième rang des modes de transport, mais avec seulement 16 p. 100 des passagers-kilomètres de déplacements intérieurs. L'autocar et le rail combinés comptaient pour les 3 p. 100 restants.
- Les *trajets totaux*, ou le nombre absolu de déplacements interurbains. Selon la figure 2-2, en 1992, les Canadiens ont effectué 158 millions de déplacements intérieurs interurbains (trajets simples). L'automobile (y compris les mini-fourgonnettes et les camionnettes) a été utilisée pour 92 p. 100 de ces déplacements, ce qui en fait le mode de transport de loin le plus utilisé. Le transport aérien n'a compté que pour 4 p. 100 du total des trajets, le reste se répartissant entre les autres modes de transport.



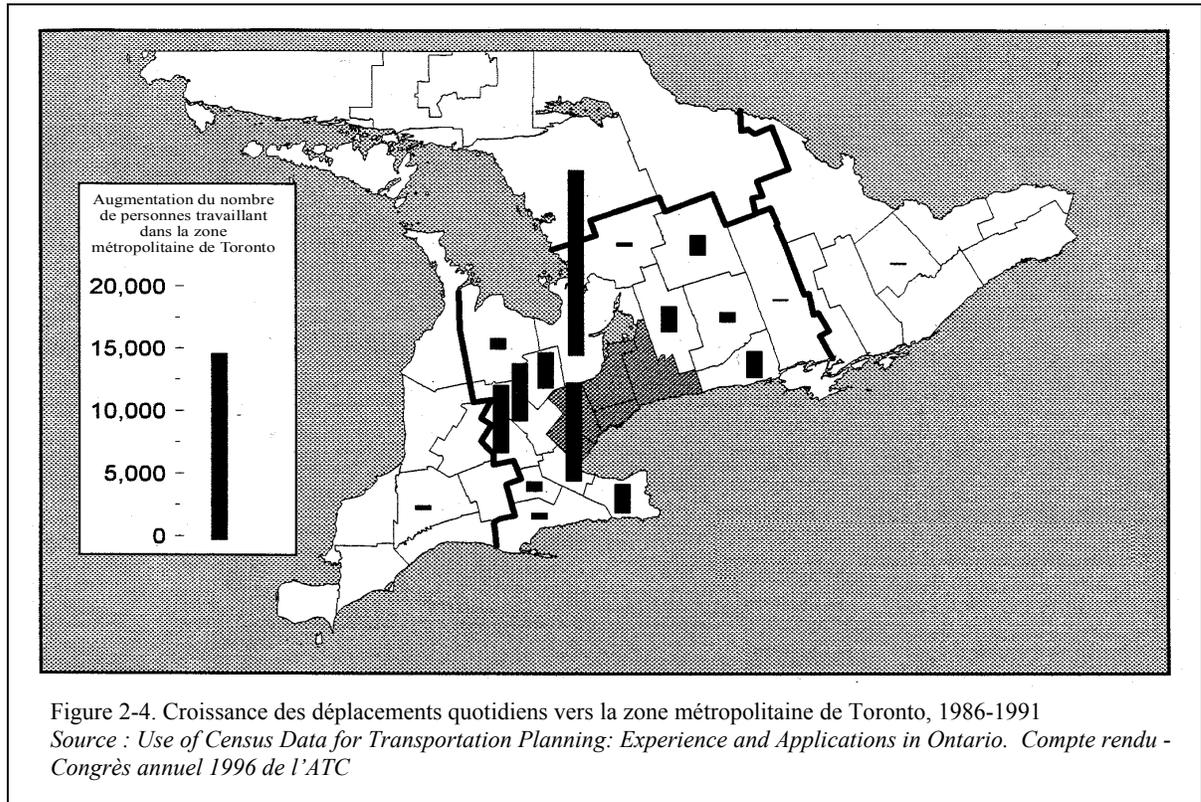
Les déplacements interurbains à l'intérieur du Canada étaient en hausse, comme l'indiquent les chiffres de la Commission royale sur le transport des voyageurs au Canada, qui font état d'une augmentation annuelle moyenne de 1,9 p. 100 par habitant, entre 1960 et 1990, du nombre de passagers-kilomètres de déplacements interurbains intérieurs. En 1990, le Canadien moyen a effectué plus de 6 000 kilomètres de trajets interurbains intérieurs, en comparaison de 3 500 kilomètres en 1960.

Nul doute que l'automobile continuera de dominer les autres moyens de transport (qu'il suffise de mentionner l'augmentation annuelle de 2,3 p. 100 du nombre d'automobiles immatriculées, entre 1983 et 1993, taux qui dépasse le taux de croissance de la population canadienne). Mais de tous les modes de transport utilisés pour les déplacements interurbains, c'est le transport aérien qui a connu la croissance la plus forte : de 1960 à 1990, le total des passagers-kilomètres de déplacements intérieurs par avion a augmenté de 7,7 p. 100 par année. La figure 2-3 illustre la place croissante (mesurée en millions de passagers transportés) du transport aérien parmi les modes de transport «contre rémunération» (avion, autocar, bateau, train); on y constate en outre le déclin brutal de la part du transport par autocar, et la stagnation du transport ferroviaire.³



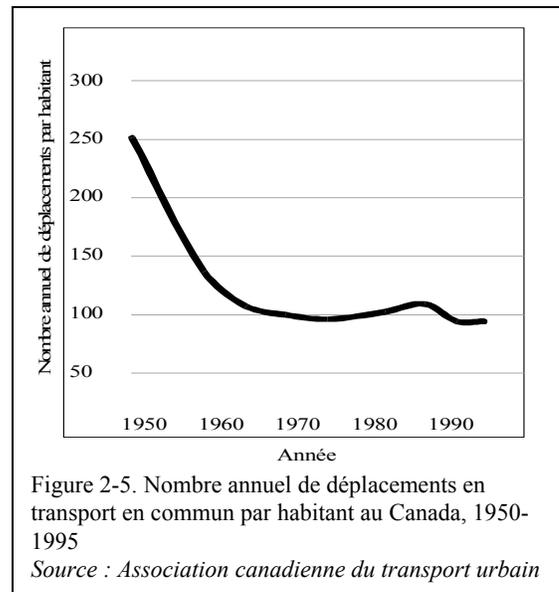
Les données ci-dessus sur le transport interurbain n'incluent pas les déplacements urbains et ne tiennent pas toujours compte de la croissance des villes-dortoirs, qui englobent maintenant des localités rurales autrefois isolées. Ainsi, les trajets de moins de 80 km (distance aller) ou les déplacements quotidiens vers ou depuis le travail ou l'école ne sont pas compris dans le nombre total de trajets indiqué à la figure 2-2. Mais on peut penser que ce type de déplacements aura de plus en plus d'importance dans l'avenir. Au cours des années 1980, c'est dans les zones rurales et semi-rurales que la population a crû le plus rapidement aux États-Unis.^[12] Au Canada, ce phénomène se manifeste par la hausse constante du nombre de personnes qui occupent un emploi dans la zone métropolitaine de Toronto et qui sont domiciliées dans des localités périphériques du centre-sud de l'Ontario (voir la figure 2-4). Ces travailleurs acceptent de parcourir de grandes distances pour jouir à la fois de la qualité de vie associée aux zones rurales ou semi-rurales et de la diversité d'emplois que seuls les grands centres urbains peuvent offrir.^[13] Il existe peu de données sur le mode de transport utilisé pour ces déplacements autrefois assimilés au transport urbain; mais tout indique qu'ici comme ailleurs, l'automobile prédomine.

³ Les données de la figure 2-3 concernant le transport maritime contiennent certaines incohérences et ne peuvent donc être comparées telles quelles avec les données sur les autres modes de transport.



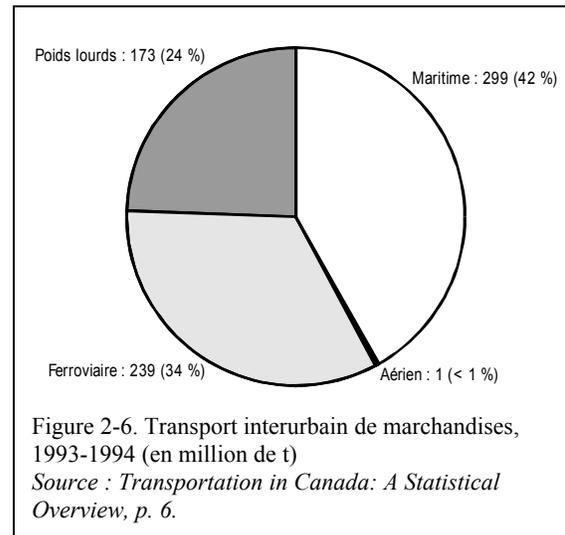
Ces tendances, conjuguées à la migration progressive des emplois et des personnes vers les banlieues, et à l'accessibilité accrue des ménages à l'automobile, ont contribué à l'augmentation des déplacements urbains par automobile.

Le transport en commun -- l'autre moyen de se déplacer en ville -- occupe encore une place importante dans le créneau des déplacements urbains au Canada, mais le nombre des usagers a décliné brutalement après la Deuxième Guerre mondiale. Ce déclin a toutefois connu un répit, ces dernières années, comme l'illustre la figure 2-5, qui donne le nombre annuel de déplacements en transport en commun par habitant, de 1950 à 1995.

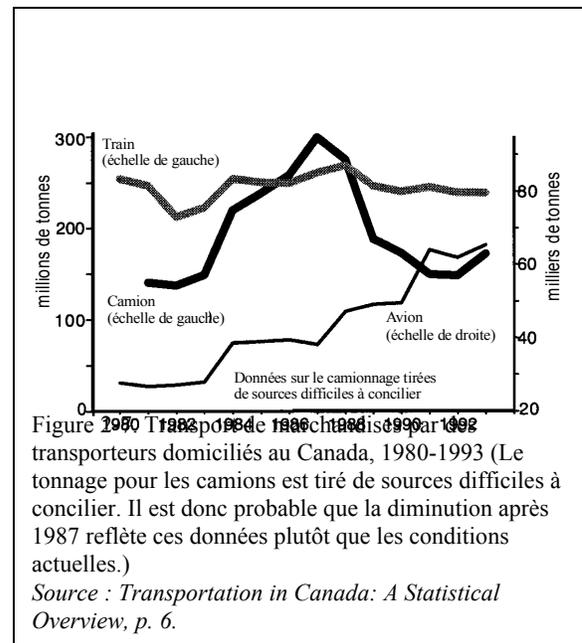


2.2.2 Transport de marchandises

Le transport ferroviaire et le camionnage constituent les modes de transport privilégiés pour l'expédition interurbaine de marchandises à l'intérieur du Canada, tandis que le transport maritime domine les expéditions extérieures de marchandises. Si on additionne les mouvements intérieurs et extérieurs de marchandises (en tonnes transportées), on constate qu'en 1993-1994 (voir la figure 2-6), 42 p. 100 ont été convoyées par eau, 34 p. 100 par train et 24 p. 100 par camion. Ces chiffres doivent toutefois être interprétés avec prudence, car ils ne comprennent pas les mouvements de marchandises effectués par les mini-fourgonnettes, les camionnettes, les voitures, les services de messagerie et les autocars. En outre, comme aucune catégorie distincte n'a été prévue pour les mouvements multimodaux, la même marchandise a pu être comptée deux fois si elle a été transportée par camion et par train, par exemple. Enfin, la figure 2-6 ne rend pas compte du transport de gaz et de pétrole par pipeline; or, en tonnage total, le transport par pipeline est presque aussi important que le transport ferroviaire ou le camionnage (123 millions de mètres cubes, soit l'équivalent de 200 millions de tonnes).



Il est également intéressant d'observer l'évolution dans le temps de la part relative de chaque mode de transport. La figure 2-7 montre que la part du rail, établie selon le tonnage transporté, est demeurée stable entre 1980 et 1993, tandis que celle du camionnage, malgré d'importantes fluctuations, affiche une tendance à la hausse. Il convient de noter que la part du camionnage est probablement sous-estimée, car il n'est tenu compte ici que des activités de camionnage pour compte d'autrui (par opposition aux services de transport internes des entreprises), réalisées par des transporteurs établis au Canada. Il est donc probable que la diminution apparente de la part du camionnage après 1987 ne reflète pas une véritable tendance, mais tient plutôt à des incohérences dans la manière de colliger les données. La part du transport aérien de marchandises croît régulièrement, même si elle représente moins de 1 p. 100 de l'ensemble du trafic interurbain de marchandises.



Les données sur les mouvements urbains de marchandises ne sont pas colligées systématiquement; l'information disponible indique toutefois que les mouvements par camion prédominent, et que les camions comptent pour une proportion importante des véhicules circulant en ville. Ainsi, une étude réalisée à Ottawa-Hull en 1991 révélait plus de 150 000 déplacements quotidiens de camions, comparativement à plus de 1 350 000 déplacements de véhicules privés. Mais le nombre de camions sur les routes croissait à un rythme plus rapide que celui des voitures. L'étude a également montré que la congestion routière entraîne un allongement du temps de déplacement, et, partant, une perte de productivité, ainsi que des coûts supplémentaires, qui sont directement imputés au consommateur. On a évalué ces coûts à 50 millions de dollars par année. Étant donné le grand nombre (12 par jour) et la faible distance (10 km) de ces déplacements, on dispose de peu de données sur le tonnage des marchandises transportées. Mais comme beaucoup des marchandises qui circulent dans les villes sont en provenance ou à destination d'une autre ville, la figure 2-6 donne une idée partielle seulement de la réalité.^[14]

2.3 Impacts des modes de transport sur la durabilité

La présente section décrit les impacts des divers modes de transport sur la consommation d'énergie non renouvelable et d'autres ressources (alinéas 2.3.1 et 2.3.2 respectivement), et leur rôle en tant qu'agents de pollution atmosphérique et d'autres effets néfastes (alinéas 2.3.3 et 2.3.4 respectivement). Encore une fois, la présente discussion porte sur des données puisées à différentes sources, donc parfois difficiles à concilier, et sur des estimations fondées sur différentes méthodes, selon l'objectif visé.

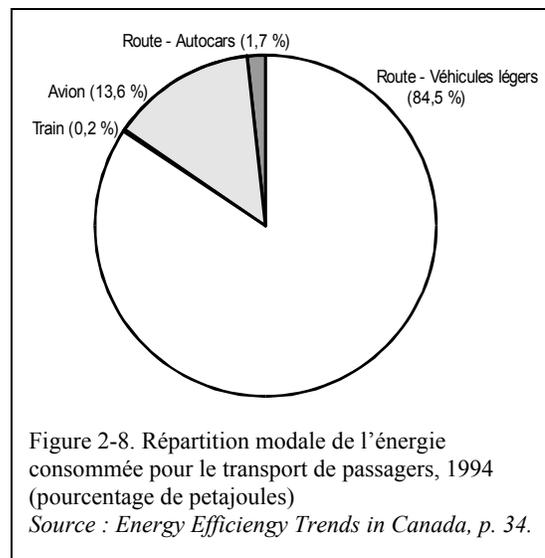
2.3.1 Consommation d'énergie non renouvelable

Quelques statistiques simples révèlent l'importance des transports dans la consommation de carburants non renouvelables à base de pétrole. **Étant donné les écarts entre les sources de données originales, l'information ci-après est communiquée à titre indicatif seulement.**^[15]

- En 1994, **les transports comptaient pour 27 à 30 p. 100 de l'énergie secondaire consommée au Canada** (l'énergie primaire étant l'énergie utilisée pour produire l'énergie secondaire consommée dans l'industrie, les transports, etc.; par exemple, l'énergie utilisée pour extraire et raffiner le pétrole est une énergie primaire, tandis que l'essence dérivée du pétrole est une énergie secondaire, utilisée pour propulser les automobiles).⁴
- Ce pourcentage est en gros équivalent à celui de 1984.

⁴ L'intervalle tient à des «trous» dans les données colligées, selon les sources (aucune donnée n'a été obtenue, par exemple, pour le transport aérien non commercial et le transport maritime de marchandises).

- Mais si on mesure l'évolution de 1984 à 1994 sous l'angle de la hausse de la demande de transport et de l'accroissement de la part du transport routier et du transport aérien dans l'ensemble du secteur des transports, **on obtient plutôt une augmentation de 33 p. 100 de la consommation d'énergie secondaire**. Toutefois, la moitié de cette augmentation a été compensée par la hausse considérable de l'efficacité énergétique des véhicules (c.-à-d. par le remplacement graduel des véhicules par des véhicules améliorés).
- Donc, l'**augmentation nette de la consommation d'énergie secondaire** a atteint 16 p. 100 sur 10 ans. Cette augmentation, et les facteurs qui la sous-tendent, coïncide généralement avec l'augmentation nette de 15 p. 100 de la consommation totale d'énergie secondaire.
- **Le transport de passagers compte pour 65 p. 100 de la consommation énergétique imputable aux transports** (le reste étant imputable au transport de marchandises), et pour plus de 17 p. 100 de l'énergie secondaire consommée, tous secteurs d'activité confondus (le transport de marchandises comptant pour 9 p. 100).
- **Près de 40 p. 100 de la hausse globale de la consommation d'énergie dans le secteur du transport de marchandises est attribuable au déplacement de la demande d'un mode à un autre**, plutôt qu'à la croissance de la demande; à l'inverse, le déplacement de la demande explique seulement 1 p. 100 de la hausse de la consommation d'énergie dans le secteur du transport de passagers. Le déclin du transport ferroviaire de marchandises au profit du camionnage est le facteur déterminant de cette hausse.
- **Le transport routier arrive au premier rang des modes de transport pour l'énergie consommée aux fins du transport de passagers** (voir la figure 2-8). Près de 85 p. 100 de l'énergie utilisée pour le transport de personnes a été consommée par des voitures, des mini-fourgonnettes, des camionnettes, des motocyclettes et d'autres véhicules personnels, laissant 1,5 p. 100 aux autocars. Presque tout le reste de la consommation d'énergie est imputable au transport aérien, le transport ferroviaire comptant pour 0,2 p. 100 de la consommation totale. Ces pourcentages correspondent généralement aux pourcentages de passagers-kilomètres selon le mode de transport (voir la figure 2-1).
- **L'essence automobile représentait 82 p. 100 du carburant consommé pour le transport de passagers** en 1994; les autres carburants étaient le carburant diesel (3 p. 100) et les carburateurs (14 p. 100), les carburants de substitution (comme l'alcool-essence) comptant pour moins de 2 p. 100 globalement. Ces pourcentages n'ont pas beaucoup changé depuis



1984, pas plus que la répartition de la consommation d'énergie selon le mode de transport (véhicules personnels, autobus, trains et avions).⁵

- **L'augmentation de la demande de transport, comme il a été mentionné plus tôt, est largement attribuable à la croissance annuelle de 3,6 p. 100 de l'utilisation des véhicules personnels.** Parmi les facteurs à l'origine de ce phénomène, mentionnons l'augmentation du nombre des ménages et du revenu des ménages, facteurs qui se sont conjugués pour rendre les véhicules personnels davantage accessibles. Les déplacements personnels ont également augmenté, comme l'indique l'accroissement de 1,7 p. 100 par année des distances parcourues.⁶
- Un des facteurs déterminants de l'utilisation des véhicules personnels est le coût du carburant par rapport aux dépenses liées à l'utilisation du véhicule. En 10 ans, **les dépenses liées à l'utilisation du véhicule sont demeurées quasi constantes**, tandis que le **prix de l'essence a diminué de près de 25 p. 100** (coûts mesurés en prix réels).
- De plus, **la consommation moyenne des véhicules neufs** (litres d'essence consommés par 100 km) **est demeurée relativement stable** de 1984 à 1994, tant celle des petites voitures, des grosses voitures et des camions légers (y compris les mini-fourgonnettes et les camionnettes). Par comparaison, on avait enregistré un accroissement important de l'efficacité énergétique des véhicules de 1970 à 1984, soit une diminution de la consommation de carburant de 2,2 p. 100, de 3,7 p. 100 et de 3,7 p. 100, respectivement. C'est que les grandes percées technologiques à l'origine d'une meilleure efficacité énergétique -- qui touchent notamment l'allègement des véhicules, leurs caractéristiques aérodynamiques, les performances du moteur et de la transmission -- ont eu lieu avant 1984, dans la foulée de la crise énergétique des années 70. Le tableau 2-2 résume cette évolution au fil des ans. On peut voir que la tendance aux véhicules plus puissants et plus lourds, qui se dessine depuis 1984, a partiellement annulé les effets de certaines des innovations technologiques antérieures, malgré le recours accru aux micro-ordinateurs et aux dispositifs de commande électronique.

⁵ La source n'explique pas pourquoi les carburants de substitution continuent d'être si peu utilisés, malgré leur faisabilité technique et leur commodité. On peut émettre des hypothèses, comme la disponibilité relative des carburants conventionnels (ce qui donne l'impression qu'il n'y a pas nécessité d'économiser ces carburants, comme c'était le cas lors des pénuries d'essence aux É.-U. dans les années 70), le coût relativement faible des carburants conventionnels au Canada, par rapport aux autres pays, la rareté des réseaux de distribution de carburants de substitution, la méconnaissance des avantages associés aux carburants de substitution, et l'absence de mesures incitatives destinées à rendre les carburants de substitution avantageux financièrement.

⁶ Ces taux de croissance, cités dans *Évolution de l'efficacité énergétique au Canada*, sont établis à partir des résultats d'enquêtes de Statistique Canada sur l'utilisation des véhicules. Des données plus détaillées sur la mobilité des personnes pourraient être obtenues à partir des nombreuses enquêtes origine-destination menées dans la plupart des agglomérations urbaines. Les données citées confirment toutefois les résultats de ces enquêtes.

**TABLEAU 2-2. CARACTÉRISTIQUES TYPES DES AUTOMOBILES NEUVES
EN 1970, 1984 ET 1994**

CARACTÉRISTIQUE	1970	1984	1994
Transmission	Automatique	Automatique	Automatique
Nombre de rapports	3	3-4	4
Commande	Mécanique	Mécanique	Électronique
Vitesse surmultipliée	Néant	Certains modèles (sélection non électronique); transmissions manuelles surtout	Sélection électronique
Propulsion	Propulsion arrière	Traction avant à plus de 50 %	Traction avant
Poids	Plus de 4 000 lb	Environ 3 000 lb	Environ 3 200 lb
Coefficient de traînée	Plus de 40	Moins de 40	Moins de 30
Pneus	Ceinturés	Radiaux	Radiaux
Moteur	de 6 à 8 cylindres	de 4 à 6 cylindres	de 4 à 6 cylindres
Alimentation en carburant	Carburateur	40 p. 100 à injection électronique; la plupart à injection monopoint	Injection multipoint
Soupapes par cylindre	2	2	2 à 4
Chevaux-vapeur	Environ 135	Environ 100	Environ 140
Consommation de carburant selon essais en laboratoire	13,3 L/100 km	8,4 L/100 km	8,3 L/100 km

Source : *Évolution de l'efficacité énergétique au Canada*, Ressources naturelles Canada, Ottawa, 1996, page 46.

- Comme dans le cas du transport de passagers, **le transport routier (camionnage) arrive au premier rang des modes de transport pour l'énergie consommée aux fins du transport de marchandises**, mais avec une part moindre (72 p. 100 plutôt que 85 p. 100). Le transport maritime comptait pour 16 p. 100 de l'énergie consommée, et le transport ferroviaire pour les 12 p. 100 restants. (Aucune donnée n'a pu être obtenue concernant le transport aérien.) Ces pourcentages ont peu changé de 1984 à 1994.
- Le **carburant diesel était le principal carburant utilisé** (67 p. 100), suivi de l'essence automobile (21 p. 100), du mazout lourd (9 p. 100) et des autres carburants, dont le propane et le gaz naturel (3 p. 100).
- Ces chiffres révèlent une **progression de la consommation de carburant diesel** (qui s'établissait à environ 55 p. 100 du total, en 1984), attribuable à une plus forte présence des camions intermédiaires et des camions lourds propulsés au diesel dans le parc de camions. À cette augmentation correspond un déclin des camions mus à l'essence. L'utilisation des autres

carburants (propane, gaz naturel, etc.) a plus que doublé, mais leur part ne dépasse pas 3 p. 100.

- **Les transports comptent pour près des deux tiers de toute la consommation de pétrole au Canada**, une proportion qui n'a cessé d'augmenter au cours des 35 dernières années. En 1994, le secteur routier (voitures, camions, autobus, etc.) comptait pour près de 80 p. 100 de tous les produits pétroliers consommés par l'ensemble du secteur des transports.^[16]

2.3.2 Consommation d'autres ressources

Les tentatives de réduire la consommation de ressources par la voie de la technologie ont traditionnellement porté sur la consommation d'énergie, faisant surtout écho à des préoccupations économiques et politiques. Par contraste, la consommation d'autres ressources a suscité peu d'intérêt, ce qui peut s'expliquer en partie par l'importance du secteur de la construction automobile dans l'économie de nombreux pays développés (et, aujourd'hui, de pays moins développés). Mais la sensibilisation accrue du public aux conséquences de l'épuisement et de la surexploitation des ressources, conjuguée aux changements structureaux de l'économie mondiale, a renouvelé l'intérêt à l'égard de cette question.

L'impact des transports sur la consommation de ressources se résume succinctement comme suit :

La voiture particulière, qui constitue la plus grande partie du parc mondial de véhicules, est un gros consommateur de ressources. Elle absorbe en effet 60 p. 100 de la production mondiale de caoutchouc naturel, 20 p. 100 de l'acier, 10 p. 100 de l'aluminium, sans compter cinq à vingt mètres de route par véhicule dans les principales grandes villes du monde.^[17]

Cet énoncé à lui seul fait référence à la consommation de trois types d'«autres ressources». Il vise la voiture particulière, mais les problèmes soulevés peuvent tout autant s'appliquer aux autres modes de transport.

- **Véhicule.** La substitution de matériaux et les innovations en matière de conception ont permis de construire des véhicules plus légers (automobiles), dans le sillage de la crise énergétique des années 70 (voir le tableau 2-2). Mais au cours des années 90, ces gains ont été neutralisés par la croissance de la population du globe, l'accroissement du revenu et de la mobilité des personnes, la priorité accordée dans les pays moins développés aux avantages matériels plutôt qu'à la protection de l'environnement, et -- en Amérique du Nord -- la popularité que connaissent actuellement les véhicules plus lourds (mini-fourgonnettes et véhicules de sport utilitaires).
- **Besoins d'espace associés aux véhicules.** On pense ici à l'utilisation de terrains pour la construction de routes et de parcs de stationnement, mais aussi à l'expansion tentaculaire des villes, favorisée par la démocratisation de l'automobile. Au cours des années 90, la plupart des grandes villes canadiennes ont élaboré des stratégies de transport à long terme qui visaient à contrer les effets de l'étalement urbain. Ces stratégies découlaient de la nécessité de

limiter les coûts associés à la viabilisation de nouvelles zones résidentielles, mais aussi du besoin de préserver la qualité de vie dans les zones centrales. Car l'étalement urbain a aussi comme effet de fragmenter, socialement et géographiquement, les collectivités urbaines, de planter les paysages d'intrusions visuelles et de perturber les milieux naturels. À l'échelle locale, les zones commerciales axées sur l'automobile (y compris les restaurants à service rapide, les centres commerciaux des banlieues, les mails linéaires, les stations-service, etc.) ont grandi au rythme de l'expansion des villes. Mais nombre de villes canadiennes ont adopté ou songent à adopter des règlements d'urbanisme et des lignes directrices qui visent à limiter les intrusions visuelles et spatiales associées à ces aménagements, en mettant en valeur l'esprit de quartier et des solutions de remplacement conviviales -- marche ou transport en commun -- à l'automobile. Parmi les initiatives dignes de mention mentionnons les quartiers néo-traditionnels, dans lesquels les maisons, les magasins et les lieux de travail sont rapprochés (ce qui minimise les déplacements en automobile), la revitalisation des vieux quartiers (situés à proximité des emplois du centre-ville), et l'aménagement de banlieues à plus forte densité (ce qui permet de réduire le taux d'occupation du sol et d'assurer un meilleur service de transport en commun, comparativement aux quartiers à faible densité).

- **Cycle de vie du véhicule.** Ces effets découlent de l'entretien et de la réparation du véhicule (y compris le stockage de carburant, les déversements de matières dangereuses, etc.) et de l'utilisation de ressources pour l'exploitation et la maintenance des routes (p. ex., les produits chimiques utilisés comme fondants, l'hiver, etc.). On peut aussi parler des déchets générés une fois que le véhicule a atteint le terme de sa vie utile, une conséquence extrême étant l'incendie de pneus survenu à Hagersville, en Ontario, il y a quelques années. Mentionnons aussi les intrusions visuelles que constituent les parcs à ferrailles (qui ont toutefois l'avantage de permettre la réutilisation des pièces), et le besoin d'aménager de nouvelles décharges pour répondre à la demande posée par les déchets de l'automobile. Certains ateliers d'entretien automobile ont tenté de contrer ces effets en recyclant les huiles à moteur usées, par exemple, et certains ministères provinciaux des transports ont entrepris d'incorporer le caoutchouc des pneus dans la construction de nouvelles routes. Soulignons enfin l'initiative récente du législateur allemand, qui exige que les nouvelles automobiles soient recyclables, afin de réduire au minimum le flux de déchets. C'est ainsi que BMW et d'autres constructeurs allemands ont développé et mis à l'essai des véhicules que l'on peut démonter à la fin de leur vie utile, et dont les pièces peuvent être réutilisées dans des automobiles neuves ou recyclées par d'autres industries.

Ces trois aspects sont interreliés, mais parfois pour se contredire. Par exemple, le remplacement de l'acier par des plastiques dans les automobiles réduit le poids du véhicule, ce qui entraîne une réduction de la consommation de carburant (toutes choses étant égales par ailleurs). Mais comme le plastique est moins facile à recycler que l'acier, l'avantage relié à la baisse de consommation de ressources peut se transformer en inconvénient au terme de la vie du véhicule (et inversement).^[18] Il en résulte des arbitrages difficiles, mais il y a lieu d'analyser attentivement les facteurs en jeu, sous plusieurs angles et en fonction de différents ordres de grandeur.

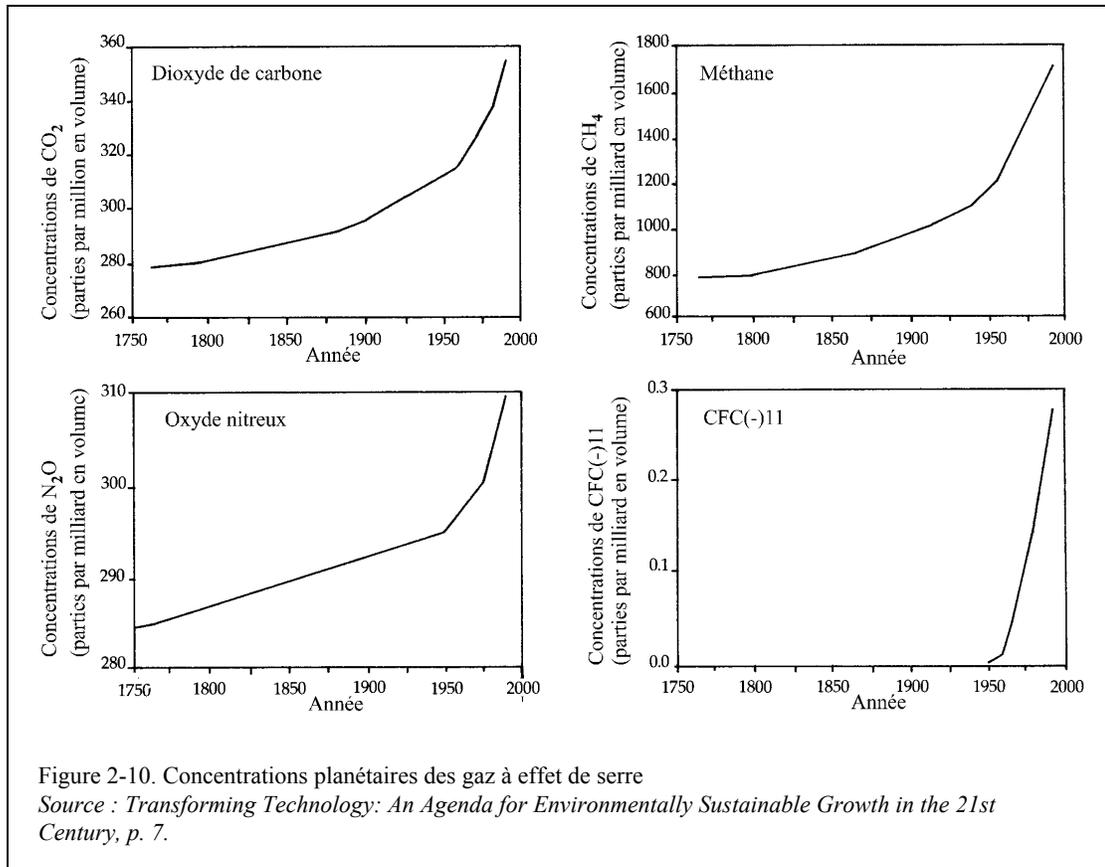
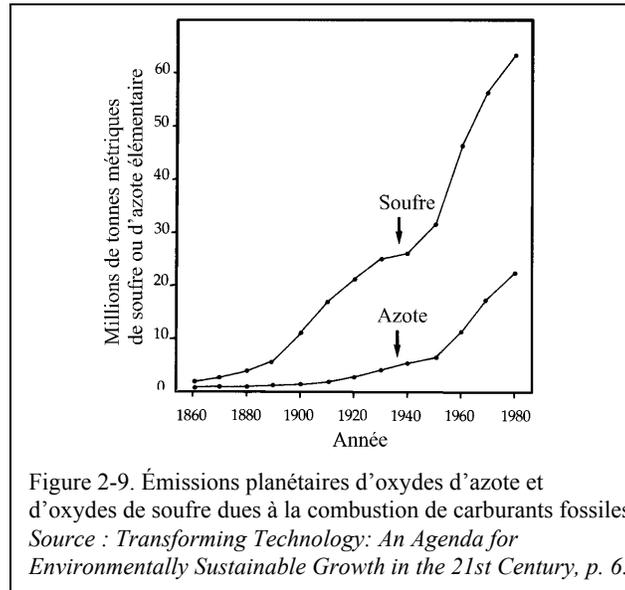
2.3.3 Pollution atmosphérique

Pour discuter de la production de polluants atmosphériques selon le mode de transport, il convient de regrouper d'abord en catégories les principaux polluants et leurs sources, ce que fait le tableau 2-3.

TABLEAU 2-3. PRINCIPAUX POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES DUS AUX TRANSPORTS ET SOURCES

POLLUANT	SYMBOLE	CAUSE/SOURCE
Dioxyde de carbone	CO ₂	Combustion de carburants fossiles
Monoxyde de carbone	CO	Combustion incomplète
Hydrocarbures	HC	Combustion incomplète
Composés organiques volatils	VOC	Combustion incomplète
Oxydes d'azote	NO _x	Produits à des températures de combustion élevées
Plomb	Pb	Ajouté à l'essence pour atteindre l'indice d'octane souhaité et améliorer la volatilité des sous-produits de la combustion. (Note : On a cessé d'ajouter du plomb à l'essence au Canada et dans d'autres pays développés, mais l'essence au plomb est encore utilisée dans certains pays moins développés.)
Dibromure d'éthylène et dichloroéthane-1-2		Ajouté à l'essence pour atteindre l'indice d'octane souhaité et améliorer la volatilité des sous-produits de la combustion.
Anhydride sulfureux	SO ₂	Dû à la teneur élevée du carburant diesel en soufre
Particules fines		Présentes dans le carburant diesel

Les figures 2-9 et 2-10 illustrent la croissance rapide des émissions de gaz polluants attribuables à toutes les activités humaines.^[19] On y constate qu'à l'échelle de la planète, les émissions d'oxydes d'azote et d'oxydes de soufre issues de la combustion de carburants fossiles et les concentrations de gaz à effet de serre ont augmenté de façon quasi exponentielle au cours des deux derniers siècles.



Au Canada, les transports constituent une source importante de pollution atmosphérique -- la source principale, dans certains cas. Le tableau 2-4 donne une ventilation des principaux polluants générés par les divers modes de transport, en pourcentage de *toutes* les émissions comptabilisées au Canada.^[20] Le tableau révèle qu'au Canada :

- Les transports sont la principale source des émissions de CO (on leur impute près de 75 p. 100 de toutes les émissions de CO) et de NO_x (60 p. 100).
- Sauf pour les particules, le transport routier (voitures, camions, autobus, etc.) compte pour le plus fort pourcentage des polluants atmosphériques attribuables au secteur des transports.
- Les voitures et les camions légers (c.-à-d. les véhicules de transport de passagers, pour l'essentiel) comptent à eux seuls pour près des trois quarts des émissions de CO et de COV, la moitié des émissions de CO₂, et près du tiers des émissions de NO_x dues aux transports.

TABLEAU 2-4. PROPORTION DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE IMPUTABLE AU SECTEUR DES TRANSPORTS AU CANADA (EN POURCENTAGE)*

MODE DE TRANSPORT	CO	COV	NO _x	PARTICULES	CO ₂
Routier					
Autos/camions légers	53,4 %	22,6 %	19,4 %	0,6 %	15,4 %
Camions lourds	3,0	1,8	15,9	2,5	5,3
Total partiel	56,4	24,4	35,3	3,1	20,7
Ferroviaire	0,5	0,3	6,6	1,7	1,3
Aérien	0,5	0,3	0,9	0,1	2,5
Maritime	0,9	1,2	2,3	0,4	1,5
Autre**	15,2	4,8	15,2	5,1	4,6
TOTAL, Secteur des transports au Canada	73,5	30,9	60,4	10,4	30,5
<i>TOTAL, Secteur des transports en Europe</i>	--	49	61	--	21

* Niveaux d'émissions au Canada en 1990, sauf pour le CO₂ (en 1993)

** Comprend les véhicules mus au propane et au gaz naturel, les émissions dues aux pneus, les applications hors-route de l'essence, et les moteurs diesel équipant diverses machines (en foresterie, par exemple)

Le tableau compare en outre le Canada et l'Europe pour ce qui est de certains polluants.^[21] On voit que les situations se ressemblent dans le cas des émissions de NO_x (60 p. 100 dans les deux cas). En Europe, le secteur des transports génère près de la moitié des émissions de COV (49 p. 100), comparativement à moins d'un tiers au Canada (31 p. 100). Par contre, la proportion des émissions de CO₂ attribuées au secteur canadien des transports est 50 p. 100 supérieure à celle imputée au secteur des transports en Europe (31 p. 100 comparativement à 21 p. 100). Ces chiffres révèlent, d'une part, l'importance du secteur des transports en tant qu'agent de pollution, et, d'autre part, que le Canada est

loin d'être le seul pays à être aux prises avec le problème. Les écarts entre le Canada et l'Europe en ce qui a trait aux émissions de COV et de CO₂ peuvent s'expliquer par des disparités quant à l'importance relative des divers modes de transport, à l'apport des autres secteurs d'activité, aux technologies mises en oeuvre, à la réglementation, etc.

À l'inverse du tableau 2-4, qui donne un coup d'oeil ponctuel de la situation, le tableau 2-5 montre comment les taux d'émissions de CO₂ ont évolué au fil du temps.^[22] Ces données sont cruciales, car le niveau de CO₂ dans l'atmosphère est considéré comme un indicateur clé de durabilité, en raison de son rôle important en tant qu'agent d'effet de serre (hausse des températures à la surface de la Terre).

Le tableau 2-5 mène aux constats suivants :

- Au Canada, les émissions de CO₂ imputables aux transports ont diminué de 2 p. 100 de 1980 à 1993, ce qui se compare favorablement avec les hausses importantes enregistrées au cours de la même période dans les autres pays de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) et dans le reste du monde (27 p. 100 et 30 p. 100 respectivement). Cette baisse se compare en outre favorablement avec l'augmentation de 3 p. 100 des émissions de CO₂ issues d'autres sources au Canada.
- Les innovations technologiques touchant les véhicules (meilleure efficacité énergétique) ont été les premières créditées de la diminution des émissions de CO₂ imputables au secteur des transports au Canada. Mais une neutralisation de cette tendance est à craindre si l'on se fie à la proportion croissante des mini-fourgonnettes, camionnettes et véhicules de sport utilitaires parmi les véhicules particuliers : tous ces véhicules consomment plus de carburant que les autres véhicules pour passagers; or, ils représentaient 41 p. 100 des ventes de véhicules neufs en Amérique du Nord en 1995.
- Au Canada, le secteur des transports a vu sa contribution aux émissions totales diminuer de 1 p. 100, mais en chiffres absolus, sa contribution globale demeure importante (à 30 p. 100, en 1993).
- Le Canada a diminué radicalement les émissions de CO₂ par habitant issus des activités de transport et d'autres sources, mais il continue de surpasser les pays de l'OCDE et le reste du monde à cet égard.
- Il a été conclu que le taux d'émission par habitant ne diminue pas assez rapidement pour que soit atteinte la cible de 60 p. 100 de réduction des émissions de CO₂ établie à l'échelle de la planète (et de 80 p. 100 dans les pays de l'OCDE). Il faudrait au Canada des taux de réduction par habitant de l'ordre de 5,4 p. 100 par année pour atteindre cette cible, ce qu'il est loin de réaliser, avec des taux de 0,1 p. 100 enregistrés de 1980 à 1993.

TABLEAU 2-5. ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS DE CO₂ IMPUTABLES AUX TRANSPORTS AU CANADA ET AILLEURS ENTRE 1980 ET 1993

	ÉMISSIONS DE CO ₂ (MILLIONS DE TONNES)		TRANSPORTS (% DES ÉMISSIONS TOTALES)	ÉMISSIONS PAR HABITANT (TONNES)	
	TRANSPORTS	TOUTES AUTRES ACTIVITÉS		TRANSPORTS	TOUTES AUTRES ACTIVITÉS
	CHANGEMENT (%)	CHANGEMENT (%)	CHANGEMENT (%)	CHANGEMENT (%)	CHANGEMENT (%)
Canada	-2	3	-1	-0,9	-1,4
Autres pays OCDE	+27	-2	+15	+0,4	-1,3
Reste du monde	+30	+29	0	+0,1	+0,1

Source : Adapté de *Trends in carbon dioxide emissions from transportation in Canada and elsewhere: The challenge of sustainability*. Feuillelet d'information préparé par le Centre for Sustainable Transportation, Toronto, 1996.

Le tableau 2-6 présente les émissions de polluants selon le mode de transport, en fonction de l'extrant -- en l'occurrence, les émissions par tonne-kilomètre de marchandises transportées.^[23] Le tableau montre que vu sous cet angle, le transport ferroviaire est généralement le mode le «plus souhaitable», et le transport par camion, le moins souhaitable. Le transport maritime se classe au deuxième rang, derrière le transport ferroviaire, mais les données sont moins probantes en ce qui a trait au transport aérien et au transport par automobile. Le tableau 2-6 démontre, d'une part, la difficulté de décrire de façon simple les caractéristiques très complexes du transport de marchandises -- par exemple, doit-on classer les mini-fourgonnettes et les camionnettes dans la catégorie «automobiles» ou «camions»? De plus, certains types de marchandises ne peuvent être transportés que par certains modes de transport (c'est le cas du vrac, qui ne peut être transporté par automobile ni par avion). Et certaines conditions locales peuvent avoir préséance sur les caractéristiques générales associées à un mode de transport.

TABLEAU 2-6. CLASSEMENT DES MODES DE TRANSPORT SELON LES ÉMISSIONS PAR TONNE-KILOMÈTRE

RANG	NO _x	COV	PARTICULES	CO	CO ₂
1 <small>Le plus souhait.</small>	Ferr.	Ferr.	Aérien	Ferr.	Ferr.
2	Mar.	Mar.	Ferr.	Mar.	Mar.
3	Voiture	Voiture	Mar.	Aérien	Camion
4	Camion	Aérien	Voiture	Voiture	Voiture
5 <small>Le moins souhait.</small>	Aérien	Camion	Camion	Camion	Aérien

Source des données : Kahn, A.M. *Energy & Environmental Factors in Freight Transportation*, Ottawa (1991) et Environnement Canada, Division de l'analyse des données sur la pollution (1994). Telles que citées dans Holloway, C.W., *Developing Priorities For Sustainable Transportation in Canada*, préparé pour Transports Canada, Équipe de gérance de l'environnement, Ottawa, mars 1995, p. 5.

Le tableau 2-6 illustre, d'autre part, l'importance de mesurer les polluants en fonction de l'extrait : c'est qu'un mode ne peut, en soi, être plus souhaitable qu'un autre, s'il n'est pas utilisé. Cette nuance est cruciale pour l'élaboration de politiques concernant les technologies de transport durable, car une part importante du débat public sur le développement durable favorise un mode par rapport à un autre (en particulier le transport ferroviaire de passagers), sans que l'on ait bien cerné le comportement du public voyageur. Cela souligne d'autant la nécessité de coordonner les politiques technologiques avec les politiques comportementales et les politiques financières (voir le paragraphe 1.3).

2.3.4 Autres impacts

Cette section élargit la discussion sur la pollution atmosphérique de deux façons. Elle aborde les impacts spatiaux, temporels et indirects de la pollution atmosphérique, et relie ces impacts à d'autres formes de pollution.

Les impacts des transports varient à plusieurs égards. Sur le plan temporel, certains effets sont instantanés (p. ex., le bruit). Certains sont envahissants mais s'atténuent avec le temps (p. ex., les hydrocarbures), tandis que d'autres sont permanents (p. ex., les intrusions visuelles). Enfin, certains effets sont cumulatifs (p. ex., le dioxyde de carbone).

Sur le plan spatial, on distingue clairement entre les impacts qui demeurent localisés à l'endroit où ils sont produits, et ceux qui se propagent à l'échelle d'un continent, voire de la planète. Nombre de ces impacts découlent de l'utilisation des véhicules, mais aussi de l'emplacement ou de la conception de l'infrastructure de transport (p. ex., les intrusions visuelles), ou des ressources et des terrains monopolisés par les usines automobiles et les infrastructures.^[11]

À l'échelle du globe, le principal enjeu de la durabilité est la contribution des émissions des véhicules au réchauffement climatique (effet de serre). Dans certaines conditions météorologiques, les polluants

atmosphériques primaires rejetés par les véhicules se combinent avec les éléments chimiques de l'atmosphère et engendrent des polluants secondaires, comme l'ozone, les aérosols acides (sulfates et nitrates) et de fines particules. Cette pollution peut être transportée sur de grandes distances par les vents dominants. De même, on assiste à une pollution acide lorsque l'anhydride sulfureux et les oxydes d'azote retombent au sol, entraînés par la pluie. Les effets de l'utilisation des véhicules automobiles sont surtout ressentis localement : pluies acides, smog, accidents de la circulation, étalement urbain, besoins en infrastructures, équité sociale et localisation.^[24]

Les impacts directs des émissions des véhicules engendrent d'autres effets nocifs, en particulier sur le bien-être et la santé de la population. De même, les secteurs de la fabrication et de l'entretien des véhicules produisent des déchets toxiques solides et contribuent à la pollution par le bruit. Les diverses formes de pollution directement provoquées par les véhicules de transport et leur exploitation, ainsi que leurs causes et leurs répercussions, sont résumées au tableau 2-7.^[25]

TABLEAU 2-7. FORMES DE POLLUTION

FORME	CAUSE	IMPACTS
Exploitation	Utilisation effective des différents moyens de transport	<ul style="list-style-type: none"> • Produit des effets sur l'air, l'eau et le sol. • Génère du bruit et des vibrations. • Dans de nombreux cas, les effets sont à long terme et cumulatifs, sauf le bruit et les vibrations qui sont immédiats et passagers.
Air	Rejet dans l'atmosphère de substances chimiques qui en altèrent la composition, et qui ont des effets nuisibles sur la santé humaine ou sur la flore et la faune	<ul style="list-style-type: none"> • Certains polluants ont des effets qui se limitent à un certain périmètre autour de leur source, là où les concentrations sont les plus élevées. Ces effets sont donc plutôt localisés, comme dans le cas des émissions de plomb. • D'autres polluants ont des effets qui se propagent loin de leur source. C'est le cas des émissions de SO₂, qui participent aux pluies acides. • Les polluants peuvent aussi avoir un effet «planétaire», comme le CO₂ et les autres gaz à effet de serre, par exemple, qui modifient le climat de toute la planète.
Eau	Rejet direct ou indirect de substances chimiques dans le milieu aquatique se traduisant par une altération de la qualité ou de la nature des écosystèmes aquatiques et par des effets nocifs sur la santé humaine ou la flore et la faune	<ul style="list-style-type: none"> • Les transports contribuent indirectement à la pollution de la nappe phréatique, par les émissions des véhicules automobiles et celles des avions au décollage et à l'atterrissage. • Les accidents de la circulation mettant en cause des matières dangereuses ou polluantes peuvent avoir des effets directs ou indirects sur les écosystèmes aquatiques. • Les transports contribuent directement à la pollution des eaux de surface, par les rejets reliés à l'entretien des barges et autres navires, de même que par les déversements accidentels de matières dangereuses ou polluantes transportées sur des voies d'eau intérieures.

FORME	CAUSE	IMPACTS
Mer	Rejet de substances chimiques dans la mer ou les estuaires, produisant des effets nocifs sur les écosystèmes marins et entraînant des risques pour la santé humaine et la flore et la faune	<ul style="list-style-type: none"> Le transport maritime influe sur le milieu marin par la pollution due aux navires.
Sol	Nuisances chimiques ou physiques	<ul style="list-style-type: none"> Les transports contribuent indirectement à la pollution des sols par les rejets reliés à l'entretien des véhicules, et directement lors de déversements accidentels de matières dangereuses ou polluantes.
Vibrations	<ul style="list-style-type: none"> Les vibrations de la route sont dues presque exclusivement au passage de poids lourds ou d'autobus sur des routes qui ne sont pas construites ou conçues pour de tels véhicules. Les vibrations engendrées par le passage de trains dépendent de l'état du sol, du système de fondation de la voie, de même que du poids, de la suspension et de la vitesse du train. 	<ul style="list-style-type: none"> Les vibrations du sol causées par les avions ne suscitent pas d'inquiétudes majeures, car ce type de nuisance est surpassé par celle du bruit des moteurs.

Tous les impacts énumérés ci-dessus sont résumés dans les prochains paragraphes. Il convient de noter que tant les intrants du transport (p. ex., les hydrocarbures) que ses extrants (p. ex., les émissions) génèrent des impacts. De plus, les effets peuvent varier d'un endroit à l'autre, en fonction de certaines conditions particulières (p. ex., les changements de température, les accidents, les niveaux de congestion, etc.). Ces variations locales font toutefois partie du tableau global.

EFFETS GLOBAUX

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE (EFFET DE SERRE)

Le réchauffement climatique est considéré comme l'un des problèmes les plus graves auquel devra s'attaquer l'humanité au cours du prochain siècle : à moins d'un renversement des tendances actuelles, les températures moyennes du globe auront grimpé de 3 degrés Celsius à la fin du XXI^e siècle. Une telle hausse risque d'engendrer, outre des changements climatiques locaux qui perturberont les cycles de culture, une augmentation des inondations côtières, des migrations humaines massives et la destruction d'écosystèmes entiers.^[6]

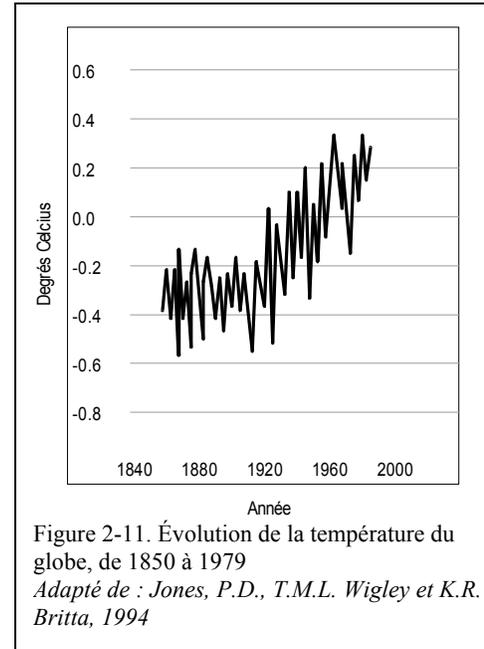
La figure 2-11 illustre la hausse fulgurante de la température du globe au cours des 150 dernières années, soit la période qui correspond à l'âge industriel.^[26]

Notes sur le réchauffement climatique -- l'«effet de serre» :

- La destruction des forêts tropicales et les émissions de «gaz à effet de serre», en particulier de CO₂, de méthane, de NO_x et de chlorofluorocarbones (CFC) sont les principales causes du réchauffement climatique.
- Le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde nitreux contribuent directement à l'effet de serre et aux changements climatiques qui en résultent, tandis que les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone et les hydrocarbures y contribuent indirectement. Les HC, les NO_x et les COV contribuent en outre à l'accumulation de l'ozone troposphérique.
- À eux seuls, les véhicules moteurs comptent présentement pour 17 p. 100 des émissions de CO₂ à l'échelle du globe.^[6]
- Les poussières, les aérosols et les particules entraînés par les gaz d'échappement constituent une autre forme de pollution atmosphérique engendrée par la circulation automobile.

ÉPUISEMENT DE L'OZONE

- Les CFC utilisés dans les climatiseurs des véhicules sont le principal facteur d'épuisement de la couche d'ozone relié au transport routier.
- Les avions volant à haute altitude jouent un rôle important dans l'appauvrissement de la couche d'ozone.



EFFETS LOCAUX

PLUIES ACIDES

Les pluies acides sont un phénomène localisé qui se caractérise comme suit :

- Les pluies acides sont principalement produites par le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et les hydrocarbures.
- Les pluies acides causent des dommages aux forêts et aux bâtiments et elles altèrent la qualité des sols.
- Les NO_x et le dioxyde de soufre (SO₂) contribuent aux pluies acides.
- Les oxydes d'azote et les oxydes de soufre, combinés aux hydrocarbures imbrûlés, sont les principales composantes des pluies acides.

SMOG

L'élément principal du smog urbain est l'ozone terrestre qui se forme lorsque deux types de produits chimiques présents dans les émissions (NO_x et COV) se combinent en présence de chaleur et de lumière solaire. Cet ozone terrestre est à l'origine de troubles respiratoires et de dommages au feuillage des végétaux.^[7]

Le smog photochimique est ce brouillard brunâtre qui cause des problèmes de santé, nuit à la visibilité, attaque les monuments et les immeubles, réduit le rendement des cultures, etc.

ACCIDENTS

À strictement parler, les accidents reliés au transport ne sont pas considérés comme un enjeu de la durabilité. Mais la question des accidents est abordée ici en tant que point de convergence de plusieurs grands thèmes : le gaspillage de ressources (humaines, entre autres) qui en résulte; le risque de déversement de matières dangereuses et de dommages subséquents à l'environnement; et les nombreux avantages réciproques associés à l'application de principes de transport durable, notamment au chapitre de la diminution du taux d'accident (et l'accroissement de la sécurité).

Le transport routier est le mode de transport qui contribue le plus aux déséconomies externes reliées à l'environnement et aux accidents, comptant pour 92 p. 100 du total de ces coûts. La part du transport aérien s'élève à seulement 6 p. 100, tandis que le transport ferroviaire et la navigation intérieure, avec 1,7 p. 100 et 0,3 p. 100, respectivement, y contribuent de façon minime.

BRUIT

La pollution par le bruit généré par les transports représente une menace importante à la santé dans les pays de l'OCDE. Environ 40 p. 100 de la population est dérangée par le bruit des véhicules et plus de 15 p. 100 est régulièrement exposée à des niveaux de bruit inacceptables^[24].

SANTÉ

Plusieurs risques pour la santé ont été relevés, entre autres :

- Le smog photochimique, un mélange de gaz et de particules oxydés par les rayons solaires, présente des risques pour la santé.
- Il a été démontré que les émissions de CO, de NO_x, de HC et de particules sont préjudiciables à la santé humaine.
- Les HC et les COV accroissent les risques de cancer et de maladies respiratoires.
- Les HC, les COV, le plomb, les aldéhydes, le dibromure d'éthylène et le dichloroéthane-1-2 sont soupçonnés d'avoir des effets cancérigènes. Le CO et le plomb sont des poisons pour les organismes vivants.
- Des problèmes respiratoires, la diminution des fonctions pulmonaires et d'autres problèmes de santé sont attribués à une exposition directe aux NO_x et aux effets indirects de l'ozone résultant des émissions de NO_x et des HC.
- L'Organisation mondiale de la santé a conclu que les particules contenues dans le carburant diesel sont un agent cancérigène probable pour l'homme.

3. TECHNOLOGIES CANDIDATES

3.1 Critères de sélection des technologies candidates

La recherche documentaire a dévoilé un grand nombre de perspectives sur les technologies de transport durable. Mais comme leur façon d'aborder la durabilité des transports variait, il a fallu établir des critères pour caractériser et retenir, parmi les technologies recensées, des technologies candidates.

Premièrement, une distinction a été faite entre les documents de nature «promotionnelle» (encourageant l'insertion de technologies dans les stratégies de transport durable) et les documents à saveur plus technique. Les textes de «promotion», bien qu'utiles pour faire ressortir le rôle de la technologie, se sont révélés trop généraux pour aider à établir la liste des technologies candidates.

Deuxièmement, il était important de faire la distinction entre les technologies techniquement réalisables *maintenant* et les concepts laissant peut-être entrevoir pour plus tard une percée encore théorique. Pour répondre au critère de *faisabilité technique*, une technologie devait avoir atteint l'un des degrés de maturité suivants : stade expérimental (mais au delà de l'étape conceptuelle); en voie d'être commercialisable; stade de la production industrielle; application généralisée. La technologie devait être applicable à une échelle relativement grande, et avoir démontré au moins le potentiel de réduire la consommation énergétique, la consommation d'autres ressources et les émissions de polluants^[27]. La notion d'*applicabilité pratique* dépasse celle de *faisabilité technique* pour englober les technologies qui ont franchi le stade de l'expérimentation ou du prototype et qui ont engendré des applications commerciales qui sont à l'origine de retombées quantifiables sur les plans de la consommation d'énergie et d'autres ressources, et de l'émission de polluants.

Troisièmement, on a établi la distinction entre les *technologies de base*, ou les innovations matérielles que l'on peut utiliser pour appuyer le transport durable, et les *technologies d'application optimale*, qui ont trait à l'exploitation des innovations. Les premières sont l'objet principal de *Technologies de transport durable : cadre d'action*. Quant aux technologies d'application optimale, elles reposent sur une éducation et une sensibilisation par rapport aux innovations technologiques, et sur des percées techniques complémentaires appuyant la mise en oeuvre des technologies de transport durable de base. Citons, à titre d'exemple, l'utilisation d'un logiciel de covoiturage (une *technologie d'application optimale*) qui permet au conducteur d'une voiture à haut rendement énergétique (une *technologie durable*) d'optimiser cette caractéristique de son véhicule en transportant un plus grand nombre de personnes pour une même dépense énergétique. De même, une technologie durable d'abord mise au point pour une application autre que les transports -- par exemple, des peintures à teneur réduite en solvants -- peut être exploitée dans les transports en tant que technologie d'application optimale.

3.2 Cadre de catégorisation des technologies

Pour évaluer le potentiel de chacune des technologies de transport durable candidates, il a d'abord fallu procéder à un classement systématique de ces technologies. Une matrice à deux dimensions (mode de transport et type de technologie) a été utilisée à cette fin.

La dimension «mode de transport» comprend quatre variables : routier, ferroviaire, maritime et aérien. Chaque mode, sauf le transport aérien, est ensuite subdivisé en transport urbain et interurbain, ce qui permet de distinguer entre les applications des technologies et les contextes où elles sont utilisées. Cette distinction transport urbain - transport interurbain est en outre conforme à la manière dont étaient souvent présentées les technologies dans la documentation consultée : les rapports portaient généralement sur une seule application d'une technologie (p. ex., moteurs d'automobiles de transport urbain) qui peut trouver d'autres applications dans d'autres catégories (p. ex., moteurs de camions de transport interurbain). Notons que la bicyclette et la marche, qui sont intimement liées aux politiques de transport durable, pourraient également bénéficier des technologies associées à d'autres modes de transport.

Trois catégories de technologies ont été définies, qui permettaient de classer les technologies candidates non seulement selon les différents éléments du véhicule, mais aussi son mouvement dans l'espace et dans le temps. Voici ces catégories :

- Technologies touchant le véhicule (p. ex., l'automobile, et plus particulièrement la carrosserie, le châssis, la suspension, la direction et les pneus)⁷.
- Technologies touchant la propulsion (p. ex., le moteur d'automobile, le carburant, la transmission, les systèmes d'accélération et de freinage)⁸.
- Technologies touchant la régulation (p. ex., la gestion de la circulation, les systèmes d'information).

Le tableau 3-1 montre les catégories et sous-catégories utilisées pour classer les technologies. Il convient de noter que notre recherche documentaire nous a permis de recenser plusieurs «systèmes» (notamment le système intégré de technologies de transport durable mis en place à Curitiba, au Brésil). Mais ces combinaisons de deux technologies, ou d'une technologie et d'un facteur extérieur, ont été exclues de l'exercice de catégorisation et de sélection des technologies.

⁷ Les véhicules électriques, les véhicules à traction électrique hybride et les véhicules propulsés à l'hydrogène ont été classés dans la catégorie «véhicule» parce qu'ils font partie d'une nouvelle génération de véhicules. De plus, les véhicules électriques et les véhicules hybrides sont associés à un long délai de mise en oeuvre.

⁸ Les véhicules utilisant des carburants de substitution, comme les véhicules au gaz naturel et à l'alcool, ont été classés dans la catégorie «propulsion», car les innovations techniques touchent le carburant plutôt que le véhicule. De plus, les véhicules utilisant des carburants de substitution sont associés à un court délai de mise en oeuvre.

TABLEAU 3-1. CATÉGORISATION DES TECHNOLOGIES

CATÉGORIES ^[28] 9	SOUS-CATÉGORIES
<i>Véhicule</i> -- «engin» dans lequel sont transportés des passagers et des marchandises.	Consommation de ressources
	Innovations touchant les véhicules
<i>Propulsion</i> -- type d'ensemble de propulsion et mode de transmission des forces d'accélération/ de décélération.	Véhicules utilisant des carburants de substitution
	Technologie électronique
	Innovations touchant le moteur
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement
<i>Régulation</i> -- moyen servant à réguler le déplacement d'un véhicule ou de tous les véhicules circulant sur un réseau, y compris l'espacement entre les véhicules, et aides à la navigation.	Systèmes d'information
	Logistique
	Gestion de la circulation
	Innovations touchant les systèmes de régulation des véhicules

3.3 Inventaire et catégorisation des technologies candidates

En appliquant les critères de sélection exposés au paragraphe 3.1, les chercheurs ont retenu, dans un premier temps, quelque 50 technologies candidates. (De fait, près de 120 technologies ont été recensées, mais plusieurs étaient des variantes d'une autre technologie déjà inventoriée.) Le tableau 3-2 donne le nombre des technologies candidates par mode de transport, classées selon les rubriques du tableau 3-1. (Les 120 technologies sont comptées.) Le tableau donne le nombre et les types d'applications telles que recensées dans la recherche documentaire, ce qui signifie que plusieurs sont comptées plus d'une fois, et, inversement, qu'il peut exister d'autres applications non comprises dans cette liste. Le tableau révèle ce qui suit :

- Les secteurs suivants sont ceux où l'on a recensé le plus grand nombre d'applications :
 - le transport routier -- automobiles, camions, autobus;
 - le volet urbain du transport routier (mais le volet interurbain de tous les autres modes de transport);
 - les technologies touchant la propulsion, suivies de celles touchant la régulation, puis le véhicule.

En conclusion, la plupart des technologies étaient axées sur la réduction de la consommation d'énergie et sur la diminution de la pollution par les automobiles, les camions et les autobus.

⁹ L'infrastructure n'a pas été prise en compte, même si elle peut contribuer à l'économie de carburant. C'est que l'entretien, la réfection, etc., du réseau routier ont trait au «système» ou à des technologies de construction, et non aux technologies qui constituent l'objet de la présente étude.

3.4 Tendances de la R&D en technologies de transport

Il convient d'établir un contexte pour l'inventaire et la catégorisation des technologies candidates en décrivant certains des axes majeurs de la R&D en cours touchant les véhicules, la propulsion et la régulation.

3.4.1 Véhicule

3.4.1.1 Réduction de la consommation

- **Allègement et optimisation aérodynamique des véhicules.** Les grands axes de la recherche touchant la conception des véhicules visaient à réduire leur poids (et, partant, leurs besoins en énergie) et à améliorer leur aérodynamisme. La plupart des travaux portaient sur le transport routier, notamment sur les automobiles, mais aussi sur les camions et les autobus. Comme le montre le tableau 2-2, les réductions les plus notables du poids des véhicules sont survenues dans le sillage de la crise du pétrole des années 70, mais le poids moyen des voitures de l'année automobile 1994 a augmenté par rapport à celui des modèles de 1984, en raison de la place de plus en plus grande occupée par les mini-fourgonnettes, les véhicules de sport utilitaires et les camionnettes dans le parc des véhicules personnels. D'autres réductions ont été attribuées au remplacement de l'acier et de la fonte par des matériaux plus légers, y compris le magnésium, les plastiques, l'aluminium et l'acier haute résistance faiblement allié, qui offrent la tenue mécanique, la tenue à la chaleur, la résistance aux contraintes et la souplesse de conception nécessaires. On s'attend à un essor considérable des plastiques, qui représentaient de 8 à 11 p. 100 du poids des automobiles construites en Occident en 1985, du fait de leur faible coût.^[29]
- **Matériaux composites.** L'utilisation de matériaux composites en remplacement de l'acier constitue une autre avenue présentement explorée par la recherche-développement. Un consortium de constructeurs automobiles américains a récemment fait la preuve, lors d'un test de collision contrôlée à 35 milles à l'heure (55 km/h), que les voitures dont la partie avant est en matériaux composites respectent les normes de résistance à la collision établies par le gouvernement américain. Les matériaux utilisés pour l'essai étaient des polymères renforcés de fibres de verre, dont le poids était 25 p. 100 inférieur à celui de l'acier qu'ils remplaçaient. Ces matériaux sont conçus pour se fragmenter et s'émietter lorsque survient une collision, plutôt que fléchir et plier, comme les métaux traditionnels. Mais deux obstacles de taille s'opposent encore à leur généralisation : les matières premières demeurent chères, et les procédés de fabrication sont inefficients et coûteux (par rapport aux matériaux et aux procédés actuels).^[30]

**TABLEAU 3-2. CATÉGORISATION DES TECHNOLOGIES SELON LE MODE DE TRANSPORT
(MONTRANT LE NOMBRE DE TECHNOLOGIES DANS CHAQUE CATÉGORIE)***

TECHNOLOGIE**	ROUTIER		FERROVIAIRE		MARITIME		AÉRIEN
	URBAIN	INTERURBAIN	URBAIN	INTERURBAIN	URBAIN	INTERURBAIN	INTERURBAIN
<i>Véhicule</i> -- «engin» dans lequel sont transportés des passagers et des marchandises.	25	14	4	4	7	7	4
<i>Propulsion</i> -- type d'ensemble de propulsion et mode de transmission des forces d'accélération/de décélération.	49	14	1	1	4	4	1
<i>Régulation</i> -- moyen servant à réguler le déplacement d'un véhicule ou de tous les véhicules circulant sur un réseau, y compris l'espacement les véhicules, et aides à la navigation.	22	10	5	6	6	7	9

* Une technologie est comptée *chaque* fois qu'elle s'applique à une catégorie (comptage multiple).

** Les définitions sont adaptées de V.R. Vuchic, *Urban Public Transportation Systems and Technology*, Prentice-Hall, Englewood, NJ, 1981

Les panneaux de carrosserie en composites à base de fibres de carbone, lancés en Allemagne en 1990, peuvent réduire de plus de 40 p. 100 le poids des autobus de transport en commun, comparativement aux autobus à carrosserie conventionnelle. Équipé d'un moteur et de pneus plus petits (possibles grâce à l'allègement du véhicule), ce type d'autobus permet des économies d'énergie de l'ordre de 60 à 70 p. 100^[27]. La diminution du poids net du véhicule par rapport au poids de la charge (ou des passagers) et la réduction de la résistance au roulement et du coefficient de traînée des camions et des autobus peuvent entraîner une baisse de 10 p. 100 de la consommation d'énergie. Mais ces véhicules coûtent 20 p. 100 de plus à l'achat que les véhicules classiques, ce qui freine leur avance sur le marché.^[31]

3.4.1.2 Innovations touchant les véhicules

- **Les véhicules électriques et les véhicules hybrides** ont eux aussi suscité certains espoirs ces dernières années. Or, bien qu'ils n'émettent aucun polluant, les véhicules électriques (VEs) pourraient, ultimement, engendrer un accroissement net de la pollution, comparativement à la pollution due aux automobiles, si l'électricité nécessaire à leur fonctionnement provenait en majeure partie de centrales thermiques. Les principales différences entre les VEs et les véhicules mus par un moteur à combustion interne (CI) se situent au niveau de la chaîne cinématique et de la source d'énergie. Les technologies visant la production et le stockage de l'électricité à bord du véhicule demeurent les facteurs contraignants, qui empêchent la commercialisation à grande échelle des VEs, malgré certaines percées récentes aux États-Unis. Les véhicules hybrides sont dotés de moyens pour produire et stocker à bord l'énergie électrique, le plus courant étant équipé d'un générateur mû par un petit moteur thermique^[27].
- **Véhicules mus à l'hydrogène.** Au Canada, la pile à combustible Ballard a attiré une attention considérable en tant que moyen de propulsion pour véhicules non polluants. Une pile à combustible est un dispositif électrochimique qui convertit l'énergie chimique en électricité, sans combustion. Elle utilise de l'hydrogène et de l'oxygène comme combustibles, et l'eau (H₂O) est sa seule «émission». Des progrès récents ont permis de réduire la taille de la pile et des réservoirs d'hydrogène, ce qui a permis de produire des prototypes de véhicules grande taille mus à l'hydrogène (mais pas encore d'automobiles). Les prototypes actuels munis d'un seul réservoir d'hydrogène ont une autonomie de 250 km. Avec son partenaire, Daimler-Benz, d'Allemagne, Ballard a mis au point des prototypes d'autobus qui doivent être mis à l'essai en 1997 à Vancouver et à Chicago; ces essais permettront non seulement de vérifier les performances de ces véhicules exploités en service réel, mais aussi de comparer leur rapport coût-efficacité à celui des autobus classiques brûlant du diesel. Daimler étudie présentement des moyens de produire l'hydrogène à bord à partir de méthanol, plutôt que de le stocker dans des réservoirs encombrants. Une telle percée permettrait d'alléger les réservoirs (et partant de réduire le coût de la technologie) et d'augmenter l'autonomie des véhicules^[31].

Toujours au Canada, la société NovaBUS a mis au point, avec Hydro-Québec, un prototype d'autobus urbain fonctionnant à l'«hythane». Cet autobus qui utilise un carburant composé de 80 p. 100 de gaz naturel et de 20 p. 100 d'hydrogène est présentement à l'essai en service réel dans les rues de Montréal. Quant aux autobus urbains fonctionnant au gaz naturel, ils ont atteint le stade de la production industrielle, mais ils coûtent environ 25 p. 100 de plus que les autobus de même taille mus au carburant diesel; autre inconvénient, ils doivent transporter sur leur toit des réservoirs volumineux pour le stockage des grandes quantités de carburant qui leur sont nécessaires^[27].

3.4.2 Propulsion

3.4.2.1 Véhicules utilisant des carburants de substitution

Les carburants de substitution ont le double avantage de réduire la consommation de carburants fossiles et l'émission de polluants. Sont ainsi désignés les alcools (éthanol et méthanol), le gaz naturel et l'électricité (véhicule mus par batteries d'accumulateurs). Les Pays-Bas favorisent l'utilisation de gaz de pétrole liquide (GPL) pour la propulsion des véhicules utilitaires lourds (autobus) en subventionnant le coût de ce carburant. Comparé au gaz naturel comprimé (GNP), qui constitue également une solution de rechange écologique à l'essence ou au carburant diesel, le GPL pèse moins (ce qui permet d'alléger le réservoir), il émet moins de polluants et il est de manutention plus facile, au moment de faire le plein^[31].

- **Véhicules au gaz naturel.** La recherche effectuée au Canada dans le domaine des technologies de transport s'intéresse particulièrement aux véhicules au gaz naturel (VGN) fonctionnant soit au GNC ou au gaz naturel liquide (GNL). Le GNC est plus courant, notamment dans les parcs de véhicules légers (p. ex, les taxis). La plupart des 36 000 VGN qui circulent au Canada sont le résultat de travaux de conversion effectués sur des véhicules utilisant de l'essence (ils peuvent maintenant rouler soit au GNC soit à l'essence). Le taux de pénétration des VGN sur le marché des véhicules privés est faible, du fait des coûts élevés de conversion (évalués entre 2 600 et 3 400 dollars par véhicule), de leur faible autonomie, de la rareté relative des postes de ravitaillement, de certains problèmes de développement reliés au système d'alimentation en carburant et des craintes au sujet de la valeur de revente du véhicule. Mais, en contrepartie, le coût du carburant est beaucoup plus faible que celui de l'essence ordinaire. Ford et Chrysler offrent des VGN en «équipement d'origine», mais moyennant 4 700 à 8 200 dollars de plus que les automobiles ou camions légers équivalents mus à l'essence. Bien que les VGN n'aient connu qu'une modeste croissance au Canada depuis 1983, année où le gouvernement fédéral a commencé à subventionner la conversion des véhicules, les équipementiers canadiens s'efforcent de pallier certains des inconvénients énumérés ci-dessus. Les sociétés canadiennes se situent à l'avant-garde de la technologie des VGN et de ses applications, surpassant les États-Unis, où la technologie est encore peu exploitée. Le fait qu'il soit toujours facile de s'approvisionner à bon compte en essence a freiné la pénétration de la technologie des VGN en Amérique du Nord. Toutefois, pour peu que l'intérêt à l'égard des technologies propres persiste, (suscité notamment par les normes et cibles extrêmement sévères établies par la Californie en ce qui a trait aux émissions des véhicules), on devrait voir croître la demande de VGN -- et de technologies canadiennes^[27].

- **Innovations touchant les moteurs.** Les innovations touchant les moteurs visent à réduire les effets nocifs des moteurs à combustion interne existants.

Les travaux en cours sur les moyens d'accroître le rendement des moteurs portent notamment sur : l'amélioration de la combustion, l'accélération de la mise en température du moteur, la stratification du mélange combustible (c.-à-d. l'élaboration de mélanges air-essence convenant aux objectifs de performances et d'efficacité), l'augmentation du nombre de démultiplications (variateurs de vitesse continus), le perfectionnement des systèmes de stockage de l'énergie (volants d'inertie, accumulateurs grande puissance, ultracondensateurs), la généralisation de la technologie de commande électronique (p. ex., injection électronique), l'accroissement de l'efficacité des systèmes électriques, les systèmes de récupération d'énergie (énergie des gaz d'échappement et énergie de freinage), les moteurs à organes en céramique et les moteurs à gaz pauvre^[29]. Toutefois, l'injection directe (un mode de stratification du mélange combustible) comme moyen de réduire la consommation d'essence illustre certains des problèmes pratiques auxquels se butent toujours nombre de ces technologies nouvelles : diminution de la puissance du moteur et pollution accrue (pollution atmosphérique et pollution par le bruit). Des incertitudes subsistent en outre concernant l'aptitude de certaines technologies à rester fiables pendant tout le cycle de vie du véhicule (p. ex., les moteurs à organes en céramique) et quant à la possibilité d'élaborer des procédés de fabrication d'un coût concurrentiel.

3.4.3 Régulation

L'optimisation des mouvements des véhicules fait appel à plusieurs technologies de régulation souvent désignées de façon générique par «systèmes de transports intelligents» (STI); il s'agit en particulier de systèmes qui communiquent des informations en temps réel au conducteur et aux autorités responsables de la surveillance d'une route, de façon à minimiser les retards. Les STI regroupent diverses technologies qui relient le conducteur, le véhicule et l'infrastructure en un tout intégré.

3.4.3.1 STI

Les STI visent à fournir au conducteur un *guidage routier* en temps réel, avant et pendant son déplacement. Le but est de l'aider à se déplacer de façon efficace et à contourner les obstacles sur sa route (p. ex., la congestion ou les goulots d'étranglement). Non seulement ces technologies optimisent-elles la consommation des ressources (p. ex., en prévenant le gaspillage de carburant sur des routes congestionnées), mais elles accroissent le confort du conducteur et améliorent la sécurité routière. Le guidage routier permet en outre aux autorités d'optimiser l'utilisation du réseau existant et de se prémunir ainsi contre la nécessité de construire de nouvelles infrastructures, et il favorise des interventions plus efficaces et plus rapides lorsque surviennent des incidents. Parmi les autres avantages des STI, mentionnons la sécurité accrue des voyageurs, la surveillance du fonctionnement des véhicules (p. ex., les autorités sont automatiquement prévenues en cas de problèmes à bord d'un véhicule) et le traitement accéléré, aux postes-frontières, des véhicules transportant des marchandises (manifestes à codage électronique, etc.).

Les STI sont au coeur de plusieurs projets de recherche en cours de par le monde. Parmi ces projets figurent *ITS America* (aux États-Unis), *DRIVE* et *PROMETHEUS* (en Europe), et *VERTIS* (au Japon). Au Canada, une table ronde sur les STI, mise sur pied sous l'égide de l'Association des transports du Canada, a récemment été remplacée par *STI Canada*, une association autonome. Ces projets explorent les multiples facettes des STI : élaboration de l'information à communiquer au conducteur (avant ou pendant le déplacement), moyens de transmission et de réception de cette information, infrastructure nécessaire à la surveillance de l'état des routes et au suivi des mouvements des véhicules, protocoles d'harmonisation des données et des normes techniques relatives à toutes les fonctions ci-dessus. Mais les STI ne se résument pas aux nouvelles technologies. On doit aussi se pencher sur les questions suivantes : l'organisation (nécessité d'établir des partenariats entre les entreprises et les administrations du secteur des transports, les fournisseurs de services de télématique et de télécommunications, les fabricants de véhicules et d'équipements, et les fournisseurs d'information); les considérations juridiques (règles d'utilisation du matériel STI embarqué, protection de la vie privée, accès à l'information, conformité aux diverses réglementations, responsabilités, etc.); questions financières (établissement du prix des services, vente des données, distinction entre les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation, recherche d'appuis financiers, etc.)^[31].

Au Canada, les STI n'ont pas atteint la même maturité qu'aux États-Unis, en Europe ou au Japon. Mais ensemble, les gouvernements, les fournisseurs et les universités ont développé des forces dans des applications particulières, notamment les systèmes avancés d'information routière (ATIS), comme le Réseau de communication visuelle (RCV), les systèmes de gestion de la circulation autoroutière (ATMS), comme le COMPASS, et les réseaux avancés de transport en commun.^[27]

3.5 Liste des technologies candidates

Le tableau 3-3 donne des exemples des technologies candidates proposées pour une évaluation approfondie. Celles-ci sont regroupées par catégorie et sous-catégorie.

Toutes les technologies candidates (environ 50) ont été présentées dans un document de travail remis au CDT.

Tableau 3-3. Exemples de technologies aptes à appuyer le transport durable

CATÉGORIE DE TECHNOLOGIE	SOUS-CATÉGORIE DE TECHNOLOGIE	EXEMPLES
Véhicule	Consommation de ressources	allègement; réduction du coefficient de traînée; réduction de la résistance au roulement, utilisation de matériaux composites; conception et fabrication axée sur le coût du cycle de vie (recyclage)
	Innovations touchant les véhicules	véhicules électriques et véhicules hybrides; véhicules à l'hydrogène; autobus urbains à technologie de pointe; pneus de nouvelle génération
Propulsion	Véhicules utilisant des carburants de substitution	véhicules utilisant du carburant alcool (éthanol, méthanol); véhicules au gaz naturel (GNC, GNL); véhicules au propane (GPL); véhicules propulsés par une pile à combustible
	Électronique	capteurs (sondes) électroniques
	Innovations touchant les moteurs	accélération de la mise à température du moteur; transmissions à nombre accru de démultiplications; moteurs à organes en céramique; systèmes de refroidissement novateurs; cellules photovoltaïques; réservoirs entièrement en matériaux composites; super-volants d'inertie en fibres de carbone; alliages ultra-légers; ultracondensateurs
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement	convertisseurs catalytiques
Régulation	Systèmes d'information	guidage routier; navigation
	Logistique	systèmes de réservation; systèmes de gestion de parcs de véhicules
	Gestion de la circulation	régulation du trafic; péage électronique
	Systèmes perfectionnés de commande des véhicules	véhicules à guidage automatisé; technologie des transmissions

4. ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES

4.1 Démarche

Ce chapitre est consacré à l'évaluation de l'aptitude des technologies candidates à atténuer les impacts environnementaux des transports. Cette évaluation utilise un cadre qui conjugue les critères énoncés aux tableaux 2-1 et 3-1. **Seuls les modes de transport qui ont le plus d'impacts et qui sont le plus utilisés (selon les données du chapitre 2), soit le transport routier et le transport aérien, ont été retenus.** Le secteur du transport routier est divisé en différentes catégories selon la grandeur et le type de véhicule. On obtient donc les quatre tableaux suivants (4-1 à 4-4) :

1. Transport routier - automobiles et camions légers (mini-fourgonnettes et camionnettes) (tableau 4-1).
2. Transport routier - poids lourds et autocars (tableau 4-2).
3. Transport routier - autobus urbains (tableau 4-3).
4. Transport aérien (tableau 4-4).

Chaque tableau regroupe les technologies par catégorie et sous-catégorie, dans chaque mode ou sous-mode. **Le principal moyen d'évaluer une technologie est d'établir son potentiel d'atténuation des impacts associés aux quatre catégories décrites aux paragraphes 2.2 et 2.3 (consommation d'énergie non renouvelable, consommation d'autres ressources, pollution atmosphérique et autres impacts).** Les potentiels d'atténuation sont cotés selon une échelle qualitative (faible, modéré, élevé), d'après les informations glanées lors de la recherche documentaire.

L'évaluation a pour objet de faire ressortir les sous-catégories de technologies ayant un potentiel au moins modéré d'atténuation des impacts.

Les tableaux comportent deux autres colonnes : le délai probable de mise en oeuvre -- soit le délai à envisager avant que la technologie atteigne l'étape de l'exploitation à l'échelle commerciale -- et l'importance de la R&D en cours au Canada (un «constat de la situation» qui vise à aligner les politiques et stratégies en matière de R&D sur l'état de la technique au Canada, toutes choses étant égales par ailleurs). L'évaluation est de nature qualitative, mais, encore une fois, elle s'appuie sur des informations puisées dans un riche corpus documentaire. Les données des deux dernières colonnes ne sont pas commentées dans le présent chapitre, mais sont plutôt reprises au chapitre 5, où elles appuient la définition d'orientations propices au développement de technologies de transport durable.

TABLEAU 4-1. TECHNOLOGIES RELIÉES AU TRANSPORT ROUTIER (AUTOMOBILES ET CAMIONS LÉGERS)

CATÉGORIES DE TECHNOLOGIES	SOUS-CATÉGORIES DE TECHNOLOGIES	POTENTIEL D'ATTÉNUATION DES IMPACTS				DÉLAI DE MISE EN OEUVRE	IMPORTANCE DE LA R&D EN COURS AU CANADA
		CONSOMMATION D'ÉNERGIE NON REVOUVELABLE*	CONSOMMATION D'AUTRES RESSOURCES**	POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE†	AUTRES IMPACTS††		
Véhicule	Consommation de ressources (p. ex., aérodynamisme, matériaux, pneus, recyclage)	modéré	modéré	modéré	faible à modéré	court	faible
	Innovations touchant les véhicules	modéré	modéré	élevé	modéré	long	faible
Propulsion	Véhicules utilisant des carburants de substitution	élevé	élevé	élevé	modéré	court	modérée
	Technologie électronique (p. ex., capteurs)	faible à modéré	nul	faible à modéré	faible à modéré	court	faible
	Innovations touchant les moteurs (p. ex., systèmes de stockage de l'énergie)	modéré à élevé	modéré	modéré	modéré	long	faible
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement (p. ex., convertisseurs catalytiques)	nul	neutre	faible	faible	court	faible
Régulation	Systèmes d'information (p. ex., guidage routier, navigation)	faible à modéré	nul	faible à modéré	modéré	court	faible à modérée
	Logistique (p. ex., systèmes de réservations, systèmes de gestion de parcs de véhicules)	faible à modéré	nul	faible à modéré	faible à modéré	court	faible à modérée
	Gestion de la circulation (p. ex., régulation du trafic, péage électronique)	modéré	nul	modérée	modéré	court	faible à modérée
	Innovations touchant les véhicules (p. ex., véhicules automatisés)	faible	modéré	nul	modéré	long	faible

Une cellule ombragée indique un potentiel *modéré* ou *élevé* d'atténuation des impacts.

* Les sources d'énergie non renouvelables comprennent tous les carburants fossiles à base de pétrole.

** Par «autres ressources», on doit comprendre celles qui ont trait au véhicule comme tel (p. ex., matériaux), les besoins d'espace (p. ex., terrain) et la réparation et l'entretien du véhicule pendant son cycle de vie (p. ex., déchets).

† Les polluants atmosphériques comprennent le CO, le CO₂, les NO_x, le SO₂, le plomb, les hydrocarbures, les particules et les composés organiques volatils (à noter que l'essence sans plomb n'est plus vendue au Canada mais qu'elle l'est encore dans d'autres pays).

†† Parmi les autres impacts figurent les problèmes de santé, les accidents de la circulation, le bruit, les vibrations, les pluies acides et le réchauffement climatique.

TABLEAU 4-2. TECHNOLOGIES RELIÉES AU TRANSPORT ROUTIER (POIDS LOURDS ET AUTOCARS)

CATÉGORIES DE TECHNOLOGIES	SOUS-CATÉGORIES DE TECHNOLOGIES	POTENTIEL D'ATTÉNUATION DES IMPACTS				DÉLAI DE MISE EN OEUVRE	IMPORTANCE DE LA R&D EN COURS AU CANADA
		CONSOMMATION D'ÉNERGIE NON REVOUVELABLE*	CONSOMMATION D'AUTRES RESSOURCES**	POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE†	AUTRES IMPACTS††		
Véhicule	Consommation de ressources (p. ex., aérodynamisme, matériaux, pneus, recyclage)	modéré	modéré	modéré	faible à modéré	court	faible
	Innovations touchant les véhicules	modéré	modéré	élevé	Modéré	long	faible
Propulsion	Véhicules utilisant des carburants de substitution	élevé	élevé	élevé	modéré	court	modérée
	Technologie électronique (p. ex., capteurs)	faible à modéré	nul	faible à modéré	faible à modéré	court	faible
	Innovations touchant les moteurs (p. ex., systèmes de stockage de l'énergie)	modéré à élevé	modéré	modéré	modéré	long	faible
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement (p. ex., convertisseurs catalytiques)	nul	neutre	modéré	faible	court	faible
Régulation	Systèmes d'information (p. ex., guidage routier, navigation)	faible à modéré	nul	faible à modéré	modéré	court	faible à modérée
	Logistique (p. ex., systèmes de réservations, systèmes de gestion de parcs de véhicules)	faible à modéré	nul	faible à modéré	modéré à élevé	court	faible à modérée
	Gestion de la circulation (p. ex., dispositifs de régulation du trafic, péage électronique)	modéré	nul	modéré	modéré	court	faible à modérée
	Innovations touchant les véhicules (p. ex., véhicules automatisés)	faible	modéré	nul	modéré	long	faible

Une cellule ombragée indique un potentiel *modéré* ou *élevé* d'atténuation des impacts.

* Les sources d'énergie non renouvelables comprennent tous les carburants fossiles à base de pétrole.

** Par «autres ressources», on doit comprendre celles qui ont trait au véhicule comme tel (p. ex., matériaux), les besoins d'espace (p. ex., terrain) et la réparation et l'entretien du véhicule pendant son cycle de vie (p. ex., déchets).

† Les polluants atmosphériques comprennent le CO, le CO₂, les NO_x, le SO₂, le plomb, les hydrocarbures, les particules et les composés organiques volatils (à noter que l'essence sans plomb n'est plus vendue au Canada mais qu'elle l'est encore dans d'autres pays).

†† Parmi les autres impacts figurent les problèmes de santé, les accidents de la circulation, le bruit, les vibrations, les pluies acides et le réchauffement climatique.

TABLEAU 4-3. TECHNOLOGIES RELIÉES AU TRANSPORT ROUTIER (AUTOBUS URBAINS)

CATÉGORIES DE TECHNOLOGIES	SOUS-CATÉGORIES DE TECHNOLOGIES	POTENTIEL D'ATTÉNUATION DES IMPACTS				DÉLAI DE MISE EN OEUVRE	IMPORTANCE DE LA R&D EN COURS AU CANADA
		CONSUMMATION D'ÉNERGIE NON REVOUVELABLE*	CONSUMMATION D'AUTRES RESSOURCES**	POLLUTION ATMOSPHERIQUE†	AUTRES IMPACTS††		
Véhicule	Consommation de ressources (p. ex., aérodynamisme, matériaux, pneus, recyclage)	modéré	modéré	modéré	faible à modéré	court	faible
	Innovations touchant les véhicules	modéré	modéré	modéré	modéré	long	modérée à élevée
Propulsion	Véhicules utilisant des carburants de substitution	élevé	élevé	élevé	modéré	court	modérée
	Technologie électronique (p. ex., capteurs)	faible à modéré	nul	faible à modéré	faible à modéré	court	faible
	Innovations touchant les moteurs (p. ex., systèmes de stockage de l'énergie)	modéré à élevé	modéré	modéré	modéré	long	faible
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement (p. ex., convertisseurs catalytiques)	nul	neutre	modéré	faible	court	faible
Régulation	Systèmes d'information (p. ex., guidage routier, navigation)	faible à modéré	nul	faible à modéré	modéré	court	faible à modérée
	Logistique (p. ex., systèmes de réservations, systèmes de gestion de parcs de véhicules)	faible à modéré	nul	faible à modéré	modéré	court	faible à modérée
	Gestion de la circulation (p. ex., dispositifs de régulation du trafic, péage électronique)	modéré	nul	modéré	modéré	court	faible à modérée
	Innovations touchant les véhicules (p. ex., véhicules automatisés)	faible	modéré	Nul	modéré	long	faible

Une cellule ombragée indique un potentiel *modéré* ou *élevé* d'atténuation des impacts.

* Les sources d'énergie non renouvelables comprennent tous les carburants fossiles à base de pétrole.

** Par «autres ressources», on doit comprendre celles qui ont trait au véhicule comme tel (p. ex., matériaux), les besoins d'espace (p. ex., terrain) et la réparation et l'entretien du véhicule pendant son cycle de vie (p. ex., déchets).

† Les polluants atmosphériques comprennent le CO, le CO₂, les NO_x, le SO₂, le plomb, les hydrocarbures, les particules et les composés organiques volatils (à noter que l'essence sans plomb n'est plus vendue au Canada mais qu'elle l'est encore dans d'autres pays).

†† Parmi les autres impacts figurent les problèmes de santé, les accidents de la circulation, le bruit, les vibrations, les pluies acides et le réchauffement climatique.

TABLEAU 4-4. TECHNOLOGIES RELIÉES AU TRANSPORT AÉRIEN

CATÉGORIES DE TECHNOLOGIES	SOUS-CATÉGORIES DE TECHNOLOGIES	POTENTIEL D'ATTÉNUATION DES IMPACTS				DÉLAI DE MISE EN ŒUVRE	IMPORTANCE DE LA R&D EN COURS AU CANADA
		CONSUMMATION D'ÉNERGIE NON REVOUVELABLE*	CONSUMMATION D'AUTRES RESSOURCES**	POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE†	AUTRES IMPACTS††		
Véhicule	Consommation de ressources (p. ex., aérodynamisme, matériaux, recyclage)	élevé	faible à modéré	faible à modéré	faible à modéré	court	faible à modérée
	Innovations touchant les véhicules (p. ex., aéronefs mus à l'hydrogène)	élevé	faible à modéré	modéré	modéré	long	faible à modérée
Propulsion	Innovations touchant les moteurs	modéré à élevé	modéré	modéré	modéré	long	faible à modérée
Régulation	Systèmes d'information (p. ex., information de vol, navigation)	faible à modéré	nul	faible à modéré	modéré	court	faible
	Logistique (p. ex., systèmes de gestion de flottes d'aéronefs)	modéré	nul	faible à modéré	faible	court	faible
	Innovations touchant les véhicules	faible	nul	nul	modéré	long	faible

Une cellule ombragée indique un potentiel *modéré* ou *élevé* d'atténuation des impacts.

* Les sources d'énergie non renouvelables comprennent tous les carburants fossiles à base de pétrole.

** Par «autres ressources», on doit comprendre celles qui ont trait au véhicule comme tel (p. ex., matériaux), les besoins d'espace (p. ex., terrain) et la réparation et l'entretien du véhicule pendant son cycle de vie (p. ex., déchets).

† Les polluants atmosphériques comprennent le CO, le CO₂, les NO_x, le SO₂, le plomb, les hydrocarbures, les particules et les composés organiques volatils (à noter que l'essence sans plomb n'est plus vendue au Canada mais qu'elle l'est encore dans d'autres pays).

†† Parmi les autres impacts figurent les problèmes de santé, les accidents de la circulation, le bruit, les vibrations, les pluies acides et le réchauffement climatique.

4.2 Résultats de l'évaluation

Les tableaux 4-1 à 4-4 inspirent les observations suivantes :

Résultats globaux

- Les trois sous-modes routiers obtiennent des résultats quasi *identiques*.
- Le transport aérien obtient des résultats *similaires* à ceux des trois sous-modes routiers, mais ceux-ci s'appliquent à un nombre moindre de sous-catégories de technologies.

Potentiel d'atténuation des impacts

- Dans le transport routier, quel que soit le sous-mode considéré, ce sont les technologies reliées à la **consommation de ressources** (catégorie «véhicule»), **les innovations touchant les véhicules** (catégorie «véhicule»), **les véhicules utilisant des carburants de substitution** (catégorie «propulsion»), **les innovations touchant les moteurs** (catégorie «propulsion»), et la **gestion de la circulation** (catégorie «régulation») qui ont le **plus grand potentiel d'atténuation** des impacts.
- Dans le transport aérien, les **innovations touchant les véhicules** (catégorie «véhicule») et les **innovations touchant les moteurs** (catégorie «propulsion») sont les **plus prometteuses en ce qui a trait l'atténuation** des impacts.
- Dans les trois sous-modes de transport routier, le **potentiel d'atténuation des impacts** attribué aux **véhicules utilisant des carburants de substitution** a été coté **élevé**, dans les secteurs de la consommation d'énergie non renouvelable, de la consommation d'autres ressources et de la pollution atmosphérique.
- Dans les trois sous-modes de transport routier, la **majorité** des sous-catégories (7 sur 10, dans le cas des poids lourds et des autocars, et 6 sur 10 dans le cas des automobiles et des camions légers) représentent un potentiel d'atténuation des **autres impacts**. Dans le transport aérien, 4 des 6 sous-catégories de technologies pourraient réduire la consommation d'**énergie non renouvelable** et atténuer les **autres impacts**.

Ces données mènent aux conclusions suivantes :

- L'évaluation approfondie dont traite le paragraphe 5.8 devrait porter sur les technologies appartenant aux sous-catégories suivantes : **consommation de ressources** (catégorie «véhicule»), **innovations touchant les véhicules** (catégorie «véhicule»), **véhicules utilisant des carburants de substitution** (catégorie «propulsion»), **innovations touchant les moteurs** (catégorie «propulsion»), et **gestion de la circulation** (catégorie «régulation»). Ces sous-catégories de technologies possèdent le meilleur potentiel d'atténuer les impacts environnementaux des transports; de plus, peu de travaux de R&D sont présentement en cours dans ces secteurs au Canada.

- Il y a lieu de corrélérer le potentiel global d'atténuation des impacts environnementaux de chaque type (consommation d'énergie non renouvelable, consommation d'autres ressources, pollution atmosphérique, et autres impacts) avec l'«importance» accordée à une catégorie de technologies (mesurée selon son utilisation potentielle, les coûts nécessaires à son développement, etc.).

D'autres observations ont trait au délai de mise en oeuvre et à la R&D en cours au Canada :

- **Délai de mise en oeuvre :** Dans les quatre modes et sous-modes retenus, on doit s'attendre à un **long** délai de mise en oeuvre des **innovations touchant les véhicules** et des **innovations touchant les moteurs**.
- **R&D :**
Sous-modes de transport routier. Les travaux de R&D en cours au Canada se **concentrent principalement** dans le domaine des **véhicules utilisant des carburants de substitution** (catégorie «propulsion») et dans celui des **innovations touchant les véhicules** (catégorie «véhicule») et sur les autobus urbains. La R&D en cours au Canada dans les domaines de la **consommation des ressources** (catégorie «véhicule»), **des innovations touchant le moteur** (catégorie «propulsion») et des **innovations touchant les véhicules** (catégorie «régulation»), soit les sous-catégories de technologies associées au meilleur potentiel d'atténuation des impacts environnementaux, est de **faible** importance.

Transport aérien. L'importance présentement accordée au Canada à la R&D dans les secteurs des **innovations touchant les véhicules** (catégorie «véhicule») et des **innovations touchant les moteurs** (catégorie «propulsion»), les sous-catégories les plus prometteuses au chapitre de l'atténuation des impacts environnementaux, est jugée **faible à modérée**.

Comme il a déjà été mentionné, les facteurs «délai de mise en oeuvre» et «importance de la R&D canadienne» n'ont pas été utilisés comme critères de sélection, mais sont repris au chapitre 5, où ils aident à définir les orientations futures.

5. ORIENTATIONS

5.1 Aperçu

Ce chapitre propose des orientations pour le développement et la mise en oeuvre des technologies de transport durable retenues. Ces orientations supposent des actions ou des rôles possibles pour le gouvernement fédéral (CDT, Transports Canada et autres organismes et ministères fédéraux). Elles comportent en outre des moyens pour appuyer l'avancement des technologies émergentes et la commercialisation à grande échelle des technologies courantes, et pour promouvoir l'insertion des technologies de transport durable dans la stratégie de développement durable (SDD).

5.2 Le rôle des technologies à l'intérieur d'une stratégie de transport durable

On a vu, au paragraphe 1.3, que les politiques technologiques forment l'une des trois composantes d'une stratégie de transport durable, les deux autres étant les politiques comportementales et les politiques financières. On a également vu que ces trois groupes sont interreliés : aucun ne pourra réussir sans les efforts concertés des trois groupes. De même, les technologies peuvent appuyer une stratégie de transport durable, pour les raisons suivantes :

- Les systèmes de transport multimodal d'aujourd'hui sont le produit de la technologie; les innovations techniques contribuent à leur évolution constante.
- La société est ouverte aux solutions techniques qui n'exigent pas de changement important sur le plan du comportement ou des coûts. Autrement dit, les personnes qui ont à se déplacer ont tendance à être plus réceptives à l'égard de perfectionnements qui ne changent rien à leurs habitudes et aux coûts qu'elles doivent assumer qu'à ceux qui les obligent à modifier leur comportement, surtout si ces perfectionnements sont transparents.
- Par nature, l'innovation technique peut faciliter ou atténuer les changements de comportement ou les augmentations de coûts susceptibles d'être exigés pour atteindre les objectifs de transport durable.

Les stratégies concernant les technologies de transport durable doivent en outre tenir compte des autres initiatives gouvernementales et des réalités économiques et environnementales. De fait, il arrive parfois que des intérêts soient difficiles à concilier, comme l'illustrent les trois exemples suivants :

- *Des politiques économiques* comme la déréglementation du camionnage et du transport aérien, conjuguées à la tendance aux chargements plus petits et plus fréquents, risquent d'entraîner un déplacement de la demande de transport de marchandises vers les modes routier et aérien (aux dépens des modes maritime et ferroviaire), ce qui aurait pour effet d'accentuer les impacts négatifs de ces modes sur l'environnement.

- **Les objectifs technologiques** sont parfois contradictoires, quand ils ne règlent pas un problème en aggravant un autre. Exemple frappant d'un tel «conflit» : le convertisseur catalytique, qui élimine certains polluants, mais accroît la consommation de carburant et les émissions de CO₂.
- **Le lien entre les impacts planétaires et les impacts locaux** signifie, d'une part, que des actions circonscrites peuvent avoir des effets bénéfiques à l'échelle de la planète, mais, d'autre part, que certains impacts négatifs à portée planétaire risquent d'annihiler les effets de mesures prises à l'échelle locale pour protéger l'environnement. Un pays a beau avoir une réglementation environnementale plus sévère que son voisin, ses efforts risquent d'être vains, car la pollution fait fi des frontières.

On peut aussi penser à un combat entre deux orientations différentes, soit une première, qui vise le perfectionnement des technologies de transport existantes -- c.-à-d. continuer à faire ce que nous faisons, mais en produisant moins d'impacts sur l'environnement -- et une deuxième, qui vise le développement de technologies de transport tout à fait nouvelles (comme le remplacement des moteurs à combustion interne par des piles à combustible).

On peut regrouper sous l'une ou l'autre de ces orientations les technologies les plus prometteuses, d'après les tableaux d'évaluation des quatre modes et sous-modes (4-1 à 4-4) : la première orientation assure le maintien (sinon la réduction) des niveaux de consommation actuels, tandis que la seconde appelle à une transition vers de nouvelles façons de faire. On peut penser que dans un cas comme dans l'autre, on n'arrivera à généraliser les technologies qu'au prix de grands efforts. Mais, comme on l'a noté ci-dessus, les technologies du premier groupe sont beaucoup plus faciles à diffuser que celles du deuxième, et tout indique qu'il continuera d'en être ainsi.

Les deux orientations appuient les objectifs de transport durable. Mais elles prennent tout leur sens lorsqu'elles sont vues en séquence, plutôt que comme les deux éléments d'une alternative. Le perfectionnement des systèmes existants (première orientation) peut déboucher, avec le temps, sur une véritable mutation (seconde orientation). On peut prévoir un moment charnière où les avantages tirés des perfectionnements techniques courants deviendront tellement minimes que l'attention se détournera du premier groupe au deuxième groupe de technologies. C'est qu'il y a nécessairement des limites pratiques au potentiel de «durabilité» des systèmes existants -- par exemple, les moteurs à combustion interne consommeront toujours une *certaine* quantité de carburants fossiles et engendreront toujours une *certaine* pollution atmosphérique, peu importent les perfectionnements techniques dont ils pourront bénéficier.

C'est dans le transport routier que cela se vérifie le plus facilement (soit le mode dans lequel les technologies de transport durable ont reçu le plus d'attention ces dernières années). Le tableau 2-2 montre que les gains les plus spectaculaires en ce qui a trait à la consommation d'énergie et aux émissions polluantes ont eu lieu avant 1984. Les améliorations subséquentes ont continué de rapporter des dividendes aux chapitres de l'efficacité énergétique et de l'atténuation de la pollution, mais à des taux sans cesse décroissants. Ainsi, le tableau 5-1 illustre les économies de carburant escomptées par suite de la mise en oeuvre de technologies courantes et applicables à court terme touchant l'efficacité énergétique des véhicules lourds. (Certaines des technologies courantes sont

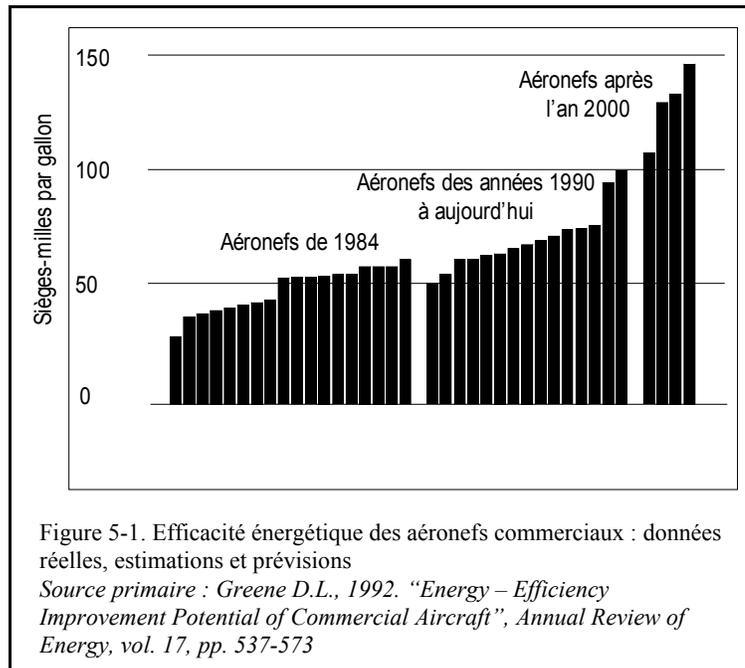
d'ores et déjà offertes sur le marché.). Toutes ces technologies combinées pourraient réduire la consommation de carburant de façon importante; mais individuellement, elles ne représentent pour la plupart que des économies de moins de 10 p. 100. Mais il est probablement plus facile et moins coûteux d'appliquer un ensemble de mesures relativement modestes plutôt qu'une ou deux technologies susceptibles de générer des réductions importantes de la consommation d'énergie, mais au prix d'une adaptation et de déboursés importants de la part des consommateurs. De plus, un assemblage d'initiatives donne plus de souplesse et une meilleure capacité de s'adapter aux besoins.

TABLEAU 5-1. TECHNOLOGIES COURANTES ET APPLICABLES À COURT TERME MENANT À UN ACCROISSEMENT DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES VÉHICULES LOURDS*

TECHNOLOGIES	ÉCONOMIES DE CARBURANT ESCOMPTEES (EN POURCENTAGE)
<i>Technologies courantes</i>	
Moteur diesel par rapport au moteur à essence	30-55
Embrayage de ventilateur	3-8
Diesel «économiseur de carburant»	5-20
- suralimentation	
- refroidissement intermédiaire	
- régime lent	
- forte augmentation de couple	
Pneus radiaux	3-10
Dispositifs aérodynamiques	3-10
- écrans séparateurs	
- jupes latérales	
- carénages	
- déflecteurs	
- jupes avant	
- rétreints	
- angles arrondis	
- revêtement lisse	
Essieu traîné	2-5
Lubrifiants améliorés	1-2
<i>Technologies applicables à court terme</i>	
Commande électronique	4
Profil aérodynamique	5
Réductions du poids à vide	3
Pneus de nouvelle génération	3
Moteur à pertes par frottement réduites	7
Moteur diesel turbo-compound	8
Configuration moteur variable	5
Moteur à cycle combiné	14

* Source : Graves, R.L., D.L. Greene et E.W. Gregory III, *Application of the Adiabatic Diesel to Heavy Trucks - A Technology Assessment*, tableaux 2.1 et 2.2, préparé pour le Oak Ridge National Laboratory, 1986. Cité in D.L. Greene, *Transportation & Energy*, Eno Transportation Foundation, 1996, p. 143.

La figure 5-1 illustre le caractère séquentiel des deux orientations. On y voit le rendement énergétique réel, estimatif et prévu des aéronefs commerciaux selon l'«extrant», soit les sièges-milles par gallon. Les innovations techniques touchant la conception, la propulsion, etc., des avions commerciaux, avaient pour cible une hausse de 67 p. 100 (voire de 100 p. 100) de l'extrant vers 2010. Le remplacement de *tous* les vieux avions commerciaux de la flotte américaine par des avions modernes (des années 1990) permettrait d'accroître le rendement de 31 p. 100, par rapport au niveau de 1989, soit de 49 à 65 sièges-milles par gallon. Cette évolution correspond à la première orientation, soit une exploitation optimisée des technologies courantes touchant les moteurs, les véhicules et les carburants. Mais les technologies de pointe qui seront réalisables après l'an 2000 (seconde orientation) devraient entraîner une hausse supplémentaire de 55 p. 100 du rendement de la flotte^[33]. Ces gains seront rendus possibles grâce à l'interpénétration des technologies courantes (première orientation) et des nouvelles technologies (seconde orientation), qui caractérisera le début du prochain siècle en tant que période de transition entre les deux orientations.



5.3 Le rôle du gouvernement fédéral

Il s'ensuit de la discussion ci-avant que le passage du premier au deuxième groupe de technologies se produira vraisemblablement lorsque diminueront les avantages associés aux technologies du premier groupe, et que celles du deuxième groupe se rapprocheront des objectifs de transport durable. Cela est illustré par la figure 5-2, qui montre que les perfectionnements techniques courants et à court terme finiront un jour ou l'autre par procurer des avantages modestes : seule la mise en place d'une nouvelle technologie pourra alors apporter des avantages substantiels. Les technologies courantes et réalisables à court terme font partie du premier groupe; celles qui sont réalisables à long terme, du second groupe. Il va de soi, en outre, que les technologies du deuxième groupe représentent des niveaux de difficulté et des coûts plus élevés que celles du premier groupe.

Un des rôles clés du gouvernement fédéral sera de promouvoir et de faciliter, au moment opportun, la transition vers le second groupe de technologies, en instaurant un cadre stratégique et financier approprié. Entretemps, il doit soutenir le développement des deux groupes de technologies. Certains rôles précis reviennent au gouvernement fédéral en ce qui a trait au développement, à l'appui et à la promotion des technologies de transport durable des deux groupes :

- courtier en information;
- courtier en commercialisation;
- courtier en financement;
- élaboration de normes;
- pratiques d'employeur;
- élaboration de politiques;
- incitatifs fiscaux et financiers.

Ces rôles sont résumés au début des tableaux 5-2 à 5-8, respectivement. Les tableaux comme tels indiquent (par un point noir) les catégories et sous-catégories de technologies dans lesquelles pourrait s'exercer le rôle du gouvernement fédéral, pour les quatre modes et sous-modes de transport visés.

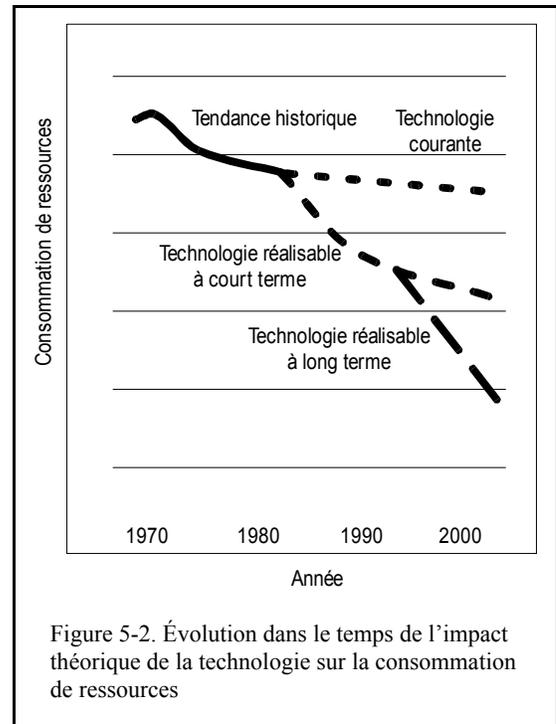


TABLEAU 5-2. RÔLE DU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL - COURTIER EN INFORMATION

Établir un forum pour l'échange d'idées, d'informations et d'innovations dans le domaine des technologies de transport durable. Recueillir, par l'entremise de cette instance, l'information disponible partout au Canada et à l'étranger, pour la relayer aux autres gouvernements, aux organismes intéressés, aux législateurs, aux transporteurs et au grand public canadiens. Être constamment à l'affût des nouveautés technologiques et de la R&D, de même que de leur incidence sur les transports au Canada. Constituer, par ce forum, *la* voix des technologies de transport durable au Canada.

Catégories de technologies	Sous-catégories de technologies	Automobiles et camions légers	Poids lourds et autocars	Autobus urbains	Aéronefs
Véhicule	Consommation de ressources	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules	●	●	●	●
Propulsion	Véhicules utilisant des carburants de substitution	●	●	●	
	Innovations touchant les moteurs	●	●	●	●
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement		●		
Régulation	Systèmes d'information	●	●	●	●
	Logistique		●	●	
	Gestion de la circulation	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules	●	●	●	●

Légende : ● Rôle possible du gouvernement fédéral

TABLEAU 5-3. RÔLE DU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL - COURTIER EN COMMERCIALISATION

Ce rôle est semblable à celui de courtier en information, sauf que le gouvernement fédéral se fait ici le promoteur de l'utilisation des technologies de transport durable dans tous les aspects du transport au Canada. Ce rôle exige également une coordination avec les SDD mises au point ailleurs au gouvernement fédéral, de façon à faciliter l'harmonisation et l'utilisation des technologies en question. Un autre rôle de premier plan du gouvernement fédéral consiste à servir de «vitrine» des technologies de transport durable canadiennes et à en promouvoir les applications partout au monde, en assurant toute une gamme de services, de la nomination des personnes ressources nécessaires à l'étranger au financement de trousse de promotion et de démonstrations sur place, en passant par le parrainage de conférences internationales.

Catégories de technologies	Sous-catégories de technologies	Automobiles et camions légers	Poids lourds et autocars	Autobus urbains	Aéronefs
Véhicule	Consommation de ressources	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules	●	●	●	●
Propulsion	Véhicules utilisant des carburants de substitution	●	●	●	
	Innovations touchant les moteurs	●	●	●	●
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement		●		
Régulation	Systèmes d'information	●	●	●	●
	Logistique		●	●	
	Gestion de la circulation	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules	●	●	●	●

Légende : ● Rôle possible du gouvernement fédéral

TABLEAU 5-4. RÔLE DU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL - COURTIER EN FINANCEMENT

Ce rôle est complémentaire des autres initiatives fédérales dans le domaine du financement de la R&D (comme les bourses CRSNG attribuées aux étudiants ou, par exemple, l'aide consentie récemment au développement de la pile à combustible Ballard), le gouvernement fédéral servant d'agent de liaison entre les partenaires et commanditaires potentiels du financement des technologies de transport durable. Ceux-ci peuvent provenir de divers milieux : entreprises privées; organismes prêteurs; autres ministères et organismes fédéraux; gouvernements provinciaux et administrations municipales; transporteurs; services publics de transport; fabricants de matériel de transport; établissements d'enseignement; associations professionnelles/industrielles du secteur des transports. Pourraient entrer dans la même catégorie des projets de démonstration (p. ex., le coparrainage par le gouvernement fédéral d'un autobus urbain fonctionnant au gaz naturel).

Ce rôle pourrait également amener le gouvernement fédéral à établir des partenariats avec les secteurs intéressés aux technologies complémentaires, comme les industries des télécommunications et de la haute technologie et le secteur du gaz naturel, de même qu'avec d'autres gouvernements ou organismes.

Catégories de technologies	Sous-catégories de technologies	Automobiles et camions légers	Poids lourds et autocars	Autobus urbains	Aéronefs
Véhicule	Consommation de ressources	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules	●	●	●	
Propulsion	Véhicules utilisant des carburants de substitution				
	Innovations touchant les moteurs	●	●	●	●
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement		●		
Régulation	Systèmes d'information				●
	Logistique		●	●	
	Gestion de la circulation	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules				

Légende : ● Rôle possible du gouvernement fédéral

TABLEAU 5-5. RÔLE DU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL - ÉLABORATION DE NORMES

Le gouvernement fédéral pourrait élaborer des instruments normalisés de mesure de la durabilité d'une technologie, destinés autant à aider les chercheurs canadiens à se fixer des cibles qu'à mesurer les progrès accomplis à l'égard des objectifs de la SDD. Le fait d'élaborer de telles normes ferait en outre du gouvernement un chef de file dans l'établissement des «règles du jeu», tant au Canada qu'à l'étranger.

Catégories de technologies	Sous-catégories de technologies	Automobiles et camions légers	Poids lourds et autocars	Autobus urbains	Aéronefs
Véhicule	Consommation de ressources	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules	●	●	●	
Propulsion	Véhicules utilisant des carburants de substitution	●	●	●	
	Innovations touchant les moteurs	●	●	●	●
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement		●		
Régulation	Systèmes d'information	●	●	●	●
	Logistique		●	●	
	Gestion de la circulation	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules	●	●	●	●

Légende : ● Rôle possible du gouvernement fédéral

TABLEAU 5-6. RÔLE DU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL - PRATIQUES D'EMPLOYEUR

Le gouvernement fédéral pourrait implanter les technologies de transport durable dans sa propre «maison», ce qui fournirait une occasion de démontrer la viabilité des nouvelles technologies ou applications et de les mettre à l'essai en situation réelle avant qu'elles soient commercialisées à grande échelle. Le gouvernement fédéral a déjà joué ce rôle, par exemple en encourageant le télétravail.

Catégories de technologies	Sous-catégories de technologies	Automobiles et camions légers	Poids lourds et autocars	Autobus urbains	Aéronefs
Véhicule	Consommation de ressources				
	Innovations touchants les véhicules				
Propulsion	Véhicules utilisant des carburants de substitution	●	●	●	
	Innovations touchant les moteurs				
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement				
Régulation	Systèmes d'information				
	Logistique				
	Gestion de la circulation	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules				

Légende : ● Rôle possible du gouvernement fédéral

TABLEAU 5-7. RÔLE DU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL - ÉLABORATION DE POLITIQUES

Le gouvernement fédéral pourrait élaborer des politiques et méthodes types destinées aux autres gouvernements, aux transporteurs et à d'autres organismes du secteur canadien des transports, et il pourrait également exporter ces services dans des pays moins développés. Au Canada même, le gouvernement fédéral pourrait agir à titre de coordonnateur entre les divers gouvernements, administrations et organismes fédéraux, provinciaux et municipaux.

Catégories de technologies	Sous-catégories de technologies	Automobiles et camions légers	Poids lourds et autocars	Autobus urbains	Aéronefs
Véhicule	Consommation de ressources	●	●	●	●
	Innovations touchant les véhicules				
Propulsion	Véhicules utilisant des carburants de substitution	●	●	●	
	Innovations touchant les moteurs				●
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement		●	●	
Régulation	Systèmes d'information				
	Logistique				
	Gestion de la circulation	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules	●	●	●	

Légende : ● Rôle possible du gouvernement fédéral

TABLEAU 5-8. RÔLE DU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL - INCITATIFS FISCAUX ET FINANCIERS

Le gouvernement fédéral pourrait, en s'associant à divers intervenants, établir un cadre fiscal et financier favorable au développement, au soutien et à la promotion des technologies de transport durable. Ce cadre pourrait comprendre, par exemple, des crédits d'impôt pour la conversion de véhicules existants aux technologies de transport durable, ou des remboursements de taxes pour l'utilisation de carburants de substitution.

Catégories de technologies	Sous-catégories de technologies	Automobiles et camions légers	Poids lourds et autocars	Autobus urbains	Aéronefs
Véhicule	Consommation de ressources	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules	●	●	●	
Propulsion	Véhicules utilisant des carburants de substitution	●	●	●	
	Innovations touchant les moteurs	●	●	●	●
	Innovations touchant le post-traitement des gaz d'échappement		●		
Régulation	Systèmes d'information				
	Logistique		●	●	
	Gestion de la circulation	●	●	●	
	Innovations touchant les véhicules				

Légende : ● Rôle possible du gouvernement fédéral

Les mesures énumérées ci-dessus supposent le concours d'un grand nombre d'intervenants, y compris les ministères et organismes fédéraux, les provinces, le secteur privé, comme les consultants et les fabricants, ainsi que les universités, les groupes de recherche et les équipes d'experts.

Parmi les ministères et organismes fédéraux susceptibles de prendre une part particulièrement importante au soutien des technologies de transport durable, mentionnons :

- Transports Canada
- Environnement Canada
- Industrie Canada
- Revenu Canada
- Bureau de la sécurité des transports
- Office national des transports
- NavCanada
- Conseil des aéroports du Canada
- Ressources naturelles Canada

5.4 Consultation d'experts

Un atelier de consultation d'experts a eu lieu sous l'égide du Centre de développement des transports à Montréal, le 27 janvier 1997. Les spécialistes en transport durable alors réunis provenaient tant du gouvernement que du secteur privé, ce qui a permis d'obtenir des perspectives diversifiées sur le sujet. Le Consultant a présenté les résultats de son étude et en a discuté avec les experts. Le rapport de recherche contient les commentaires exprimés par les experts.

Participants :

C.G.B. (Kit) Mitchell, Expert invité du Centre de développement des transports à titre de consultant en matière de transport durable

Trevor Smith, Agent de projet, Centre de développement des transports

Wayne Kauk, Directeur int., Développement durable, Groupe des programmes et des cessions, Transports Canada

Roberta Nichols, Consultante, Carburants de substitution

Robert Riley, Consultant, Technologies de pointe touchant les véhicules

Richard Soberman, Professeur de génie civil, Université de Toronto

Claude Guérette, Agent principal de développement, Technologies de transport de surface, Centre de développement des transports

Michel Gravel, Delcan

David Kriger, Delcan

5.5 Consultation interne

Un atelier tenu aux bureaux d'Ottawa de Transports Canada, le 1^{er} avril 1997, a réuni des spécialistes du transport durable travaillant au gouvernement, soit au CDT, à Transports Canada et dans d'autres ministères fédéraux. Cette rencontre a permis l'expression de points de vue divers, à l'intérieur du gouvernement fédéral, sur les stratégies de développement durable. Le Consultant a présenté les résultats de son étude et en a discuté avec les participants. Le rapport de recherche contient les commentaires exprimés par ces derniers.

5.6 Obstacles et opportunités

Le gouvernement fédéral ne pourra développer, soutenir et promouvoir avec succès les technologies de transport durable sans se pencher d'abord sur divers enjeux connexes, qui représentent à la fois des obstacles et des opportunités. Voici quelques-uns de ces enjeux :

- Plusieurs ministères et organismes fédéraux sont occupés à examiner, discuter, soutenir et promouvoir le transport durable et le développement durable. Un tel intérêt fournit un contexte favorable à l'implantation de technologies de transport durable et à l'expression de points de vue diversifiés sur la question. Mais cette effervescence risque en même temps d'entraîner des chevauchements dans le partage des responsabilités, des projets de recherche, des actions et des ressources, de même qu'un éparpillement des efforts consentis par les bailleurs de fonds (et, par conséquent, des difficultés à faire avancer des dossiers particuliers).
- Il est difficile de mesurer les progrès accomplis en matière de durabilité, les données disponibles étant soit incomplètes soit incompatibles (données temporelles, spatiales et modales). De plus, certaines informations sont périmées, tandis que d'autres sont trop parcellaires ou trop peu fiables pour pouvoir être utilisées. Il serait possible d'obtenir les données manquantes en tirant parti des activités régulières de collecte de données menées par les divers paliers de gouvernement, les transporteurs interurbains, les services de transport public, les associations industrielles, etc. Mais cela ne va pas sans une étroite coordination des activités de collecte de données, y compris des multiples organismes et sources de financement responsables de ces activités. Cela peut également nécessiter l'élaboration de nouvelles normes communes pour l'échange, la manipulation et la mise en tableaux des données. On pourrait ici envisager d'utiliser comme point de départ les ensembles de données existants, les bases de données SIG (systèmes d'information géographique), etc., constitués par les divers paliers de gouvernement.
- Le rôle du gouvernement fédéral au chapitre de la réglementation et de la responsabilité financière évolue, tout comme celui des autres paliers de gouvernement. En même temps, l'offre et la demande de transport croissent sans cesse, quel que soit le gouvernement ou l'administration responsable. D'où la nécessité de coordonner à l'échelle nationale l'avancement des technologies de transport durable, mais de façon souple (en respectant la variabilité des rôles), qui appréhende toutes les facettes du problème.

- Il y a lieu d'établir un organisme de coordination centralisé responsable de la promotion des technologies de transport durable. Aucun organisme de ce genre n'existe à ce jour. Il s'ensuit encore une fois le chevauchement des efforts et la dispersion des responsabilités et entre les divers paliers et instances gouvernementaux voués à la mise en oeuvre des technologies de transport durable à l'échelle des entreprises et des voyageurs.
- Il y a lieu de mettre sur pied des mécanismes qui seront chargés d'autoriser, promouvoir et/ou établir des partenariats avec les divers milieux intéressés aux technologies de transport durable, soit le secteur privé, les divers paliers de gouvernement, les universités et les établissements de recherche.
- Les technologies de transport durable doivent être classées plus haut sur l'échelle de priorités des pouvoirs publics, à tous les niveaux. Il faut en outre mieux sensibiliser les pouvoirs publics et la population en général à ces questions et insister sur la nécessité d'actions à court terme, tant à l'échelle des individus, des entreprises que du grand public.
- On continuera, dans un avenir prévisible, à se heurter à une grave insuffisance de fonds de sources gouvernementale et privée. D'où la nécessité de classer par ordre de priorité les technologies de transport durable ainsi que les mesures que peut prendre le gouvernement fédéral pour accélérer la mise en oeuvre de ces technologies. (Le paragraphe 5.7 propose des critères à utiliser pour l'établissement de ces priorités.) D'où, aussi, la nécessité de trouver des sources de financement complémentaires.

5.7 Critères d'évaluation approfondie

Le CDT a l'intention de procéder à une évaluation approfondie d'un certain nombre ou de la totalité des technologies recensées, à titre de contribution à l'élaboration de la stratégie de transport durable de Transports Canada. Bien qu'ils ne soient pas utilisés dans le cadre de la présente recherche, il convient de proposer des critères pour cette évaluation, de façon à garantir une certaine uniformité avec les critères utilisés dans ces pages (voir le paragraphe 4.1).

Certains critères sont dichotomiques (appelant les réponses *satisfaisant/insatisfaisant, oui/non*), tandis que d'autres demandent à l'évaluateur d'assigner un rang sur une échelle sémantique. Les «réponses» acceptables sont alors *oui, non, neutre ou incertain*. Les critères déterminent sur quels enjeux environnementaux porte l'évaluation, et la «pondération» relative de ces enjeux. D'autres facteurs sont également pris en compte -- par exemple, la sécurité et l'efficacité des transports -- afin de déterminer les impacts positifs ou négatifs des technologies et les conséquences de ces impacts sur leur applicabilité au transport durable.

Les critères sont tirés de plusieurs sources : la documentation sur les technologies de transport durable, les définitions de Transports Canada et les documents *Une nouvelle vision des transports au*

Canada et Politique et code de déontologie en matière d'environnement, de l'Association des transports du Canada (ATC).¹⁰

Mais nombre de ces sources s'attachent aux besoins plus vastes associés au transport durable, par opposition aux technologies de transport durable. On peut prendre, comme point de départ, la définition de travail suggérée par le CDT d'une technologie de transport durable, qui répond à plus de la moitié des conditions ci-après (voir le paragraphe 1.2), et qui est reprise, pour plus de commodité.

Une technologie ... qui réduit au minimum l'impact négatif global d'un système de transport; qui améliore la sécurité; qui procure un avantage économique net; qui favorise l'accessibilité de tous à tous les biens et services; qui fait une place à la consultation publique; et qui réduit la consommation de ressources non renouvelables^[3].

Cette définition comporte, en filigrane, plusieurs critères : ces six critères, et un septième (la faisabilité), sont énoncés au tableau 5-9, qui constitue le cadre d'évaluation de l'initiative *Technologies de transport durable : cadre d'action*. Il énumère et décrit les critères et les indicateurs qui y sont associés. Ces indicateurs sont le plus souvent fondés sur une mesure de la «productivité» ou de la «performance» d'un système de transport, comme le passager-kilomètre ou la tonne-kilomètre (déplacement d'un passager ou d'une tonne de marchandises sur une distance de un kilomètre).

¹⁰ *Une nouvelle vision des transports au Canada* propose un ensemble de 19 objectifs qui visent à accroître l'efficacité et la compétitivité du système de transport multimodal au Canada. *Politique et code de déontologie en matière d'environnement* se présente comme un énoncé des meilleures pratiques à adopter dans tous les domaines de la prestation de services de transports pour la mise en place de méthodes respectueuses de l'environnement. Ces deux documents ont reçu l'aval de Transports Canada, ainsi que d'autres paliers de gouvernement, organismes et divers exploitants de services de transports.

TABLEAU 5-9. CADRE D'ÉVALUATION

Objectifs des technologies de transport durable :	Critères	Indicateurs (Mesures)
Réduire au minimum l'impact négatif global d'un système de transport	Rejet de polluants (gaz à effet de serre, précurseurs de smog, métaux lourds, particules, déchets liquides et solides) Charges de polluants atmosphériques	Diminue les polluants produits par véhicule-km, passager-km ou tonne-km? Diminue les concentrations de polluants?
Améliorer la sécurité	Atténuation des effets négatifs associés aux accidents	Réduit les accidents, les blessures ou les morts par passager-km ou tonne-km?
Procurer un avantage économique net	Coût de production/d'exploitation/d'entretien Équité Avantages spatiaux Avantages temporels	Permet de dégager un bénéfice net par rapport aux coûts engagés? Rentable? Diminue le temps et les coûts de déplacement? Étend la zone des impacts positifs? Produit des impacts positifs au moment opportun?
Favoriser l'accessibilité de tous à tous les biens et services	Productivité Donne une meilleure accessibilité aux personnes handicapées	Accroît le PNB? Contribue à une accessibilité totale?
Faire une place à la consultation publique	Acceptation du public	Le public appuie-t-il généralement la technologie?
Réduire la consommation de ressources non renouvelables	Consommation d'énergie (non renouvelable) Utilisation de ressources pendant la fabrication Utilisation de modes écologiques <i>plutôt</i> que de modes non écologiques de transport	Réduit la quantité (litres) de carburant consommé par passager-km, tonne-km, véhicule-km? Réduit les tonnes de matières premières non renouvelables ou écologiquement vulnérables consommées par véhicule, passager-km ou tonne-km? Détourne des passagers-km/tonnes-km vers des modes de transport plus efficaces? Favorise une meilleure utilisation des modes de transport les plus efficaces?
Être applicable	Degré de maturité État de disponibilité pour les utilisateurs potentiels	Applicabilité commerciale démontrée (dans le monde et en particulier au Canada)? Coût adapté au marché canadien? Obstacles à sa mise en oeuvre au Canada?

6. CONCLUSIONS

Ce chapitre propose, en guise de conclusion, une vision d'un avenir auquel auront été intégrées les technologies de transport durable, suivie d'un résumé des principaux constats et recommandations auxquels a donné lieu la recherche.

6.1 Vision de l'avenir

Il serait simpliste de présenter la technologie comme la voie unique vers le transport durable. Mais, comme en fait foi la présente recherche, la technologie a un rôle véritable et crucial à jouer dans l'atteinte de tous et de chacun des objectifs de transport durable.

À quoi ressemblerait un monde auquel auraient été intégrées les technologies de transport durable? Sur un plan immédiat, ces technologies entraîneraient une réduction de la consommation de ressources non renouvelables et une atténuation des impacts négatifs des transports (de la pollution). Mais sur un plan plus large, les technologies de transport durable pourraient améliorer la qualité de la vie urbaine, grâce, par exemple, à l'optimisation des trajectoires de déplacement (réduction de la congestion). Sur un plan encore plus large, ces technologies pourraient améliorer l'état de santé et de bien-être général de la population, qui se traduirait à son tour par un avantage économique net pour les programmes d'aide sociale de la nation.

Le rôle d'un «cadre d'action» en matière de technologies de transport durable est donc de promouvoir le développement et la pénétration de ces technologies dans la vie de tous les jours.

6.2 Sommaire des principales conclusions, conséquences et responsabilités

Technologies de transport durable : cadre d'action avait pour objet d'appuyer l'élaboration de la stratégie de transport durable de Transports Canada. Le ministre des Transports doit déposer au Parlement, d'ici décembre 1997, sa Stratégie de développement durable (SDD), soit un ensemble d'actions qui visent tant la gestion interne du Ministère que l'ensemble du secteur des transports.

Technologies de transport durable : cadre d'action comportait les quatre grandes tâches suivantes :

- ***inventorier et catégoriser les technologies*** pouvant s'inscrire dans une stratégie de transport durable;
- ***évaluer les technologies et sélectionner*** celles qu'il y aura lieu de soumettre à une évaluation approfondie par Transports Canada, afin d'établir leur potentiel en tant qu'élément d'une stratégie de transport durable devant être intégrée à la SDD du Canada;

- **proposer des orientations** quant à l'applicabilité des technologies sélectionnées et au rôle possible du gouvernement fédéral dans l'avancement de ces technologies;
- **élaborer des critères pratiques** pour l'évaluation subséquente du potentiel des technologies retenues.

Les résultats de *Technologies de transport durable : cadre d'action* se présentent sous la forme de quatre grands produits.

Le premier produit important est un *inventaire* détaillé des technologies de transport durable, à partir duquel a été dressée une liste descriptive des technologies candidates.

Le deuxième produit est une *catégorisation* de ces technologies selon leur type, le mode de transport et leur impact possible. Le fait de classer ainsi les technologies permet de les comparer et de les évaluer de façon systématique et cohérente. Cette catégorisation s'accompagne des critères à utiliser pour l'évaluation approfondie des technologies.

Ces deux premiers produits ont mené à l'établissement des sous-catégories de technologies de transport durable les plus prometteuses en ce qui a trait à l'atténuation des effets du transport sur l'environnement. Ce sont : la **réduction de la consommation de ressources** (*technologies touchant les véhicules*), les **innovations touchant les véhicules** (*technologies touchant les véhicules*), les **véhicules utilisant des carburants de substitution** (*technologies touchant la propulsion*), les **innovations touchant les moteurs** (*technologies touchant la propulsion*), et la **gestion du trafic** (*technologies touchant la régulation*). L'évaluation approfondie devrait porter sur ces sous-catégories.

Le troisième produit, et peut-être le plus important, est l'énoncé de deux orientations qui concourent aux objectifs de transport durable. La première de ces orientations vise le perfectionnement des technologies de transport existantes et le maintien (sinon la réduction) des niveaux de consommation actuels. La seconde orientation vise les technologies de transport durable tout à fait nouvelles et appelle à une véritable mutation.

Ces deux orientations prennent tout leur sens lorsqu'elles sont vues en séquence. C'est que le passage du premier au deuxième groupe de technologies se produira vraisemblablement lorsque diminueront les avantages associés aux technologies du premier groupe, lesquelles se verront relayées par celles du deuxième groupe, davantage efficaces pour l'atteinte des objectifs de transport durable. En d'autres mots, on peut prévoir un moment charnière où les perfectionnements techniques courants et à court terme ne généreront plus que de modestes avantages, alors que l'implantation d'une nouvelle technologie procurera des avantages substantiels. Les perfectionnements techniques courants et à court terme appartiennent au premier groupe de technologies; tandis que les perfectionnements à long terme intéressent le second groupe. Les technologies de ce dernier groupe sont nécessairement plus complexes et plus coûteuses que celles du premier groupe.

Un quatrième produit résultant de l'étude est l'inventaire des rôles ou des actions possibles du gouvernement fédéral dans le développement, la mise en oeuvre et la promotion des technologies de

transport durable, dans le respect des orientations susmentionnées. Sept rôles et actions possibles ont été recensés.

1. *Courtier en information* -- servir de carrefour pour l'échange d'idées, d'information et d'innovations dans le domaine des technologies de transport durable.
2. *Courtier en commercialisation* -- promouvoir l'utilisation des technologies de transport durable et de leurs applications dans tous les aspects du transport, au Canada et partout dans le monde.
3. *Courtier en financement* -- rechercher et relier entre eux des partenaires financiers et des commanditaires potentiels pour l'avancement des technologies de transport durable.
4. *Élaboration de normes* -- élaborer des instruments normalisés de mesure de la durabilité, qui aideront les chercheurs canadiens à se fixer des cibles et à mesurer les progrès accomplis par rapport aux objectifs de la SDD.
5. *Pratiques d'employeur* -- démontrer la viabilité des technologies de transport durable, et les mettre à l'essai en situation réelle avant leur commercialisation à grande échelle.
6. *Élaboration de politiques* -- élaborer des politiques et des méthodes types, exporter ces services dans des pays sous développés et coordonner les actions des gouvernements et organismes fédéraux, provinciaux et municipaux dans ce domaine.
7. *Incitatifs fiscaux et financiers* -- élaborer des mesures d'incitation fiscales et financières favorables au développement, à l'appui et à la promotion des technologies de transport durable.

À ces rôles du gouvernement fédéral pourrait s'ajouter celui de faciliter, le moment venu, le passage du premier groupe de technologies au deuxième, en instaurant un cadre politique et financier favorable.

6.3 Recommandations/Démarches futures

Comme première suite à donner au présent rapport, il est recommandé de procéder à une évaluation approfondie des technologies candidates, à la lumière des critères proposés à cette fin.

Une deuxième étape serait d'élaborer un plan d'action pour la mise en application des orientations et des rôles recommandés, à Transports Canada et dans les autres ministères et organismes fédéraux, et de mettre sur pied des mécanismes aptes à favoriser la collaboration avec les autres paliers de gouvernement, les autres organismes publics, le secteur privé, et les établissements d'enseignement et de recherche.

Toute action entreprise par les fournisseurs de services de transport et/ou le gouvernement fédéral nécessite toutefois la coordination et l'appui des trois groupes de politiques mentionnées au chapitre 1, soit les politiques comportementales, financières et technologiques. Car aucun de ces trois ordres de politiques ne peut seul garantir l'atteinte des objectifs de transport durable. Pas plus que la technologie seule n'est une panacée pour tous les problèmes de la société. Mais un effort concerté sera nécessaire pour faire avancer la cause de la durabilité du transport. D'où la nécessité d'examiner les obstacles et les opportunités énoncés au paragraphe 5.7 et d'en tirer une stratégie nationale qui appuiera notre marche vers les objectifs de transport durable. Finalement, l'atteinte de ces objectifs est largement tributaire de la sensibilisation du public ou de l'établissement de conditions propices à l'acceptation et à l'utilisation des technologies de transport durable par le public voyageur.

RÉFÉRENCES

- [1] *Évaluation de l'efficacité énergétique au Canada*, Ressources naturelles Canada, Ottawa, 1996, p. 1.
- [2] Sussman, J.M., *Critical Issues in Transportation*, TR News 174 (septembre-octobre 1994), p. 4.
- [3] Smith, T.N. et S. Ling Suen, *Economically Sustaining Advanced Traveller Information Systems (ATIS): The Visual Communication Network (VCN)*. Communication faite au XIII^e congrès mondial de l'IRF tenu à Toronto en 1997, p. 3.
- [4] Commission Bründtland, *Notre avenir à tous*, Oxford University Press, New York, 1987.
- [5] Adapté de : Bell, D., R. Delaney et R. Lewis, *Proposition de transport durable - Cadre national*. Rapport préparé pour *Vers des transports durables* (Conférence de l'OCDE), Vancouver, 24 au 27 mars 1996, p. 3.
- [6] Replogle, M., *Sustainability: A Vital Concept for Transportation Planning and Development*, Journal of Advanced Transportation, vol. 25, n^o 1, p. 4 et p. 7.
- [7] Holloway, C.W., *Developing Priorities for Sustainable Transportation in Canada*, préparé pour Transports Canada, Équipe de gérance de l'environnement, mars 1995, p. 1 et pp. 3-4.
- [8] Adapté de Greene, D.L., *Transportation & Energy*, Eno Transportation Foundation, Lansdowne, Virginie, 1996, pp. 219-221.
- [9] Groupe IBI, *Déplacements urbains et développement durable : l'expérience canadienne*, préparé pour la Société canadienne d'hypothèques et de logement, février 1993, p. 17.
- [10] Heaton, G.R., R. Repetto et R. Sobin, *Backs to the Future: U.S. Government Policy Toward Environmentally Critical Technology*, World Resources Institute, Washington, 1992, p. 7. (La description vise les technologies dites «écologiques» dans tous les domaines, pas seulement celui des transports.)
- [11] Gwilliam, K.M. et H. Geerlings, *New Technologies and their Potential to Reduce the Environmental Impact of Transportation*, Transportation Research A, vol. 28A, n^o 4 (1994), p. 319.
- [12] Hollinshead, M., *Retailing: Historical Patterns and Future Trends*, Plan Canada, vol. 36, n^o 6 (novembre 1996), p. 18.
- [13] Suokas, P. et McLeod, M., *Use of Census Data for Transportation Planning: Experience and Applications in Ontario*, Compte rendu - Congrès annuel 1996 de l'ATC.
- [14] Delcan Corporation, *Étude sur le transport des marchandises dans la région de la Capitale nationale, Rapport sommaire*, préparé pour le Comité TRANS, mai 1991, pp. 12-15.
- [15] *Évaluation de l'efficacité énergétique au Canada*, Ressources naturelles Canada, Ottawa, 1996, pp. 7-9 et pp. 33-43.
- [16] Nix, F.P., *Transportation in Canada: A Statistical Overview*, p. 23.

- [17] Serageldin, I. *Transport urbain et environnement : Recherche d'une politique globale*, Public Transport International, n° 2, 1993, p. 17.
- [18] Kane, H. *Shifting to Sustainable Industries* in L. Brown, éd., *State of the World 1996*, Norton, New York, 1996, p. 165.
- [19] Heaton, G., R. Repetto, et R. Sobin, *Transforming Technology: An Agenda for Environmentally Sustainable Growth in the 21st Century*, World Resources Institute, Washington, avril 1991, pp. 6-7.
- [20] Nix, F.P., *Transportation in Canada: A Statistical Overview*, tableau 46, p. 24. Source du document : Environnement Canada, Direction des données sur la pollution.
- [21] Union internationale des chemins de fer, *Réduire les coûts externes des transports*, Paris, 1995, p. 6.
- [22] *Trends in carbon dioxide emissions from transportation in Canada and elsewhere: The challenge of sustainability*, feuillet d'information préparé par le Centre for Sustainable Transportation, Toronto, 1996.
- [23] Holloway, C.W. *Developing Priorities For Sustainable Transportation in Canada*, préparé pour Transports Canada, Équipe de gérance de l'environnement, Ottawa, mars 1995, p. 5.
- [24] Serageldin, I., *Transport urbain et environnement : Recherche d'une politique globale*, Public Transport International, n° 2, 1993, p. 17.
- [25] *Livre vert relatif à l'impact des transports sur l'environnement*, Commission des communautés européennes, Bruxelles, 1992.
- [26] Jones, P.D., T.M.L. Wigley et K.R. Briffa, 1994.
- [27] Pilonusso Research & Consulting Inc., *The Role of Transportation Technologies in Reducing Greenhouse Gas Emissions*, préparé pour la Table ronde de l'Ontario sur l'environnement et l'économie, Toronto, 1995, p. 2, p. 3, pp. 22-23, pp. 68-78 et p. 64.
- [28] Définitions adaptées de V.R. Vuchic, *Urban Public Transportation Systems and Technology*, Prentice-Hall, Englewood, NJ, 1981.
- [29] Renner, M., *Rethinking Transportation*, in *State of the World 1989*, Brown, L., éd., Norton, New York, 1989, p. 19 et p. 104.
- [30] Law, A., *Lightweight materials pass U.S. crash tests*, The Toronto Star, samedi, 14 décembre 1996, p. K7.
- [31] Conférence européenne des Ministres des Transports, *Reconciling Transportation Energy and Environmental Issues: The Role of Public Transport*, Actes de la conférence, Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, 1995, p. 28, pp 10-15 et p. 29.
- [32] Howard, R., *B.C.'s perfect energy source*, The Globe and Mail, samedi, 30 novembre 1996, p. D10.
- [33] Greene, D.L., *Transportation & Energy*, Eno Transportation Foundation, Inc., Landsdowne, Virginie, 1996, p. 149-150.