Stratégies de gestion des gaz à effet de serre au Québec : grandes lignes et enseignements d'une recherche interdisciplinaire

Rapport de recherche

MARYSE LABRIET, JEAN-PHILIPPE WAAUB, JOSÉ A. PRADES

MARYSE LABRIET
Chercheur
Gerad, HEC, 3000, chemin de la Côte-Sainte-Catherine, Montréal (Québec), H3T 2A7, Canada
labriet.maryse@uqam.ca

JOSÉ A. PRADES
Directeur
Greige, Uqam-Ise, CP 8888, Succursale centre-ville, Montréal (Québec), H3C 3P8, Canada
prades.jose@uqam.ca

JEAN-PHILIPPE WAAUB
Professeur
Gerad, HEC, 3000, chemin de la Côte-Sainte-Catherine, Montréal (Québec), H3T 2A7, Canada
waaub.jean-philippe@uqam.ca

Dans ses rapports d'évaluation scientifique du changement climatique, le Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) conclut que l'augmentation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre issus des activités anthropiques entraînerait un réchauffement planétaire (IPCC, 1995). En 1992, alertée par le risque de dommages irréversibles, la communauté internationale a élaboré la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques, ratifiée par plus de 150 pays lors du Sommet de la terre à Rio de Janeiro en 1992. La convention ne fixant ni échéancier, ni cible de réduction obligatoire, plusieurs pays industrialisés signataires, dont le Canada, se sont fixés comme objectif provisoire de ramener à leurs niveaux de 1990 les émissions anthropiques de gaz à effet de serre sur leur territoire, d'ici l'an 2000. La troisième Conférence des parties à la convention, tenue à Kyoto en décembre 1997, a fixé, par l'intermédiaire du Protocole de Kyoto, des cibles de réduction et des échéanciers pour les différents pays et régions du monde. La cible de réduction à atteindre pour le Canada est de 6 % du volume des émissions de 1990 d'ici à la période 2008–2012.

En vue d'aider les gouvernements du Canada et du Québec à élaborer des plans d'action, le Greige[1] et le Gerad[2] ont été mandatés par les ministères de l'Environnement, des Ressources naturelles, des Travaux publics et Services gouvernementaux du Canada et par le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec pour élaborer et analyser, sur un horizon à long terme, les fondements de stratégies viables de gestion des gaz à effet de serre au Québec.

De nature prospective, ce travail de recherche[3], réalisé entre 1995 et 1997, a consisté à rassembler et à intégrer les informations disponibles sur le plan des données technico-économiques, des outils de gestion et des valeurs sociales, afin d'explorer des scénarios de gestion des gaz à effet de serre au Québec, sur l'horizon 1993–2037 (Prades et al, 1998). Pour répondre à la nature prospective du travail, les scénarios proposés sont contrastés du point de vue de la cible de réduction des émissions visées et des outils de gestion envisagés. Une attention particulière est accordée au secteur des transports terrestres des personnes et des marchandises, étant donné la place que ce secteur occupe dans les inventaires d'émissions au Québec et au Canada.

L'intérêt de ce travail réside dans le développement d'une démarche analytique et « résolutique » d'aide à la décision pour l'élaboration de stratégies de gestion des gaz à effet de serre, intégrant les facteurs environnementaux, technico-économiques et sociaux. Des outils méthodologiques appropriés sont utilisés pour l'étude de chaque catégorie de facteurs. Par ailleurs, l'étude du secteur des transports répond à des préoccupations croissantes de la plupart des pays industrialisés, étant donné la part de ce secteur dans le bilan d'émissions de gaz à effet de serre. Enfin, le cas du Québec est intéressant d'une part, à cause du défi que représente la gestion des gaz à effet de serre dans une province dont le bilan énergétique est caractérisé par l'hydroélectricité et, d'autre part, à cause de la dépendance du Québec face au reste du Canada et aux États-Unis pour la mise en œuvre de certaines mesures. Illustrée par le cas du secteur des transports au Québec, la démarche proposée peut néanmoins être appliquée à tout autre secteur et tout autre région, après adaptation des outils méthodologiques utilisés.

Les émissions de gaz à effet de serre au Québec

En 1995, le Canada est responsable d'environ 2 % des émissions mondiales, pour seulement 0,5 % de la population mondiale (Canada, 1997). Les estimations actuelles prévoient une augmentation des émissions de plus de 10 % entre 1990 et 2000 et de près de 20 % entre 1990 et 2010. En 1995, le transport, principale source anthropique d'émissions de gaz à effet de serre au Canada, contribue pour 27 % des émissions. Dans ce secteur, les automobiles constituent la plus importante portion des émissions (39 %), suivies des camions lourds et des camions légers (19 et 17 % respectivement).

Le Québec, en 1995, est au troisième rang des provinces responsables des émissions canadiennes de gaz à effet de serre, mais son taux d'émission par habitant est le plus faible (Canada, 1997 ; Québec, 1995). Par ailleurs, les émissions de gaz à effet de serre ont pratiquement stagné au Québec, entre 1990 et 1995, et il est prévu qu'elles augmentent, dans le scénario de base, de 10 % entre 1990 et 2010. La différence entre ces estimations et celles relatives aux émissions canadiennes s'explique par la situation énergétique particulière du Québec, caractérisée d'une part, par la part élevée, dans le bilan énergétique québécois, de l'hydroélectricité, qui émet peu de gaz à effet de serre (méthane) dans le contexte du Québec,

[1] Groupe de recherche interdisciplinaire en gestion de l'environnement affilié à l'Institut des sciences de l'environnement de l'université du Québec à Montréal.

[2] Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions (centre de recherche multi-universités : Hautes écoles commerciales, université McGill, École polytechnique, université du Québec à Montréal).

[3] Sous la responsabilité de José A. Prades, professeur à l'Uqam et directeur du Greige, de Richard Loulou, professeur à l'université McGill et membre du Gerad, et de Jean-Philippe Waaub, professeur agrégé à l'Uqam, membre du Greige et du Gerad.

et d'autre part, par la nature des activités industrielles du Québec (notamment, l'industrie pétrolière, présente dans le reste du Canada, contribue à l'augmentation des émissions canadiennes) (Canada, 1999).

Le secteur des transports, représentant plus de 40 % des émissions en 1995, est la principale source d'émissions de gaz à effet de serre au Québec (Québec, 1995). Le segment des déplacements individuels des personnes (automobile) représente alors 50 % des émissions de gaz à effet de serre du secteur des transports (Canada, 1997). Ainsi, grâce principalement à l'utilisation répandue de l'hydroélectricité, les secteurs industriel, résidentiel et commercial sont des contributeurs de gaz à effet de serre relativement moindres au Québec que dans d'autres régions.

Les fondements de notre méthode : une démarche analytique et « résolutique »

Conçue en complémentarité avec les nombreux travaux en cours, l'étude réalisée repose sur une approche méthodologique originale intégrant deux démarches de base :

– Une démarche analytique, tenant compte des facteurs environnementaux, technico-économiques et sociaux qui conditionnent les orientations et les priorités de stratégies de gestion bénéfiques pour l'ensemble de la société, moyennant des coûts supportables, et adaptées aux particularités du Québec : d'une part, le potentiel de réduction par le remplacement par des formes moins émettrices de gaz à effet de serre, telles que le charbon, est faible, étant donné la part déjà élevée de l'hydroélectricité (faiblement émettrice) dans le bilan énergétique du Québec ; d'autre part, le Québec doit tenir compte de l'impact des stratégies envisagées au Québec sur sa compétitivité économique, étant donné l'intégration de son marché avec ceux des autres provinces canadiennes et des États-Unis ; enfin, le Québec ne dispose pas de l'autonomie de mise en œuvre de certains outils, tels que ceux concernant la réglementation sur l'efficacité énergétique des véhicules, étant donné que le marché des véhicules est à l'échelle nord-américaine.

– Une démarche « résolutique » qui, fondée sur les impératifs du développement durable et de la gestion intégrée de l'environnement, contribue à la découverte de solutions pratiques qui sont à notre portée. Cette démarche vise à affronter des situations considérées comme des problèmes, pas seulement dans un objectif d'analyse descriptive, analytique ou critique, mais aussi dans le but de contribuer à leur résolution concrète.

L'approche méthodologique et les résultats de chacun des trois champs de recherche traités (données technico-économiques, outils de gestion et valeurs sociales) sont présentés. Ils sont illustrés par la *figure 1*.

Les données technico-économiques

L'analyse des données technico-économiques vise à l'évaluation des options technologiques disponibles pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, et à l'évaluation de la désirabilité environnementale et économique des scénarios d'interventions. Le modèle Markal (*Market allocation*) est utilisé pour la modélisation de cibles de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de scénarios d'interventions.

Markal est un modèle mathématique dynamique de programmation linéaire permettant de représenter de façon cohérente, détaillée et intégrée, le système énergétique du Québec (production, transport, consommation d'énergie), dans une perspective à long terme (1993–2037) (Berger, 1992 ; Lavigne, 1998). Il a pour objectif la minimisation du coût total actualisé du système énergétique (les coûts sont les coûts d'investissement dans les technologies, les coûts d'opération, les coûts de consommation énergétique) tout en satisfaisant les demandes d'énergie prescrites et en respectant les contraintes (notamment environnementales) imposées au système. Pour minimiser le

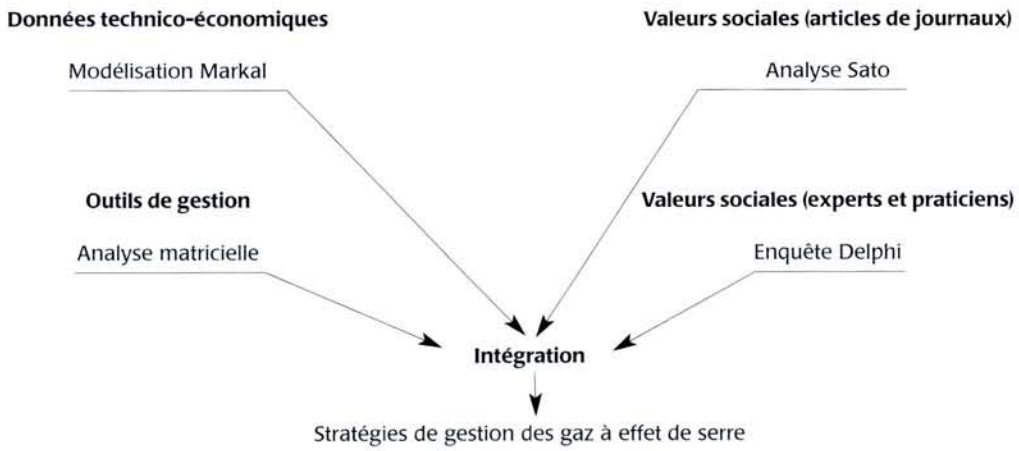

Figure 1. Approche méthodologique et techniques d'analyse.

coût total du système (c'est-à-dire optimiser le système), le modèle choisit les technologies et les formes d'énergie tout au long de l'horizon de planification (substitution technologique et énergétique, pénétration de nouvelles technologies, conservation énergétique, remplacement de procédés industriels). Markal représente un marché compétitif (ou optimisé), un concept défini sans ambiguïté en économie (les prix des formes énergétiques calculés par Markal sont égaux à leur valeur marginale).

Pour cette étude, le modèle Markal représentant le système énergétique québécois a été isolé des autres provinces canadiennes ainsi que des États-Unis, puisque l'objectif de réduction concernait les engagements du Québec seulement[4].

Les gaz à effet de serre considérés dans le modèle sont le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N^2O), ainsi que l'hexafluorure de soufre (SF_6), le tétrafluorométhane (CF_4) et l'hexafluorure de carbone (C_2F_6). Quant aux chlorofluorocarbures (CFC), ils ne sont pas représentés. Nous suivons en cela la plupart des chercheurs dans ce domaine ainsi que les conclusions du GIEC (IPCC, 1995). Les émissions de gaz oxydants (oxydes d'azote : NO_x; dioxyde de soufre : SO_2) sont aussi représentées.

Le choix définitif de cibles de réduction souhaitables au niveau provincial dépasse le mandat de la présente étude[5]. À partir des études accomplies ou en cours sur la question du compromis socialement optimal entre les coûts de réduction et les coûts des impacts des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle globale, nous avons élaboré des cibles possibles à l'échelle du Québec, encadrant la fourchette des cibles réalistes, qui pourront être appliquées au Québec.

– La cible moyenne correspond à une réduction d'environ 5 % des émissions de gaz à effet de serre sur la période 1993–2037, par rapport à la stabilisation sur tout l'horizon des émissions au niveau de 1990. Bien qu'elle s'avère moyennement sévère sur un horizon de 2 ou 3 décennies, elle n'est pas suffisante à très long terme, à l'échelle planétaire, pour stabiliser la concentration atmosphérique de gaz à effet de serre.

– La cible haute correspond à une réduction de 17 % des émissions de gaz à effet de serre sur la même période. Cette cible viserait à stabiliser dans le long terme la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Le Protocole de Kyoto a fixé la cible de réduction pour le Canada à 6 % d'ici la période 2008–2012, par rapport aux émissions de 1990. Il est donc compatible avec la fourchette établie par les deux cibles de cette étude. Aucune cible n'est cependant établie au-delà de 2012, contrairement aux hypothèses du travail réalisé (réduction jusqu'à 2037).

Pour chacune des deux cibles de réduction des émissions de gaz à effet de serre retenues (5 % et 17 %), des scénarios d'interventions ont été élaborés, reposant sur trois types d'interventions : l'efficacité énergétique des véhicules, le transfert modal en transport des personnes et des marchandises et la tarification différentielle des carburants. Deux niveaux (moyen ou haut) sont possibles pour chaque type d'intervention. Bien que nous n'ayons pas analysé la nature et le niveau des interventions spécifiques requises dans les secteurs autres que le transport, nous avons considéré que ceux-ci effectuent leur part optimale de réduction des émissions de gaz à effet de serre, définie par Markal[6]. L'analyse du profil technologique des scénarios modélisés suscite les observations suivantes.

– Dans tous les scénarios d'interventions, la nature du « *mix* » technologique choisi par Markal reste qualitativement la même, à quelques variantes près. Ces technologies sont principalement les automobiles électriques et hybrides, qui pénètrent fortement le marché des déplacements urbains et interurbains[7], ainsi que le propane et surtout le gazole pour les camions moyens. Dans le scénario de base (émissions libres), malgré l'absence d'incitatif direct à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, ces technologies « propres » font leur apparition. Il faut en effet rappeler que le scénario de base n'est pas un scénario de type « *business-as-usual* » puisqu'il correspond à l'optimisation technico-économique du système énergétique existant, qui n'est pas optimal au sens économique. Le scénario de base comporte donc des modifications par rapport au système technico-énergétique existant, pour des raisons purement économiques (changements de type « sans regret ») combinées à la réduction des émissions de gaz oxydants (notamment le NO^x) bornées dans tous les scénarios aux niveaux préconisés par les accords signés par le Canada sur la qualité de l'air (Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air, Protocole international des NO_X, Plan d'action fédéral).

Les contraintes imposées sur les émissions de gaz à effet de serre, quel que soit le scénario d'interventions modélisé, viennent donc renforcer et/ou accélérer les changements technologiques opérés dans le scénario de base.

– Les technologies nouvelles d'autobus urbain, bien que non retenues dans le « *mix* » technologique choisi par le modèle, présentent néanmoins un intérêt socioéconomique et technico-énergétique marqué pour la gestion des gaz à effet de serre au Québec. D'une part, la conversion des modes de transport public en véhicules « propres » présente une importante valeur de sensibilisation sociale et peut jouer un rôle d'exemple incitatif pour la conversion des véhicules individuels. D'autre part, l'innovation technologique est plus facilement réalisable dans ce segment, puisqu'il est en grande partie sous contrôle public. En fait, l'autobus électrique, par exemple, est presque compétitif selon les critères technico-énergétiques et environnementaux du modèle Markal. Ainsi, une diminution mineure du coût des autobus électriques, ou encore la prise en compte des facteurs sociaux et macroéconomiques et d'autres paramètres environnementaux (composés organiques volatiles, poussières) feraient pénétrer les autobus électriques dans le « *mix* » technologique retenu.

– Les interventions visant l'efficacité énergétique et le transfert modal, requises pour atteindre les cibles moyenne et haute de réduction des émissions, doivent être vigoureuses et nécessitent des actions structurelles. En permettant d'atteindre des réductions

[4] D'autres travaux ont analysé les perspectives de réduction de gaz à effet de serre dans un contexte multi-régional, voire international (voir www.crt.umontreal.ca/~amit/emg).

[5] Le présent travail a été réalisé avant la tenue de la Conférence des parties de Kyoto, c'est-à-dire avant la définition de la cible canadienne de réduction, qui est de 6 % en 2008–2012 par rapport aux émissions de 1990.

[6] L'imposition de la cible visée à l'ensemble du système technico-énergétique permet de définir le niveau d'activités technologiques de chaque secteur satisfaisant la cible choisie. Par la suite, la configuration de tous les secteurs autres que celui des transports est figée à ce niveau d'activités technologiques.

[7] Bien que le coût de l'automobile à alcools – gazole, éthanol, méthanol – ne soit que marginalement plus haut que celui de l'automobile à essence, la traction électrique est préférée au moteur à alcools pour l'automobile, en partie parce que la combustion d'alcools continue d'émettre des oxydes d'azote, qui sont contrôlés dans l'étude. Il faut noter que les alcools utilisés par le modèle proviennent tous de deux sources renouvelables de type cellulosique, le bois et le panic érigé, qui possèdent un meilleur rendement énergétique et environnemental global que les sources à base d'amidon (maïs, topinambour), jamais choisies par le modèle.

d'émission à moyen terme, d'ici 2010, elles permettent à la fois de réduire le coût des changements technologiques requis sur le système énergétique du Québec, et aussi d'offrir un délai à la pénétration des nouvelles technologies (et donc aux investissements qui s'y rattachent). Pour atteindre les cibles de réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'effort relié à ces interventions doit néanmoins être poursuivi même après la pénétration des nouvelles technologies.

– Le niveau de la tarification différentielle dépend, quant à lui, de la cible visée. Il repose sur le principe de la différence de taxation entre les carburants (et non pas de l'augmentation des taxes sur tous les carburants), en fonction de leur potentiel d'émissions. Un tel système n'augmentera donc pas obligatoirement le volume total des taxes sur les carburants, mais modifiera la répartition des taxes. Le niveau de tarification est faible pour la cible moyenne (entre 0,6 et 4,0 \$/t de CO_2 en 1995, et entre 4,6 et 30,7 \$/t de CO_2 en 2035, selon les scénarios d'interventions en matière d'efficacité énergétique et de transfert modal), et élevé pour la cible haute (entre 16,0 et 17,6 \$/t de CO_2 en 1995, et entre 123,0 et 135,2 \$/t de CO_2 en 2035). La tarification différentielle des carburants renforce (accélère ou amplifie) les changements technologiques qui s'opèrent au sein du système technico-énergétique du Québec, et complète les réductions de gaz à effet de serre engendrées par les interventions d'efficacité énergétique et de transfert modal.

Les outils de gestion

L'analyse des outils de gestion vise l'évaluation des moyens concrets disponibles et les mieux adaptés au contexte québécois pour mettre en œuvre les différents types d'intervention identifiés qui permettront de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Centrées sur le secteur des transports terrestres des personnes et des marchandises, cinq catégories d'outils de gestion sont définies : les outils juridiques, économiques, techniques, organisationnels et éducatifs (Apogee Research, 1995 ; CEF Consultants, 1994; GTCC, 1994). Étant donné la multiplicité des outils disponibles et de leurs caractéristiques, leur analyse est structurée sous forme matricielle. Le regroupement des outils de gestion les plus appropriés est réalisé à la lumière de l'évaluation des outils identifiés, dans une perspective de synergie et de complémentarité entre eux, à long terme. L'analyse de la synergie et de la complémentarité des outils, à l'origine des regroupements, est effectuée qualitativement, à partir des études spécialisées sur la gestion des systèmes de transport.

Six critères d'évaluation sont retenus : efficacité environnementale, effets structurants, acceptabilité sociale, acceptabilité socioéconomique, faisabilité financière, faisabilité institutionnelle. Ils fournissent un éclairage complet sur les spécificités des outils, les effets qu'ils engendrent et leur compatibilité avec le milieu auquel ils s'appliquent. Ainsi, tandis que les critères d'efficacité environnementale et d'effets structurants évaluent les résultats atteints par les outils, les critères d'acceptabilité sociale, d'acceptabilité socioéconomique, de faisabilité financière et de faisabilité institutionnelle évaluent les impacts des outils du point de vue des différents acteurs considérés, respectivement, la société, les agents économiques et les institutions chargées de mettre en œuvre les outils. Chacun de ces critères est décomposé en indicateurs, permettant l'évaluation qualitative des outils selon un barème à trois niveaux (faible, moyen, fort), à la lumière des études spécialisées sur la gestion des transports et de la validation sociale réalisée par l'enquête Delphi (voir ci-après). Un indicateur particulier est distingué des autres, à cause de son importance cruciale. Il s'agit de la possibilité pour le Québec d'appliquer unilatéralement ces outils. En effet, un outil dont l'applicabilité unilatérale au Québec est faible met en évidence la difficulté pour le Québec de le mettre en œuvre sans que les autres provinces canadiennes et/ou les États-Unis l'appliquent aussi.

L'analyse de la littérature sur le sujet et surtout la validation sociale de ces critères par l'enquête Delphi (voir le paragraphe sur les valeurs sociales) ont démontré que ces critères constituent des principes de viabilité des décisions entourant les stratégies de gestion des gaz à effet de serre (c'est-à-dire qui répondent aux exigences du développement durable) (IPCC, 1995 ; OCDE, 1995a ; OCDE, 1995b).

Le *tableau I* présente les résultats de l'analyse matricielle des vingt outils évalués selon les six critères[8].

À la lumière de leur évaluation et de leur validation sociale par l'enquête Delphi, les outils de gestion ont été combinés en quatre regroupements :

– Le regroupement « Efficacité énergétique des véhicules » repose sur l'accentuation des normes d'efficacité énergétique de tous les véhicules, sur l'amélioration des pratiques de conduite et sur l'optimisation des circuits de transport de marchandises. Il faut rappeler que le Québec dispose d'une marge de manœuvre limitée pour la mise en œuvre de ces outils, étant donné sa dépendance face aux normes énergétiques appliquées aux États-Unis et aux ententes d'harmonisation dans ce domaine conclues entre les gouvernements canadien et américain. Si ce regroupement offre un potentiel de résultat élevé, il présente donc toutefois un intérêt limité dans le cadre d'une stratégie restreinte au Québec.

– Le regroupement « Gestion intermodale de l'offre et de la demande de déplacement », qui vise le transfert modal et l'intermodalité, repose sur l'intégration, au sein d'un plan d'action, de stratégies de gestion de la circulation et du stationnement (limiter les places de stationnement disponibles, limiter la vitesse etc.), de péages et taxes sur le stationnement, de contrôles renforcés de la circulation des camions. Ce regroupement est caractérisé par une forte résistance sociale.

– Le regroupement « Optimisation de l'aménagement et des transports », qui vise aussi le transfert modal et l'intermodalité, repose sur la consolidation et l'usage polyvalent du territoire, favorisant les modes de transports autres que l'automobile. La mise en œuvre de ce regroupement est aussi caractérisée par une forte résistance sociale du fait des changements sociaux qu'il implique. Mais il génère des bénéfices

[8] L'évaluation détaillée des outils et de leurs regroupements selon les six critères est disponible dans Prades et al., 1998.

Tableau I. Matrice d'évaluation des outils de gestion.

Catégories d'outils de gestion	*Efficacité environnementale*	*Effets structurants*	*Faisabilité financière de mise en œuvre*	*Acceptabilité sociale*	*Acceptabilité socioéconomique*	*Faisabilité institutionnelle et administrative**	*Horizon temporel d'atteinte des résultats***
1. Outils juridiques							
1.1. Normes sur l'efficacité juridique énergétique ou les émissions	fort	moyen	fort	fort	faible	fort (faible)	> 5 ans
1.2. Programmes de mise au rebut accélérée des véhicules	faible	faible	moyen	fort	fort	fort (fort)	< 5 ans
1.3. Programmes obligatoires d'inspection et d'entretien	moyen	faible	moyen	moyen	fort	fort (fort)	< 5 ans
1.4. Normes de gestion de la circulation	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen (fort)	> 5 ans
a. Limitation de la vitesse sur les autoroutes							
b. Réglementation du tonnage autorisé pour le camionnage							
c. Normes de circulation et de livraison des marchandises							
d. Normes de circulation et de stationnement en milieu urbain							
1.5. Exigence de consolidation et d'usage polyvalent du territoire	fort	fort	moyen	faible	moyen	faible (fort)	> 5 ans
1.6. Exigence d'optimisation des services de transport	fort	fort	moyen	faible	faible	faible (fort)	> 5 ans
2. Outils économiques							
2.1. Redevances sur les véhicules	moyen	moyen	fort	moyen	faible	fort (moy.)	> 5 ans
2.2. Redevances sur l'utilisation de la route	fort	fort	moyen	faible	moyen	moyen (fort)	> 5 ans
2.3. Taxes sur le stationnement	fort	fort	fort	faible	moyen	moyen (fort)	> 5 ans
2.4. Taxes sur l'énergie, le carbone ou sur les carburants	fort	fort	fort	faible	faible	fort (moy.)	> 5 ans
2.5. Permis échangeables	fort	moyen	moyen	moyen	moyen	faible (faible)	> 5 ans
2.6. Subventions en faveur des formes d'énergie, technologies et/ou modes alternatifs	fort	fort	faible	fort	fort	fort (fort)	> 5 ans
3. Outils techniques							
3.1. Soutien logistique à la gestion de la circulation et du stationnement automobile	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen (fort)	> 5 ans
3.2. Soutien logistique au transfert modal et à l'intermodalité pour les marchandises	moyen	moyen	moyen	fort	moyen	fort (fort)	> 5 ans
4. Outils organisationnels							
4.1. Organisation des structures de travail	moyen	fort	fort	moyen	fort	fort(fort)	> 10 ans
4.2. Organisation des activités de production–distribution	moyen	moyen	moyen	fort	faible	fort (faible)	> 10 ans
4.3. Programmes d'initiatives volontaires	faible	faible	fort	fort	fort	fort (fort)	< 5 ans
4.4. Création d'un partenariat multipartite	fort	fort	moyen	moyen	moyen	moyen (fort)	> 5 ans
5. Outils éducatifs							
5.1. Éducation–sensibilisation éducatifs	moyen	fort	moyen	fort	fort	fort (fort)	> 5 ans
5.2. Étiquetage–labellisation des produits et/ou procédés	faible	faible	fort	fort	fort	fort (faible)	> 5 ans

*Entre parenthèses : évaluation de la faisabilité institutionnelle et administrative d'une application unilatérale des outils au Québec. **En supposant une mise en œuvre des outils d'ici 2 ans. Pour les outils dont les résultats visent un horizon de moyen et long terme (> 5 ans et > 10 ans), il faut comprendre que les résultats peuvent commencer à être visibles après 5 ou 10 ans, mais sont gradués sur un horizon plus long.

secondaires sociaux et économiques importants qui s'ajoutaient à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (effets structurants sur les transports et l'aménagement du territoire).

– Le regroupement « Tarification différentielle des carburants » repose sur l'instauration d'une taxation sur la teneur en gaz à effet de serre des carburants. Le caractère différentiel des taxes appliquées, préféré à l'augmentation nette du volume des taxes, limite les impacts socio-économiques négatifs. Déjà appliqué pour certains carburants (détaxe consentie aux producteurs d'éthanol), cet outil mérite une attention particulière, étant donné son efficacité, la facilité de sa mise en œuvre, la marge de manœuvre qu'il présente pour privilégier certains carburants par rapport à d'autres et son insertion dans l'application des principes pollueur payeur et utilisateur payeur, fondamentaux pour le succès à long terme des stratégies de gestion des gaz à effet de serre. Bien qu'envisageable à une échelle intersectorielle, sur l'ensemble des combustibles fossiles, l'application limitée au secteur des transports de ce regroupement présente l'avantage d'autoriser des niveaux de différentiation des taxes plus élevés, requis pour compenser la faible élasticité-prix de la demande dans ce secteur. Il faut noter qu'aucune contrainte sur les émissions de composés organiques volatiles n'est prise en compte dans l'étude. Une telle contrainte réduirait la pénétration des technologies à alcool.

– Plusieurs outils d'encadrement doivent être mis en œuvre, le plus rapidement possible, quels que soient les scénarios d'interventions et les regroupements privilégiés, pour assurer le succès des stratégies préconisées : l'éducation, les subventions directes de soutien à la recherche-développement et à la pénétration sur le marché de technologies innovatrices, ainsi qu'aux modes alternatifs de transport, et les programmes d'initiatives volontaires, de type « sans regret » mais très peu fiables quant aux cibles de réduction. Les programmes Défit-Climat et Écogeste en cours au Canada et au Québec[9], doivent aussi mettre un plus grand accent sur les mesures reliées au transport des personnes et des marchandises.

– Enfin, certains outils spécifiques sont écartés car ils sont évalués, à partir des études spécialisées sur la gestion des transports, comme étant insuffisamment efficaces par rapport aux coûts de mise en œuvre, quel que soit l'horizon de mise en œuvre, ce sont : les programmes de mise au rebut accélérée des véhicules, les redevances sur les véhicules, et enfin l'organisation des structures de travail, telle que le télétravail (importantes incertitudes sur la réduction des émissions et l'impact sur l'étalement urbain) et l'organisation des activités de production-distribution, telle la révision du tissu industriel (mesure peu maîtrisable unilatéralement par le Québec). Enfin, les permis échangeables ne sont pas envisagés non plus, si appliqués au seul secteur des transports. En effet, l'application de permis échangeables seulement aux automobilistes et/ou aux entreprises de camionnage (sous la forme de permis d'émissions basés sur le kilométrage, le volume d'émissions ou le volume de carburant) est difficile à cause du nombre trop élevé de sources et des impacts sur la compétitivité. L'application de permis échangeables au niveau des constructeurs et importateurs de véhicules (permis sur l'efficacité énergétique, les émissions ou les types de carburant des véhicules fabriqués) ne peut être envisagée qu'à une plus grande échelle que le territoire du Québec, étant donné la dépendance extérieure du marché du Québec. Enfin, l'application de permis au secteur de production et d'importation de combustibles fossiles (permis sur la teneur en carbone des combustibles) présente un intérêt marqué pour l'ensemble du marché des combustibles fossiles, mais pour une application à plus grande échelle que celle du Québec, pour des raisons d'équité et d'efficacité. Dans le cas d'une action spécifique sur le secteur des transports, la taxation appropriée des carburants est donc préférée, parce qu'elle est plus efficace et plus facile à mettre en œuvre.

Les valeurs sociales

L'analyse des valeurs sociales vise à saisir l'évolution des perceptions et des valeurs qui domine dans la société québécoise en ce qui concerne le problème des gaz à effet de serre (analyse Sato), à saisir la compréhension que les experts et les praticiens ont de ce problème (enquête Delphi), et à vérifier la faisabilité et l'acceptabilité de stratégies de gestion des gaz à effet de serre auprès de ces derniers (enquête Delphi).

L'analyse Sato (Système d'analyse de textes par ordinateur) permet d'évaluer le contenu des médias, en vue d'identifier l'évolution des valeurs sociales. L'hypothèse qui sous-tend l'analyse Sato est que les journaux constituent un lieu privilégié où s'exprime le monde contemporain, et qu'ils reflètent l'évolution des mentalités, des comportements et des perceptions de la population (Balle, 1980 ; Sasseville, 1987). Le journal *La Presse* a été retenu comme objet d'analyse, pour une période allant de 1980 (apparition d'articles traitant de la question) à 1995.

L'enquête Delphi vise à tester concrètement la réceptivité des stratégies de gestion et les possibilités de compromis viables, en examinant les possibilités de consensus social au sein d'un panel de 64 experts et praticiens, issus des quatre grands secteurs de la société (secteur public, secteur privé, secteur associatif, secteur universitaire). Selon les principes théoriques de la méthode Delphi, les experts et les praticiens des quatre secteurs identifiés sont censés véhiculer les différents intérêts et opinions de la société (Linstone et Turof, 1975). L'enquête Delphi implique une procédure itérative, basée sur des questionnaires, avec rétroaction des réponses du panel sur chacun de ses membres.

L'enquête réalisée comprend trois phases. La phase « Enjeux » vise à identifier les perceptions sociales face aux sources d'émissions de gaz à effet de serre, aux impacts du problème et aux barrières à sa résolution. La phase « Principes » tente d'évaluer la pertinence et l'importance des principes qui étayent le choix de stratégies de gestion des gaz à effet de serre viables à long terme. La phase « Stratégies » sert à vérifier la

[9] Programmes de sensibilisation fondés sur la tenue d'un registre des mesures volontaires mises en œuvre par les industries et autres institutions, ainsi que des réductions d'émissions induites.

faisabilité et l'acceptabilité sociales des stratégies de gestion des gaz à effet de serre résultant de la modélisation Markal et de l'analyse des outils de gestion. Toutes les conclusions dégagées de nos études techniques (scénarios d'interventions, outils de gestion) sont validées par la confrontation des valeurs et des forces sociales.

Plus spécifiquement, l'enquête Delphi (phase « Enjeux ») a mis en évidence un consensus social sur la place primordiale que le secteur des transports doit occuper dans les stratégies de gestion des gaz à effet de serre.

Les impacts les plus importants identifiés et considérés comme alarmants, de manière consensuelle, par les participants à l'enquête Delphi sont :

– les perturbations du climat et des équilibres écosystémiques (impacts environnementaux),

– les conséquences sur les industries forestière, agricole, halieutique et touristique (impacts économiques),

– l'augmentation de la vulnérabilité des communautés face au climat (impacts sociaux).

Les barrières principales identifiées par les participants à l'enquête Delphi et considérées, de manière consensuelle, comme plus ou moins surmontables, résident dans :

– Le système de valeurs des sociétés industrielles fondé sur des comportements individualistes, sur des besoins de consommation élevés, et jusqu'à récemment, sur un faible niveau de prise de conscience de la gravité du problème des gaz à effet de serre par la population en général (barrières sociales).

– L'idéologie économique axée sur les intérêts monétaires (particulièrement dans le cas de l'industrie des carburants fossiles et de l'automobile) et sur le court terme (barrières économiques).

– Les difficultés de collaboration intergouvernementale et internationale, et le manque de volonté politique pour agir à long terme face à la problématique (barrières politiques).

À la lumière des impacts jugés de grande envergure, imprévisibles et alarmants, et malgré les incertitudes entourant la question, les participants à l'enquête Delphi admettent, de manière consensuelle, que le problème des gaz à effet de serre est sérieux à l'échelle planétaire. De plus, bien que les barrières perçues face à la résolution du problème soient jugées comme plus ou moins surmontables, ils croient également de manière consensuelle que la résolution du problème des gaz à effet de serre est possible, à condition d'agir dès maintenant.

Dans le cas du Québec, l'analyse Sato a démontré, en parallèle de l'enquête Delphi, que la société québécoise en général a, jusqu'à 1995, une connaissance trop superficielle du problème des gaz à effet de serre pour se sentir affectée par la problématique et, par conséquent, pour voir émerger de nouvelles valeurs qui rendraient possibles des actions de réduction des émissions de gaz à effet de serre au Québec. Par exemple, les liens entre les émissions et les activités grandes consommatrices d'énergie font l'objet d'un manque important de compréhension et de sensibilisation. Selon l'hypothèse que le changement social impliquant l'évolution des valeurs sociales peut être divisé en trois phases (1 : la connaissance du phénomène, 2 : la reconnaissance du problème et enfin, 3 : l'émergence de nouvelles valeurs) (Tessier, 1991), l'analyse des 559 articles du journal *La Presse* retenus démontre que la société québécoise n'a pas encore amorcé les deuxième et troisième phases. La société québécoise a pris conscience du phénomène des gaz à effet de serre, mais sa compréhension du problème, de ses causes et de ses conséquences, reste superficielle et par conséquent, les comportements individuels et collectifs ne peuvent pas être modifiés de façon massive. La poursuite de l'analyse Sato après 1995 apporterait probablement un éclairage complémentaire, étant donné le nombre élevé d'articles de journaux parus dans le contexte de la Conférence de Kyoto, en décembre 1997, et des événements climatiques extrêmes qui ont frappé le Québec en 1998.

Les recommandations

Plusieurs recommandations sur les orientations et les priorités d'une stratégie de gestion des gaz à effet de serre à long terme au Québec ont été formulées. Bien qu'appliquées au Québec, elles fournissent un éclairage pertinent sur les interventions possibles dans le secteur des transports des pays industrialisés. Elles identifient également les axes complémentaires de recherche requis.

1) Un plan d'actions structurantes, amorcées immédiatement mais planifiées à long terme, et orientées vers le transport durable et l'aménagement du territoire, répond aux exigences de réduction des émissions de gaz à effet de serre au Québec ainsi qu'à celles du développement durable. Plusieurs de ces mesures étant considérées comme des mesures « sans regret », le problème des gaz à effet de serre doit être considéré comme une source d'opportunités industrielles et économiques et de retombées positives à moyen et à long termes.

2) L'application des principes pollueur-payeur et utilisateur-payeur est nécessaire pour imputer aux agents économiques les coûts et les avantages réels[10], à long terme, des choix de transport et d'aménagement du territoire (notamment l'étalement urbain). La mise en œuvre progressive dans le temps de ces principes facilitera le développement d'alternatives aux options actuellement offertes (technologies performantes, carburants alternatifs, modes de transport), qui sont considérées comme insuffisamment rentables dans le système économique actuel.

3) Un plan de sensibilisation et d'éducation doit être appliqué immédiatement, pour promouvoir la responsabilisation et la participation active de la population mais aussi des acteurs décisionnels (gouvernements, industries) face aux moyens d'agir[11]. Il aidera également à réduire la résistance sociale et politique face à l'implantation de mesures vigoureuses.

4) Les interventions mixtes d'amélioration de l'efficacité énergétique des déplacements et de promotion du transfert modal doivent être mises en œuvre rapidement. En plus de réduire les émissions de gaz à effet de serre à court et à moyen termes, en attendant que

[10] Les coûts, ou externalités négatives, et les avantages réels, ou externalités positives, devraient faire l'objet d'analyses complémentaires. Leur internalisation permettra aux usagers de choisir le mode de transport ou la technologie de transport leur convenant le mieux, à la lumière des coûts et avantages réels.

[11] L'analyse macrosociale du phénomène des gaz à effet de serre et de sa résolution devrait être approfondie (convergences et des divergences d'opinion par l'enquête Delphi) pour mieux comprendre les conditions requises pour que les acteurs procédant des secteurs privé, public, universitaire et associatif, contribuent à la mise en œuvre et à la réussite des stratégies élaborées.

de nouvelles technologies de transport pénètrent le marché, un tel plan offre des opportunités industrielles et commerciales (matériaux composites, aluminium, moteurs à faible consommation) et des opportunités d'actions structurantes en transport durable et aménagement du territoire[12].

5) La tarification différentielle des carburants doit être ajustée en fonction de la cible de réduction fixée et des résultats obtenus par l'amélioration de l'efficacité énergétique et la promotion du transfert modal. La flexibilité de cette mesure, son efficacité, sa fiabilité mais aussi son acceptabilité sociale (enquête Delphi), rendent cette intervention particulièrement avantageuse dans la perspective de gestion flexible des gaz à effet de serre. L'internalisation des coûts et des avantages réels constitue une étape clé pour faire face à la difficulté de définition du niveau efficient de la tarification différentielle.

6) Les investissements dans le développement et la commercialisation de technologies innovatrices en matière de transport, en particulier les carburants alternatifs (traction électrique, alcools), doivent être renforcés. Ils offrent des opportunités majeures à la fois pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et pour optimiser économiquement le système énergétique. Les technologies alternatives de transport en commun en milieu urbain (autobus électrique, hybride, à alcools) méritent elles aussi une attention particulière, étant donné leur potentiel d'effets structurants sur l'aménagement du territoire et les transports[13]. Des analyses complémentaires sont néanmoins nécessaires pour évaluer le bilan et les impacts sur la santé des émissions de composés organiques volatiles (COV) des véhicules à carburants à alcools.

7) Le rassemblement des expertises et des forces sociales au sein d'un partenariat multipartite (industries–gouvernements–universités–associations) doit être favorisé pour concevoir la mise en œuvre progressive d'un système de transport durable fondé sur le concept d'intermodalité, qui soit rentable aux plans économique et financier, et exportable à une échelle internationale.

Conclusion

En intégrant trois champs de recherche différents et quatre outils d'analyse spécifiques, l'approche proposée présente l'intérêt de relier, dans un cadre interdisciplinaire, les facteurs environnementaux, technico-économiques et sociaux pour résoudre un problème complexe comme celui de la gestion des gaz à effet de serre dans une région où les transports constituent la première source émettrice.

L'approche présente toutefois les limites des outils de ces champs de recherche. Notamment, le modèle Markal étant un modèle d'optimisation, aucun scénario modélisé ne pouvait représenter la réalité, et le scénario de référence lui-même représente une optimisation du système technico-économique. L'enquête Delphi, quant à elle, requiert la mobilisation et la disponibilité d'un nombre élevé d'experts, et peut se révéler longue. Le fait de pouvoir avoir recours à des enquêtes informatisées simplifie néanmoins maintenant le travail. L'analyse matricielle des outils de gestion, finalement, ne permet pas une évaluation chiffrée de tous les outils, les informations requises n'étant pas disponibles pour certains outils. Une modélisation spécifique de ces outils, par un modèle spécialisé de transport (ce que n'est pas Markal) aurait donc pu compléter ce travail.

RÉFÉRENCES

Apogee Research, 1995. *A Policy instruments working paper on reducing carbon dioxide emissions fromt the transportation sector in Ontario. Environnement* Canada, Ottawa.

Balle, 1980. *Médias et société*. Paris, Montchrestien.

Berger et al. 1992. Canadian Markal: An advanced linear programming system for energy and environment modelling. *Info* 20, 114-125.

Canada. 1997. *Le deuxième rapport du Canada sur les changements climatiques*. Environnement Canada, Ottawa.

Canada. 1999. *Canada's Emissions Outlook : An Update. National Climate Change Process*, Ottawa.

CEF Consultants. 1994. *Policy Tools for Combating Greenhouse Gas Emissions in Nova Scotia: An Assessment of Options. Environnement.* Canada & Nova Scotia Department of Natural Resources, Halifax.

GTCC (Groupe de travail sur les changements climatiques). 1994. *Measures for Canada's National Program on Climate Change. Climate Change Task Group*, Ottawa.

IPCC. 1995. *Economic and Social Dimensions of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge.

Lavigne et al. 1998. Sustainable Greenhouse Gas Abatement: the Case of Québec. *Energy Studies Review* 8, 2, 102-119.

Linstone et Turof. 1975. *The Delphi Method: Techniques and Aplications*. Addison-Wesley, Don Mills.

OCDE. 1995a. *Changement climatique, instruments économiques et distribution des revenus. Organisation de coopération et de développement économiques*, Paris.

OCDE. 1995b. *Transports urbains et développement durable. Organisation de coopération et de développement économiques*, Paris.

Prades et al. 1998. *Stratégies de gestion des gaz à effet de serre*. Presses universitaires du Québec, Québec.

Prades. 1995. *L'éthique de l'environnement et du développement*. Puf, Paris.

Québec. 1995. *Mise en œuvre de la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques*. Ministère des ressources naturelles, Québec.

Sasseville et al. 1987. *Utilité de l'opinion publique dans les choix publics : le cas du contrôle des émissions acidogènes*. Boucher, Sainte-Foy.

Tessier. 1991. *L'émergence d'une éthique sociétale de l'environnemnt, une analyse de presse sur une thématique sacrée : les pluies acides au Québec (1981–1990)*. université du Québec à Montréal, Montréal.

[12] Les retombées structurantes et les opportunités industrielles induites par les stratégies de gestion des gaz à effet de serre préconisées devraient faire l'objet d'analyses macroéconomiques complémentaires (restructuration de certains secteurs d'activités, emplois, développement industriel).

[13] Des études complémentaires sont requises pour évaluer le rôle potentiel joué par les systèmes alternatifs de transport en commun en milieu urbain, notamment les trains légers de surface, dans la gestion des gaz à effet de serre au Québec.