

AVENIR DU SECTEUR DE L'AUTOMOBILE DANS UN CONTEXTE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE : SOLUTION DURABLE AU MOTEUR À ESSENCE

Par

Louis Brenn

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de
l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, février 2010

IDENTIFICATION SIGNALÉTIQUE

AVENIR DU SECTEUR DE L'AUTOMOBILE DANS UN CONTEXTE DE
DÉVELOPPEMENT DURABLE : SOLUTION DURABLE AU MOTEUR À ESSENCE.

Louis Brenn

Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Sous la direction de Mario Laquerre

Université de Sherbrooke

Janvier 2010

Mots clés : voiture verte, motorisation, transport durable, diesel, incitatif
gouvernemental, pic de Hubbert, pollution atmosphérique, véhicule hybride,
véhicule électrique, batterie, hydrogène.

Les transports individuels au Canada sont majoritairement effectués avec des véhicules à essence. Ces véhicules sont peu efficaces et contribuent largement aux émissions de gaz à effet de serre responsables des changements climatiques. Plusieurs solutions de remplacement existent pour changer cette motorisation et pour réduire notre empreinte écologique. Certaines solutions peu envisagées actuellement tel le diesel devraient être reconsidérées pour son faible coût d'implantation et son efficacité accrue. D'autres mesures, comme la pile à combustible à Hydrogène ne devrait plus être considérée comme des solutions viables et ne devrait plus recevoir l'appui de la classe politique. Les transports collectifs et actifs sont des solutions alternatives incontournables afin de limiter au maximum les impacts des véhicules individuels. Finalement, une analyse de cycle de vie des véhicules doit être réalisée afin d'informer davantage les citoyens des impacts de chacune des motorisations.

SOMMAIRE

Les besoins en réduction des émissions de gaz à effet de serre sont considérables. Chaque sphère de la vie quotidienne doit être analysée et modifiée afin de réduire notre impact sur l'environnement. Le transport individuel ne fait pas exception. À ce constat, il est essentiel de revoir nos modes de motorisation pour relever le défi climatique. De fait, plusieurs technologies existent, mais il n'est pas évident de savoir quelle motorisation devrait être appuyée par nos dirigeants politiques afin de résoudre le problème. Cet essai vise à définir quelles motorisations peuvent être une solution de rechange durable au moteur à essence afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre ainsi que l'ensemble des émissions polluantes dans le secteur du transport individuel au Canada.

Le Canada est un pays dépendant des déplacements routiers. De par ses caractéristiques territoriales et de par ses habitudes de vie de ses citoyens, le pays est sous l'emprise d'un système de transport individuel fort. Le transport collectif est certes disponible, mais principalement dans les grands centres urbains. Le mode de vie à l'américaine du culte de la grosse voiture puissante est un besoin créé de toutes pièces, mais ancré profondément dans les mœurs des consommateurs.

Tout d'abord, le processus de fabrication des carburants émet des gaz à effet de serre de façon significative. Pour raffiner le pétrole, une raffinerie utilise 15 à 20 % de l'énergie totale contenue dans le pétrole brut. Le cycle de production étant extrêmement énergivore, il contribue à rendre les carburants plus polluants. L'amélioration des techniques de production de carburants pourrait réduire la consommation d'énergie ainsi que les coûts de production.

Par la suite, les émissions de CO₂ des motorisations contribuent à l'effet de serre et, par ricochet, aux changements climatiques. Par ailleurs, les émissions de NO_x, SO₂ et COV par la combustion de l'essence contribuent au développement d'épisodes de smog photochimique qui sont nocifs pour la santé humaine. Les pluies acides ainsi que la perte de biodiversité dans les lacs acidifiés sont des conséquences de l'émission du SO₂ dans l'environnement. Globalement, on constate que les émissions des véhicules ont un impact notable sur l'environnement et sur la santé humaine. Il en va donc de l'avenir de tous de prendre les moyens de réduire ces impacts.

En comparant avec d'autres pays, on constate que le Canada aurait avantage à voir ce qui se fait à travers le monde. Par exemple, adopter la flotte française au Canada aurait un impact significatif sur l'environnement sans pour autant avoir un impact majeur sur la qualité de vie des citoyens. Pour y arriver, certaines mesures françaises et européennes tels les bonus-malus ainsi que les taxes sur l'essence devraient servir d'exemple aux élus canadiens. Plusieurs autres pays font des efforts législatifs considérables afin de réduire les émissions des véhicules moteurs. Des mesures incitatives simples tels les stationnements gratuits ou les réductions significatives des taxes de vente pourraient également contribuer à la réduction des émissions.

Selon toute vraisemblance, il existe un risque réel que la production pétrolière arrive à son apogée au courant des prochaines années. Malgré certains discours contradictoires, il est évident qu'au lendemain de l'atteinte d'un tel sommet, des conséquences néfastes se feront sentir sur les marchés financiers et sur le prix des carburants. L'environnement pourrait bénéficier d'une telle hausse des prix puisqu'il s'en suivrait une réduction de la consommation.

Afin de relever les défis que pose le renouvellement du moteur à essence traditionnel, il existe actuellement des solutions concrètes qu'il est possible de mettre en place à court, moyen et long termes au Canada. Tout d'abord, le diesel propre est une solution rapide et peu dispendieuse à mettre en place. Par contre, certains impacts sur la santé humaine pourraient se faire sentir si des technologies de contrôle des émissions polluantes ne sont pas imposées dès le début.

À moyen terme, le véhicule hybride, suite à des percées dans le secteur des batteries, représente une solution viable. Par contre, afin d'obtenir une solution durable il faudra tendre vers les motorisations électriques rechargées à l'énergie propre. Le véhicule électrique est sans aucun doute une solution viable pour substituer le véhicule à essence. Malgré le fait que la commercialisation en soit à ses balbutiements, il est clair que l'environnement, l'économie et la sphère sociale peuvent bénéficier d'une telle motorisation qui est la plus efficace des motorisations existantes.

Certaines solutions alternatives telles que le transport collectif et actif permettent de

réduire dès maintenant l'impact des véhicules sur l'environnement. Par ailleurs, il est à noter que le véhicule le moins polluant est celui qui n'est pas produit.

Selon les données recueillies auprès de l'industrie automobile, notamment auprès de la table de concertation sur l'environnement et les véhicules routiers, certains obstacles persistent et limitent le développement de nouvelles motorisations. Mentionnons l'offre de véhicule qui est limitée, la publicité et les communications qui influencent l'opinion publique. L'industrie automobile est également sensible à des changements de motorisation, mais dans une proportion moins élevée qu'on pourrait le croire. Les gouvernements en place sont un obstacle au développement de nouvelles technologies puisqu'ils tirent des revenus de la vente d'essence. Finalement, les capacités techniques actuelles des moteurs électriques font en sorte que la croissance des parts de marché est toujours limitée.

Pour que le choix de nouvelles motorisations soit le plus éclairé possible, des analyses de cycle de vie devront être réalisées afin de s'assurer de prendre les meilleures décisions possible en respectant les deux sphères négligées du développement durable : la sphère sociale et la sphère environnementale.

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier mon directeur Mario Laquerre qui m'a appuyé dans ma démarche. Avec son expérience et sa connaissance de l'industrie automobile, il a contribué largement à la réalisation de ce projet.

J'aimerais également remercier les membres de la table de l'automobile et de l'environnement ainsi qu'Hydro-Québec qui ont bien voulu répondre à mes questions.

Un merci bien particulier à mon correcteur et ami de toujours Mathieu Chamberland pour ces bons mots d'encouragement et sa disponibilité. Finalement, merci à tous ceux qui se sont intéressés à mon sujet et qui m'ont questionné. C'est grâce à vous que l'on constate la pertinence d'une telle recherche.

TABLE DES MATIERES

Introduction.....	1
1. Historique.....	3
2. Besoins en motorisation et en déplacements au Canada.....	5
2.1. Navette maison travail.....	5
2.2. Population et transport en collectif.....	5
2.3. Étalement urbain.....	6
2.4. La voiture symbole.....	6
2.5. Besoin en équipement.....	7
3. L'essence : de la production à la combustion.....	9
3.1. Extraction et sources de pétrole.....	9
3.2. Transport.....	10
3.3. Raffinage.....	10
3.4. Distribution.....	12
4. Émissions polluantes des motorisations et des carburants.....	13
4.1. Le dioxyde de carbone (CO ₂).....	13
4.2. Méthane (CH ₄).....	14
4.3. Oxyde nitreux (N ₂ O).....	15
4.4. Oxyde d'azote (NO _x).....	15
4.5. Particules fines (PM _x).....	15
4.6. Dioxyde de soufre (SO ₂).....	16
4.7. Composés organiques volatils (COV).....	16
4.8. Ozone (O ₃).....	17
5. Comparatif des parcs automobiles entre la France et le Canada.....	18
5.1. Statistiques générales.....	18
5.2. Demande en produit pétrolier et type de motorisation.....	19
5.3. PIB et pétrole.....	20
5.4. Type de véhicule.....	21
5.5. Transport en commun.....	21
5.6. Politique et mesures incitatives.....	22
5.7. Comparaison.....	25
6. Incitatifs gouvernementaux et législations ailleurs dans le monde.....	26
7. Analyse économique, pic de Hubbert.....	30
8. La technologie à la rescousse de l'environnement.....	34

8.1.	Diesel propre	34
8.2.	Réduction catalytique sélective.....	35
8.3.	Filtre à particule	36
8.4.	Dopage.....	37
8.5.	Biocarburants	38
8.6.	Électrique	41
8.6.1.	Nickel hydrure métallique (Ni-MH)	42
8.6.2.	Batterie Lithium-ion.....	43
8.7.	Piles à combustible (PAC)	44
8.7.1.	Fabrication embarquée (reformage du méthanol).....	46
8.8.	Hybride.....	47
8.9.	Moteur roue.....	48
9.	Motorisation et développement durable.....	50
9.1.	Diesel propre	50
9.1.1.	Environnement	50
9.1.2.	Économique.....	51
9.1.3.	Social.....	51
9.2.	Véhicule électrique	52
9.2.1.	Environnement	52
9.2.2.	Économique.....	53
9.2.3.	Social.....	53
10.	Obstacle à l'implantation de nouvelle motorisation au Canada.....	55
10.1.	L'offre de véhicules.....	55
10.2.	La publicité et la communication.....	56
10.3.	Industrie réfractaire.....	56
10.4.	Les gouvernements.....	57
10.5.	Opinion publique	58
10.6.	Capacité de stockage.....	58
11.	Solutions aux problèmes de pollution actuels des véhicules à essence.....	59
11.1.	Diesel	59
11.2.	Véhicule hybride.....	60
11.3.	Véhicule électrique	60
11.4.	Solutions alternatives	61
11.4.1.	Transport collectif	61

11.4.2. Transport actif.....	61
11.4.3. Autopartage	62
Conclusion.....	64
Références	66
Annexe 1 : Questionnaire pour la table de concertation sur l'environnement et les véhicules routiers.....	74

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5-1 : données générales du Canada et de la France	19
Tableau 5-2 : Statistique sur la consommation en produit pétrolier.....	21
Tableau 5-3 : Comparatif des taxes perçues sur les carburants dans le monde	24
Tableau 8-1 : Comparatif des motorisations de la Jetta de Volkswagen	36

LISTE DES FIGURES

Figure 7-1 : Courbe de Hubbert (Hubbert, 1962).....	30
---	----

INTRODUCTION

Il a été généralement accepté par la communauté scientifique qu'il existe une corrélation entre le réchauffement du climat et le début de l'ère industrielle, moment où la combustion d'énergie fossile comme moyen de production d'énergie est devenue la source énergétique principale. En 1896, le chimiste suédois Svante Arthenius prédisait déjà que les émissions de CO₂ liées à la combustion du charbon provoqueraient le réchauffement de la planète. Depuis ce temps, plusieurs groupes d'experts ont appuyé sa prédiction. L'ONU a mis sur pied le fameux Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 1998. Pour le GIEC, le changement est bel et bien réel (GIEC, 2007). Ses prévisions à court terme semblent se réaliser et tout porte à croire que le phénomène continuera de donner raison à ces experts.

Dans ce contexte, plusieurs pays ont décidé de mettre en place des mesures incitatives ou coercitives dans le but de réduire les émissions de CO₂ liées au transport. Les précurseurs, venant d'Europe, ont adopté des normes strictes, alors que d'autres pays comme le Canada et les États-Unis peinent à mettre en place des mesures concrètes.

Le changement d'administration politique aux États-Unis donne un nouveau souffle aux technologies vertes dans le domaine du transport. À la fin mai 2009, l'administration Obama adopte le plan de réduction de la Californie, soit d'abaisser de 9,4 L/100km à 6,6 L/100km d'ici 2016 le niveau de consommation moyenne de la flotte automobile (Francoeur, 3 juillet 2009). En Amérique du Nord, toutes les administrations avant celle d'Obama avaient refusé de mettre en place des mesures aussi concrètes. L'administration Bush a fait avorter plusieurs législations proposées au courant de ses huit années de mandat et a repoussé la mise en application des normes californiennes. Ce changement de régime permet de croire en une révolution dans l'industrie automobile américaine. Cependant, cette ouverture est-elle en train de nous mener dans un autre gouffre?

Dans le contexte actuel, on nous présente le véhicule hybride comme étant la solution aux problèmes d'émissions de gaz à effet de serre des véhicules, mais est-ce vraiment une révolution verte? N'y aurait-il pas d'autres solutions plus simples que d'intégrer deux moteurs dans un véhicule? Beaucoup vantent les mérites du véhicule électrique, mais on

oublie trop souvent de nous mentionner que 20 % de l'électricité est produite avec du charbon au Canada (association canadienne de l'électricité, 2006) et qu'aux États-Unis cette proportion grimpe à 50 % (Perspective monde, Université de Sherbrooke). Est-ce vraiment une avancée significative ? Également, on oublie trop souvent que l'Europe utilise depuis longtemps des véhicules plus performants et utilisant du diesel. Est-ce que le vieux continent pourrait nous faire la leçon?

Les développements technologiques donnent espoir et permettent d'entrevoir des solutions alternatives plus écologiques. Dans ce sens, cet essai vise à définir quelles motorisations peuvent être une alternative durable au moteur à essence afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre ainsi que l'ensemble des émissions polluantes dans le secteur du transport au Canada.

Afin de comprendre davantage la problématique, cet essai a comme objectifs spécifiques de faire un portrait de la flotte automobile canadienne, d'effectuer un comparatif avec celle de la France, puis de faire ressortir les technologies transférables au Canada. Ensuite, il vise à comprendre l'impact des politiques gouvernementales face aux différentes motorisations. Cet essai vise également à cerner les impacts des motorisations d'avenir sur le développement durable et à trouver quels sont les obstacles à l'implantation de nouvelles motorisations au Canada.

1. HISTORIQUE

L'histoire de l'automobile est fascinante. L'évolution de ce mode de transport a radicalement changé le rythme de la vie. En remplaçant les chevaux, l'automobile a repoussé les frontières et a permis de sortir les régions rurales de leur isolement. Histoire d'une grande révolution.

Le moteur à essence a été inventé dans les années 1700. Les premiers véhicules, développés en Europe, fonctionnaient à la vapeur. Au départ, le capitaine français Nicolas Cugnot développa un véhicule d'artillerie. Il faut attendre plus d'un siècle après l'invention de Cugnot, soit en 1866 avant que Otto et Langen d'Allemagne développent le moteur à essence à quatre temps tel que nous le connaissons aujourd'hui. Dès l'année suivante, le moteur à essence fit son envol avec M. Daimler qui en lança la fabrication de masse. Ce même moteur fut ensuite utilisé en France.

Le moteur Diesel fut inventé par Rudolf Diesel vers la fin des années 1800. À l'époque, le moteur était appelé moteur à huile lourde. Il était conçu pour utiliser du charbon pulvérisé, puis par la suite des huiles et graisses résultantes. Le moteur était conçu pour brûler des huiles végétales et fonctionnait également avec du fioul. Moteur très peu performant au départ, c'est le français Lucien-Eugène Inchauspé qui développa la pompe à l'injection en 1924 et qui en fit un produit intéressant.

En 1936, Mercedes développa le premier modèle de série à moteur diesel, la 260D. Par la suite, Peugeot réalise une série d'un millier de modèles 402. Ce modèle est d'ailleurs toujours produit par Peugeot. Dans les années 1970, plusieurs constructeurs avaient des modèles équipés de moteurs diesel tels Volkswagen, Oldsmobile et Volvo. Plus tard, ce fut le cas de Ford, Chevrolet, Nissan, Toyota, BMW.

Au début des années 1900, l'Amérique est peu réceptive au développement de l'automobile. Seulement 8 000 voitures circulaient sur les routes à cette époque. Les routes étaient d'ailleurs loin des conditions que nous connaissons. Il faudra attendre que Henry Ford développe la chaîne de montage en 1908 pour voir l'automobile gagner en popularité. Vingt ans plus tard, l'automobile est devenue un moyen de transport que la

plupart des gens utilisent. Entre 1918 et 1928, le nombre d'automobiles circulant aux États-Unis est passé de 6 millions à 24,6 millions. La plupart des foyers possédaient donc une voiture et l'état des routes s'était évidemment amélioré. (General Motor, s.d.)

L'arrivée des « Fabulous '50 » véhicule l'idée que l'automobile est une façon d'exprimer sa personnalité en plus d'être un moyen de transport. On constate qu'aujourd'hui cette méthode de commercialisation des véhicules a perduré (*Id*, s.d.).

Au courant des années soixante, le pacte de l'automobile est adopté. Ce pacte prévoit que le marché canadien de l'automobile intègre un marché global en Amérique du Nord. Ce pacte garantit un certain volume de fabrication d'automobiles. Il garantit notamment au Canada l'assemblage d'un nombre de véhicules équivalent aux ventes annuelles dans le pays. Ce pacte aura un impact important dans la protection de l'industrie automobile canadienne. (*Id*, s.d.)

Puis les années 1970 subissent des évènements subséquents qui ont influencé radicalement le monde de l'automobile. Tour d'abord l'embargo sur le pétrole 1973-1974 des pays de l'OPEP face aux États-Unis oblige les Américains à remettre en perspective leurs habitudes de consommation. En 1979, l'Amérique en discorde avec l'Iran limite les importations et fait grimper le baril de pétrole à plus de 30 \$ US. Cette époque verra naître des véhicules moins énergivores. (*Id*, s.d.)

Les années 80 ont également apporté leurs lots de changement. L'arrivée massive des constructeurs automobiles japonais sur le marché nord-américain force l'industrie à revoir ses méthodes de gestion et d'organisation du travail. Les relations avec les fournisseurs ainsi qu'avec les employés se modifient afin de répondre à cette concurrence féroce.

Les années 90 ont vu les premiers véhicules électriques, le EV1 de GM ainsi que le RAV4 EV de Toyota apparaître sur le marché. Pour des raisons considérées comme obscures par certains, leurs technologies ont simplement été reléguées aux oubliettes. Par contre, les voix commencent à s'élever et réclament des constructeurs des véhicules moins polluants, moins énergivores et plus responsables. Paradoxalement, cette période a également vu naître la mode des véhicules utilitaires sport comme moyen de transport urbain.

2. BESOINS EN MOTORISATION ET EN DÉPLACEMENTS AU CANADA

L'histoire montre que les véhicules ont évolué selon les besoins des consommateurs ainsi que selon les avancés technologique. Au Canada, les besoins en transport ont évolué à travers le temps, mais ils ont toujours été considérables. En fait, les transports au pays possèdent un rôle essentiel dans les « rapports d'interdépendance que les Canadiens entretiennent avec le tissu économique et social de notre société » (transport Canada, 2007). Pour rejoindre les régions éloignées ou pour tout simplement aller au travail, les Canadiens comptent principalement sur leurs véhicules automobiles. L'importance des transports automobiles au Canada se démontre par un réseau routier de 900 000 kilomètres couvrant le pays d'un océan à l'autre (transport Canada 2008) et dont la flotte automobile compte près de 28 millions de véhicules immatriculés, dont 20 millions sont des véhicules légers (Statistique Canada, mars 2009a). Outre la taille impressionnante du pays, plusieurs facteurs déterminent les besoins en véhicule automobile.

« Le parc automobile n'a cessé de croître et les automobilistes parcourent deux fois plus de kilomètres qu'il y a 30 ans. »(Richard et Villeneuve, 2007)

2.1. Navette maison travail

Les Canadiens parcourent relativement peu de distance entre le travail et la maison. Malgré que la distance médiane parcourue par les travailleurs canadiens pour se rendre au travail soit de 7,6 km, cette distance est en croissance stable depuis de nombreuses années (Statistique Canada, 2008b). On constate également que cette distance tend à croître avec l'étalement urbain. De plus, il y a toujours près de 70 % de la population qui utilise une automobile légère pour aller au travail. C'est donc près de 10 millions de personnes qui roulent en voiture pour effectuer ce déplacement (*Id*, 2008b). Considérant une moyenne de consommation d'essence de 8,2L/100km, la quantité d'émission relative à la *navette maison travail* est ainsi très élevée (Transport Canada, 2008).

2.2. Population et transport en collectif

La densité de population au Canada reste un défi de taille pour l'implantation de systèmes de transport collectif efficaces. Selon Statistique Canada, la densité de la population ainsi que la richesse personnelle sont les deux facteurs les plus significatifs influençant la

consommation d'énergie d'un Canadien. Plus une région sera densément peuplée, moins grande sera la consommation d'énergie (Ressources naturelles Canada, 2008). Or au Canada, la densité de la population est en moyenne de 3,35 personnes par kilomètre carré. Cette faible densité limite la possibilité de créer des corridors de transport collectif permettant de réduire l'utilisation des véhicules légers. Les réseaux de transports en commun sont fragmentés et uniquement disponibles autour des grands centres urbains. Ainsi, pratiquement aucun service de transport collectif n'est disponible dans la majeure partie du territoire.

2.3. Étalement urbain

L'étalement urbain force les gens à effectuer des déplacements plus longs pour se rendre au travail, en utilisant en majeure partie leur automobile. Un des facteurs qui encourage l'étalement urbain est l'aspect financier. L'achat d'une maison dans une grande ville au Canada n'est pas accessible à l'ensemble de la population. Ayant envie d'avoir plus d'espace et de respecter leur budget, les citadins se réfugient en banlieue. Évidemment, les villes limitrophes ne veulent pas arrêter cette vague sous prétexte que cela limitera leur développement économique. La demande en transport augmente donc afin de faciliter le déplacement des banlieues vers la ville centre ce qui engendre un accroissement de la dépense énergétique. Cet étalement mal planifié accompagné d'une mauvaise organisation des systèmes de transport incite le travailleur à utiliser le moyen le plus accessible et simple : l'automobile.

Pour illustrer ce fait, on constate qu'en fonction de l'âge de construction du domicile, la distance pour se rendre au travail augmente de façon significative. En effet, les résidents d'une maison construite entre 2001 et 2006 parcourent en moyenne deux fois plus de kilomètres pour se rendre au travail que les résidents d'une maison construite en 1960 (6 km vs 12km) (Statistique Canada, 2008b).

2.4. La voiture symbole

Tel que vu dans la revue de l'histoire, au courant des années 50, la voiture devient une façon d'exprimer sa personnalité Amérique du Nord (General Motor, s. d.). De nos jours, elle est non seulement le symbole de liberté de par sa flexibilité d'horaire et son autonomie qu'elle permet, mais également une représentation du statut social. En effet, elle est pour

plusieurs le symbole d'une réussite financière qui s'expose facilement aux yeux et à l'envie des autres au sein de sa classe sociale. La puissance des motorisations est quant à elle un symbole fort pour certains propriétaires. Les compagnies automobiles sont passées maîtres dans la création de besoin et dans l'art de convaincre de l'utilité de grosses cylindrées ou même des véhicules utilitaires sport.

2.5. Besoin en équipement

Par ailleurs, les besoins en motorisation ont évolué en fonction du confort dont notre société a voulu se doter. En effet, améliorer sa qualité de vie et le niveau confort de leur véhicule a toujours été le but des acheteurs de véhicules. Les constructeurs l'ont bien compris et ont, au fil des années, augmenté les accessoires parfois utiles, mais parfois complètement superflus des voitures afin d'attirer la clientèle vers leurs produits. Ces nouveaux équipements demandent une motorisation plus puissante ou une diminution du poids afin de satisfaire ces nouvelles charges. Les besoins en espace de l'habitacle afin d'améliorer le confort et la capacité de chargement ont aussi ajouté du poids aux véhicules des années 2000. Les normes de sécurité sont certes bénéfiques lors d'accident, mais elles ont contribué à alourdir les véhicules.

Par exemple, certains véhicules récents, malgré leurs efficacités supérieures aux années antérieures, n'ont pas réellement réduit leur consommation d'essence. Prenons l'exemple de la Honda Civic. En 1973, la consommation de cette sous-compacte était de 5,88 L/100km alors qu'en 2006 elle était de 5,7 L/100km (Wheels, 2008). Pourquoi une si faible réduction de la consommation en plus de 30 ans de recherche et développement? Simplement à cause du poids et de la puissance demandée pour tracter cette masse. En effet, en 1973, ce véhicule pesait environ 650 kg alors que celle de 2006 pèse 1178 kg et 1200 kg en 2009. La puissance du moteur a également été élevée afin de satisfaire les envies en performance des clients. Résultat : la Civic qui avait une puissance de 50cv en 1973 contenait, en 2006, 140cv de même qu'en 2009 (Laquerre, 2009). Avec cet exemple, on comprend rapidement où sont passés les gains en efficacité des motorisations.

En résumé, le Canada est un pays dépendant des déplacements routiers. De par ses caractéristiques territoriales et de par ses habitudes de vie de ses citoyens, le pays est sous l'emprise d'un système de transport individuel fort. Le transport collectif est certes disponible, mais principalement dans les grands centres urbains. Le mode de vie à

l'américaine du culte de la grosse voiture puissante est un besoin créé de toutes pièces, mais enraciné profondément dans les mœurs des consommateurs.

3. L'ESSENCE : DE LA PRODUCTION À LA COMBUSTION

Pour répondre aux besoins croissants des Canadiens en transport, il faut de grandes quantités de carburants. La fabrication de ces carburants est un processus énergivore et la pollution produite à ces différentes étapes est considérable. Il est donc essentiel de démontrer l'importance de ce processus dans la prise des décisions relatives aux nouvelles motorisations. Une présentation des différentes étapes de la production sera effectuée et sera suivi d'une analyse des émissions polluantes reliées à chacune de ces étapes.

3.1. Extraction et sources de pétrole

L'extraction consiste à créer une pression dans un réservoir pour en faire jaillir le pétrole. Différentes installations peuvent être utilisées. Des puits terrestres ou des plateformes en haute mer peuvent servir à aller chercher ce précieux liquide dans les grandes étendues souterraines. Il existe également des gisements de sable bitumineux qui contiennent des quantités appréciables de pétrole. Cette exploitation est plus complexe que les deux autres, mais produit tout de même un pétrole pratiquement similaire.

Dans les réservoirs, on peut injecter soit de l'air ou un liquide afin d'augmenter la pression à l'intérieur, et ainsi augmenter la productivité. Cette méthode se nomme la récupération assistée. Généralement, ce système utilise de l'eau. La récupération assistée peut être également utilisée dans le cadre d'un système de captage et stockage du CO₂ (CSC). En effet, le CO₂ liquide permet de créer une pression dans les réservoirs tout en stockant un polluant. Cette méthode est à l'étude par plusieurs compagnies (Stephenne et al. 2007). Actuellement, les réservoirs ont complété leur vie utile lorsque 10 à 50 % du contenu du puits a été extrait. Le CSC permettrait d'augmenter ces proportions dans un avenir rapproché, moyennant un prix du baril plus élevé.

Les sables bitumineux contiennent également du bitume permettant d'extraire du pétrole. Ces sables sont un intermédiaire entre le charbon et le pétrole liquide. Ils proviennent eux aussi d'une lente fossilisation d'animaux et de végétaux avec des sédiments (M.J. Olivier, 2003). En fait, il est très difficile d'extraire le pétrole puisqu'il est aggloméré à des grains de sable et à de l'eau. Le processus est très énergivore et contribue de façon considérable

aux émissions de CO₂ du Canada. En effet, ce procédé est extrêmement contesté par le milieu écologiste de par les émissions atmosphériques et de par l'impact sur la faune et la flore. En effet, la production d'un baril de pétrole des sables bitumineux émet cinq fois plus de gaz à effet de serre que la production conventionnelle (Richard et Villeneuve, 2007).

Actuellement, le pétrole consommé au Canada provenant de ses propres sols représente 45 % de la consommation total du pays. Le reste de la consommation intérieure du pays provient en majeure partie des pays de la mer du Nord et du Moyen-Orient (Statistique Canada, 2009b).

3.2. Transport

Le transport du pétrole contribue également au facteur polluant de ce carburant. Malgré le fait que le Canada extraie une partie de sa consommation, une proportion importante doit être importée. Les importations de pétrole voyagent par voie maritime puisque les pays exportateurs ne peuvent être rejoints par d'autres moyens à des coûts aussi avantageux. Parcourant des milliers de kilomètres, les pétroliers et superpétroliers consomment beaucoup de carburant et contribuent aux émissions de CO₂. D'autre part, le fait de transporter de grandes quantités de pétrole liquide augmente le risque de déversement. Ces déversements ont causé des marées noires qui ont littéralement détruit des écosystèmes entiers et réduit à néant la reproduction de certaines espèces. Nous n'avons qu'à penser au pétrolier Exxon Valdez qui s'est échoué au large des côtes de l'Alaska en 1989 causant la plus grande marée noire de l'histoire du transport maritime. Lors de ce déversement, plus de 40 000 tonnes de pétrole furent déversées sur plus de 7 000 km carrés et plus de 800 km de côte furent polluées (Valdez convention and visitor bureau, s. d.).

3.3. Raffinage

Le raffinage consiste à transformer le pétrole brut par différents procédés. Trois types d'opérations peuvent être réalisés dans le processus : la séparation, la conversion et le traitement. Selon le produit désiré, le pétrole sera traité différemment. L'essence nécessite les trois types d'opération. Plus précisément, l'essence nécessite une distillation, un hydrotraitement et finalement un reformage catalytique.

La séparation par distillation consiste à amener à ébullition le pétrole brut et à obtenir de la vapeur. La vapeur est ensuite condensée dans la colonne de fractionnement. Le pétrole en vapeur se condense ensuite à diverses étapes puis certains produits en sont retirés. Ce procédé peut se faire sous vide, à haute ou à faible pression. Cette méthode permet de retirer certains produits finis sans aucune autre transformation. Une deuxième distillation peut être effectuée afin d'obtenir plus de produits légers avec les produits lourds restants. D'autres produits, telle l'essence, exigent des transformations supplémentaires. On poursuit donc avec deux étapes de conversion soient l'hydrotraitement ainsi que le reformage catalytique afin d'obtenir un produit adéquat.

Par la suite, l'hydrotraitement est utilisé pour retirer les impuretés telles que le soufre, l'azote et les métaux. Ce traitement chimique catalytique utilise un mélange gazeux riche en hydrogène afin d'extraire les polluants (ICPP, s. d.). Ce mélange gazeux est comprimé et passé à travers le mélange. Par exemple, le soufre est retiré du mélange en le transformant en H_2S et en le récupérant sous forme gazeuse. Ce gaz sera traité par la suite afin de le rendre inoffensif. Le mélange liquide émerge du traitement plus propre.

Finalement, le reformage catalytique permet d'augmenter la charge en octane des mélanges pauvres. On assiste également dans ce procédé au reformage de molécule afin de limiter leur taille. Cette réaction dite de conversion est obtenue par la combinaison de la chaleur ($550^{\circ}C$) ainsi que d'une pression forte. C'est à cette étape que se crée les molécules de benzène, un composé organique. Cette étape permet d'atteindre les normes en teneur en soufre et en octane/cétane ainsi que les normes sur la volatilité des carburants (ICPP, s. d.).

La demande totale mondiale est composée à 40 % des produits légers telle l'essence, à 40 % des fiouls ou gazoles et 20 % des produits lourds. Par contre, seul le pétrole Sahara algérien répond à ces besoins. Les autres sources d'approvisionnement contiennent plus de produits lourds ce qui complique le travail. L'énergie requise est donc supérieure puisque le pétrole doit être traité par hydrocraquage afin de réduire la taille des molécules et ainsi obtenir les mêmes produits. La consommation d'énergie est donc très importante à cette étape (Total, s. d.).

Pour raffiner le pétrole, une raffinerie utilise 15 à 20 % de l'énergie totale contenue dans le

pétrole brut. Si l'on ajoute à cela les pertes d'inefficacité de l'ordre de 50 % dans la combustion interne de l'automobile, il n'y a en fait que très peu d'énergie vraiment transformée en mouvement du véhicule (Richard et Villeneuve, 2007 p.224). Par contre, au Canada, plusieurs mesures ont été mises en place afin de réduire la consommation et la perte d'énergie dans les raffineries. Le résultat fait que les émissions de GES ont été réduites en dessous du niveau de 1990, et ce, malgré une croissance de sa production de près de 20 % (ICPP, 2006).

3.4. Distribution

La distribution consomme également une grande part d'énergie. Les carburants doivent être transportés des raffineurs jusqu'aux consommateurs sur de longues distances. Les principales émissions liées à la distribution proviennent donc du transport routier et ferroviaire. Ce sont donc des émissions de dioxyde de carbone, d'oxyde nitreux, de dioxyde de soufre et de particules fines reliées au moteur diesel que l'on constate à cette étape. Les émissions fugitives lors du ravitaillement du véhicule constituent également une source importante de pollution. De par sa caractéristique volatile, l'essence émet des vapeurs toxiques dès son contact avec l'air ambiant. Il en résulte des émissions de benzène, considéré cancérigène. En se volatilisant, ces émissions contribuent à la perte d'efficacité énergétique du système de distribution, mais également à la pollution de l'atmosphère, et nuisent à la santé humaine.

En résumé, le résultat du processus de fabrication présenté est une multitude de produits et sous-produits. Selon le type de pétrole brut utilisé, il y aura des carburants légers et des carburants plus lourds dans des proportions différentes. Il est toujours possible de produire plus de carburants à partir d'un baril de pétrole, mais les coûts en énergie grimpent rapidement au-delà de toute rentabilité possible. De plus, le cycle de production étant extrêmement énergivore, il contribue à rendre ce carburant des plus polluants. L'amélioration des techniques de production de carburants pourrait réduire la consommation d'énergie ainsi que les coûts de production.

4. ÉMISSIONS POLLUANTES DES MOTORISATIONS ET DES CARBURANTS

La production de carburant pollue, certes, mais la combustion directe dans les moteurs est la source principale d'émission polluante des véhicules. En effet, la combustion de combustible fossile dans les motorisations émet des quantités massives de polluants dans l'atmosphère. On sait depuis longtemps que les moteurs thermiques émettent du dioxyde de carbone, mais également plusieurs polluants néfastes pour la santé et l'environnement. Cette pollution est causée par une combustion imparfaite du moteur thermique. En situation idéale, un moteur se devrait d'avoir une température de combustion élevée ainsi qu'un mélange parfait d'oxygène et de combustible de bonne qualité, ce qui n'est pas le cas des moteurs actuels (Richard et Villeneuve, 2007 p. 203). Il en résulte des émissions de différents gaz plus ou moins toxiques selon leur composition chimique. Cette section présente les différentes émissions relatives aux motorisations et plus particulièrement les émissions atmosphériques. Elle met en lumière les différents effets néfastes de ces gaz sur l'environnement et sur la santé humaine.

4.1. Le dioxyde de carbone (CO₂)

Les changements climatiques sont attribuables en grande partie à la combustion d'énergie fossile et aux émissions de CO₂. En fait, la combustion d'énergie fossile est responsable de 75 % des émissions de CO₂ de l'humanité (*Id*, 2007 p203). Que ce soit pour produire de l'énergie électrique dans une centrale thermique ou pour être utilisés comme combustible dans les moteurs des véhicules, les besoins en carburants sont énorme pour les activités humaines.

Le dioxyde de carbone est un gaz incolore et inodore. Il est le gaz le plus abondant de l'atmosphère. Il joue un rôle essentiel dans la photosynthèse des plantes ainsi que dans la fabrication de l'oxygène indispensable à la vie. Les plantes entreposent le CO₂ et le retirent de l'atmosphère. Puis elles meurent et relâchent ce gaz lors du processus de décomposition. On appelle ce cycle de stockage et d'émission, le cycle du carbone (Lentech, s. d.). Ce cycle fonctionne parfaitement lorsqu'il n'est pas influencé par l'humain : Séquestration par les végétaux, dans les sols et les océans puis relâchement lors de la décomposition. L'impact négatif des activités humaines a modifié cet équilibre fragile du cycle du carbone. En effet, le carbone stocké dans les nappes de pétrole était

accumulé depuis des millions d'années. Or, l'humain est en train de le relâcher en moins de 200 ans.

Le CO₂ est le principal gaz à effet de serre produit par les véhicules légers. Il représente 95 % de toutes les émissions de GES d'un véhicule (MTQ, 2007a). De plus, ces émissions de CO₂ représentent 40 % des émissions de gaz à effet de serre au Québec (MDDEP, 2006). Par ailleurs, sur les 150 Mt d'éq. CO₂ émis par les transports au Canada, les émissions de GES des véhicules légers représentent 60% soit environ 88 Mt éq. CO₂. On peut donc dire que les émissions de CO₂ reliées aux véhicules légers ont un impact réel sur l'environnement (Environnement Canada, 2007).

Dans les motorisations actuelles, le CO₂ est émis lors de la combustion de l'oxygène et du carburant. En réaction, l'oxygène se lie avec des molécules de carbone et forme des oxydes de carbone. Ces oxydes se transforment ensuite, dès leur contact avec l'air ambiant, en composition chimique la plus stable; en CO₂. Par contre, cette combustion émet plus ou moins de CO₂ en fonction du combustible utilisé. Par exemple, la combustion d'un litre d'essence émet 2,35 kg de CO₂ alors que le diesel en émet 2,77 kg. En tenant compte du cycle de vie, de l'extraction à l'émission en bout de tuyau, ces combustibles en émettent respectivement 2,5 kg et 3 kg par litre (Richard et Villeneuve, 2007 p.221). On estime qu'un véhicule émet en moyenne 3,8 tCO₂ annuellement au Québec (ministère des Transports (MTQ), s. d.).

4.2. Méthane (CH₄)

Le méthane est un gaz provenant de plusieurs sources d'origines naturelles et anthropiques. Ce gaz composé de carbone et d'hydrogène est un gaz à effet de serre ayant un potentiel de réchauffement atmosphérique 21 fois plus élevé que le CO₂ (MTQ, s. d.). On associe généralement le tiers des émissions de CO₂ à l'impact du méthane dans l'effet de serre (M.J.Olivier, 2003 p.144). Sous forme naturelle, le méthane est créé par la décomposition anaérobie des matières organiques. Annuellement, la flotte automobile du Québec émet l'équivalent de 68 tonnes de CO₂ dans l'atmosphère (MTQ, s.d.). L'impact des émissions de méthane sur l'atmosphère dû au transport au Québec est sommes tout limités.

4.3. Oxyde nitreux (N₂O)

Les oxydes nitreux ont un potentiel de réchauffement 310 fois plus élevé que le CO₂. Ce gaz, malgré sa faible concentration dans les gaz d'échappement, contribue de façon significative à l'effet de serre. En 2000, le secteur des transports au Québec a émis pour 1500 tonnes d'équivalents CO₂ de N₂O (MTQ, s.d.).

4.4. Oxyde d'azote (NO_x)

Les oxydes d'azote se forment suite à la combustion à haute température d'un carburant. En effectuant la combustion, le moteur dégage de l'oxygène qui se joint à l'azote contenu dans l'air ambiant créant ainsi des molécules de NO. Cette molécule s'oxyde facilement pour former du dioxyde d'azote (NO₂). Ce dioxyde d'azote est le principal gaz contributeur au smog photochimique. Lors de son contact avec l'air, il en résulte également la formation d'acide nitrique, substance très corrosive. Cet acide est précurseur des pluies acides (Ville de Montréal, s.d.). Ce phénomène provoque l'acidification des milieux humides, perturbant les populations de poissons ainsi que tout l'écosystème.

Les NO_x sont non seulement nocifs pour l'environnement, mais également pour la santé humaine. En effet, la transformation des NO_x ainsi que des COV en smog photochimique produit diverses particules et nombre de gaz toxiques pour l'humain. De plus, en composant le smog photochimique, ces molécules peuvent infecter les voies respiratoires et causer de l'hyperactivité bronchique chez les asthmatiques. Les gens aux prises avec des problèmes respiratoires ainsi que les enfants et les personnes âgées sont plus à risque (Ville de Montréal, s. d.).

4.5. Particules fines (PM_x)

Les particules fines (PM_x) sont émises lors de la combustion du carburant. Les carburants diesels sont de loin les plus grands émetteurs de particules fines. Ces particules fines pénètrent facilement et en profondeur dans les poumons, causant des infections pulmonaires, des problèmes cardiovasculaires et même des cancers (MTQ, s. d.). Elles peuvent aussi être émises par certaines réactions chimiques produisant des particules fines. On considère les gaz suivants comme ayant un potentiel à effectuer une telle réaction : les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO₂), les composés organiques volatils (COV), l'ammoniac (NH₃) et des particules déjà présentes dans l'atmosphère (MDDEP, 2002).

4.6. Dioxyde de soufre (SO₂)

Produit dans une moindre importance par les automobiles, le dioxyde de soufre est surtout produit par les véhicules diesels. Malgré le resserrement des normes en la matière, les carburants contiennent encore une portion de soufre produisant des effets néfastes sur l'environnement et sur la santé.

Le SO₂ a des effets majeurs sur la qualité des milieux humides et de la flore. En effet, le SO₂ s'oxyde rapidement au contact de l'air et forme de l'acide sulfurique, un acide très puissant contribuant grandement aux précipitations acides. Ces précipitations acides affectent la croissance des végétaux en réduisant le rythme annuel. Du côté des milieux humides, on constate une acidification affectant la faune et la flore.

Les effets sur la santé du SO₂ sont également préoccupants. On constate chez les personnes vulnérables, telles que les personnes âgées, les enfants, les personnes aux prises avec des problèmes cardiaques ou respiratoires, une réduction de leur capacité pulmonaire et une aggravation des maladies du système respiratoire causé par la pollution liée au SO₂ (Ville de Montréal, s. d.).

Depuis 2006, le *Règlement sur le soufre dans le carburant diesel canadien* limite la teneur en soufre à 15 mg/kg. Anciennement, cette limite était de 500 mg/kg. Du côté de l'essence, le *Règlement sur le soufre dans l'essence* limite à 30 mg/kg de soufre à depuis 2005. Ces deux mesures devraient permettre de réduire les émissions de SO₂ des véhicules de façon significative. (Environnement Canada, s. d.)

4.7. Composés organiques volatils (COV)

Les composés organiques volatils (COV) sont des molécules composées d'au moins un atome de carbone et un d'hydrogène. Les principales sources d'émission de COV d'origine anthropique sont liées aux combustibles fossiles. En effet, 45 % des émissions de COV au Québec étaient reliées au transport en 1999 (MDDEP 2005).

Les COV produits par la combustion sont très nocifs pour la santé. Le Benzène, par exemple, est un composé de l'essence permettant d'augmenter l'indice de cétane et par conséquent de retarder la détonation. Il est le principal composé organique contenu dans les rejets gazeux de l'automobile. Le benzène, comme la plupart des composés

organiques, est nocif pour la santé. En effet, il est considéré cancérigène et mutagène (MTQ, 2007a). De plus, tous les COV sont précurseurs du smog urbain causant des effets des plus néfastes sur la santé humaine.

4.8. Ozone (O₃)

Les motorisations émettent également de l'ozone. Cette molécule est un élément fort appréciable dans la haute atmosphère pour notre écosystème planétaire. Cette fine couche nous protège des radiations provenant de l'espace et du Soleil. Cependant, au niveau du sol, l'ozone est nuisible à la santé. Les NOx ainsi que les COV se transforment sous l'effet du soleil pour former de l'ozone ainsi que divers mélanges de gaz toxique. Le tout est réalisé directement au niveau du sol (MDDEP, 2002). Parmi les effets notables sur la santé, l'Association pulmonaire du Canada note principalement l'aggravation des symptômes de l'asthme; l'enflure et l'irritation des voies respiratoires; l'irritation, yeux, nez, gorge; toux, la respiration sifflante et des maux de tête. À long terme, on note également des risques de dommages permanents aux poumons (Association pulmonaire, s. d.) Un phénomène qui nous fait prendre conscience que la pollution atmosphérique existe et qu'elle a des impacts directs sur notre santé.

En résumé, les émissions polluantes des motorisations sont considérables. Il est essentiel de saisir que les émissions de CO₂ contribuent à l'effet de serre et par ricochet aux changements climatiques. Par ailleurs, les émissions de NOx, SO₂ et COV contribuent au développement d'épisodes de smog photochimique qui sont nocifs pour la santé humaine. Les pluies acides ainsi que la perte de biodiversité dans les lacs acidifiés sont des conséquences de l'émission du SO₂ dans l'environnement. Globalement, on constate que les émissions des véhicules ont un impact notable sur l'environnement et sur la santé humaine. Il en va donc de notre avenir de prendre les moyens de réduire ces impacts.

5. COMPARATIF DES PARCS AUTOMOBILES ENTRE LA FRANCE ET LE CANADA

Le fait de constater des émissions polluantes aussi néfastes provenant des véhicules automobiles porte à rechercher des solutions ailleurs dans le monde. La comparaison du Canada et de la France permet de constater que malgré des origines communes, le Canada a à apprendre de son cousin outre-Atlantique. En fait, la comparaison de ces deux pays met en lumière le fait qu'il est possible de repenser la place de l'automobile dans ces sociétés. Dans le cadre de l'essai, cette ouverture sur le nouveau continent permet plus spécifiquement d'observer les différences de motorisation, de constater les problématiques liées à chaque pays et d'analyser les principes qui ont contribué au développement du transport individuel sur ces deux continents.

5.1. Statistiques générales

On constate que ces deux pays ont plusieurs points en commun. En effet, les ressemblances sont nombreuses étant tous les deux des pays de l'occident. Le rythme de vie ainsi que la qualité de vie sont similaires. De plus, les structures sociale et politique sont sensiblement les mêmes. En fait, ayant été une colonie de la France à une certaine époque, les deux pays se sont développés avec sensiblement de ressemblance.

D'un point de vue statistique par contre, plusieurs différences portent à réfléchir. Dans le tableau 5-1, on constate plusieurs traits distinctifs. Certains sont immuables, mais d'autres pourraient être modifiés. Lorsqu'on aborde le sujet des parcs automobiles et du transport, on doit systématiquement relativiser avec les superficies et la densité des populations. Dans les deux pays étudiés, les données sont simplement à l'opposé. En fait, la France est densément peuplée alors que le Canada ne l'est pas. Par contre, malgré une superficie énorme du Canada, on constate que la plupart des habitants vivent près des grands centres urbains et que près du tiers de la population habite dans le corridor Québec-Windsor. Il serait donc souhaitable de se servir de la France comme exemple et d'y voir dans leurs modes de transport certaines pistes de solutions.

Une autre statistique importante vient du nombre de véhicules en circulation. Alors qu'il y a un véhicule en circulation par Canadien, la France compte une voiture pour deux habitants. Ce fait démontre clairement une philosophie différente par rapport au mode de

transport qui reflète bien les choix faits par chaque société. L'une choisissant le véhicule individuel pour répondre à ses besoins en transport, alors que l'autre préconise une utilisation limitée de ce dernier au bénéfice des transports collectifs.

Tableau 5-1 : données générales du Canada et de la France

	Canada	France
Population	33 000 000	61 000 000
Superficie	9 800 000 km ²	551 500 km ²
Réseau routier pavé	416 000 km	951 000 km
Autoroute	17 000 km	10 950 km
Véhicules légers en circulation	20 000 000	31 000 000
Émission de CO ₂ total (t d'éq. CO ₂)	747 000 000 (2005)	541 000 000 (2006)
Émission de CO ₂ reliée au transport (t d'éq. CO ₂)	150 000 000 (2005)	129 000 000 (2006)

Source : (CIA World factbook, s. d.), (Statistique Canada, 2009a) (Journal Metro France, 2008) (MEEDDAT, 2008)

Les émissions reliées au domaine du transport impressionnent. Alors que le Canada émet près de 150 Mtéq.CO₂, la France en émet seulement 129. Le plus impressionnant vient de la comparaison entre le nombre de véhicules en circulation et les émissions de carbone reliées. Pendant que le Canada émet 7,5 téq.CO₂ par véhicule en circulation la France n'en émet que 4,5 téq.CO₂. La France est donc capable d'émettre près de 40 % de moins de GES reliées au transport que le Canada. Voilà une bonne raison pour laquelle la France pourrait servir de modèle au Canada dans la redéfinition de ses transports.

5.2. Demande en produit pétrolier et type de motorisation

Par ailleurs, les deux pays ont une consommation quotidienne en carburant fort surprenante. En effet, le Canada consomme 2,24 millions de barils de pétrole par jour alors que la France en consomme 1,7 (IEA, 2009). Plusieurs facteurs influencent cette consommation. En effet, la superficie du pays peut expliquer une partie de cet écart puisque le Canada, comme présenté précédemment, possède un territoire près de 20 fois plus grand que la France. Par contre, lorsqu'on compare cette consommation avec la

population de chaque pays, il est difficile de comprendre comment le Canada peut avoir une demande de près de 25 % plus élevée en pétrole tout en ayant une population 50 % plus petite que celle de la France. Voilà une autre piste qui porte à croire que la France est plus efficace en transport que le Canada.

Par la suite, lorsqu'on analyse ces deux pays, le contraste de la demande en carburant est frappant. En fait, les deux pays consomment les mêmes carburants, mais dans des proportions différentes. Ainsi, la demande en produit pétrolier de la France est composée à 48 % de diesel alors que l'essence représente à peine 11 %. Or, pour le Canada, cette proportion est de 24 % pour le diesel et de 33 % pour l'essence. Cette statistique représente une différence considérable entre les deux marchés. Par ailleurs, le total de la demande en carburant diesel et d'essence dans chaque pays est pratiquement identique. Le fait que la France utilise moins de carburant et que son parc automobile contient considérablement plus de véhicules diesels n'est pas un hasard. Tel que vu précédemment, le diesel contient plus d'énergie que l'essence. Puisqu'il contient plus d'énergie, il abaisse la consommation de carburant à des niveaux bien inférieurs à une motorisation équivalente à essence.

Cette demande en produit pétrolier représente évidemment les types de motorisation utilisés dans chaque pays. En France, 77 % des ventes sont pour des véhicules diesel. Les véhicules à essence ne représentent que 22 % des nouveaux véhicules sur le marché (Carballe, 2009). À l'inverse, au Canada, plus de 90 % des véhicules fonctionnent à l'essence alors que seulement 5 % carburent au diesel (Statistique Canada, 2008). Deux pays développés et pourtant une différence significative sur les types de moteurs utilisés.

5.3. PIB et pétrole

Par ailleurs, le produit intérieur brut (PIB) du Canada représente 1550 milliards de dollars US alors que la France est de plus de 2400 milliards de dollars US (Perspective monde Université de Sherbrooke, s. d.). Si l'on fait le calcul, la France réalise donc un PIB de 1 400 000 \$ US avec un baril de pétrole utilisé en transport alors que le Canada ne fait que 691 000 \$ US avec la même quantité. Cette différence marquée en efficacité au niveau macro-économique porte à croire que la France est plus efficace et efficiente dans l'utilisation du pétrole par rapport au Canada.

Tableau 5-2 : Statistique sur la consommation en produit pétrolier

	Canada	France
Population	33 000 000	61 000 000
PIB	1 550 000 000 000 \$ US	2 428 000 000 000 \$ US
Demande en pétrole (en baril de pétrole/jour)	2,240 000 bp/j	1 710 000 bp/j
PIB par baril de pétrole	691 000 \$ US	1 400 000 \$ US

5.4. Type de véhicule

Un autre aspect qui différencie le Canada de la France est le type de véhicule utilisé. Selon les données recueillies, la flotte canadienne est composée de véhicules plus énergivores. Tout d'abord, cette flotte contient 11 % de véhicules utilitaires sport (VUS) alors que la France en possède seulement 3 % (Carballes, 2009) (Statcan, 2008). Cette différence notable est couplée à une motorisation régulièrement à essence en Amérique alors qu'en Europe, la plupart des VUS carburent au diesel. De plus, la flotte canadienne contient 13 % de mini-fourgonnettes alors que la France en dénombre environ 6 % (Carballes, 2009). En fait, la majeure partie des véhicules en circulation en France sont des berlines (60%) (Carballes, 2009). On constate donc que le Canada achète des véhicules plus imposants, plus énergivores alors que les véhicules français ont tendance à être de plus petites tailles.

5.5. Transport en commun

La culture du transport en commun en France est extrêmement bien développée. Ce système a de quoi faire l'envie de tous les écologistes canadiens. Que ce soit en ville ou en région profonde, le train est partout. Les nombreuses lignes de train, métro et autobus contribuent à couvrir le pays en entier. Pour de longues distances, les Français peuvent donc compter sur une multitude de solutions de rechange aux véhicules individuels que ce soit le TGV ou le TER par exemple. De plus, les péages routiers ainsi que le prix élevé du gazole incitent les gens à se servir des transports collectifs en place. Et comme le service est utilisé, le gouvernement est donc enclin à le financer davantage et par conséquent il est plus efficace. À condition qu'il n'y ait pas de grèves bien entendu.

Au Canada, le transport collectif est tout autre. La disponibilité est limitée et le prix est

encore trop élevé pour être un choix avantageux au transport individuel. Le train, par exemple, est actuellement plus cher que bien des vols nationaux. Plus long que l'avion et plus coûteux, les transports ferroviaires n'ont pas vraiment d'avantages dans ce pays qui, paradoxalement, a vu son développement se réaliser grâce au chemin de fer. Les trains de banlieue n'ont pas très bonne réputation au Québec. Gérés par l'Agence Métropolitaine de Transport, ces services de train de banlieue ont réussi en 2008 à diminuer leur achalandage annuel à cause de pannes répétées (Cardinal, 2009). Le tout s'est évidemment opéré au profit de l'automobile individuelle. Ce mouvement de balancier en faveur de la voiture n'a toutefois pas contribué suffisamment à décongestionner les wagons. Actuellement, plusieurs utilisateurs se plaignent que les trains excèdent leur capacité et qu'il faudrait mettre plus de wagons sur les rails.

Par ailleurs, le Québec est le champion de l'investissement dans le transport individuel. Le prolongement de l'autoroute 25 sur la Rive-Nord de Montréal donnera la possibilité à plus de 40 000 usagers de se rendre en ville chaque jour (Vallée, 2009). Plusieurs autres projets permettent de comprendre que le gouvernement québécois préfère construire des autoroutes plutôt que faire une réflexion en profondeur sur les investissements en transport. Nous pouvons nommer les autoroutes 30, 35, la 175 à double voies, la 185 et même l'échangeur Turcot. Par ailleurs, les élus canadiens sont extrêmement frileux à l'idée de mettre des formes de taxations supplémentaires telles des péages ou des taxes sur le stationnement afin de financer les infrastructures de transport en commun. Actuellement, aucun péage au Québec ne sert de levier à la mise en place de transport collectif. On compte bien quelques péages dans le reste du Canada, mais ils sont l'exception à la règle.

5.6. Politique et mesures incitatives

Dans chacun des pays, les gouvernements ont mis en place des mesures incitatives afin d'orienter les décisions des consommateurs d'acheter ou non un type de véhicule. On constate que les flottes automobiles se sont développées selon ces politiques.

Tout d'abord en France, le diesel a pris une part importante de la flotte automobile à cause des taxes. En effet, l'essence ordinaire est taxée à 67 % en France alors que le gazole (diesel) ne l'est qu'à 57 % (MEEDDAT, 2008). Cette différence de taxe a permis au diesel de prendre une place prédominante, voire disproportionnée, dans la consommation

française. Le fait que le gazole a pris autant d'importance cause entre autres des problèmes sur les approvisionnements ainsi que sur les capacités de raffinage du pays. Le gazole représente actuellement 75 % de toute la consommation routière du pays (*Id*, 2008).

Une autre réglementation a été mise en place en France pour inciter les consommateurs à acheter des véhicules verts. Le «Bonus-malus» écologique donne des avantages financiers à l'achat de véhicule à faible émission et taxe les véhicules à émission élevée. Les véhicules émettant plus de 250gCO₂/km sont taxés alors que ceux émettant moins de 130gCO₂/km sont récompensés. Un autre «malus» annuel est appliqué aux voitures neuves polluantes seulement afin de décourager leur achat (MEEDDM, 2008a). Ce système encourage les comportements responsables. Tout ceci est réalisé dans le cadre du projet de loi Grenelle Environnement. Ce projet consiste en un pacte du gouvernement français envers toutes les sphères de l'environnement. On comprend vite pourquoi en France les motorisations sont de plus petite cylindrée et surtout pourquoi elles sont plus efficaces.

La France a également révisé sa façon de taxer annuellement les propriétaires de véhicule. Depuis 2006, la taxe annuelle sur les véhicules de société ne s'établit plus en fonction de la puissance fiscale, mais en fonction du taux d'émission de gaz à effet de serre (Mercedes Benz, s. d.). Cette mesure représente un changement de cap important qui aura des répercussions marquées sur les choix que feront les sociétés dans leurs achats futurs.

Au Canada, les taxes à la consommation ne sont pas ajustées en fonction des carburants. Il y a bien environ 37,5 % de taxes sur le prix d'un litre d'essence ou de diesel, mais aucun carburant n'est avantage. Le Parti Conservateur (partie au pouvoir, mais minoritaire) avait un projet de réduire la taxe sur le diesel pour encourager le secteur des transports, mais cela n'a pas abouti à une modification réglementaire (Radio-Canada, 2008b).

Tableau 5-3 : Comparatif des taxes perçues sur les carburants dans le monde

Essence sans plomb selon les différents pays	HT: en euros par litre	TTC : en euros par litre	% de taxes
France	0,39	1,17	66,7 %
Europe (15)	0,42	1,19	64,7 %
É.-U.	0,52	0,60	13,3 %
Québec (Canada)	0.45	0.72	37,5 %
moyenne 2005			

Tiré de : (CAA-Québec, 2008) et (MEEDDM, s. d.)

Le tableau précédent démontre que le Canada pourrait utiliser davantage le levier financier pour inciter les automobilistes à changer leurs habitudes de vie. Il reste une marge de manœuvre intéressante que le gouvernement pourrait se servir dans une politique globale d'incitatif financier à l'égard du transport collectif par exemple.

Par contre, le Canada a implanté un programme de subvention pour le raffinage des biocarburants. Pour ce faire, le pays offre des subventions variant de 0,10 \$ le litre pour les carburants de remplacement de l'essence à 0,20 \$ pour les biodiesels (Ressources naturelles Canada, 2009). Ce programme écoÉNERGIE de Ressources naturelles Canada vise à encourager la production de carburant de remplacement. Selon ce ministère, cela encouragerait le développement d'énergie propre concurrentielle ainsi que l'ouverture de nouveaux marchés pour les producteurs de matière première tel le soya (*Id*, 2009).

En juillet 2009, le gouvernement de l'Ontario dévoilait un plan ambitieux afin de relancer l'industrie automobile durement touchée par la crise économique. Ce plan consiste à offrir des rabais de 4000 \$ à 10 000 \$ à l'achat de véhicule hybride branchable et tout électrique. De plus, cette mesure serait bonifiée d'un droit d'utilisation des voies réservées de la province ainsi que d'un droit d'utilisation de certains stationnements provinciaux (gouvernement de l'Ontario, 2009). Ce plan, qui ne sera effectif totalement qu'après le 1^{er} juillet 2010 est considéré comme le meilleur incitatif financier pour les véhicules verts au

monde (Edmonds, 2009). Que ce soit le meilleur ou non, reste que ces mesures sont un signe encourageant de détermination de différents gouvernements à vouloir modifier les émissions des parcs automobiles.

D'autres mesures incitatives ont été mises en place au Canada, notamment pour encourager l'achat de véhicule à faible émission. Par contre, ce programme a été abandonné au niveau fédéral dès l'arrivée au pouvoir du Parti Conservateur. Les primes à la casse ont également été mises en place au pays, mais avec un financement limité. Ce programme est d'ailleurs fort critiqué du point de vue écologique.

5.7. Comparaison

Les deux pays ont certes des similitudes sur leur rythme de vie, mais la place occupée par le véhicule automobile individuel est très différente. La vision de l'environnement des deux pays est frappante, l'un est très impliqué pour la conservation alors que l'autre se fait plutôt tirer l'oreille afin d'en faire davantage. La composition de la flotte automobile française porte à réfléchir. Adapter la flotte française au Canada aurait un impact significatif sur l'environnement sans pour autant avoir un impact majeur sur la qualité de vie des citoyens. Pour y arriver, certaines mesures françaises et européennes tels les bonus-malus ainsi que les taxes sur l'essence devraient servir d'exemple aux élus canadiens. Cela permettrait sensiblement d'améliorer le bilan canadien afin de diminuer les impacts sur l'environnement. Évidemment dans un contexte plus global, la France devrait servir d'exemple à l'implantation d'un réseau de transport collectif fiable et durable.

6. INCITATIFS GOUVERNEMENTAUX ET LÉGISLATIONS AILLEURS DANS LE MONDE

Comme démontré précédemment, la France et le Canada ont mis en place différentes politiques afin d'inciter les consommateurs à acheter des véhicules moins polluants. Cependant, d'autres États ont voté des lois restrictives et des règlements contraignants afin de limiter les émissions polluantes liées aux motorisations. D'autres ont utilisé des mesures incitatives novatrices. Un survol de ces mesures favorisant le développement de nouvelle motorisation sera présenté ici en s'appuyant sur les expériences actuelles dans différentes régions du monde.

La Californie est sans aucun doute l'État américain précurseur en termes de législation sur la qualité de l'air. En fait, elle a adopté une loi sur la qualité de l'air avant le « Clean Air Act » américain dans les années 60 (Perspective Monde, 2009). Fait intéressant, en ayant légiféré avant le gouvernement central, la Californie est le seul État américain ayant droit d'avoir une loi sur la qualité de l'air. Cet État a développé des mesures contraignantes afin d'inciter les constructeurs à produire des véhicules plus efficaces et moins polluants. Cette législation impose notamment aux constructeurs d'avoir une flotte ayant une consommation moyenne passant de 9,4 à 6,6 litres au 100 kilomètres. Les constructeurs devront donc trouver des moyens d'innover dans le domaine des petites motorisations, des transmissions ainsi que dans les équipements énergivores tels les climatiseurs. C'est d'ailleurs sur cette législation que l'Administration Obama s'est basé pour imposer des réductions de consommation de carburant aux constructeurs automobiles (Radio-Canada, 2008a). Malgré une adoption avant le « Clean Air Act », la loi de l'État de la Californie a été mise en vigueur seulement en juillet 2009. Toutes les administrations avant celle d'Obama avaient refusé de donner leur accord en bâillonnant l'agence de protection de l'environnement américaine (EPA). C'est cette dernière qui devait donner son aval à une telle réglementation (Perspective Monde, 2009).

La Californie a également développé un plan de communication afin de faire la promotion des différents programmes environnementaux liés aux transports. En effet, le site web réalisé par le *Air Resource Board* permet en quelques minutes de trouver les subventions s'appliquant à sa région (California Air Resources Board, s.d.). Par exemple, on constate

qu'il existe une vingtaine de programmes différents incitant l'utilisation de véhicule plus propre dans la ville de Sacramento. Ces programmes sont aussi diversifiés que la réduction de taxe pour chaque type de véhicule qu'aux réductions pour le stationnement ou même les rabais auprès des entreprises privées d'assurance et des primes à la casse. (*Id*, s.d.)

Le Québec attendait que l'EPA donne son accord au projet de loi de la Californie avant d'adopter un projet presque identique (MDDEP, 2007). Treize États américains attendaient également cette nouvelle. Les constructeurs automobiles devront donc produire des véhicules moins énergivores pour les États-Unis ce qui aura certainement un impact au Canada.

Toujours en Californie, la ville de Los Angeles avait effectué un projet pilote de stationnements gratuits pour les véhicules à faible émission (Los Angeles department of transportation, s.d.). Le but était d'encourager les consommateurs à acheter des véhicules moins polluants. Le concept était simple : un autocollant permettait de ne pas payer dans les stationnements et les parcomètres de la Ville. On ne sait trop pourquoi, ce projet a été abandonné, cependant il semblait fort prometteur.

En Arizona en 2007, le gouvernement de l'État a décidé que certains véhicules hybrides auraient droit d'utiliser les voies réservées au covoiturage sur les autoroutes. Cette mesure permet donc à 9000 voitures de circuler sur ces voies sans avoir deux passagers. Cela incite le consommateur à considérer ces véhicules comme des solutions de rechange au bouchon de circulation (Hybridcars, 2009).

L'Europe a, quant à elle, décidé d'appliquer le protocole de Kyoto et d'atteindre son objectif de réduction de 8 % par rapport au niveau de 1990 (Union européenne, 2008). Pour y arriver, des normes strictes ont été élaborées pour la fabrication de véhicule. L'objectif qui devait être atteint à l'origine en 2005 était que les véhicules neufs consomment moins de 120 gCO₂/km (*id*, 2008). Un suivi rigoureux est en place afin que les États membres de l'union récoltent les informations auprès des constructeurs. De plus, un accord volontaire des constructeurs est intervenu en 1998 afin de limiter les émissions à 140 gCO₂/km (*id*, 2008). Cet accord volontaire a été signé par un ensemble de constructeurs représentant plus de 95 % des véhicules vendus en Europe (*id*, 2008). Le

fait d'avoir réalisé des accords sur toute l'Union européenne permet d'avoir un vaste marché identique et limite ainsi la compétition entre les États tout en favorisant une réduction globale des émissions de GES. Par ailleurs, fixer une limite en CO₂ plutôt qu'en consommation de carburant met une plus grande responsabilité sur les constructeurs de trouver des moyens et des technologies afin d'atteindre les objectifs du protocole de Kyoto.

Suite à l'adoption de cette loi européenne, plusieurs États de l'union ont mis en place des incitatifs à l'achat de véhicule à faible émission. Certains pays comme l'Italie et l'Angleterre proposent des mesures incitatives allant jusqu'à 5500 euros (Whatgreencar, 2009) (Autoevolution, 2009). L'Allemagne mise plutôt sur les véhicules électriques en visant plus d'un million de véhicules électriques en circulation d'ici 2020 (Cyberpresse, 2009). Pour y arriver, le gouvernement injectera plus de 400 millions de dollars CAN et veut éliminer les taxes pour les deux premières années sur les véhicules à faible émission (Deutsche Welle, 2008). Cette nouvelle réglementation pourrait être en place d'ici 2012.

Le Brésil est quant à lui dans un monde à part. Étant le deuxième plus grand producteur d'éthanol au monde, le pays a largement encouragé les carburants de remplacement dans sa flotte automobile. On prévoit même que d'ici 2013 plus de 52 % des véhicules fonctionneront en partie ou totalement à l'éthanol alors qu'en 2007 ce chiffre se situait à 13 %. Pour y arriver, le gouvernement a injecté environ cinq milliards de dollars US dans l'industrie de l'éthanol uniquement en 2008 (Edmonds, 2008). C'est grâce à ces investissements massifs en éthanol que le Brésil a su réduire de 13 % ces émissions de gaz à effet de serre (ARTE, 2006).

Plus simplement, le Japon a éliminé les taxes de vente sur les véhicules hybrides telle la Prius de Toyota. Cette mesure a contribué à hisser la Prius au numéro un des ventes au Japon pour le mois de juillet 2009 avec plus de 27 000 unités vendues (Green Car Congress, 2009). Le Japon ajoute également à cela une prime à la casse. Le but avoué de cette politique n'est pas tant de réduire les impacts sur l'environnement de l'automobile que de relancer l'économie (CED magazine, 2009).

La Chine fait aussi des efforts pour réduire l'impact des véhicules moteurs sur l'environnement et sur la santé. Par exemple à Pékin, 40 000 propriétaires de véhicule

moteur se sont vus subventionner afin que chacun dispose de leur véhicule (Chine-information, 2009). Cela ressemble à une prime à la casse telle que déjà appliquée au Canada, mais avec un plus. En fait, la ville de Pékin a ciblé les véhicules à retirer du marché et a fait une offre à chacun. Le gouvernement chinois veut implanter ce programme à l'échelle du pays, selon les sources officielles (*Id*, 2009).

Plusieurs pays font des efforts législatifs considérables afin de réduire les émissions des véhicules moteurs. La plupart des exemples vus dans ce chapitre pourraient être appliqués au Canada et ainsi favoriser le développement de véhicule respectueux de l'environnement. L'Europe est certes un exemple à suivre, mais le contexte canadien pourrait le rendre très difficile à appliquer considérant la part que le marché automobile canadien représente sur l'échiquier mondial. Le Canada ne peut pas facilement imposer des normes au constructeur automobile tant que son voisin du sud n'emboîte pas le pas. Par contre, des incitatifs simples tels les stationnements gratuits ou les réductions significatives des taxes de vente pourraient aider davantage que les mesures timides mises en place jusqu'à présent au pays.

7. ANALYSE ÉCONOMIQUE, PIC DE HUBBERT

Il a été démontré qu'il est possible d'influencer la consommation de pétrole en légiférant à différents niveaux. Cependant, la baisse des stocks de pétrole pourrait également influencer les prix à la pompe et ultimement les consommateurs. On oublie souvent de mentionner que la fin de l'ère pétrolière pourrait même contribuer avant terme à la baisse des émissions de gaz à effet de serre. La fin de l'or noir sauvera-t-elle le climat?

Dans les années 50, un géophysicien du nom de King Hubbert développa une théorie selon laquelle l'exploitation du pétrole dans une région suivait une courbe de loi normale. En regardant les découvertes de différents puits aux États-Unis, il fut capable de prédire de façon relativement fiable la courbe de production. Il fut capable également de prédire que cette courbe de production atteindrait son sommet dans les années 60. Cette découverte en surprit plusieurs et tente maintenant, d'être appliquée à la production pétrolifère mondiale (Beauregard-Tellier, 2006).

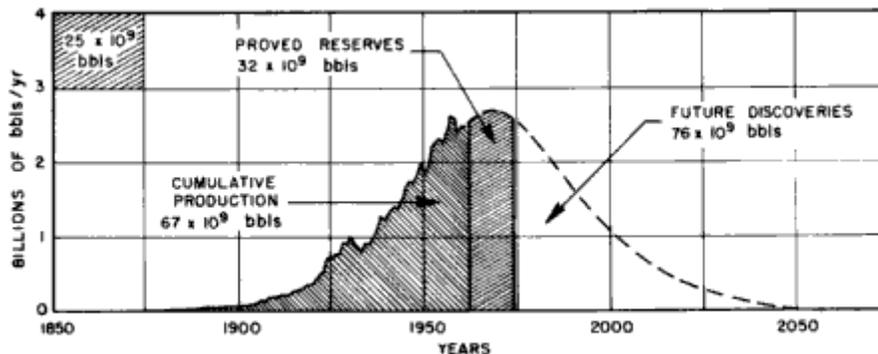


Figure 39. Estimate of Ultimate U. S. Production of Crude Oil

Figure 7-1 : Courbe de Hubbert (Hubbert, 1962)

Selon les partisans de la théorie de Hubbert, les réserves de pétrole mondiales seraient connues et il ne resterait que quelques gisements à découvrir. Ils affirment également que les formations géologiques pouvant contenir du pétrole sont bien connues et ont déjà fait l'objet de nombreuses recherches. De plus, les nouvelles découvertes ne permettent que de combler à peine plus du quart des besoins annuels mondiaux (Beauregard-Tellier, 2006). Les découvertes étant peu nombreuses et ne permettant pas de répondre à la demande croissante, un pic de production sera atteint dans les prochaines années. En

effet, selon la pétrolière française Total, l'épuisement complet des réserves pourrait être atteint dans moins de 40 ans (Total, s.d.). La diminution des gisements fera diminuer la production, et ce, malgré une demande croissante. Le prix de la ressource sera à la hausse de par sa rareté et de par une forte demande. (Beauregard-Tellier, 2006). Il est important de comprendre que le pétrole est utilisé en grande partie comme carburant, mais également dans la fabrication de tout ce qui est en plastique. Le fait de diminuer l'offre de produit pétrolier aura un impact dévastateur sur l'économie et sur tous les biens de consommation.

Cette vision quelque peu apocalyptique n'est pas partagée par tous les économistes et les géologues. En fait, certains croient plutôt au développement de nouvelle technologie de récupération du pétrole (improved oil recovery) afin de maximiser l'utilisation des puits actuels. Ils croient également que la montée du prix à la pompe permettra de rentabiliser certains puits qui ne l'étaient pas jusqu'à présent. De plus, les constructeurs automobiles s'adapteront afin de fabriquer des véhicules à faible consommation selon la demande. (Beauregard-Tellier, 2006).

Autant ceux qui croient à l'approche du pic pétrolier que ceux qui en doutent sont d'accord pour dire que nous verrons des changements importants dans le marché pétrolier dans les prochaines décennies. L'Agence internationale de l'énergie, le *World energy concil* et même le groupe pétrolier Royal Dutch Shell (deuxième pétrolière au monde) prédisent tous la fin des réserves d'ici moins de trente ans (Hirsch et al. 2005). Avec de telles données, il est évident que nous sommes actuellement à quelques années près d'un pic de production. C'est en atteignant ce pic que le monde pourrait voir des changements majeurs.

Les premiers effets de l'atteinte du pic pétrolier se feront sentir dès que la demande surpassera la capacité de production durant un certain moment. Les économistes de l'énergie croient que les prix du pétrole seront à la hausse. Cela aura comme impact d'inciter les gouvernements et les industries à accentuer leurs efforts afin d'effectuer l'extraction des carburants conventionnels, de diversifier les sources d'approvisionnement ainsi qu'à développer de nouvelles technologies afin de limiter la consommation (Beauregard-Tellier, 2006).

Dans le cas qui nous intéresse, le fait d'avoir un carburant de plus en plus rare encouragera de façon significative la recherche en efficacité énergétique afin de limiter la consommation. L'efficacité deviendra un facteur de réussite pour toute entité. Pour réduire cette consommation, les gouvernements devront appuyer le secteur des transports qui représente une part importante de la consommation de carburant. Aux États-Unis, plus de 60 % de la demande en produit pétrolier provient du secteur des transports (Hirsch et al. 2005). L'incitation à l'efficacité dans les secteurs des véhicules légers représente, selon certains chercheurs gouvernementaux, une cible de choix dans la réduction de la demande en pétrole (Hirsch et al. 2005). La recherche et le développement devraient servir de levier afin de développer des véhicules moins énergivores et inciter les consommateurs à acheter ces véhicules.

La croissance des prix à la pompe suite à une rareté de la matière première aura également comme effet de rendre plus compétitives certaines énergies alternatives. Actuellement ces solutions de rechange ne sont pas viables économiquement vu le prix de l'essence, mais elles existent déjà. En Californie, on installe des panneaux solaires photovoltaïques sur des immeubles afin de recharger les véhicules électriques. Actuellement, il en coûte deux fois moins cher d'installer de tels panneaux que d'acheter du combustible pour faire avancer un véhicule traditionnel (Langlois, 2008 p.285). De plus, certains experts s'entendent pour dire que le prix des panneaux solaires devrait réduire de façon significative d'ici 2020 alors que le prix de l'essence, avec la baisse de l'offre, devrait augmenter considérablement (*Id*, 2008 p.285). Avec le temps, la plupart des technologies diminuent de prix alors que l'essence devrait continuer son ascension. Il est donc évident que le développement de nouvelles technologies, telles de meilleures batteries électriques, deviendra un incontournable dans une telle structure de marché. À long terme, cela permettra de réduire la consommation d'énergie fossile. En utilisant des sources moins coûteuses, mais surtout moins polluantes tels l'eau, le vent et la l'énergie solaire.

Par ailleurs, la réponse humaine à ce pic comporte certains risques. En fait, le danger de ce pic pétrolier est de penser à un carburant de remplacement tout aussi polluant tel le charbon liquéfié qui est disponible en plus grande quantité. Cette ressource pallierait la diminution de la production pétrolière, sans réduire la pollution atmosphérique. Un autre risque de l'arrivée imminente de ce pic pétrolier est le délai d'implantation des solutions

envisagées. Il est important de mentionner que tout changement, que ce soit dans le type de carburant utilisé ou dans les nouvelles motorisations développées, prendra plus de dix ans avant d'avoir un impact significatif sur la consommation planétaire (Hirsch et al, 2005). Ce délai retarde donc significativement la mise en application de mesures concrètes et contribue ainsi à augmenter les conséquences néfastes d'un tel choc pétrolier.

Selon toute vraisemblance, il existe un risque réel que la production pétrolière arrive à son apogée au courant des prochaines années. Malgré certains discours contradictoires, il est évident qu'au lendemain de l'atteinte d'un tel sommet des conséquences néfastes se feront sentir. La demande continuera à croître alors que l'offre sera en décroissance lente. Les prix seront donc fortement à la hausse par ce déséquilibre du marché. Cette croissance des prix aura comme impact d'inciter les entités à préconiser l'efficacité énergétique à court terme et à trouver des solutions de rechange à long terme. L'environnement pourrait bénéficier des investissements en recherche et développement dans le cadre de mesures incitant l'efficacité énergétique. Par contre, certaines mesures de rechange pourraient simplement être la prolongation du règne du pétrole, telle l'utilisation du charbon liquéfié.

8. LA TECHNOLOGIE À LA RESCousse DE L'ENVIRONNEMENT

Maintenant qu'il est clair qu'il y a un problème d'émission polluante de la part des motorisations à essence, il faut regarder quelles solutions pourraient contribuer à réduire les impacts. Depuis les dernières années, ce sont les économies d'essence ainsi que la réduction des impacts environnementaux qui ont été les moteurs de l'évolution de l'automobile. Cette section présente et analyse chaque motorisation à venir qui pourrait être substituée au moteur à essence afin de diminuer les impacts de l'automobile sur l'environnement. Plusieurs motorisations semblent prometteuses, mais elles ne sont pas toutes équivalentes et simples à mettre en place. Voici donc les choix qui s'offrent au Canada afin de réduire les émissions polluantes des motorisations actuelles ainsi que réduire sa dépendance au pétrole.

8.1. Diesel propre

Le Diesel a souvent été montré du doigt au Canada comme étant un grand pollueur. Son odeur distinctive de soufre lui a valu d'être traité de tous les noms. Ses fumées noires on fait de lui un pollueur visible et facile à accuser. Pourtant, ce combustible a de grandes qualités par rapport à l'essence. Comme mentionné précédemment la combustion d'un litre d'essence émet 2,35 kg de CO₂ alors que le diesel en émet 2,77 kg. Cependant, un litre de diesel est plus calorifique qu'un litre d'essence (Richard et Villeneuve, 2007 p.221). Si l'on compare le pouvoir calorifique de chacun des carburants on obtient un avantage significatif de la part du diesel de 10 % (Guibet, 1997). Si l'on ajoute à cela un processus de combustion plus efficace d'environ 30 % des moteurs diesel, on se retrouve avec une consommation de combustible moindre. Ce moteur émet donc moins de CO₂ par kilomètre parcouru que le moteur à essence d'environ 30 à 35 % selon les sources consultées.

Le gouvernement canadien a décidé de modifier le *Règlement sur le soufre dans le carburant diesel*. En fait, la concentration en soufre depuis le 15 octobre 2006 est passée de 500 ppm à moins de 15 ppm (Environnement Canada, 2009). Ceci porte le Canada dans les 40 pays ayant le diesel le plus propre. Il devance d'ailleurs les États-Unis à ce chapitre. À titre de comparaison, les membres de l'Union européenne sont limités à une concentration de 10 ppm de soufre dans le diesel (International fuel quality center, 2009).

L'impact du changement de législation permet d'obtenir un meilleur diesel au Canada et de rendre ainsi viable l'option diesel comme solution au moteur à essence. Le soufre occasionne les émissions de NOx nocives pour la santé telle que précisée précédemment.

8.2. Réduction catalytique sélective

Pour réduire ce qui reste de soufre dans le diesel, un système d'épuration des gaz d'échappement a été élaboré. Connue en Amérique sous le nom de « *diesel exhaust fuel* », Adblue est une solution constituée de 32.5 % d'urée et qui permet, par réduction catalytique, d'éliminer la majeure partie des émissions d'oxyde d'azote (NOx) contenues dans les gaz d'échappement des véhicules diesels. Ce procédé est appelé réduction catalytique sélective (SCR). Son fonctionnement consiste à injecter une solution d'urée juste avant le catalyseur dans les gaz d'échappement. La solution d'urée se transforme ensuite avec la chaleur en ammoniac gazeux. Dans le catalyseur, la réaction transforme les NOx en azote et en eau rendant ainsi ce polluant inoffensif. La plupart des compagnies de poids lourd européennes offrent des véhicules équipés de cette technologie. Par contre, seul Mercedes équipe actuellement ses véhicules de ce procédé dans le concept des véhicules Bluetec. (Yara international, 2008)

Le diesel peut être une option viable pour la réduction des émissions de CO2. Prenons l'exemple de la Jetta TDI 2009. Il existe deux choix de motorisation, soit un moteur de deux litres à essence et un moteur TDI. Si l'on compare ces deux motorisations, on constate qu'une motorisation diesel de type TDI émet moins de CO2. On remarque également que malgré le prix plus élevé de la motorisation diesel, il ne faut que quatre années pour récupérer son investissement et ainsi réduire ses dépenses en essence de façon significative, et ce, de façon récurrente. Cet exemple permet de réaliser qu'il est possible d'allier rentabilité et réduction des émissions de gaz à effet de serre

Tableau 8-1 : Comparatif des motorisations de la Jetta de Volkswagen

Jetta TDI 2009 (transmission manuelle, 50 % ville/route)	Moteur TDI	2,0 T à essence
Émission du carburant	2.77 kg/litre	2.35 kg/litre
Consommation moyenne	5.8 litre/100km	8.85litre/100km
Émission par 100 km	16kgCO2/100km	19.5kgCO2/100km
Prix de détail suggéré	24275 \$	21975 \$
Réduction CO2 possible Sur 20 000 km	700 kgCO2 annuellement	
Économie possible sur 20000 km (1 \$ le litre d'essence et de diesel)	610 \$ annuellement	
Retour sur investissement	4 ans environ	

(Volkswagen, 2009)

Avec une telle technologie, on ne demande pas aux gens de changer leur habitude de vie ni leur façon de se déplacer. Il s'agit simplement de changer de motorisation. Du point de vue de l'environnement une telle décision est logique. Ajoutez à cela l'impact économique de la réduction de la consommation de carburant et vous avez une recette gagnante pour faire changer les mentalités au pays. Facile à mettre en place, ce moteur a littéralement envahi l'Europe alors que l'Amérique a persisté à utiliser le moteur à essence pourtant moins performant sous plusieurs angles. Pour citer Margo Oge, directrice des transports et de la qualité de l'air pour l'Agence de la Protection de l'environnement (EPA) aux États-Unis, « il suffirait que le tiers des véhicules utilitaires légers utilisent le diesel ou l'hybride diesel pour que la demande en essence soit abaissée de 1,4 million de barils de pétrole par jour, soit l'équivalent des importations quotidiennes de l'Arabie Saoudite. (Duval, 10 septembre 2006) (Goliath, 2007)

8.3. Filtre à particule

Pour l'instant, le seul effet négatif restant est l'émission de particules fines (PMx). Par contre, plusieurs chercheurs tentent de trouver une solution, notamment par des filtres à particules, afin de limiter ces émissions. Les filtres à particule existants consistent à filtrer

les gaz d'échappement et à en retirer les particules fines en forçant la circulation de ce gaz au travers d'un essaim (Service Public Fédéral Belge, 2005). Cet essaim constitué de matériaux poreux emmagasine les PMx à l'intérieur de ses interstices et rejette le gaz filtré. L'inconvénient d'un tel système est qu'il s'obstrue à la longue avec les particules recueillies. Pour nettoyer le filtre, les constructeurs ont mis au point un système de combustion qui permet de brûler ses particules, qui ne sont ni plus ni moins que le résultat d'une combustion incomplète. Elles peuvent être brûlées soit par augmentation de la chaleur des gaz d'échappement ou par l'ajout d'additif. Cette opération doit être réalisée en moyenne à tous les 500 km. Le filtre nécessite malgré tout un entretien poussé à tous les 80 000 km. Ce type de filtre peut limiter l'émission de 99 % des particules fines. Par contre, les particules les plus fines, donc plus nocives pour la santé, seront encore émises dans l'atmosphère (*Id*, 2005).

L'option diesel est fort intéressante de par sa simplicité. L'émission de CO2 par rapport aux véhicules à essence est vraisemblablement avantageuse pour cette motorisation. Avec quelques systèmes d'appoint, tels la réduction catalytique sélective et le filtre à particule, cette motorisation peut voir ses défauts s'envoler en fumée. Un autre de ses avantages est qu'un changement de l'essence au diesel pourrait se faire rapidement, sans changer les habitudes de vie des Canadiens. En faisant simplement un peu de promotions et en mettant en place certaines mesures incitatives financières, cette mesure pourrait être applicable à très court terme puisque l'offre de véhicule diesel existe déjà sur d'autres marchés.

8.4. Dopage

Le Dopage consiste à injecter une substance dans la chambre de combustion afin de diminuer la consommation de carburant ainsi que les émissions de polluant. Cette substance peut être soit de l'eau ou de l'hydrogène. Ce processus est très peu exploité par les grands constructeurs de la planète, mais déjà plusieurs témoignages montrent des économies importantes en carburant.

Le dopage à l'hydrogène consiste à effectuer l'électrolyse de l'eau pour ensuite injecter les deux constituants dans le moteur. Une autre variante fait passer un courant électrique à travers l'eau et le carburant. L'hydrogène augmenterait l'efficacité des carburants et l'oxygène favoriserait la réaction de combustion. Cette solution qui semble extrêmement

efficace peut économiser 20 % à 30 % d'essence et réduire de 80 % les émissions d'oxyde d'azote. Par contre, des modifications doivent être apportées pour maximiser l'utilisation du dopage à l'hydrogène. (Langlois, 2008 p.254)

Le dopage à l'eau, quant à lui, consiste à injecter de la vapeur d'eau dans les gaz d'admission du moteur. Cette vapeur est obtenue en recyclant la chaleur des gaz d'échappement. Cette injection d'eau permet de réduire les fumées noires des moteurs diesel ainsi que l'émission d'imbrulé de par une amélioration de la combustion. En 2008 en Europe plus de 10 000 autobus fonctionnent au diesel dopé à l'eau sous forme microscopique (*id*, 2008 p.259). L'avantage du dopage à l'eau du carburant plutôt que de l'injecter sous forme de vapeur est qu'aucune modification au véhicule n'est nécessaire. Il est maintenant possible de créer des carburants avec 10 à 15 % d'eau sans augmenter la consommation des véhicules diesels tout en réduisant significativement les oxydes d'azote et les particules fines. Ce qui ressort des sites consultés, c'est la simplicité de mettre en place sur une motorisation existante un système de Dopage à l'eau. En environ trois heures, un système peut être en place de façon sécuritaire. La commune Vitry sur Orne en France en a d'ailleurs fait l'expérience et se demande pourquoi ce ne sont pas tous les véhicules qui en sont équipés (France 3, 1 juin 2007).

Cette solution facile à mettre en place sur les motorisations existantes pourrait réduire la consommation d'essence et les émissions polluantes. On peut réellement se demander où est la volonté des constructeurs en ne faisant aucune recherche sur de tels systèmes, pourtant utilisés par un nombre grandissant de propriétaires de véhicule.

8.5. Biocarburants

Les carburants de remplacement découlent du principe que l'essence et le diesel issus du pétrole sont trop polluants. En fait, les carburants conventionnels libèrent du carbone qui était stocké et qui était exclu du cycle carbonique en faisant des forages pétroliers. C'est donc en libérant ce carbone que les problèmes d'effet de serre et de changement climatique ont vu le jour. Pour relever ce défi de réduction des émissions de dioxyde de carbone, plusieurs scientifiques et industrielles tentent de fabriquer de l'énergie à partir de source renouvelable ce qui ne créerait pas d'émission supplémentaire de CO₂. En effet, en utilisant des capteurs de CO₂ pour produire un combustible, on s'assure de capter le CO₂ émis par la combustion des productions précédentes. Cette réflexion est simpliste et n'est

viable que théoriquement. Selon la source d'approvisionnement en carbone, cette filière énergétique peut être désastreuse.

Les biocarburants de première génération (G1) incluent l'éthanol ainsi que le biodiésel. Commercialisés actuellement comme des additifs aux carburants réguliers, ils ont comme principales caractéristiques d'être produits à partir de végétaux comestibles. Actuellement, l'éthanol est produit à partir de maïs en Amérique du Nord, de canne à sucre au Brésil et de Betterave en Europe. Cette production est décriée par nombreux scientifique du fait qu'elle émettrait plus de CO₂ sur l'ensemble de son cycle de vie que l'extraction du pétrole. En effet, la culture de ces plantations nécessite une agriculture intensive requérant une utilisation marquée de la machinerie qui consomme une quantité énorme de carburant. Par ailleurs, l'utilisation intensive de fertilisant ainsi que de pesticide nuit énormément à la viabilité environnementale de la production de ces carburants. Tout ceci sans compter que son utilisation pourrait causer des émissions polluantes qui ne sont pas réglementées tel l'acétaldéhyde, formaldéhyde et de nitrate de peroxyacétyle (Lemieux, 2008).

Par ailleurs, la plus grande problématique réside dans l'utilisation de terre cultivable à des fins énergétiques. En effet, cette utilisation provoque des problèmes sociaux considérables. Tout d'abord, le fait d'utiliser une ressource comestible pour faire avancer les véhicules cause d'énorme déséquilibre sur les marchés économiques. Comme ces récoltes servent à remplacer l'exploitation pétrolifère, le marché de l'énergie est prêt à payer plus que paierait normalement le marché alimentaire. On a même constaté une augmentation significative des prix reliés aux denrées utilisées pour la production d'éthanol et de biodiesel (OCDE, 2008). L'augmentation des prix nuit énormément au marché de l'alimentation puisqu'il donne artificiellement un signal de prix élevé.

D'autre part, la superficie utilisée pour fabriquer l'éthanol donne de quoi réfléchir. Si les pays nord-américains ainsi que ceux de l'Europe voulaient convertir 10 % de leur consommation de carburant par de l'éthanol, chacun devrait utiliser entre 30 % et 60 % de leur terre arable (OCDE, 2006). Au Canada, cela représenterait au minimum 20 000 km² (World Factbook CIA, s. d.). On peut facilement imaginer qu'une telle décision aurait comme impact de déstabiliser complètement le marché intérieur des aliments concernés,

mais également le marché extérieur puisque le Canada est un important exportateur de produits agricoles (World Factbook CIA, s. d.).

Le Biodiesel de première génération (G1) est quant à lui produit à partir de Colza ou de Soya (Langlois, 2008 p.205). Les mêmes problématiques liées à l'utilisation massive de la machinerie et à l'utilisation de terre arable ne permettent pas de croire en une viabilité environnementale. Le seul espoir réside dans la production de biodiesel à partir de résidu industriel tel que les gras animal, les résidus forestiers et les huiles végétales usées (*Id*, 2008 p.205). En utilisant ces matières premières, on valorise un rejet d'une autre production ce qui en réduit d'autant les impacts environnementaux. On limite également l'impact sur le marché des denrées comestibles. Selon certains, l'utilisation de biodiesel G1 permet de réduire de 10 % les émissions de CO et de 25 % les particules d'imbrulé. Également, comme le biodiesel a une viscosité supérieure au diesel conventionnel, il réduit l'usure des moteurs (Radio-Canada, 2007). Ce biocarburant se compare avantageusement au diesel conventionnel de par sa teneur plus élevée en cétane qui favorise une combustion complète et qui limite les émissions polluantes (CQB, 2005). Ce carburant peut être intéressant à condition de n'utiliser que des matières n'influençant pas le prix des aliments sur le marché.

L'avenir des carburants de deuxième génération est plus prometteur. En effet, ils tendent à limiter les effets négatifs des biocarburants de première génération en utilisant des ressources non comestibles. Par exemple, le diesel de synthèse (BTL) est fabriqué avec des plantes à croissance rapide. Ce nouveau procédé peut ensuite transformer la plante en son entier et non uniquement les fruits. Il est donc possible de cultiver certaines espèces avec un rendement bien supérieur à celui de l'huile de palmier qui est actuellement la matière première la plus performante du biodiesel G1. Par exemple, le panic érigé permet une croissance rapide avec un minimum d'entretien tout en ne nécessitant que très peu d'engrais et d'insecticides (Langlois, 2008 p.206). De plus, ces plantes peuvent être cultivées sur des terres normalement non cultivables ou en jachère. L'éthanol cellulosique est l'éthanol de deuxième génération. Il ressemble en plusieurs points au BTL. Il utilise la plante entière ou des résidus forestiers pour sa fabrication. La fabrication à partir de plante non comestible permettrait d'éliminer l'impact sur les denrées alimentaires en n'intervenant aucunement sur les mêmes marchés.

Actuellement, l'introduction de ces carburants est simple puisque tous les moteurs peuvent accepter un certain pourcentage de biocarburant dans leur combustible régulier. Jusqu'à 10 % d'éthanol peut être intégré dans le carburant des véhicules à essence sans aucune modification. Au-delà de cette limite, des modifications doivent être apportées au moteur. Les moteurs diesel peuvent utiliser toutes les proportions de mélange. Par contre, il est impossible d'intégrer plus de 5% de biodiesel dans le carburant en hiver de par la viscosité du produit (Langlois, p.206).

Les biocarburants sont à leur premier balbutiement et malgré les développements récents ils ne peuvent présenter une possibilité viable. L'influence sur les marchés alimentaires a d'ailleurs déjà été déplorée. Le cycle de vie de l'éthanol et du biodiesel n'ayant pas été réalisé, il est difficile de voir s'il y a effectivement une réduction ou non des émissions polluantes par rapport aux carburants conventionnels. Par contre, les développements à venir sur les biocarburants de deuxième génération utilisant des végétaux non comestibles ainsi que l'utilisation des résidus industriels comme matière première pourrait faire naître de nouvelles opportunités.

8.6. Électrique

Le véhicule électrique est probablement une des solutions les plus prometteuses. Elle permet de prendre de l'électricité et de l'utiliser directement dans le véhicule. Cette énergie produite par des centrales fixes peut être produite par différente installation. On s'entend généralement pour dire que l'énergie d'un véhicule électrique est produite à l'extérieur du véhicule, alors que dans le cas d'un véhicule à essence ou un véhicule hybride elle est produite à l'intérieur. Les éléments les plus importants de ce nouveau mode de motorisation résident dans la capacité des batteries à emmagasiner suffisamment d'énergie pour avoir une grande autonomie et sur la capacité de ces batteries à subir de nombreuses charges et décharges tout au long de sa vie utile. Évidemment, tout cela doit se réaliser dans le respect des ressources planétaires et de la santé humaine.

Un des avantages majeurs des moteurs électriques est sans aucun doute sa consommation d'énergie. En fait, le moteur électrique est si efficace qu'on dit qu'il consomme environ cinq fois moins d'énergie. (Langlois, 2008 p.37)

Depuis l'avènement des démarreurs électrique dans les années 60 jusqu'à tout récemment, les véhicules utilisaient une batterie de type plomb-acide. Ces batteries ont comme grands inconvénients d'être longues à recharger ainsi que de fournir peu de puissance. C'est avec l'arrivée des ordinateurs portables et des téléphones cellulaires qu'on assiste à une vraie révolution dans le domaine de la batterie. Plusieurs types de batterie ont fait l'apparition au courant des dix dernières années, mais avec peu de succès. Actuellement, l'avenir semble graviter autour de la batterie lithium-ion; la plus performante disponible sur le marché.

8.6.1. Nickel hydrure métallique (Ni-MH)

La batterie Ni-MH était considérée dans les années 90 comme la batterie de l'avenir. Elle a notamment équipé la fameuse EV1 de GM ainsi que le RAV4 de Toyota en 1998. Cette batterie est encore utilisée dans la Prius 2010. Comparée à la batterie plomb acide présente dans la plupart des véhicules, la Ni-MH fait bonne figure. Elle a comme grand avantage de ne pas utiliser de métaux polluants tels que le plomb ou le cadmium. Ayant une plus grande densité d'énergie, elle peut également emmagasiner 30 % à 40 % plus d'énergie que la Nickel-Cadmium. Elle supporte bien les forts courants ainsi que les fortes décharges. Elle est considérée comme étant la batterie qu'elle est l'intermédiaire entre la Nickel Cadmium et la batterie Lithium-ion. (Cadex Electronics, 2005)

Malheureusement, cette batterie comporte certains inconvénients. Lors de l'utilisation de l'énergie emmagasinée, environ 30 % se dissipe en chaleur ce qui revient à une efficacité de 70 % (Langlois, 2008 p.33). Elle a également une durée de vie beaucoup plus courte que sa sœur aînée, la batterie Nickel Cadmium. En effet, une batterie Nickel Cadmium a une durée de vie de plus de 1000 recharges/décharges alors que la Ni-MH ne peut en subir que 200 à 300. De plus, ces batteries sont sensibles à l'effet mémoire. En fait, certaines batteries mémorisent leur niveau de décharge et après un certain temps, elles perdent de leur capacité de stockage. Cette batterie nécessite donc un entretien trimestriel pour limiter cette mémorisation de charge notamment en effectuant une décharge profonde. Certes, elle demande moins d'entretien que la Nickel Cadmium, mais requiert malgré tout une attention continue (Cadex Electronics, 2005). Autre point plutôt très négatif est le fait qu'elle se décharge d'elle-même de 30 % par mois sans même être utilisée. Il convient donc que le véhicule qui en est équipé doit rouler si le propriétaire ne veut pas dépenser inutilement en énergie (*Id*, 2005).

8.6.2. Batterie Lithium-ion

Commercialisées en 1991 par Sony pour des appareils mobiles, les batteries au lithium ont vu le jour seulement en 2005 dans l'industrie automobile. Le lithium étant un métal instable durant la recharge et peu sécuritaire, des chercheurs ont décidé de tester l'utilisation des ions du lithium. Cette technologie est basée sur le fait que certains matériaux peuvent accepter sous un courant électrique des ions de lithium. Tout matériau pouvant accepter un ion est donc considéré pour réaliser une telle batterie. Actuellement, on retrouve plusieurs types de batteries lithium-ions, dont entre autres les suivantes : dioxyde de cobalt, manganèse et phosphate de fer.

Les batteries au lithium ont plusieurs qualités. Au départ, ces batteries avaient une durée de vie limitée. Environ 200 à 300 recharges/décharges avaient raison d'une batterie. Maintenant, on retrouve de plus en plus de batterie avec plus de 5500 décharges profondes ce qui équivaut à plus de 15 ans d'utilisation (Langlois, 2008 p.33). L'utilisation au froid a également été révisée et maintenant ces batteries peuvent supporter nos hivers québécois sans aucun souci (-30°C). Une autre grande qualité est le fait d'avoir une forte densité énergétique. En effet, une batterie au lithium-ion peut emmagasiner entre 90 et 190Wh/kg d'énergie alors qu'un accumulateur au plomb ne peut en contenir que 30 à 50 Wh/kg et qu'une batterie au Nickel hydrure métallique peut en contenir de 60 à 120 Wh/kg. Comme si cette batterie n'avait pas assez de qualité, sa propre décharge liée à la non-utilisation de la batterie est de moins de 10 % par mois. Rapidité de recharge de moins d'une heure.

Malgré leurs qualités exceptionnelles, les batteries lithiums-ion ont encore quelques inconvénients, notamment un coût de production élevé. En effet, sa fabrication coute environ 40 % plus cher que celle d'une batterie Nickel Cadmium (Cadex Electronics, 2005). Évidemment, ce coût est largement compensé par sa capacité à avoir une plus grande densité par kilogramme embarqué ainsi que par sa maintenance pratiquement inexistante.

Différentes solutions ont été développées par les compagnies de batterie et automobile afin de maximiser l'utilisation de ce type de stockage d'énergie. La compagnie Phoenix motor company par exemple, à mise au point une batterie au lithium-titane, qui est non

toxique et qui se recharge plus rapidement qu'une lithium-ion traditionnel. (Phoenix motorcars, s. d.). Les données actuelles sur la batterie sont très fragmentaire et leur développement en constante évolution. Par contre, on constate que les grands constructeurs tels Ford et GM travaillent actuellement à mettre en place sur leurs véhicules des batteries lithium ion en collaboration avec la compagnie française Saft (Saft batteries, s. d.). Dodge en Europe a notamment fait certains tests avec une flotte de Spinter (*id*, s. d.). On note également que les forces militaires à travers le monde s'intéressent énormément à ces nouvelles technologies qui pourraient leur épargner du temps en cours de mission tout en gagnant en efficacité.

Des accumulateurs lithium polymères ont été développés récemment et donne de bons résultats. Ils comportent moins de risque en cas d'incendie et peuvent être très petits et prendre la forme qu'on veut bien lui donner. Cette batterie pourrait donc occuper les interstices dans les différentes composantes de la carrosserie. Un seul bémol, ces batteries ont une densité moins grande que les batteries Lithium-ion. Malgré tout, plusieurs scientifiques pensent que ce sont les batteries de l'avenir. BMW dévoilera au salon de l'automobile de Francfort en Allemagne un prototype de la Vision Efficient Dynamics qui sera mu par un moteur électrique/Diesels et équipée de batterie lithium polymère (Lapresse, 8 septembre 2009).

Une autre technologie qui se développera probablement est celle des supercondensateurs. Elle consiste à éliminer la réaction chimique de la batterie en accumulant simplement l'énergie sur des surfaces conductrices. Les promesses de ce nouveau mode de stockage sont nombreuses, mais l'efficacité et la capacité de stockage actuellement ne dépassent pas celles des batteries au plomb. (Langlois, 2008 p.36)

8.7. Piles à combustible (PAC)

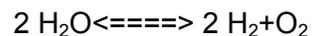
La réaction chimique entre l'hydrogène et l'oxygène a été découverte en 1839 par William Grove. À l'époque, l'inventeur cherchait à tester une pile simple qu'il avait développée. Pour son test, il procéda à l'électrolyse de l'eau. Il fut très surpris de voir lors de l'oxydation des molécules d'hydrogène (c'est-à-dire lors de la recombinaison des éléments en eau) qu'un courant électrique se produisait. En fait, il arrivait à inverser l'opération de l'électrolyse en récupérant l'énergie injectée précédemment

La pile à combustible fut ensuite utilisée dans les vols spatiaux dans les années 60 afin de fournir une source d'électricité plus durable que les piles traditionnelles. Ce n'est qu'en 1987 qu'une compagnie canadienne réussit à faire des percées notables dans ce domaine. C'est à partir de ce moment que l'idée d'un véhicule à pile à combustible prit véritablement son envol. (Langlois, 2008 p.169)

Les avantages, a priori, de la pile à hydrogène sont nombreux. La pile se recharge avec de l'hydrogène liquide, qui peut être obtenu par l'électrolyse de l'eau ou le reformage du gaz naturel. Ce remplissage peut être effectué en moins de dix minutes. De plus, ce procédé n'émet aucun polluant sur les lieux où le véhicule est utilisé. Mais le problème d'émission n'est pas du côté du véhicule, mais plutôt de la fabrication même de l'hydrogène.

L'hydrogène est l'élément chimique le plus présent de l'univers. Il constitue la matière des planètes et des étoiles tout autour de nous. Cependant, de par ses caractéristiques, il ne se retrouve jamais libre sur Terre. On le retrouve entre autres dans l'eau (H₂O) ainsi que dans le gaz naturel (CH₄). Pour en faire un combustible adéquat pour la PAC, deux méthodes ont été mise au point. L'une consiste en l'électrolyse de l'eau et l'autre au reformage du gaz naturel

Tout d'abord, l'électrolyse de l'eau permet de séparer les molécules d'hydrogène et d'oxygène en induisant un courant électrique dans une solution d'eau pure. L'hydrogène est capté et l'oxygène restant peut également être valorisé à d'autres utilisations.



Cette méthode peut sembler à priori fort écologique. Par contre, le courant électrique doit être produit d'une façon ou d'une autre. La production d'électricité au Canada est réalisée à 40 % d'énergie non renouvelable (Association Canadienne de l'électricité, 2008). Aux États-Unis c'est plus de 85 % qui est produit de façon non durable (Perspective Université de Sherbrooke, 2008). Avec de telles données, il est difficile de voir les avantages environnementaux de l'utilisation des PAC comme motorisation.

L'autre méthode consiste à effectuer le reformage du gaz naturel. Pour ce faire, on utilise de la vapeur à 800 degrés Celsius et injectée à une pression élevée de 3,3 MPa. Comme le montre la formule chimique ci-bas, le reformage émet une quantité importante de CO

qui sera stabilisé en CO₂ au contact de l'oxygène. Des alternatives intéressantes telles que le comptage et la séquestration du CO₂ permettraient de diminuer les impacts de cette forme de production sur l'effet de serre.

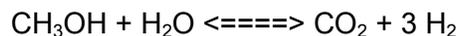


« Prendre du gaz naturel pour reproduire de l'hydrogène à utiliser dans une PAC n'offre aucun avantage par rapport l'utilisation directe du gaz naturel dans un moteur thermique. » (Langlois, 2008, p176)

8.7.1. Fabrication embarquée (reformage du méthanol)

Une autre méthode de fabrication de l'hydrogène consiste à effectuer le reformage du méthanol à bord du véhicule. Ce mode de fonctionnement permet d'avoir à bord un liquide beaucoup moins réactif que l'hydrogène. Pour ce faire, on doit produire à bord du véhicule de la vapeur d'eau à haute température. Une fois la réaction faite entre l'eau et le méthanol, il en résulte de l'hydrogène que sera possible de faire réagir pour obtenir l'énergie nécessaire. Cette solution a déjà été appliquée, mais comporte quelques incongruités.

Tout d'abord, pour obtenir du Méthanol, il faut utiliser du gaz naturel et en effectuer un reformage. Qui dit reformage dit encore utilisation d'eau et d'énergie pour la transformation. Ensuite, lors de la transformation dans le véhicule, un deuxième reformage aura lieu afin d'obtenir l'hydrogène. Il en résulte des émissions de CO₂ causé par le reformage



Imaginez les pertes d'énergie entre le gaz naturel transformé en méthanol (CH₃OH) puis embarqué dans le véhicule pour ensuite effectuer le reformage et finalement effectuer la réaction entre l'hydrogène et l'oxygène qui fera avancer le véhicule.

Pour résumer, on constate que la pile à combustible a plusieurs défauts. Malgré ses émissions nulles lors de l'utilisation du véhicule, cette forme de motorisation consomme énormément. En fait, la production de l'hydrogène reste un processus énergivore, qui nécessite encore des carburants fossiles, que se soit dans un ou l'autre des méthodes de fabrication. Certes, la méthode de l'électrolyse pourrait être intéressante, mais pour ce faire il faudrait utiliser de l'énergie de source renouvelable.

« Le développement durable passe nécessairement par l'efficacité énergétique et force est de croire que l'hydrogène ne constitue pas du développement durable puisqu'elles entraînent un gaspillage d'énergie, de ressource et d'argent. » (Langlois, 2008 p.178)

8.8. Hybride

En 1900 Ferdinand Porsche créa une voiture hybride avec une génératrice à essence afin d'alimenter quatre moteurs roues. 110 ans plus tard, nous cherchons encore la meilleure solution. Une des motorisations d'avenir consiste à prendre le moteur à essence et l'appuyer avec un moteur électrique. Cette technologie hybride permet de conserver les avantages d'un moteur à essence tout en réduisant sa consommation considérablement.

Actuellement seulement quelques constructeurs offrent des véhicules hybrides soit Honda, Toyota, Chevrolet et Ford. Toyota a été la première compagnie à produire en série une voiture hybride vers la fin des années 90. Honda et Toyota ont développé des véhicules abaissant leur consommation sous la barre des 5 litres au 100 km.

La configuration des moteurs est actuellement en parallèle, c'est-à-dire que les deux peuvent fournir de l'énergie pour faire avancer simultanément le véhicule. Le moteur à essence est celui qui prévaut. Puis lorsque ce dernier a besoin d'énergie supplémentaire, le moteur électrique s'enclenche. Le moteur électrique est donc sollicité lors des départs ainsi que lors des montées. On peut donc dire que ce type de motorisation élimine pratiquement toutes les périodes de pointe où le moteur a besoin de dégager un surplus de puissance ce qui réduit la consommation de carburant. Par ailleurs, cette disparition des périodes de pointe permet de diminuer les dimensions du moteur à essence et donc d'encore une fois diminuer la consommation. Une autre façon de recharger les batteries est de récupérer l'énergie liée lors du freinage. Cette énergie cinétique peut recharger les batteries en cours de trajet et limite la décharge lors des nombreux arrêts départ en ville.

Le succès des moteurs hybride reposera dans le futur sur la capacité des constructeurs à tendre vers l'Hybridation complète. Ce type de motorisation consiste à utiliser un gros moteur électrique pour mouvoir le véhicule ainsi qu'un petit moteur thermique, de préférence au diesel, afin de recharger les batteries.

Un système hybride branchable est en court de développement de la part de plusieurs

constructeurs. GM via sa filiale Chevrolet prévoit commercialiser au Canada la Volt en 2011, un véhicule à hybridation complète à essence ayant cette capacité de recharge à même le réseau électrique. Chevrolet prétend que le véhicule consommera près d'un litre au 100 km en ville, ce qui est de loin la meilleure consommation sur le marché. Par contre, lors du maintien de la charge, ce véhicule consommera environ 4,7l au 100km. Avec des batteries lithium-ion, elle aura une autonomie de 64km. Elle ne compte que commercialiser 10 000 unités la première année (Langlois, 2008, p.90). Mentionnons également Toyota qui prévoit lancer la Prius branchable ainsi que Ford avec le Ford Escape qui est actuellement à l'essai dans neuf compagnies d'électricité, dont Hydro-Québec (Hydro-Québec, 2009).

8.9. Moteur roue

Le moteur roue consiste à propulser la voiture à l'aide de plusieurs moteurs placés soit aux deux roues arrière ou aux quatre roues. Le fait de placer les moteurs directement aux roues permet de limiter les pertes d'énergie liées au mouvement des différentes pièces et engrenages ainsi que celles reliées au frottement.

En 1994, Pierre Couture d'Hydro Québec dévoila un prototype de motorisation avec quatre moteurs roue. Ce prototype embarqué sur une Chrysler Intrepid était fort prometteur. Il avait des performances supérieures à la plupart des motorisations sur le marché tout en ayant un coût d'utilisation dix fois moins élevé. Ce véhicule pouvait se recharger sur une simple prise électrique et ne nécessitait que très peu d'entretien. Ce qui le différenciait des véhicules électriques développés jusqu'à présent était que cette motorisation avait été adaptée à un véhicule tout à fait normal sans modification autre que la motorisation. Aucun compromis n'a été fait sur les équipements de sécurité et aucun allègement de matériaux n'a été nécessaire. Malheureusement en 1995, Hydro-Québec a décidé de mettre fin aux recherches de Pierre Couture sous prétexte de coût trop élevé et de faire une meilleure gestion des fonds publics (Langlois, 2008 p.73). La filiale TM4 d'Hydro Québec offre encore cette motorisation sans pour autant avoir réussi à la commercialiser.

Le prototype Recharge de Volvo en 2007 au salon de l'auto de Francfort permet de croire en un avenir pour le moteur roue. Ce véhicule consomme environ 12kw/100km ce qui représente environ 20 % à 25 % de réduction de consommation (Langlois, 2008, p.95). Il

possède quatre moteurs et un moteur à essence ou diesel en option permettant uniquement de recharger la batterie. Ce véhicule fait toujours partie des plans de la compagnie, mais il n'a pas évolué depuis 2007, exception faite de la carrosserie (Volvo, s. d.).

9. MOTORISATION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Les motorisations présentées dans la section précédente ont tous leurs avantages en termes de réduction des émissions polluantes. Par contre, certaines sont plus efficaces tout en limitant les dommages collatéraux aux autres sphères du développement durable. Ce chapitre vise donc à prendre les deux motorisations les plus prometteuses et les évaluer dans un contexte de développement durable. Les impacts environnementaux, économiques et sociaux seront donc analysés dans cette section.

9.1. Diesel propre

9.1.1. Environnement

Le diesel propre est un carburant diesel qui est mieux raffiné et qui contient moins de soufre que ses prédécesseurs. Le diesel propre possède un avantage significatif digne de mention. En effet, il émet moins de CO₂ par kilomètre parcouru de 30% à 35% par rapport au moteur à essence selon les sources consultées. Cette réduction des émissions est liée à une efficacité accrue de la combustion ainsi qu'à un pouvoir calorifique plus élevé de la part du diesel ce qui rend cette motorisation d'autant plus intéressante.

Le revers de la médaille est un peu moins rose. Le diesel reste un carburant fossile. Il entraîne donc en un déstockage du CO₂ emmagasiné dans le sol depuis des millions d'années. Ce déstockage contribue aux émissions globales de gaz à effet de serre et au réchauffement climatique. De plus, les motorisations diesel émettent une quantité substantielle de particules fines ainsi que de CO₂. Ils émettent également du SO₂, responsable de l'acidification des lacs. Par contre, certaines technologies existent afin de réduire les impacts tels que l'ajout d'urée dans le catalyseur, les filtres à particules ainsi que le dopage à l'eau.

Il est vrai que le diesel comporte certaines lacunes du côté environnemental. Par contre, il se compare avantageusement à l'essence en terme de démission de CO₂ et d'efficacité énergétique. Le diesel peut donc, du point de vue de l'environnement, constituer une solution de rechange viable par rapport au moteur à essence, mais certains risques y sont associés.

9.1.2. Économique

Dans la sphère économique, la mise en place d'une solution basée sur le diesel comporte des avantages notables. Tout d'abord, la consommation des automobiles serait réduite de façon significative. À ce chapitre, les États-Unis estiment que l'utilisation du diesel dans le tiers des véhicules utilitaires léger pourrait faire économiser plus de 1,4 million de barils de pétrole par jour (EPA, 2007). De plus, le faible coût de mise en place d'une telle solution est un avantage indéniable. Actuellement, la plupart des constructeurs offrent des véhicules diesel dans le monde. La technologie est donc connue des constructeurs et il serait relativement facile pour chacun d'offrir de tel véhicule sur le marché canadien. Il ne resterait qu'à mettre des mesures incitatives, voir même des obligations à fournir de tel véhicule pour que l'offre augmente de la part des constructeurs. Du côté des consommateurs, il ne resterait qu'à inciter les individus à passer au diesel ce qui devrait être relativement facile compte tenu des économies à la pompe déjà appréciable. Pour toutes ces raisons, l'implantation du diesel massivement dans les véhicules légers pourrait se faire rapidement et à faible coût.

Par contre, continuer de carburer au dérivé du pétrole ne permet pas de passer à une nouvelle source d'énergie et de diminuer significativement la demande en pétrole. Avec l'arrivée d'un pic pétrolier, les prix des carburants augmenteront sans que les consommateurs aient d'autres choix. Cette solution ne permet pas de quitter ce marché pétrolier où la matière première se fait de plus en plus rare et où la demande croît incroyablement, surtout avec l'arrivée des pays émergeant comme premier consommateur de ressource.

Le diesel pourrait être une solution viable économiquement. Le faible coût de changement de technologie facilite une transition rapide vers cette motorisation. Par contre, il est risqué d'utiliser uniquement cette solution considérant que la matière première provient des marchés pétroliers et que le consommateur n'ait pas de solutions de rechange à ces hausses.

9.1.3. Social

Un autre avantage de poursuivre avec le diesel comme solution est de ne pas modifier de façon radicale les habitudes des gens. C'est en fait une évolution légère et simple à faire accepter aux consommateurs. Il retrouvera sensiblement les mêmes véhicules avec les

mêmes équipements. De plus, tous les systèmes de fabrication, de distribution et de réparation sont déjà en place. Les moteurs diesel sont plus dispendieux à l'achat, mais plus durables. Le fait d'avoir des systèmes en place ainsi qu'un avantage marqué sur la durabilité des produits favorise l'acceptation sociale d'un tel changement.

Miser sur le diesel pour pallier les lacunes des motorisations à essence comporte certains risques sociaux. La santé humaine est sans aucun doute le plus grand risque. On sait depuis longtemps que les véhicules diesels émettent des particules fines. Ces particules telles que mentionnées plus tôt dans cet essai sont néfastes pour les personnes ayant des troubles respiratoires puisqu'elles se logent au fond des bronches et occasionnent des infections, des problèmes cardiovasculaires et même des cancers (MTQ, s. d.).

Globalement si on regarde l'utilisation du diesel en tant que solution unique au problème de motorisation à essence, on constate que l'impact sur le développement durable se fera sentir dans le futur pour les générations à venir. C'est ce principe qui sera le plus malmené puisqu'une telle solution ne fait que réduire les émissions de GES sans pour autant résoudre le problème à la source. Par contre, à court terme l'environnement bénéficierait d'un changement de motorisation pour le diesel. De plus, cette solution peu dispendieuse à mettre en place serait bénéfique pour l'économie. Finalement, l'impact social pourrait être au niveau de la santé humaine si les technologies de contrôle des émissions ne sont pas imposées en même temps qu'un changement de motorisation.

9.2. Véhicule électrique

9.2.1. Environnement

Trois volets du moteur électrique touchent l'environnement : la production de l'électricité, le stockage à bord du véhicule et l'efficacité de l'utilisation de l'énergie. Tout d'abord, les véhicules électriques sont très peu énergivores. On considère qu'il consomme environ cinq fois moins d'énergie qu'un véhicule conventionnel (Langlois, p37 2008). En fait, dans un moteur traditionnel seulement 15 % de l'énergie consommée est utilisé pour déplacer le véhicule (idem, p10, 2008). Le reste est perdu en chaleur et en frottement.

La production de l'électricité servant à faire avancer le véhicule est également un facteur qui peut contribuer ou non à la réduction de la pollution. En fait, il serait préférable que la

source d'énergie utilisée soit la plus propre possible afin de maximiser les bénéfices. Malgré tout, selon Hydro-Québec, un véhicule électrique émettrait au minimum 20 % de moins de CO₂ que les véhicules à essence, et ce, même si l'électricité est produite à partir du charbon (Hydro-Québec, voir Annexe 1 2009).

Il ne faut surtout pas oublier que le fait d'augmenter la demande pourrait nécessiter de construire des centrales afin de produire cette énergie. La construction de centrale, qu'elle soit au charbon, au gaz ou hydroélectrique demande de condamner des terres et des milieux naturels et d'en modifier de façon permanente leur aspect naturel. De telles structures bouleversent les écosystèmes et nuisent à la biodiversité.

Finalement, la batterie est un des facteurs de succès des véhicules électriques. Pour l'instant, les accumulateurs sont confectionnés à l'aide de matériaux non renouvelables ce qui nuit grandement à la viabilité écologique du produit. Les batteries qui seront commercialisées au courant des prochaines années seront certes plus efficaces, mais elles contiennent des minéraux qui sont en quantité limitée sur la planète. Il est donc important de mettre en place des chaînes de recyclage adéquates afin de réutiliser ces matériaux.

9.2.2. Économique

Bien entendu au Québec, c'est le gouvernement provincial par sa société d'État Hydro-Québec qui bénéficiera de la hausse de la consommation d'électricité. Cette augmentation de consommation ne demandera sans doute aucune modification au réseau, ce qui augmentera la rentabilité d'une telle opération de conversion.

Par contre, les gouvernements subiront des pertes importantes suite à la baisse de la consommation de carburant. La fiscalité des carburants ainsi que celle de l'électricité relative au transport devront être revues afin de limiter l'impact sur les revenus de l'État tout en encourageant la consommation d'électricité.

9.2.3. Social

L'impact social de remplacer les carburants pour l'électricité dans les transports est extrêmement positif. Tout d'abord, la qualité de l'air s'améliorera de façon significative.

Visuellement, les épisodes de smog s'en trouveront réduits. Même au niveau sonore le transport se trouvera amélioré puisque les moteurs électriques sont moins bruyants que les moteurs à explosion. Par conséquent, les bénéfices pour la santé humaine sont nombreux.

Si on regarde l'économie mondiale dans son ensemble, les pays producteurs de lithium seront avantagés dans le futur (Chili, Bolivie, Argentine et Chine). Leurs collectivités pourront bénéficier de ressources financières importantes pour se développer davantage, à la condition que cette opération soit bien planifiée.

Globalement, le véhicule électrique est sans aucun doute une solution viable pour substituer le véhicule à essence. Malgré que la commercialisation en soit à ses balbutiements, il est clair que l'environnement, l'économie et le social peuvent bénéficier d'une telle motorisation.

10. OBSTACLE À L'IMPLANTATION DE NOUVELLE MOTORISATION AU CANADA

Les technologies prometteuses pour remplacer le moteur à essence rencontrent plusieurs obstacles. Certains sont surmontables et d'autres moins. Des données importantes ont été récoltées suite à un sondage effectué auprès de la table de concertation sur l'environnement et les véhicules routiers. Les obstacles majeurs seront présentés en démontrant leur ampleur. Ensuite, des pistes de solutions seront élaborées afin de limiter la portée de ces obstacles.

La table de concertation sur l'environnement et les véhicules routiers a vu le jour en 2002 et est une structure visant la concertation de l'industrie automobile au Québec pour faire face à différentes problématiques environnementales. La table est constituée de différents intervenants représentant l'ensemble de l'industrie automobile. Le sondage a été réalisé auprès de vingt membres de la table par courriel le 6 novembre 2009. Ce sondage comportait sept questions sur les véhicules diesels, les véhicules hybrides et sur leur vision de l'industrie dans le futur. Hydro Québec a également été consultée, malgré le fait qu'il n'est pas membre de la table afin d'avoir le point de vue d'un distributeur d'électricité. Sans avoir la prétention d'être scientifique, ce sondage donne malgré tout un excellent aperçu du milieu automobile.

10.1. L'offre de véhicules

Un des obstacles majeurs est, selon certains, l'offre de véhicule. Non pas qu'il faudrait simplement avoir plus de choix de véhicule, mais plutôt que l'offre même contient certaines lacunes. Selon les répondants au sondage, tous sont d'accord pour dire que le prix est le facteur qui a freiné le développement des véhicules hybrides. En fait, à la question : pourquoi il y a si peu de véhicules hybrides sur le marché dix ans après leur lancement, tous ont répondu que le prix était trop élevé. Les rabais à l'achat qui sont arrivés très tard ont également été un obstacle à la croissance du marché des hybrides.

Pour ce qui est du développement du diesel comme solution de rechange au pays, les répondants tendent vers une mauvaise image de cette motorisation pour justifier sa présence limitée en Amérique du Nord. C'est donc l'image même du produit qu'il faudrait combattre. La méconnaissance de l'efficacité des moteurs diesel actuels serait également

un obstacle à la croissance de cette motorisation.

Plus généralement, les répondants sont partagés dans ce que les constructeurs offrent actuellement aux consommateurs. La plupart croient que les véhicules répondent aux besoins des consommateurs, mais pas de façon catégorique. Un bémol subsiste selon certains sur les besoins des consommateurs. En fait, les besoins actuels sont mal identifiés du côté du consommateur et il n'est pas clair si les besoins sont réels ou si les besoins ont été créés par la publicité.

10.2. La publicité et la communication

Actuellement, l'information disponible pour le consommateur est limitée au Canada. En comparaison de l'information présentée en France, le Canada aurait intérêt à légiférer afin de mieux informer les consommateurs sur les émissions des véhicules. En fait, le gouvernement canadien impose d'informer sur la consommation moyenne du véhicule. Par contre, la consommation permet simplement de comparer des véhicules de même motorisation. Les émissions de CO₂ sont rarement présentées et lorsqu'elles le sont, elle mentionne une moyenne annuelle. Cette moyenne est difficilement comparable avec un autre constructeur puisque chacun utilise une moyenne annuelle d'émission de CO₂. Pour pallier cette situation, la France demande à ses constructeurs depuis 2006 de présenter la consommation de CO₂ par kilomètre. Cette étiquette nommée Énergie/CO₂ doit apparaître sur tous les véhicules neufs exposés (Carballe, 2009).

10.3. Industrie réfractaire

Deux discours sont entendus sur le fait que le changement de motorisation vers le véhicule électrique menacerait l'industrie automobile. Dans un premier temps, le *film Who killed the electric car?*, un documentaire sur la disparition subite de la EV1 (Electric Vehicle) de GM du marché démontre le nombre de pièces qui ne serait plus à changer sur un véhicule électrique. Sans ces pièces à changer, on peut croire en une baisse significative des revenus dans l'industrie de la production, de la distribution et dans l'installation de ces nouvelles pièces.

On entend un discours différent de la part de l'industrie lors du sondage. En effet, le véhicule électrique représente une opportunité pour la plupart des répondants. Même CAA-Québec croit que ces ateliers mécaniques ne manqueront pas de travail sur les

véhicules électriques. Le seul bémol est que le personnel d'atelier est actuellement très peu formé pour effectuer l'entretien sur de tels véhicules. Des programmes avancés de formation devront être développés rapidement afin de répondre à la demande croissante en entretien de ce type de véhicule.

Les pétrolières représentent évidemment un obstacle puisque le développement de véhicule moins énergivore ou même électrique réduirait considérablement leurs revenus. Imaginez si du jour au lendemain tous les véhicules consommaient 30 % de moins de carburant en changeant simplement pour le diesel. La demande chuterait de façon dramatique et les pétrolières en paieraient le prix. Les inventaires actuels de pétrole sont suffisants pour être exploités durant encore 50 ans comme démontré dans la section sur les carburants. Ils ont donc tout intérêt à ce que les véhicules évoluent le plus lentement possible afin de maximiser l'utilisation de carburants. Pour les pétrolières, la consommation des 50 prochaines années représente des bénéfices nets d'un milliard par jour durant toutes ces années (Langlois, 2008 p281).

10.4. Les gouvernements

Les élus canadiens sont en quelque sorte un obstacle au développement de véhicule moins énergivore. En effet, le système de taxation de l'essence est très profitable pour les différents paliers de gouvernement. Globalement, à un prix de 1,04 \$ le litre, les taxes sur l'essence dans la région de Montréal représentent 38 % du prix d'un litre de carburant (Petro-Canada, 2009). Dans le domaine municipal, une partie de la taxe sur l'essence leur est redistribuée pour contribuer au développement des communautés. À travers le Canada, c'est 13 milliards de dollars sur dix ans que les villes se partageront sous diverses formes (infrastructure Canada, 2009). Les paliers provinciaux et le fédéral bénéficient largement de cette taxe. Il se partage donc près de 14 milliards en taxes annuellement (Statistique Canada, 2008c). Les élus ont donc deux rôles opposés à assumer. D'un côté, ils doivent protéger les revenus de l'État et de l'autre ils doivent encourager la diminution de la consommation de carburant afin de réduire la pollution. Cette dichotomie impose une réforme du système de taxation en profondeur afin de conserver ces revenus tout en incitant les consommateurs à changer de motorisation.

10.5. Opinion publique

Un autre frein au changement massif de motorisation est l'opinion publique qui est actuellement réfractaire au changement. Un sondage réalisé par l'organisme à but non lucratif Pollution Probe sur les véhicules à haute efficacité confirme que les consommateurs sont préoccupés par la consommation de carburant lors de l'achat de véhicule (Pollution Probe, 2009). Par contre, le consommateur continue de voir les véhicules à faible consommation comme étant moins sécuritaire et moins puissant. Selon ce même sondage, le prix élevé des véhicules à faible consommation serait un obstacle surmontable par des mesures incitatives financières telles que des rabais sur les taxes ou par la diffusion d'information au grand public (*Id*, 2009). Cette situation n'est donc pas immuable, mais des efforts soutenus devront être réalisés pour la corriger.

10.6. Capacité de stockage

Comme démontré dans la section sur les véhicules hybrides et les motorisations électriques, les batteries représentent un défi majeur à relever afin de rendre les véhicules plus autonomes. En fait, l'autonomie des véhicules électrique est limitée. Différentes batteries en expérimentation sont prometteuses. Par contre, aucune n'est fiable et ne possède une capacité d'autonomie importante en mode tout électrique. De plus, le coût élevé de fabrication des nouvelles batteries ne permet pas de les intégrer sur des véhicules fabriqués en série. Le temps, comme dans tout matériel technologique, jouera en faveur des batteries qui seront plus performantes au fur et à mesure que la recherche avancera.

11. SOLUTIONS AUX PROBLÈMES DE POLLUTION ACTUELS DES VÉHICULES À ESSENCE

Les nombreux obstacles à la mise en place de nouvelles motorisations sont surmontables. Il est plausible de penser que le marché de l'automobile nord-américaine, dont le Canada fait partie, sera capable de mettre en place des solutions afin d'adapter ce mode de déplacement aux défis environnementaux d'aujourd'hui. Pour ce faire, les motorisations devront être appliquées à court et long terme afin de pallier rapidement les inconvénients des moteurs à essence. De plus, des solutions alternatives devront être développées afin de réduire l'impact des transports individuels.

11.1. Diesel

À court terme, le véhicule diesel et les voitures moins énergivores permettent de réduire la consommation des carburants et d'émission polluante. Tel que précisé précédemment, les véhicules diesels consomment en moyenne 30 à 35 % moins de carburant et émettent moins de CO₂ par kilomètre que les véhicules à essence. Comme ces motorisations existent en France et en Europe en général pour tous les types de véhicules, cette solution peut être implantée dès maintenant à faible coût. Par contre, des mesures incitatives, telles la réduction de taxe à la consommation, la mise en place de crédit d'impôt ou simplement des montants forfaitaires, doivent être mises en application pour favoriser cette motorisation. Bien entendu, des catalyseurs et des filtres à particule doivent être obligatoires afin de réduire au minimum les émissions nocives de particules fines et les Oxydes d'azote.

Pour contrer le problème de l'utilisation d'énergie fossile comme carburant à moyen terme, la solution des biodiesels doit être étudiée en profondeur afin d'être certain qu'elle est avantageuse pour l'environnement. Actuellement, les biocarburants de deuxième génération sont les plus prometteurs et les moins néfastes. Ils sont produits à partir de plantes à croissance rapide ou de résidus de production agricole et forestière. Ces carburants influencent moins le cycle du carbone puisque pour les produire l'industrie utilise des matières qui captent le carbone lors de leur croissance.

Les véhicules moins énergivores font sans aucun doute partie de la solution. En fait, en

réduisant la taille des véhicules, on obtient des économies appréciables en carburant. Sans être un véhicule parfait, la Smart fortwo de Mercedes est encore une fois une solution facile à mettre en place puisque ce type de véhicule commence à se répandre chez les autres constructeurs. Ce véhicule aux dimensions limitées permet une consommation limitée et fort appréciable en région urbaine. Avec une consommation de 5,9 l/100km (Smart Canada, 2009) comparativement à la moyenne nationale de 8,2 l/100km (Transport Canada, 2008), ce véhicule peut être une solution de rechange au véhicule traditionnel en améliorant le rendement énergétique.

11.2. Véhicule hybride

Le véhicule hybride tel qu'il est aujourd'hui consomme encore des ressources pétrolières importantes. Depuis les dix dernières années, une seule compagnie a réussi à fabriquer à grande échelle un véhicule fiable tout en réduisant la consommation. Par contre, cette solution a besoin de raffinement afin d'être encore plus efficace. Actuellement, le véhicule hybride est composé d'un moteur à essence qui est assisté par un moteur électrique rechargé par l'énergie cinétique lors des arrêts/départ. Ce type d'hybridation est un début et le marché est en plein développement. À moyen terme, les véhicules hybrides doivent tendre vers un moteur électrique rechargé par un petit moteur thermique, de préférence au diesel. C'est à ce moment qu'ils seront pleinement une solution de rechange viable.

11.3. Véhicule électrique

Les véhicules électriques sont, à long terme une solution viable. L'utilisation de l'électricité dans les véhicules permet une réduction des émissions polluantes. Même produit à partir de la source d'énergie la plus polluante, le moteur électrique est plus efficace que le moteur à essence (Hydro Québec, questionnaire maison 2009). Bien sûr, il est recommandé de développer des moyens de production d'électricité moins polluants et ainsi augmenter les bénéfices environnementaux de l'utilisation de cette motorisation. Actuellement très peu répandue, cette motorisation nécessite encore des investissements en développement afin d'offrir une solution de rechange intéressante. En fait, les batteries actuellement sur le marché ne permettent qu'une autonomie limitée de moins de cent kilomètres ce qui est nettement insuffisant pour convaincre les acheteurs potentiels. À long terme, et suite au développement de meilleures méthodes de stockage, cette solution sera vraisemblablement viable.

11.4. Solutions alternatives

Questionner les motorisations utilisées soulève inévitablement la question de la possibilité de modifier notre utilisation de celles-ci. Voici donc certaines solutions alternatives, autres que la modification des motorisations, qui peuvent contribuer à un meilleur équilibre environnemental.

11.4.1. Transport collectif

Le transport collectif est bien moins développé au Canada qu'en France ou en Europe. Les déplacements des banlieues vers les métropoles s'améliorent peu à peu, mais le transport entre les villes de banlieue est loin d'être optimisé. Il est donc possible d'investir davantage dans les systèmes d'autocar plus performant entre les diverses villes. Par exemple, les trains inter banlieue peuvent devenir attrayants en facilitant l'accès et en augmentant la fiabilité pour les utilisateurs. Le covoiturage doit être encouragé afin de diminuer les besoins en infrastructure routière supplémentaire et réduire la pollution.

Ces solutions nécessitent toutes des fonds publics et l'implication de la sphère politique est indispensable. Pour y arriver, il s'agit simplement de mieux répartir nos investissements en transport vers des solutions durables et non des solutions dépassées. Il est grand temps d'investir dans le transport collectif, d'effectuer le rattrapage face au reste du monde et de faire évoluer notre conception du transport collectif. Il en coûte toujours plus cher de rester passif que d'agir maintenant.

11.4.2. Transport actif

Un mode de transport simple que trop de gens oublient est le transport actif. Ce mode de transport fort simple utilise la force des personnes pour les déplacer. L'idée est simple bête et elle peut contribuer à réduire les émissions des véhicules moteurs. En effet, les déplacements à pied ou à vélo sont bénéfiques pour la santé et pour l'environnement puisqu'il limite les émissions de GES des véhicules tout en faisant faire de l'activité physique au quotidien. Dans une société où le taux d'obésité atteint des sommets, il est grand temps de repenser notre mode de vie et de profiter de toutes les opportunités pour évoluer. Mettre en place des réseaux cyclables ou accentuer la signalisation pour piéton sont des investissements peu dispendieux et moins coûteux que d'investir dans des

infrastructures en transport automobile.

À titre d'exemple, la Ville de Montréal a mis en place un système de vélo libre-service afin de fournir aux citoyens une alternative à l'automobile en ville. Les « Bixi » sont disponibles dans plusieurs stations d'échange à travers la ville. Ce système en plus d'être facile d'utilisation et très pratique, permet aux citoyens de faire de ses déplacements un moment d'exercice. D'ailleurs, la ville de Toronto se dit très impressionnée par les résultats obtenus par la ville de Montréal et pense investir près de onze millions de dollars dans un projet similaire (Valiante, juillet 2009). Ce sont des actions concrètes comme celle-ci qui permettent de contribuer au développement durable des communautés.

11.4.3. Autopartage

Certes, l'utilisation de la voiture pollue. Par contre, sa fabrication consomme énormément. La consommation d'énergie pour la construction d'un véhicule représente environ 20 % de toute l'énergie consommé par un véhicule dans sa vie utile (Environnement Canada, 1993). Autre fait, un véhicule parcourt en moyenne au Canada 15 797 kilomètres annuellement (Statistique Canada, 2007). Si on considère une vitesse moyenne de 50 km/h, on constate qu'un véhicule est utilisé en moyenne 315 heures par années. Sur les 8760 heures disponibles annuellement, le véhicule est donc utilisé seulement 4 % du temps. Il est donc possible d'augmenter ce taux d'utilisation en partageant le véhicule et de réduire le nombre de véhicules produits

L'*autopartage* qui consiste à partager entre plusieurs utilisateurs, propriétaires ou abonnés une flotte de véhicule existe sous plusieurs formes selon les instigateurs du système. Il peut se faire sous une forme informelle et communautaire regroupant quelques voisins utilisant les mêmes véhicules. À plus grande échelle, ce concept peut être également mis en marché par des entreprises privées afin de rendre un service à ses membres. Au Québec, par exemple, Communauto a développé un système d'*autopartage* des plus performant permettant au client d'avoir accès à des véhicules dans plus de 300 points de service et ce à tout moment de la journée. En 2001, le nombre de personnes qui utilisaient ce type de système à travers le monde était estimé à 70 000 (Darnon, 2001 p.108). De tels systèmes méritent d'être inclus comme une solution viable à la réduction des émissions des véhicules moteurs puisqu'il limite la fabrication de voiture et les émissions qui y sont rattachées.

Il existe actuellement des solutions concrètes qu'il est possible de mettre en place à court, moyen et long terme afin de relever les défis que pose le renouvellement du moteur à essence traditionnel. Le diesel est considéré, à juste titre, comme la solution la moins bien exploitée à l'heure actuelle. À moyen terme, le véhicule hybride, suite à des percées dans le secteur des batteries, représente une solution viable. Par contre, afin d'obtenir une solution durable il faudra tendre vers les motorisations électriques rechargées à l'énergie propre. Certaines solutions alternatives telles que le transport collectif et actif permettent de réduire dès maintenant l'impact des véhicules sur l'environnement. Par ailleurs, n'oublions pas que le véhicule le moins polluant est celui que nous n'avons pas à construire.

CONCLUSION

Suite au sommet de Copenhague de décembre 2009, les États présents incluant la Chine et les États-Unis, ont affirmé l'urgence d'agir et que des mesures substantielles doivent être mises en place afin de limiter les changements climatiques. Toutes les solutions devront être étudiées, mais surtout mises en application rapidement. Le temps presse.

Les pays émergents, malgré qu'ils n'aient pas été abordés dans le cadre de cet essai, représentent un défi majeur pour l'industrie automobile et ultimement pour l'environnement. Avec l'accroissement de leur revenu disponible, les citoyens de ces pays, telles la Chine ou l'Inde, voudront obtenir un mode de vie similaire aux Occidentaux et donc avoir leur propre véhicule pour effectuer leur déplacement. Dans les pays en développement seulement 15 à 30 % des déplacements se font en automobile alors qu'aux États-Unis c'est plus de 90 % (Richard et Villeneuve, 2007 p.223). Avec une population représentant le tiers de la population mondiale, le développement du transport avec les véhicules occidentaux causerait un désastre écologique. Il est donc important de servir d'exemple en développant des motorisations moins énergivores.

Cet essai s'inscrit donc dans un contexte d'urgence mondiale et de recherche soutenue de solution à court, moyen et long terme pour limiter les émissions de gaz à effet de serre. À cet effet, le moteur à essence dans les véhicules automobiles représente une menace au Canada puisqu'il représente près de 11 % des émissions de GES du pays. Cet essai vise à démontrer l'importance de relever le défi des émissions des véhicules en adaptant les motorisations à la nouvelle réalité des changements climatiques.

Dans les solutions démontrées, certaines ne contribuent aucunement au développement durable. C'est le cas de l'hydrogène qui pourtant a été venté comme la solution de l'avenir par plusieurs. Cet essai démontre qu'il est inutile d'investir massivement dans la recherche sur l'hydrogène et les piles à combustion puisque cette forme de motorisation est moins efficace que l'électricité. Par contre, des investissements devraient être réalisés pour l'implantation massive du véhicule hybride branchable et ultimement pour le véhicule électrique. Les gouvernements doivent s'impliquer davantage dans l'information et la promotion des solutions vertes en transport. De plus, les gouvernements doivent prendre

position face aux différentes technologies et prioriser les technologies durables telle l'électricité. Pour limiter les émissions polluantes à court terme, les véhicules diesel représentent une solution à condition qu'ils soient munis de filtres et de catalyseurs suffisamment performants.

Toutes ces solutions de motorisation ne peuvent être mise en place sans d'abord réfléchir aux solutions de rechange aux véhicules individuels. À cet effet, l'autopartage, le transport collectif et le transport actif représentent des solutions de rechange viables à la non-prolifération des véhicules polluants. De plus, les investissements nécessaires au développement de ces solutions de rechange doivent se faire en décourageant l'utilisation des véhicules individuels et non au détriment des personnes vulnérables. Cela signifie que des hausses de tarif sont à exclure pour les utilisateurs des transports collectifs et que ce sont les automobilistes qui doivent servir de levier au développement de ces systèmes collectifs. Le concept du pollueur-payeur doit prendre le dessus sur l'utilisateur-payeur.

Mais pour que le choix de nouvelles motorisations soit le plus éclairé possible, des analyses de cycle de vie devront être réalisées afin de s'assurer de prendre les meilleures décisions possible en respectant les deux sphères négligées du développement durable : la sphère sociale et la sphère environnementale.

RÉFÉRENCES

- Association canadienne de l'électricité (2008). Electricity Generation in Canada by fuel Type 2007_link.gif. *In* Association canadienne de l'électricité. ACE, [En ligne]. www.canelect.ca (Page consultée le 13 septembre 2009).
- Association canadienne de l'électricité (2006). *In* Association canadienne de l'électricité. [En ligne]. <http://www.canelect.ca/fr/home.html> (Page consultée le 15 septembre 2009).
- Association pulmonaire, (s. d.). Pollution & qualité de l'air. *In* Association pulmonaire. *Site web de l'association pulmonaire*, [En ligne]. http://www.poumon.ca/protect-protegez/pollution-pollution/outdoor-exterior/pollutants-polluants_f.php (Page consultée le 14 août 2009).
- Auto evolution, (2009). Italy to Offer Up to 5,000 Euros in Green Car Incentives. *In* Auto evolution. [En ligne]. <http://www.autoevolution.com/news/italy-to-offer-up-to-5000-euros-in-green-car-incentives-3972.html> (Page consultée le 8 novembre 2009).
- Beaugregard-Tellier, F. (2006). *Le pic pétrolier : deux points de vue*. Service d'information et de recherche parlementaires, Bibliothèque du Parlement du Canada édition, Ottawa, 2 p. (Collection En bref). (PRB05-94F).
- Brenn, L. Stephenne, K. et Legros, S. (octobre 2007). *Potentiel d'utilisation des systèmes de captage et de stockage du CO2 au Canada*. Non publié, 30 p.
- CAA-Québec (2008). De quoi se compose le prix du litre d'essence? *In* CAA-Québec. *Site web de CAA-Québec*, [En ligne]. <http://www.caaquebec.com/infoessence/fr/composition.asp> (Page consultée le 20 octobre 2009).
- Cadex Electronics, (2005). Battery University. *In* Cadex Electronics. *Battery University*, [En ligne]. <http://www.batteryuniversity.com/index.htm> (Page consultée le 5 septembre 2009).
- Califronia air ressources board, (S. d.). Drive Clean. *In* Califronia air ressources board. [En ligne]. <http://www.driveclean.ca.gov/index.php> (Page consultée le 4 novembre 2009).
- Canada. Environnement Canada, (2009). Règlement sur le soufre dans le carburant diesel. *In* Environnement Canada. [En ligne]. http://www.ec.gc.ca/cleanair-airpur/Reglement_sur_le_soufre_dans_le_carburant_diesel-WS5B4D506F-1_Fr.htm (Page consultée le 14 août 2009).
- Canada. Environnement Canada, (2007). Inventaire des gaz à effet de serre au Canada. *In* Environnement Canada. [En ligne]. http://www.ec.gc.ca/pdb/ghg/inventory_report/2007/tab_fra.cfm (Page consultée le 3 août 2009).
- Canada. Environnement Canada, (1993). Les incidences environnementales de l'automobile. *In* Environnement Canada. [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/soer-ree/Francais/products/factsheets/93-1.cfm> (Page consultée le 12 décembre 2009).

- Canada. Infrastructure Canada, (2009). Fonds de la taxe sur l'essence. *In* Infrastructure Canada. [En ligne]. <http://www.infc.gc.ca/ip-pi/qtf-fte/qtf-fte-fra.html> (Page consultée le 4 décembre 2009).
- Canada. Ressources naturelles Canada, (2008). Faire progresser l'efficacité énergétique au Canada : des fondements pour l'action. *In* Ressources naturelles Canada. [En ligne]. <http://www.nrcan-rncan.gc.ca/com/resoress/publications/cemcme/transport-fra.php> (Page consultée le 15 juillet 2009).
- Canada. Ressources naturelles Canada, (2009). Ressources naturelles Canada. *In* Ressources naturelles Canada. [En ligne]. <http://oee.nrcan.gc.ca/transports/ecoenergie-biocarburants/index.cfm?attr=16> (Page consultée le 20 octobre 2009).
- Canada. Statistique Canada, (2009b). Période de boom : l'industrie canadienne du pétrole brut. *In* Statistique Canada. [En ligne]. www.statcan.gc.ca/pub/11-621-m/11-621-m2006047-fra.htm (Page consultée le 19 septembre 2009).
- Canada. Statistique Canada, (2009a). Immatriculations de véhicules automobiles, par province et territoire. *In* Statistique Canada. [En ligne]. <http://www40.statcan.ca.ezproxy.usherbrooke.ca/l02/cst01/trade14a-fra.htm> (Page consultée le 5 octobre 2009).
- Canada. Statistique Canada, (2008c). Vente de carburants destinés aux véhicules automobiles. *In* Statistique Canada. *Site web de Statistique Canada*, [En ligne]. <http://www40.statcan.gc.ca/l02/cst01/trade37a-fra.htm> (Page consultée le 23 décembre 2009).
- Canada. Statistique Canada, (2008b). Habitudes de navettage et lieux de travail des Canadiens, Recensement de 2006 Statistiques Canada. *In* Statistique Canada. [En ligne]. <http://www12.statcan.ca.ezproxy.usherbrooke.ca/census-recensement/2006/as-sa/97-561/pdf/97-561-XIF2006001.pdf> (Page consultée le 28 août 2009).
- Canada. Statistique Canada, (2008a). Enquête sur les véhicules au Canada, annuelle 2008. *In* Statistique Canada. [En ligne]. <http://www.statcan.gc.ca.ezproxy.usherbrooke.ca/pub/53-223-x/53-223-x2008000-fra.pdf> (Page consultée le 25 août 2009).
- Canada. Statistique Canada, (2007). Enquête sur les véhicules au Canada : annuelle 2007. *In* Statistique Canada. [En ligne]. <http://www.statcan.gc.ca.ezproxy.usherbrooke.ca/pub/53-223-x/2007000/5209145-fra.htm> (Page consultée le 20 décembre 2009).
- Canada. Transport Canada (2009). Consommation moyenne de carburant de l'entreprise. *In* Transport Canada. *Site web de Transport Canada*, [En ligne]. www.tc.gc.ca/programmes/environnement/pcc/objectifs.htm (Page consultée le 4 septembre 2009).
- Canada. Transport Canada (2007). Les transports au Canada un survol 2007. *In* Transport Canada. [En ligne]. <http://www.tc.gc.ca/politique/rapport/aca/anre2007/pdf/survol.pdf> (Page consultée le 17 septembre 2009).

- Carballes, S. (2009). *les véhicules particuliers en France, données et références mars 2009*. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), 44 p.
- Cardinal, F. (2009). Si on donnait 20 ans au Québec pour se passer du pétrole. *In* Radio-Canada. [En ligne]. http://www.radio-canada.ca/audio-video/pop.shtml?urlMedia=http://www.radio-canada.ca/Medianet/2009/CBF/CestBienMeilleurLeMatin200910200815_1.aspx (Page consultée le 20 octobre 2009).
- CED magazine, (2009). Japan incentives boost sales of green cars. *In* CED magazine, . [En ligne]. <http://www.cedmagazine.com/News-Japan-incentive-sales-green-cars-TV-061509.aspx> (Page consultée le 10 novembre 2009).
- Central intelligence agency (CIA), (2009). world factbook. *In* Central intelligence agency. [En ligne]. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ca.html> (Page consultée le 10 septembre 2009).
- Chine information, (2009). Vehicule polluants en moins a pekin. *In* Chine information, . [En ligne]. http://www.chine-informations.com/actualite/chine-vehicules-polluants-en-moins-a-pekin_13425.html (Page consultée le 3 novembre 2009).
- Conseil québécois du biodiesel (CQB), (2005). Mémoire Le Biodiesel, contexte enjeux, questionnement. Conseil québécois du biodiesel. *In* Conseil québécois du biodiesel. *biodiesel Quebec*, [En ligne]. <http://www.biodieselquebec.org/Pdf/Memoire-janv05.pdf> (Page consultée le 12 septembre 2009).
- Cyberpresse (2009). Les Allemands veulent 1 million de voitures électriques d'ici 2020. *In* Cyberpresse. [En ligne]. <http://monvolant.cyberpresse.ca/dossiers/la-voiture-electrique/200908/19/01-894052-les-allemands-veulent-1-million-de-voitures-electriques-dici-2020.php> (Page consultée le 8 novembre 2009).
- Darnon, O. (2001). *Challenge Bibendum : Oui aux voitures propres*. Hoebeke édition, Paris, 135 p.
- Deutsche Welle (2008). Germany Plans Tax Breaks for Green Cars. *In* Deutsche Welle, . [En ligne]. <http://www.dw-world.de/dw/article/0,2144,3754306,00.html> (Page consultée le 8 novembre 2009).
- Duval, J. (2006). Mercedes-benz bluetec: au volant du diesel le plus propre au monde. *In* Guide de l'auto. *Guide de l'auto*, [En ligne]. <http://www.guideauto.com/banc-essais/essais-routiers/7398auto38/mercedes-benz-bluetec-volantdu-diesel-plus-propre-monde.html> (Page consultée le 14 septembre 2009).
- Edmonds (2008). Flex-Fuel Vehicles Dominant in Brazil. *In* Edmonds, . [En ligne]. <http://blogs.edmunds.com/greencaradvisor/2008/03/flex-fuel-vehicles-dominant-in-brazil.html> (Page consultée le 8 novembre 2009).
- France 3, (2007). Voiture a moteur dopé à l'eau. *In* daily motion. [En ligne]. http://www.dailymotion.com/video/x3ti43_voiture-a-moteur-dope-a-leau-a-vitr_tech (Page consultée le 30 août 2009).

- France. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire MEEDDAT (2008a). *Chiffre clé : l'énergie en France édition 2008*. Paris, 40 p.
- France. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer MEEDDM (s. d.). comprendre l'énergie questions et réponses. *In* MEEDDM, . *Site officiel du MEEDDM*, [En ligne]. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/energie/comprendre/q-r.htm> (Page consultée le 22 octobre 2009).
- France. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer MEEDDM (2008c). Inventaire 2006. *In* MEEDDM, . [En ligne]. <http://www.ecologie.gouv.fr/Inventaire-2006.html> (Page consultée le 10 septembre 2009).
- France. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer MEEDDM (2008b). Le bonus-malus : un vrai succès ! *In* MEEDDM, . [En ligne]. http://www.developpement-durable.gouv.fr/article.php3?id_article=3428 (Page consultée le 20 octobre 2009).
- Francoeur, L. (2009). Les normes californiennes sont autorisées. *Le Devoir*, 3 juillet, p. a2.
- General Motor du Canada (2009). Histoire de l'automobile. *In* General Motor du Canada. [En ligne]. www.gm.ca/inm/gmcanada/french/about/OverviewHist/hist_auto.html (Page consultée le 15 juillet 2009).
- Goliath (2007). 10 questions with margo Oge. *In* Goliath. *site web de Goliath*, [En ligne]. http://goliath.ecnext.com/coms2/qi_0199-6291255/10-questions-with-Margo-Oge.html (Page consultée le 14 septembre 2009).
- Green Car Congress, (2009). Prius Top-Seller Again in Japan in July; Up Almost 4x Year-on-Year. *In* Green Car Congress, . [En ligne]. <http://www.greencarcongress.com/2009/08/prius-july-20090807.html> (Page consultée le 6 novembre 2009).
- Groupe intergouvernemental d'expert sur le climat (s. d.). Sommaire pour les décideurs. *In* GIEC, . [En ligne]. www.ipcc.ch (Page consultée le 17 juillet 2009).
- Hirsch, Robert L., Bezdek , Roger et Wendling, Robert (2005). *Peaking of world oil production : impact mitigation and risk management*, Washington DC, National Energy Technology Laboratory, 91 p.
- Hubbert, K. (1962). *Energy resources; A report to the committee on natural resources* (vu sur google book). Washington D.C., National academy of science, 141 p.
- Hybridcars (2009). Hybrid Incentives and Rebates - Region by Region. *In* Hybridcars. [En ligne]. <http://www.hybridcars.com/local-incentives/region-by-region.html> (Page consultée le 7 novembre 2009).
- Hydro-Québec (octobre 2009). La voiture Ford Escape hybride à l'Assemblée nationale. *In* Hydro-Québec. *Site web d'Hydro Québec*, [En ligne]. http://www.hydroquebec.com/4d_includes/surveiller/PcFR2009-149.htm (Page consultée le 10 octobre 2009).

- Institut canadien des produits pétrolier, (s. d.). Institut Canadien des produits pétrolier. *In* ICPP, . [En ligne]. <http://www.icpp.ca/userfiles/file/RefiningRefined-fr.pdf> (Page consultée le 19 septembre 2009).
- Institut canadien des produits pétrolier, (2009). Qu'est-ce qu'une raffinerie ? *In* ICPP, . *Croyez-y*, [En ligne]. http://croyez-y.ca/index_fr.php?p=21 (Page consultée le 15 septembre 2009).
- Institut canadien des produits pétrolier, (2006). Changements climatiques, enjeux et performance. *In* ICPP, . [En ligne]. <http://www.cppi.ca/pdf/ClimateChangeF.pdf> (Page consultée le 30 septembre 2009).
- International energy Agency (IEA), (2009). oil market report. *In* IEA, . *oil market report*, [En ligne]. <http://www.oilmarketreport.org/> (Page consultée le 10 septembre 2009).
- International fuel quality center, (2009). International fuel quality center. *In* International fuel quality center, . *site de la IFQC*, [En ligne]. http://www.ifqc.org/NM_Top5.aspx (Page consultée le 12 septembre 2009).
- La Presse, (2009). La bombe de BMW. *La Presse*, 8 septembre, p. section auto p12.
- Langlois, P. (2008). *Rouler sans pétrole*. Québec, Multimondes, 293 p.
- Laquerre, M. (2009). Courriel sur l'évolution de la Honda Civic. Communication orale. 29 juin, Montréal.
- Leblanc, J. (14 nov 2008). How the Civic became Canada's top-selling vehicle. *In* Chrome Systems. *Wheels*, [En ligne]. <http://www.wheels.ca/article/470352> (Page consultée le 20 juillet 2009).
- Lemieux, M. (2008). *l'éthanol à base de maïs et de canne à sucre : les impacts sur l'environnement et la santé humaine de ces Agrocarburants de première génération*. Maîtrise en science de l'environnement, Université du Québec à Montréal, Montréal, 65 p.
- Lenntech BV, (s. d.). Dioxyde de carbone. *In* Lenntech, . *Water treatment solutions*, [En ligne]. <http://www.lenntech.com/fran%E7ais/dioxyde-carbone.htm> (Page consultée le 3 août 2009).
- Los Angeles Department of Transportation (S. d.). Clean air vehicles free parking. *In* Los Angeles Department of Transportation. *Site web de Los Angeles Department of Transportation*, [En ligne]. http://ladot.lacity.org/tf_Clean_Air_Vehicles.htm (Page consultée le 7 novembre 2009).
- Mercedes-Benz (s. d.). Émission de CO2 et la TVS. *In* Mercedes-Benz. *Site web de Mercedes-benz*, [En ligne]. http://www.mercedes-benz.fr/content/france/mpc/mpc_france_website/fr/home_mpc/passengercars/home/ke_customer/fleet_decision_ng/key_customers_fleet_centers_v2.html (Page consultée le 30 octobre 2009).
- Metro France, (2008). Les Français et la voiture en 10 chiffres clés. *In* Metro France, . *Metro France*, [En ligne]. http://www.metrofrance.com/fr/article/relaxnews/2008/10/03/811_20081003174950_xml/index.xml (Page consultée le 10 octobre 2009).

- Montréal. Ville de Montréal, (s. d.). Oxyde d'azote. *In* ville de Montréal. *Site web de la Ville de Montréal*, [En ligne].
http://ville.montreal.gc.ca/portal/page?_pageid=916,1607036&_dad=portal&_schema=PORTAL (Page consultée le 3 août 2009).
- O'Dell, J. (2009). Ontario, Canada, Launches 'World's Best' Rebates for Plug-Ins and EVs. *In* Edmunds. *Site web de Edmunds*, [En ligne].
<http://blogs.edmunds.com/greencaradvisor/2009/07/ontario-canada-launches-worlds-best-rebates-for-plug-ins-and-evs.html> (Page consultée le 24 octobre 2009).
- Olivier, M. (2002). *Chimie de l'environnement*. Saint-Lambert de Lauzon, PJB Éditeur, 301 p.
- Ontario. Gouvernement de l'Ontario, (2009). l'Ontario de met à l'heure de la voiture électrique. *In* Gouvernement de l'Ontario. *Site web du gouvernement de l'Ontario*, [En ligne]. <http://www.news.ontario.ca/opo/fr/2009/07/ontario-se-met-a-lheure-de-la-voiture-electrique.html> (Page consultée le 24 octobre 2009).
- Organisation de coopération et de développement économiques, (2008). la hausse des prix alimentaires : causes, conséquences et solutions. *In* OCDE. *l'observateur OCDE*, [En ligne]. <http://www.oecd.org/dataoecd/17/51/41403444.pdf> (Page consultée le 5 septembre 2009).
- Organisation de coopération et de développement économiques, (2006). incidence de la croissance de la production de biocarburants sur les marchés agricoles. *In* OCDE . [En ligne]. <http://www.oecd.org/dataoecd/58/59/36074219.pdf> (Page consultée le 5 septembre 2009).
- Petro-Canada (2009). Taxes sur l'essence à l'échelle nationale. *In* Petro-Canada, . *Site web de Petro-Canada*, [En ligne]. <http://retail.petro-canada.ca/fr/fuelsavings/2139.aspx> (Page consultée le 29 novembre 2009).
- Phoenix motorcars (s. d.). Electric cars, Green vehicle. *In* Phoenix motorcar, . *Phoenix motorcar*, [En ligne]. <http://www.phoenixmotorcars.com/> (Page consultée le 13 septembre 2009).
- Pollution Probe (2009). *Public opinion Research : Purchasing fuel-efficient vehicles in Canada*. 65 p.
- Québec. Ministère des Transports du Québec, (2007a). Gaz d'échappement. *In* Ministère des Transports du Québec. *Site web du Ministère des Transports*, [En ligne].
http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/ministere/ministere/environnement/changes_climatiques/transport_changes_climatiques/gaz_echappement (Page consultée le 3 août 2009).
- Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (2007b). Projet de règlement sur les émissions de gaz à effet de serre des véhicules automobiles et sur les redevances pour les émissions excédentaires. *In* MDDEP, . *Site web du MDDEP*, [En ligne].
http://www.mddep.gouv.qc.ca/changes/plan_action/projet-reglement/etude_impact.pdf (Page consultée le 4 novembre 2009).

- Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (2006). Inventaire Québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2006 et leur évolution depuis 1990. In MDDEP. *Site web du MDDEP*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2006/inventaire2006.pdf> (Page consultée le 3 août 2009).
- Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (2005). Les composés organiques volatils dans l'air ambiant au Québec (1989-1999). In MDDEP. *Site web du MDDEP*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/cov/rapport89-99.pdf> (Page consultée le 14 août 2009).
- Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (2002). Info Smog. In MDDEP. *Site web du MDDEP*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/info-smog/smog.htm> (Page consultée le 8 août 2009).
- Radio-Canada (2008b). Le lobby de l'auto s'arrête à Québec. In Radio-Canada. *Site web de Radio-Canada*, [En ligne]. <http://www.radio-canada.ca/nouvelles/environnement/2008/01/15/001-quebec-auto-pollution.shtml> (Page consultée le 7 novembre 2009).
- Radio-Canada (2008a). Un premier engagement. In Radio-Canada. *Radio-Canada*, [En ligne]. <http://elections.radio-canada.ca/elections/federales2008/2008/09/09/007-harper-diesel.asp> (Page consultée le 20 octobre 2009).
- Radio-Canada (2007). Émission Découverte : Le Biodiesel (video). In Radio-Canada. *Radio-Canada*, [En ligne]. http://www.radio-canada.ca/audio-video/pop.shtml#idMedia=0&urlMedia=/Medianet/2007/CBFT/Decouverte200712091830_2.asx (Page consultée le 30 août 2009).
- Richard, François et Villeneuve, Claude (2007). *Vivre les changements climatiques Réagir pour l'avenir*. Sainte-Foy, Éditions Multimonde, 449 p.
- Rieg, J. et Colle, D. (2006). Brésil : le pactole de l'éthanol. In ARTE. *ARTE TV*, [En ligne]. <http://www.arte.tv/fr/histoire-societe/arte-reportage/cette-semaine/1091418.html> (Page consultée le 8 novembre 2009).
- Saft Batteries (s. d.). Saftbatteries.com. In Saft Batteries. *site web de Saft Batteries*, [En ligne]. <http://www.saftbatteries.com/MarketSegments/HybridandelectricvehiclesJCS/tabid/400/Language/en-US/Default.aspx> (Page consultée le 13 septembre 2009).
- Service Public Fédéral Belge, (2005). Service Public Fédéral Belge. In Service public Fédéral Belge. *site web du gouvernement Belge*, [En ligne]. https://portal.health.fgov.be/portal/page?_pageid=56,4974386&_dad=portal&_schema=PORTAL#impact (Page consultée le 12 septembre 2009).
- Smart Canada (2009). Smart Canada site officiel. In Smart Canada. *The smart*, [En ligne]. <http://www.thesmart.ca/index.cfm?ID=4720> (Page consultée le 20 décembre 2009).

- Société chimique de France, (s. d.). Société chimique de France. *In* Société chimique de France. [En ligne]. <http://www.sfc.fr/donnees/mine/hyd/texhyd.htm#Utilisations> (Page consultée le 15 août 2009).
- Total (2009). Raffinage. *In* Total. *site web Planète énergie*, [En ligne]. <http://www.planete-energies.com/contenu/petrole-gaz/raffinage.html> (Page consultée le 20 septembre 2009).
- Union européenne, (2008). Émissions de CO2 des véhicules particuliers neufs : surveillance. *In* Union européenne, . *Site web de l'Union européenne*, [En ligne]. http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/motor_vehicles/interactions_industry_policies/l28055_fr.htm (Page consultée le 7 novembre 2009).
- Université de Sherbrooke, (s. d.). Perspective Monde. *In* Université de Sherbrooke, . *Perspective Monde*, [En ligne]. <http://perspective.usherbrooke.ca> (Page consultée le 20 août, 10 septembre et 5 octobre 2009).
- Valdez convention and visitor bureau, (S. d.). History oil spill. *In* Valdez convention and visitor bureau, . *Valdez Alaska*, [En ligne]. <http://www.valdezalaska.org/history/oilSpill.html> (Page consultée le 10 août 2009).
- Valiante, G. (2009). Toronto eyes self-serve bike-rental operation similar to Montreal. *In* National Post. *site web du National Post*, [En ligne]. <http://network.nationalpost.com/np/blogs/toronto/archive/2009/07/23/toronto-eyes-self-serve-bike-rental-operation-similar-to-montreal.aspx> (Page consultée le 12 décembre 2009).
- Vallée, P. (2009). Des kilomètres d'autoroute. *Le Devoir*, n° 2009-06-13,
- Volkswagen Canada, (2009). *la famille Volkswagen 2009 brochure corporative*. Volkswagen, 37 p.
- Volvo Cars, (s. d.). Site web de Volvo cars. *In* Volvo cars. [En ligne]. <http://www.volvocars.com/intl/top/about/pages/default.aspx> (Page consultée le 18 septembre 2009).
- Whatgreencar (2009). Govt to offer £5k incentive to buy electric cars. *In* What green car. *site web de What green car*, [En ligne]. <http://www.whatgreencar.com/news-item.php?Govt-to-offer-5k-incentive-to-buy-electric-cars> (Page consultée le 5 septembre 2009).

ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE POUR LA TABLE DE CONCERTATION SUR L'ENVIRONNEMENT ET LES VÉHICULES ROUTIERS.

1. Croyez-vous que présentement l'offre de véhicule automobile en Amérique du Nord est respectueuse de l'environnement?
2. Selon vous, quelles sont les causes qui expliqueraient le peu de véhicules hybrides sur le marché nord-américain 10 ans après le lancement de l'Insight de Honda et de la Prius par Toyota?
3. Pourquoi, selon vous, au Canada y a-t-il peu de véhicules de promenades motorisés au diesel alors que c'est l'inverse en Europe?
4. Les besoins des consommateurs ont été créés en grande partie par la publicité. Croyez-vous possible un changement des habitudes de vie des consommateurs par ce même média en les incitant à acheter des véhicules plus « verts »?
5. Croyez-vous que l'offre actuelle de motorisation des véhicules répond aux besoins des consommateurs?
6. Est-ce que les véhicules électriques représentent une menace ou une opportunité pour le secteur que vous représentez?
7. En conclusion, selon vous à quoi ressemblera le marché de l'automobile dans le futur? (Horizon de 15 ans)? Quelle motorisation remplacera le moteur à essence ?

Également deux questions plus précises pour Hydro Québec :

8. Est-ce que le réseau actuel peut supporter un nombre considérable de véhicules branchables? Y-a-t-il des modifications majeures à effectuer sur le réseau afin de l'adapter aux stations de recharge, par exemple?
9. Au Québec, nous sommes avantagés pour la production d'électricité verte, mais le reste de l'Amérique n'est pas aussi chanceux. Quels sont les émissions de CO₂ relié à chaque type de production d'électricité? Peut-être avez-vous des données sur l'impact des véhicules électriques et hybrides branchables sur l'environnement.