

**Évaluation économique de l'impact sanitaire,
environnemental et des autres coûts des
émissions excédentaires non déclarées du
Groupe Volkswagen entre 2009 et 2015 pour la
province de Québec**

Rédigé par Sébastien RAYMOND, Ph.D, Ing.

Le 14 Janvier 2021

Résumé Exécutif

La pollution atmosphérique est une altération de la qualité de l'air pouvant être caractérisée par des polluants chimiques, biologiques ou physiques. Elle impacte la santé humaine, les êtres vivants, ainsi que le climat, les infrastructures et les biens. Certains polluants sont transportés à des milliers de kilomètres des sources d'émission. La pollution de l'air ne connaît pas les frontières nationales et son impact est aussi bien local que global.

Le trafic automobile contribue en partie à la pollution atmosphérique totale. Sa contribution se fait à la fois par l'émission directe de polluants liée à l'utilisation des véhicules (polluants primaires) et par les polluants dérivés ou secondaires formés après réactions chimiques dans l'atmosphère à partir d'espèces chimiques précurseurs émises par les véhicules.

L'affaire Volkswagen, aussi appelée « Dieselgate », consiste en la mise en circulation par le groupe Volkswagen (VW), du 1^{er} janvier 2009 au 21 septembre 2015, de véhicules dont les émissions d'oxyde d'azote (Nox), lorsqu'ils se trouvent sur route dépassent les normes permises (et conséquemment les autres émissions corrélées issues de la combustion du diesel, tel que les particules fines), tout en masquant ces émissions lorsque ces mêmes véhicules sont en mode test.

En fonction des quantités excédentaires ainsi émises par Volkswagen, cette affaire a participé significativement à l'augmentation des impacts sanitaires et environnementaux liés à la pollution atmosphérique. Ainsi toutes les régions du Québec ont été impactées par cette pollution atmosphérique excédentaire et par conséquent tous ces résidents. Ces émissions excédentaires ont donc eu un coût sur l'ensemble de l'environnement québécois y compris sa population.

Au Québec, il existe de nombreuses lacunes dans l'estimation des coûts environnementaux qui tend à sous-estimer de manières importantes ces coûts. Malgré ces lacunes, ces coûts ont été au présent rapport estimé à minima sur l'ensemble de la période à l'étude à 680 millions de dollars canadiens/an.

Les coûts sanitaires sont quant à eux beaucoup mieux documentés et connus. Ils ont l'avantage d'être mis régulièrement à jour. Ces coûts représentent dans ce contexte plus de 96% des coûts totaux liés à la pollution atmosphérique. Ces derniers ont été évalués par Santé Canada à 3800 décès et à 28 milliards de dollars canadiens/an au Québec.

Les émissions excédentaires dépassent de plus de 20 fois les émissions permises. Les émissions excédentaires des 32 269 véhicules de VW vendus entre 2009 et 2015 équivalent donc à la mise en circulation de 665 153 véhicules diesel respectant les normes au Québec durant la période à l'étude. Ce chiffre met l'emphasis sur l'aspect significatif de ces émissions et de leurs impacts. Les émissions excédentaires des véhicules VW représentent jusqu'à environ 0.5% des émissions de NOx annuelles totales.

Ainsi avec l'ensemble de ces données, il a été possible d'estimer les coûts minimums des émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW au Québec à 261 millions de dollars canadiens pour la période du 1^{er} janvier 2009 au 21 septembre 2015.

Table des matières

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

Introduction.....	1
Contexte	2
Objectifs.....	2
1. La pollution atmosphérique : Origine et dispersion.....	3
1.1. Ozone troposphérique (O3).....	3
1.2. Smog.....	5
1.3. Pluies acides.....	6
1.4. Les Gaz à effet de serre (GES).....	8
2. Impacts sanitaires.....	9
2.1. Impacts sanitaires.....	9
2.2. Coût sanitaire	9
3. Impacts environnementaux.....	10
3.1. Écosystèmes terrestres	10
3.1.1. Smog et Ozone troposphérique	10
3.1.2. Pluies acides	11
3.2. Écosystèmes aquatiques	12
3.3. Infrastructure et le bâti	15
4. Autres impacts intangibles	15
5. Coût non sanitaire	16
5.1. Baisse des rendements agricoles et forestiers.....	17
5.2. Dégradation du bâti et coûts des réfections.....	19
5.3. Coûts intangibles	21
5.4. Perte des activités récrétouristiques.....	22
5.5. Visibilité réduite	22
5.6. Perte de richesse	23
5.7. Dégradation des écosystèmes et perte de la biodiversité	23
6. Les émissions de NOx au Québec et la contribution excédentaire non déclarée de Volkswagen.....	24
6.1. Méthodologie	24
6.2. Estimation de NOx totale au Quebec par année de 2009 à 2015	25

6.3.	Estimation des émissions excédentaires de NOx non déclarées par le groupe VW	26
6.4.	Coût de la pollution au Québec.....	30
6.5.	Estimation des coûts liés à l'émission excédentaire de NOx non déclarée par VW	31
7.	Limitations et Incertitudes	33
	Conclusions.....	34
	Références	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Annexe sur l'ozone - Zone de gestion des émissions de polluants (ZGEP)	4
Figure 2. Jacques Rousseau, Environnement Canada, 8e atelier de santé environnementale, INSPQ, 2010.....	6
Figure 3. Distribution mondiale des précipitations acides (tiré de Holt, Rinehart and Winston, s.d.)	7
Figure 4. Répartition et évolution des émissions de GES des sous-secteurs des transports entre 1990 et 2016.....	9
Figure 5: Vents d'ouest dominanst en Amérique du Nord.....	14
Figure 6: Présence de SMOG sur Montréal (extrait de DHNews Montreal, @pfistern)	22
Figure 7. Méthodologie pour estimer le coût environnementale et sanitaire des émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW de 2009 à 2015.	25
Figure 8. Représentation schématique du taux de retrait attribué aux véhicules VW vendus au Québec entre 2009 et 2015.....	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.Impact des pluies acides sur les animaux aquatiques (Source : Environnement Canada, 2013b).....	15
Tableau 2.Émissions annuelles de NOx au Québec lié aux transport	26
Tableau 3. Synthèse des données et estimations pour calculer les émissions excédentaires annuelle non déclarée par VW	29
Tableau 4. Contribution des émissions excédentaires annuelle non déclarée par VW par rapport aux émissions de NOx totale au Québec	29
Tableau 5. Estimation des coûts annuels de la pollution atmosphérique lié au transport au Québec	30
Tableau 6.Estimtion du coût annuel et total des émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW (de 2009 à 2015).....	32

Introduction

Nous avons reçu le mandat de la part de l'Association québécoise de lutte contre la pollution atmosphérique (AQLPA) de produire le présent rapport aux fins de son dépôt dans la cause AQLPA c. Groupe Volkswagen (VW) devant la Cour supérieure de Québec. Notre mandat consistait à fournir une évaluation économique de l'impact sanitaire, environnemental et des autres coûts sociaux des émissions atmosphériques excédentaires non déclarées du Groupe Volkswagen entre le 1er janvier 2009 et le 21 septembre 2015 pour les résidents de la province de Québec, avec données quantitatives et sources. Nous avons reçu à cette fin à titre d'intrant, entre autres, les informations qui se retrouvent au rapport de Monsieur François Reeves. Voir notre mandat en annexe.

La pollution atmosphérique est une altération de la qualité de l'air pouvant être caractérisée par des polluants chimiques, biologiques ou physiques. Elle peut impacter la santé humaine, les êtres vivants, le climat, les infrastructures et l'ensemble des biens matériels et immatériels. Les concentrations de polluants dans l'air extérieur peuvent être influencées par de nombreux facteurs, notamment la quantité de polluants atmosphériques rejetés par les sources, la proximité des sources et les conditions météorologiques, telles que la température de l'air, la stabilité de l'air et la vitesse et la direction du vent. Certains polluants peuvent être transportés à des milliers de kilomètres des sources d'émission. La pollution de l'air ne connaît pas les frontières nationales et son impact est aussi bien local que global.

Le trafic automobile contribue en partie à la pollution atmosphérique totale. Sa contribution se fait à la fois par l'émission directe de polluants liée à l'utilisation des véhicules (polluants primaires) et par les polluants dérivés ou secondaires formés après réactions chimiques dans l'atmosphère à partir d'espèces chimiques précurseurs émises par les véhicules.

Les polluants se classent en deux grandes catégories que sont les particules et les polluants gazeux. Certains polluants de l'échappement peuvent être semi-volatils et être par conséquent présents en tant que particules et gaz.

L'affaire Volkswagen, aussi appelée « Dieselgate », est lié à l'utilisation par le groupe Volkswagen (VW), de 2009 à 2015, de différentes techniques visant à réduire les émissions polluantes, principalement d'oxyde d'azote (NOx), de certains de ses moteurs diesel lors des tests d'homologation.

Selon le groupe, plus de 11 millions de véhicules des marques Volkswagen, Audi, Seat, Škoda et Porsche sont concernés à travers le monde. L'affaire est révélée en septembre 2015 par l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA). En fonction des quantités excédentaires émises par Volkswagen, cette affaire a participé significativement à l'augmentation des impacts sanitaires et environnementaux liés à la pollution atmosphérique affectant ainsi l'ensemble de la population québécoise.

Le présent rapport est indépendant de toutes opinions ou influence politique et se base uniquement sur des études scientifiques et/ou gouvernementales. L'expertise se limite à la population québécoise et se base sur la littérature et les données disponibles.

Contexte

Le gouvernement américain, canadien et d'autres pays ont reproché à Volkswagen d'avoir produit et installé sur certains de ses véhicules un logiciel sophistiqué qui détecte les tests d'émissions d'oxyde d'azote et qui enclenche le contrôle des polluants seulement pendant la durée du test. Les dispositifs de contrôle des émissions de NOx sont réduits durant la conduite normale. Les voitures passent donc les tests en laboratoire, mais en utilisation réelle leurs émissions de NOx sont en moyenne 20 fois supérieures aux normes fédérales (Thompson et al., 2014).

Volkswagen a ainsi admis avoir modifié les tests d'émissions des moteurs diesel aux États-Unis et au Canada et le ministre allemand des transports a déclaré que l'entreprise manipulait également les tests en Europe, où Volkswagen vend environ 40 % de ses véhicules.

Objectifs

L'objectif du présent rapport est d'estimer la valeur monétaire des impacts sanitaires et environnementaux de l'excédent de pollution atmosphérique émis par les véhicules Volkswagen entre 2009 et 2015.

Les objectifs spécifiques de ce présent rapport seront donc :

- Déterminer les impacts environnementaux et non sanitaires de la pollution atmosphérique.
- Quantifier le coût environnemental de la pollution atmosphérique au Québec.
- Quantifier le coût sanitaire de la pollution atmosphérique au Québec.
- Quantifier les émissions excédentaires de NOx non déclarées des voitures Volkswagen entre 2009 et 2015.
- Quantifier le coût total, sanitaire, environnemental et des autres coûts des émissions excédentaires non déclarées de Volkswagen au Québec entre le 1^{er} janvier 2009 et le 21 septembre 2015.

Les pièces P3 et P14 à P25 ont été consultés pour le présent rapport ainsi que des pièces plus récentes ou centrés sur le Canada et le Québec. L'ensemble constitue des études crédibles provenant d'auteurs et d'institutions reconnus, lesquelles sont énumérés dans le corps du présent rapport et de la bibliographie.

Dans le cadre du présent rapport d'expertise, l'ensemble des sources et des données utilisées sont publiques et accessibles.

1. La pollution atmosphérique : Origine et dispersion

La pollution atmosphérique est une altération de la qualité de l'air pouvant être caractérisée par des mesures de polluants chimiques, biologiques ou physiques. Elle peut avoir des impacts sur la santé humaine, les êtres vivants, le climat, les biens matériels et immatériels.

Les polluants peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Ils constituent généralement des cocktails de polluants dont il est difficile de connaître l'impact indépendamment. Certains polluants comme les oxydes d'azote appelés NOx dans la suite du document, peuvent avoir un impact direct sur la santé humaine et l'environnement ou un impact indirect en étant le précurseur de polluants secondaires tels que l'ozone ou les particules fines (PM2.5). Ainsi les NOx ont un rôle majeur dans la formation du smog, des pluies acides et participent à la formation de gaz à effet de serre. Les différentes études sur l'impact environnemental de la pollution atmosphérique portent donc principalement sur le smog et les pluies acides et non sur le constituant NOx en particulier.

Il est donc primordial ici de comprendre qu'on peut associer un impact ou une valeur monétaire à un type de pollution (e.g.smog, pluies acides), et que les NOx sont utilisés comme un proxy de ces types de pollution car les NOx en sont un constituants majeur.

Afin de comprendre l'impact des différents polluants atmosphériques liés au NOx, il est indispensable de comprendre leur origine et leurs mécanismes de transport. Ces paragraphes se veulent volontairement vulgarisateurs afin de ne pas rentrer dans la complexité des interactions physico-chimiques qui ne sont pas l'objet de la présente étude.

1.1. Ozone troposphérique (O₃)

L'ozone troposphérique est un gaz incolore et extrêmement irritant qui se forme juste au-dessus de la surface de la Terre. On l'appelle polluant « secondaire » parce qu'il se crée lorsque deux polluants primaires réagissent au soleil et à l'air stagnant. Ces deux polluants primaires sont les oxydes d'azote (NOx) et les composés organiques volatils (COV). Les NOx et les COV ont des sources naturelles et anthropiques. Environ 95% des NOx issus de l'activité humaine sont attribuables à la combustion du charbon, à l'essence et à l'huile des véhicules moteurs, aux résidences, aux industries et aux centrales électriques (Environnement Canada, 2016). C'est un composant important du smog. Ainsi l'ozone troposphérique n'est pas émis directement par les transports mais se forme dans l'atmosphère à partir d'autres polluants qui sont, avant tout, les NOx et les COV. Les transports étaient responsables d'environ 76 % des émissions de NOx et 22 % des émissions de COV en 2014, sans compter les sources ouvertes (MDDEP, 2011; Environnement et changement climatique Canada, 2017b).

Au Québec, les concentrations interannuelles et intra-annuelles d'ozone troposphérique varient fortement. L'ozone est élevé lors des journées chaudes entre les mois de mai et d'août et lors de

la présence d'anticyclone (zone de haute pression) qui se déplace lentement. Celui-ci piège les polluants près du sol et les empêche de se disperser et de se diluer (Environnement Canada, 2014). Les concentrations d'ozone troposphérique varient aussi géographiquement sur le territoire québécois. De façon générale, les concentrations sont les plus élevées dans le sud de la province, en raison des importants déplacements de masses d'air provenant du sud et du sud-ouest. Ces masses d'air survolent les zones industrielles et fortement urbanisées des Grands Lacs et du nord-est des États-Unis et déplacent les polluants atmosphériques (MDDEP, 1997; MDDEP, 2010a). Les concentrations d'ozone sont aussi parfois plus importantes dans les milieux ruraux que dans milieux urbains ou périurbains. En effet, les NOx surtout produits par la circulation automobile dans les milieux urbains réagissent très rapidement avec l'ozone et font diminuer momentanément ses concentrations moyennes dans l'air ambiant. Par conséquent, des concentrations élevées d'ozone sont susceptibles de se retrouver en aval des grandes agglomérations urbaines selon la direction du vent (MDDEP, 1997; 2011).

L'Annexe sur l'ozone, ajoutée à l'Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air en 2000, oblige les États-Unis et le Canada à considérer le problème de l'ozone troposphérique transfrontalier en réduisant les émissions de NOx et de COV, les précurseurs de l'ozone, provenant de sources fixes et mobiles ainsi que des solvants, de la peinture et d'autres produits de consommation. Les engagements s'appliquent à une région définie des deux pays appelée Zone de gestion des émissions de polluants (ZGEP), qui comprend le centre et le sud de l'Ontario, les parties habitées de la province du Québec, 18 États américains et le District de Columbia, région où la réduction des émissions est la plus essentielle afin de réduire les flux transfrontaliers d'ozone (voir la figure 1).



Figure 1. Annexe sur l'ozone - Zone de gestion des émissions de polluants (ZGEP)

On sait que l'ozone a des effets importants sur la santé humaine. L'exposition à ce gaz est associée à la mortalité prématurée et à divers paramètres tels que l'hospitalisation et l'asthme. L'ozone troposphérique, une composante clé du smog, peut causer ou exacerber les maladies

respiratoires et est particulièrement nocif pour les jeunes enfants, les personnes âgées et les personnes souffrant d'asthme et de bronchite chronique.

Outre ses effets sur la santé humaine, l'ozone peut avoir une incidence non négligeable sur la végétation et diminuer la productivité de certaines cultures. Il endommage les fleurs et les arbustes et joue un rôle dans le déclin des forêts de certaines provinces canadienne. Cela peut les rendre plus susceptibles d'être attaqués par des insectes et des maladies et réduire leur capacité à résister aux sécheresses, aux tempêtes de vent et aux stress causés par l'activité humaine comme les pluies acides. L'ozone peut endommager les matériaux synthétiques, fissurer le caoutchouc et accélérer l'affadissement des teintures et la détérioration de certaines peintures et matériaux de revêtement. De plus, il altère les textiles tels que le coton, l'acétate, le nylon et le polyester.

1.2. Smog

Le terme smog fait référence à un mélange毒ique de gaz et de particules que l'on peut souvent observer dans l'air sous forme de brume sèche. Il est associé à plusieurs effets néfastes sur la santé et l'environnement.

Les deux principaux polluants qui composent le smog sont l'ozone troposphérique et les particules. Les fortes densités de smog sont souvent associées à la saison estivale par un ensoleillement plus important et des températures élevées. Cependant, le smog est un phénomène qui se produit toute l'année.

Le smog hivernal (à cause de la contribution des particules au lieu de l'ozone) est un problème important, quand l'air en stagnation accumule les polluants provenant du chauffage au bois et de l'utilisation de véhicules.

L'origine des polluants générant le smog est locale ou provient dans des proportions différentes de l'Ontario et des États-Unis. Ces proportions sont variables géographiquement comme le montre la figure 2 issue des travaux de Rousseau en 2010 lors des 8e atelier de santé environnementale organisés par l'INSPQ.

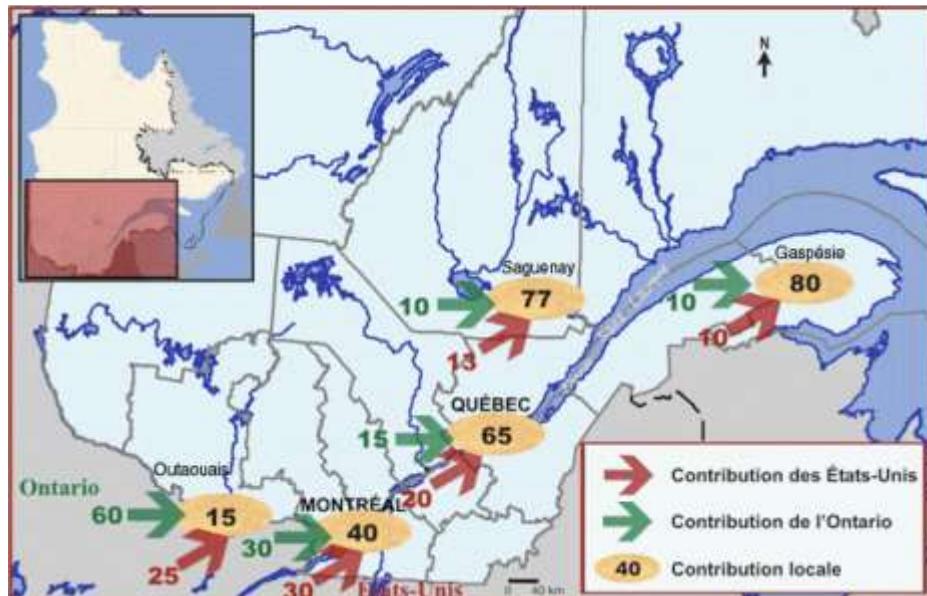


Figure 2. Jacques Rousseau, Environnement Canada, 8e atelier de santé environnementale, INSPQ, 2010

Le smog est un facteur qui contribue à des milliers de décès prématurés survenant chaque année à l'échelle du pays, ainsi qu'à des hospitalisations et des consultations médicales plus fréquentes, et à des centaines de milliers de journées perdues au travail et à l'école.

Les problèmes environnementaux associés au smog sont notamment la détérioration des végétaux et des structures, et les problèmes de visibilité et de brume (principalement attribuables aux particules fines).

1.3. Pluies acides

Les "pluies acides" sont le nom communément utilisé pour désigner tout type de dépôt atmosphérique sur la terre ou l'eau qui contribue à l'acidification du sol ou de l'eau (c'est-à-dire l'abaissement du pH du sol ou de l'eau en dessous des niveaux normaux). Les dépôts acides résultent de la transformation du SO₂ et des NOx en acide sulfurique, en nitrate d'ammonium et en acide nitrique. Le SO₂ et les NOx peuvent être transportés sur des milliers de kilomètres, de sorte que les dépôts acides peuvent se produire dans des zones très éloignées des sources de pollution. Les dépôts acides humides, lorsque les dépôts acides tombent sous forme de pluie, de neige, de grésil ou de grêle, sont de véritables "pluies acides". Les dépôts acides secs se produisent lorsque des particules acides sont directement déposées ou absorbées sur des surfaces sans être préalablement dissoutes dans l'eau. Les particules sont transformées en acides lorsqu'elles entrent ensuite en contact avec l'eau (Environnement Canada, 2013b). Par souci de simplicité, le terme "pluies acides" est désormais utilisé pour décrire tous les dépôts acides humides et secs. Les sources anthropiques de tels polluants sont surtout localisées et concentrées au niveau des importantes densités de population. Mais cette contamination n'est pas seulement locale et les sources de polluants peuvent être multiples en terme géographique (Olivier, 2009). Comme de

nombreux événements météorologiques, les précipitations acides auront tendance à circuler sur des distances de plusieurs milliers de kilomètres. Ces événements suivent les conditions climatiques et les vents dominants d'un territoire. C'est pourquoi il est possible de découvrir la présence de précipitations acides aussi dans des régions éloignées des centres urbains et industriels, comme dans la forêt boréale (Environnement Canada, 2010^e, Gouvernement du Canada, 2018). La figure 3 présente les territoires les plus touchés par ce phénomène.

Cette carte permet d'identifier l'Est de l'Amérique du Nord comme un des endroits les plus affectés par les précipitations acides. Cette situation est le résultat de la combinaison de deux facteurs régissant la production de pluies acides :

- La présence d'une source anthropique importante de polluants atmosphériques : grands centres urbains et industriels
- La dynamique des vents dominants du sud-ouest se dirigeant vers la vallée du Saint-Laurent. Au Canada, le phénomène des précipitations acides est principalement observable dans les provinces de l'Ontario et du Québec.

Les dépôts acides peuvent ainsi endommager :

- Les lacs et les rivières
- Les forêts
- Les sols
- Les populations de poissons et d'espèces sauvages
- Les bâtiments

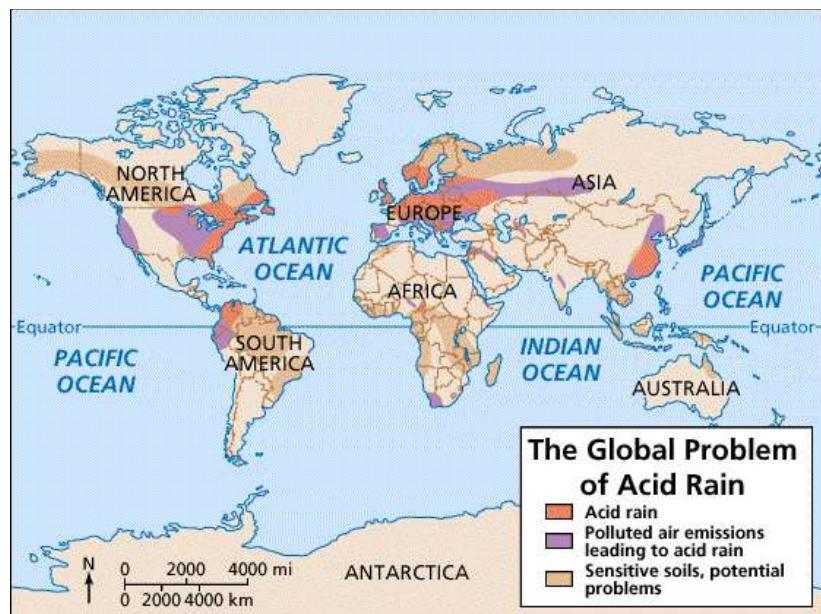


Figure 3. Distribution mondiale des précipitations acides (tiré de Holt, Rinehart and Winston, s.d.)

1.4. Les Gaz à effet de serre (GES)

Depuis le début de la révolution industrielle, vers 1750, l'effet de serre s'est amplifié par le rejet de quantités importantes de GES dans l'atmosphère.

L'effet de serre est un phénomène naturel provoquant une élévation de la température à la surface de notre planète. Indispensable à notre survie, ce fragile équilibre est menacé. Les activités humaines affectent la composition chimique de l'atmosphère et entraînent l'apparition d'un effet de serre additionnel, responsable en grande partie du changement climatique actuel. Il existe un grand nombre de gaz à effet de serre naturellement présents dans l'atmosphère mais dont la concentration varie du fait des activités humaines. Leurs impacts sur le climat dépendent de leur capacité à absorber et émettre du rayonnement infrarouge, de leur concentration dans l'atmosphère et de leur durée de vie. Parmi ceux-ci on peut citer :

- La vapeur d'eau
- Le dioxyde de carbone
- Le méthane
- L'ozone.

L'utilisation massive de combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon ou le gaz naturel, la déforestation, certains procédés industriels et pratiques agricoles ainsi que l'enfouissement des déchets ont notamment joué un rôle majeur dans l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre.

Au Québec, selon le ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques, l'augmentation des GES pourrait se traduire, d'ici 2050, par une hausse des températures pouvant atteindre 5 °C au sud et 9 °C au nord, principalement en hiver. Les précipitations changeront également. Certains de ces changements risquent d'entraîner des conséquences néfastes pour les populations, les écosystèmes et l'économie ainsi que des coûts importants pour s'y adapter. Sans parler du défi qu'ils poseront pour la santé humaine.

Au Québec, le secteur des transports est le principal émetteur de GES. Ses rejets atteignaient 33,8 Mt éq. CO₂ en 2016, soit 43,0 % des émissions québécoises. À titre comparatif, les émissions canadiennes du secteur des transports représentaient 28,3 % des émissions totales de GES en 2016. Entre 1990 et 2016, les émissions de GES produites par le secteur des transports ont connu un accroissement de 21,9 %. Pendant cette période, elles ont augmenté de façon quasi constante, avec de légères baisses, jusqu'en 2011. Malgré les augmentations observées en 2015 et 2016, les émissions des transports ont diminué depuis 2011. La figure 4 présente l'évolution des émissions de GES dans les différents sous-secteurs des transports entre 1990 et 2016 (MDDELCC, 2018).

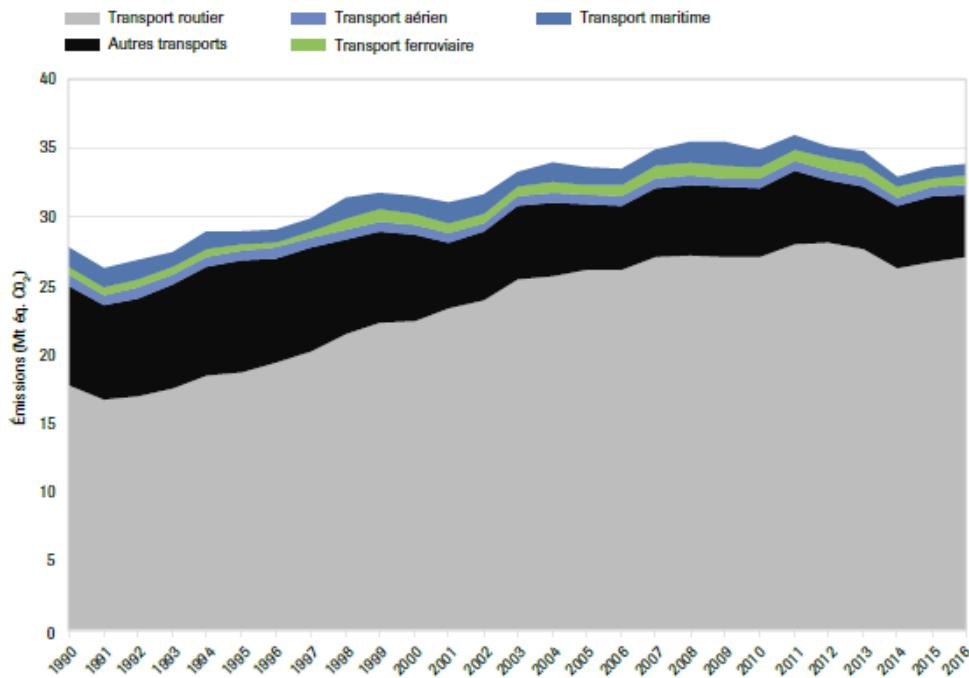


Figure 4. Répartition et évolution des émissions de GES des sous-secteurs des transports entre 1990 et 2016

2. Impacts sanitaires

Les impacts sanitaires représentent la plus grande majorité des études liées à la pollution atmosphérique que ce soit en termes d'impact mais aussi en termes de coût. Ces données sont régulièrement mises à jour et sont validées par des panels d'experts nationaux ou internationaux.

2.1. Impacts sanitaires

La description des impacts sanitaires ne sera pas ou peu abordée au cours du présent rapport. Ceux-ci sont décrits et expliqués dans le rapport de l'expert 1, le Docteur François Reeves et ne seront par conséquent pas traité ici.

2.2. Coût sanitaire

Le coût sanitaire lié à la pollution atmosphérique est bien documenté et fréquemment mis à jour par les diverses recherches universitaires et les organismes de santé publique (INSPQ, 2007, Gouvernement du Canada, 2016, 2017).

En 2015, les coûts sanitaires de la pollution atmosphérique ont été estimés à 3800 décès et à 28 milliards de dollars canadiens par an pour le Québec (Rapport 1 du Docteur F. Reeves, 2020).

3. Impacts environnementaux

Les impacts environnementaux des polluants atmosphériques sont nombreux et même s'ils sont peu étudiés, il a été possible de colliger un panel d'étude nord-américaine et européenne sur le sujet. Tous les compartiments sont affectés par la pollution atmosphérique : l'eau, l'air, le sol les animaux, les végétaux ainsi que le bâti.

3.1. Écosystèmes terrestres

3.1.1. Smog et Ozone troposphérique

Au Canada, la quantification des effets du smog sur les écosystèmes se limite actuellement aux répercussions de l'ozone (O_3) sur certaines espèces végétales. L'ozone est absorbé par les plantes à travers les stomates des feuilles. Une fois absorbé par la plante, l'ozone peut causer des dommages physiques directs, qui entraînent la sénescence prématuée, une diminution de l'absorption du dioxyde de carbone (CO_2) et une diminution de la productivité primaire.

Même si les plantes peuvent réagir à l'augmentation des concentrations d'ozone troposphérique en fermant chaque stoma au moyen de cellules spécialisées appelées cellules de garde, cette réaction a aussi pour effet d'empêcher l'absorption de dioxyde de carbone, un gaz qui est essentiel à la photosynthèse et à la croissance des plantes, ce qui est particulièrement préoccupant pendant le jour, lorsque les concentrations d'ozone sont le plus élevées et que les plantes ont le plus besoin de dioxyde de carbone.

L'ozone peut également agir indirectement sur les plantes, en détournant l'énergie utilisée pour les processus physiologiques importants pour la consacrer à la détoxicification de l'ozone. Ces effets sur la santé d'espèces végétales entraînent parfois des changements dans les écosystèmes, puisque les espèces résistantes à l'ozone peuvent devenir dominantes par rapport aux autres plus sensibles. Dans les forêts, les niveaux élevés d'ozone entraînent des modifications de la structure de la canopée et une réduction de la productivité des arbres. La sensibilité à l'ozone est variable selon les espèces végétales. Les arbres à feuilles persistantes ont tendance à être plus robustes que les espèces à feuilles caduques, et les plantes annuelles ont tendance à être les plus sensibles (EPA, 2011).

L'ozone troposphérique peut endommager et même faire mourir les cellules des feuilles. Cet effet se traduit par l'apparition de petites taches noires ou brunes sur les plantes latifoliées, ou de taches jaunes (chlorotiques) sur les aiguilles des conifères.

La réaction des plantes à l'ozone dépend également de l'exposition soit la durée et la concentration. La réaction varie également selon l'espèce et le stade de croissance et est modifiée par des facteurs environnementaux comme la teneur en eau du sol et l'humidité.

À l'heure actuelle, les mesures écotoxicologiques fondées sur l'exposition constituent les meilleurs outils pour quantifier les relations exposition-réponse selon la concentration et sont

étroitement liées au paramètre utilisé pour calculer le standard pancanadien relatif à l'ozone. Cette corrélation indique que les mesures visant à réduire la concentration moyenne d'ozone sur huit heures réduiraient également l'exposition de la végétation à l'ozone.

Lorsque le nitrate, issu de l'oxydation du dioxyde d'azote (NO_2), est combiné à d'autres composés dans l'atmosphère (par exemple l'ammoniac), il devient une source importante de formation secondaire de particules fines (PM2.5) (Environnement Canada, 2013).

Les répercussions des particules fines sur la végétation dépendent de leurs constituants chimiques et de leur taille, puisque ces facteurs déterminent les taux de phytotoxicité des particules pour chaque espèce. La réaction des plantes aux particules est principalement causée par l'altération de la chimie des sols plutôt que par le dépôt direct sur les plantes. Les plantes absorbent divers constituants des particules fines dans le sol, qui peuvent nuire à la photosynthèse et ainsi réduire la croissance et la productivité des plantes. Les particules fines peuvent également causer des dommages physiques par abrasion à la surface des plantes. Il a également été démontré que les dépôts de particules agissent sur la chimie des eaux de surface et la diversité des espèces (Environnement Canada, 2005).

Les répercussions des particules fines et de l'ozone sur la faune constituent un nouveau champ d'intérêt dans la compréhension des répercussions sur les écosystèmes. Les recherches se sont penchées sur les effets indirects des particules fines et de l'ozone sur les espèces sauvages découlant des incidences sur la végétation, les conditions du sol et les modifications de l'habitat dont dépendent ces espèces. À l'heure actuelle, cependant, il n'existe pas de recherches qui permettent d'interpoler les résultats des études en laboratoire aux espèces sauvages ou de déterminer quelles sont les espèces les plus sensibles à l'exposition.

3.1.2. Pluies acides

En ce qui concerne les écosystèmes forestiers, les principaux effets des pluies acides sont les impacts toxiques sur les arbres et les autres plantes, les carences en nutriments, la mobilisation de l'aluminium dans le sol et la diminution de la productivité. Les impacts sont plus ou moins importants selon la région et l'acidité des pluies. Les pluies acides endommagent la surface des feuilles et des aiguilles, réduisant la capacité des arbres à résister au froid et inhibant la régénération. Les pluies acides épuisent également des nutriments importants (par exemple, le calcium et le magnésium) et augmentent la concentration d'aluminium dans les sols, ce qui entrave l'absorption des nutriments par les arbres. Ce manque de nutriments peut entraîner l'arrêt total de la croissance des arbres.

Les précipitations acides découlant des activités anthropiques viennent également modifier le pH du sol (Ferguson and Jeffries, 2011). Les conséquences des précipitations acides sur un territoire donné vont dépendre, entre autres, de la nature de son sol et de son sous-sol. En effet, certains types de sols sont capables de neutraliser naturellement l'acide en surplus dans l'écosystème puisqu'ils présentent des éléments neutralisateurs. Cette particularité s'appelle « l'effet tampon » d'un sol (Olivier, 2009). Cependant, lorsque le sol ne possède pas cet « effet tampon », la neutralisation ne peut s'effectuer et l'acidité des précipitations s'accumule à la surface. Un

déséquilibre du pH du sol en découle. Les sols à base granitique, comme est caractérisée la région du Bouclier canadien, sont un bon exemple de ce genre de sol vulnérable (Ferguson and Jeffries, 2011).

Les arbres exposés aux pluies acides peuvent également avoir plus de difficultés à supporter d'autres stress, tels que la sécheresse, les maladies, les insectes nuisibles et le froid (Environnement Canada, 2013b). La capacité des forêts à résister à l'acidification dépend de la capacité des sols forestiers à neutraliser l'acide. Par conséquent, la menace pour les forêts est la plus importante dans les régions suivantes : le centre de l'Ontario, le sud du Québec et les provinces atlantiques (Environnement Canada, 2013b). La surveillance indique que certaines forêts sont déjà déficientes en minéraux, ce qui menace leur viabilité à long terme. Jusqu'à la moitié des forêts boréales de l'est du Canada pourraient être touchées à terme (Environnement Canada, 2013b).

Les pluies acides peuvent aussi nuire à la germination des graines et à la croissance des jeunes plants. Elles peuvent diminuer la respiration des organismes vivants au sol et pourraient être la cause d'une augmentation de la lixiviation des éléments nutritifs du sol (Nixon and Curran, 1998).

Bien que les dommages causés aux sols forestiers par les pluies acides puissent être réversibles, il faudrait de nombreuses années, voire des centaines d'années dans certaines régions, pour que les éléments nutritifs soient reconstitués, même s'ils étaient complètement éliminés.

3.2. Écosystèmes aquatiques

Les écosystèmes aquatiques sont principalement impactés par les pluies acides. Les écosystèmes d'eau douce qui ont été acidifiés ne peuvent pas supporter la même variété de vie que les écosystèmes sains. Lorsque l'eau devient plus acide, les populations d'écrevisses et de palourdes sont les premières à disparaître, suivies par divers types de poissons. Dans le sud de la Nouvelle-Écosse, par exemple, les rivières ont été tellement acidifiées dans les années 1980 que les stocks de saumon ont été réduits de moitié (Watt, 1987).

Les lacs et les rivières acidifiés ne sont cependant pas totalement morts. Certaines formes de vie profitent en fait de l'augmentation de l'acidité. Les plantes et les mousses de fond de lac, par exemple, se développent dans les lacs acides, tout comme les larves de mouches noires.

En outre, toutes les eaux douces exposées aux pluies acides ne s'acidifient pas. Dans les régions où il y a beaucoup de roches calcaires, l'eau douce est plus apte à absorber l'acide. Dans les régions où la roche est principalement composée de granit, comme le Bouclier canadien de l'Est du Canada, les lacs sont moins capables de neutraliser l'acide (Environnement et Canada, 2013b).

L'accumulation de précipitations acides dans une région à faible capacité tampon aura inévitablement un effet néfaste sur les écosystèmes aquatiques de cette dernière. Puisque non neutralisée au niveau du sol, l'acidité sera entraînée dans le système hydrologique par

ruissellement et par contact direct avec l'eau de pluie. Un changement de pH dans un écosystème peut venir le perturber considérablement. De la même manière, certains organismes aquatiques seront très sensibles à ce genre d'acidification de leur milieu de vie. Plus le pH des lacs, rivières et des eaux souterraines diminuent, plus les espèces les moins tolérantes au changement disparaissent. Elles sont ensuite suivies par les plus robustes. Des études scientifiques ont effectivement montré la diminution marquée de la population et de la biodiversité dans les lacs dont le pH est inférieur à 6,0. Un pH sous ce seuil provoque aussi une diminution du taux de décomposition des matières organiques dans l'eau, ce qui peut mener à une baisse de productivité végétale. De plus, la disparition d'espèces dans un écosystème réduit sa diversité et peut ainsi bouleverser son équilibre. Une espèce résistante à l'augmentation du pH de son habitat n'a pas nécessairement la certitude d'y survivre si ses proies naturelles disparaissent (Nixon and Curran, 1998; Audet 2011).

Les preuves sont mitigées en ce qui concerne la mesure dans laquelle les lacs acidifiés peuvent se rétablir si les pluies acides diminuent, comme c'est le cas sur une grande partie de l'Amérique du Nord. Sudbury (Ontario), un point chaud notoire pour les pluies acides, où quelque 7 000 lacs étaient autrefois acidifiés, a connu une amélioration générale grâce à la réduction des émissions de SO₂ et de NOx. Néanmoins, de nombreux lacs restent acidifiés, et la régénération biologique n'en était qu'à ses débuts en 2007. Sur les 202 lacs canadiens étudiés depuis le début des années 1980, 33 % ont réduit leur niveau d'acidité, 56 % n'ont montré aucun changement et 11 % sont en fait devenus plus acides (Environnement Canada, 2013b). L'amélioration a été la plus lente dans le Canada atlantique, même si les lacs de cette région n'ont jamais été aussi fortement acidifiés que ceux de l'Ontario et du Québec (Environnement Canada, 2013b). Le schéma de rétablissement indique que le rétablissement des lacs acidifiés est étroitement lié aux effets d'autres facteurs de stress environnementaux majeurs, tels que le changement climatique (Keller Yan, Gunn, & Heneberry, 2007). Indirectement, l'acidification des sols du bassin versant peut provoquer la mise en solution de métaux traces nocifs autant pour les organismes aquatiques que terrestres : aluminium, cadmium, mercure, cuivre, etc. Évidemment, la perte de biodiversité des lacs aura aussi un impact considérable sur les activités de loisir comme la pêche sportive puisqu'il y aura moins de poissons présents en terme qualitatif et quantitatif. Cette situation pourrait affecter durement l'économie touristique de la province. (Dupont, 2004). D'un autre côté, les précipitations acides n'affecteront pas seulement le système aquatique d'un territoire.

Des recherches récentes (Hadley et al., 2015) suggèrent que l'acidification des lacs peut avoir des effets écologiques à long terme même si le pH des lacs se rétablit. Par exemple, les écrevisses de certains lacs de l'Ontario ne sont pas revenues malgré la réduction de l'acidité de ces lacs au cours des dernières années. La raison semble être une baisse significative des concentrations de calcium, conséquence des dépôts acides ainsi que d'autres facteurs de stress. Ces faibles concentrations de calcium devraient entraver le rétablissement après l'acidification des lacs et avoir des effets en cascade sur l'ensemble des écosystèmes aquatiques (Jeziorsk & Smol, 2016).

La situation au Québec :

Le Québec est grandement affecté par les pluies acides. Le territoire québécois est directement sur la trajectoire du corridor de vents dominants transportant les polluants produits aux États-Unis vers la vallée du Saint-Laurent (figure 5). Les précipitations acides fortes couvrent ainsi la vallée du Saint-Laurent, de l'Outaouais et de l'Abitibi (Olivier, 2009). Elles représentent ainsi l'accumulation des polluants provenant des frontières avec l'Ontario et les États-Unis.



Figure 5: Vents d'ouest dominants en Amérique du Nord

Les dépôts acides au Québec ont des conséquences très dommageables, car la majorité du sol québécois possède une faible capacité de neutralisation de l'acidité comme expliqué précédemment. Selon certaines cartes produites sur la sensibilité de la roche en place, près de 90 % du Québec serait sensible à l'acidification (Dupont, 2004). Les régions au sud du Saint-Laurent, du Lac-Saint-Jean, de Mistassini, du nord de Gatineau et des basses terres de l'Abitibi sont cependant moins vulnérables en raison de la présence de carbonates dans leurs sols. Or, une faible capacité tampon du sol engendre une accumulation de composés acides pouvant être lessivés vers les cours d'eau.

Les animaux aquatiques peuvent également être impactés par les modifications de pH dû aux pluies acides (tableau 1). Les impacts de l'acidification comprennent une augmentation de la morbidité et de la mortalité des espèces sensibles, ainsi que des diminutions qualitatives et quantitatives de la biodiversité. Comme indiqué plus haut, les écrevisses et les palourdes sont souvent les premières à être touchées par l'acidification de l'eau douce, suivies par les poissons. Certains types de poissons comme l'achigan à petite bouche, le doré jaune, l'omble de fontaine et le saumon sont également plus sensibles à l'acidité que d'autres et ont tendance à disparaître précocement également. Même les espèces aquatiques adaptées peuvent souffrir de différentes façons, notamment par des frayères ratées, des éclosions faibles, une croissance réduite, des difficultés à réguler la chimie corporelle et une plus grande sensibilité aux maladies (Environnement Canada, 2013b).

Au Québec, il existe une autre conséquence importante des pluies acides et concerne le dépeuplement de l'érablière (Olivier, 2009). Cet état se traduit par le dégarnissement de la tête des érables matures et par la diminution de la capacité de l'arbre à absorber ses nutriments

(Hendershot and Jones, 1989). Celui-ci est, de ce fait, plus vulnérable au stress provoqué par d'autres agresseurs directs comme l'ozone et les oxydants réactifs (Audet, 2011). L'arbre dépérît par la suite puisqu'il n'est plus capable de résister aux insectes, aux maladies et aux écarts de températures. En fait, l'acidification progressive du sol libère des métaux toxiques pour cette essence. Ceci pourrait être néfaste à long terme pour l'économie acéricole québécoise.

Tableau 1. Impact des pluies acides sur les animaux aquatiques (Source : Environnement Canada, 2013b)

pH	Effets
6.0	Crustacée, insectes et des espèces planctoniques commencent à disparaître
5.0	Changements majeurs dans les communautés planctoniques Espèces de mousses et de planctons moins désirables commencent à envahir Diminution progressive de la plupart des espèces de population de poisson avec une valeur important au détriment des espèces plus tolérantes à l'acidité
Moins de 5.0	Les lacs sont dépourvus de poissons Le fond des lacs est recouvert de matériel végétal non décomposé Les zones proches du rivage peuvent être dominées par les mousses Les animaux terrestres qui dépendent de l'écosystème aquatique pour leur alimentation (comme le gibier d'eau) sont touchés

3.3. Infrastructure et le bâti

Lorsqu'on parle d'impact environnemental, il est important de ne pas considérer uniquement les écosystèmes terrestres et aquatiques mais également l'environnement urbain. Ainsi parmi les autres impacts potentiels, les précipitations acides peuvent aussi être un précurseur de l'érosion accélérée des matériaux. De ce fait, les infrastructures résidentielles, commerciales, culturelles sont particulièrement vulnérables aux dépôts acides. Ces derniers peuvent provoquer une altération niveau fonctionnel et/ou esthétique des infrastructures par corrosion. Plus les pluies sont acides, plus le risque de détérioration est important. (Nixon and Curran, 1998; Grennfelt, 2020).

4. Autres impacts intangibles

La pollution atmosphérique peut avoir des impacts indirects et cumulatifs sur des composantes intangibles telles que le bien-être, la perte de visibilité ou d'activité récréatives, la perte de richesse.

- Perte de visibilité

Le smog réduit la visibilité ce qui entraîne une augmentation du risque et une diminution du bien-être. Les paysages urbains ou naturels sont moins attrayants lorsqu'ils sont masqués par la pollution de l'air que ce soit au niveau des propriétaires que des usagers de la route ou des sentiers (IISD, 2017).

- Pertes des activités récréatives

La pollution peut réduire les loisirs et activités récréatives des Canadiens. Les forêts endommagées par les pluies acides peuvent être moins agréables comme sites de randonnée, de camping et de chasse au vu des impacts cités précédemment sur la faune et la flore. Les effets de l'acidification qui n'ont pas ou peu été quantifiés en terme économique comprennent la perte de la valeur esthétique des forêts, les effets sur les loisirs en forêt, la réduction des valeurs pour les non-utilisateurs et la réduction de la biodiversité (Seip & Menz, 2002 ; Chestnut & Mills, 2005).

L'air pollué par le smog diminue également le potentiel touristique des sites culturels ou naturels emblématiques.

- Pertes des richesses

La pollution réduit la valeur des actifs qui composent la richesse des Canadiens. Les chalets ont moins de valeur lorsqu'ils sont situés dans des secteurs environnementaux impactés. Les appartements dont la vue est obscurcie par le smog ont moins de valeur que ceux dont la vue est dégagée. Les terres agricoles perdent de leur valeur lorsque les cultures sont plus difficiles à faire pousser en raison de la pollution de l'air. Les forêts sont moins productives lorsqu'elles sont endommagées par les pluies acides. Cette liste non exhaustive représente des exemples pouvant impacter d'un point de vue économique l'ensemble de la population (IISD, 2017).

5. Coût non sanitaire

La pollution de l'air a également des **conséquences environnementales** qui ont un coût économique. Il s'agit en particulier de la dégradation du bâti, qui entraîne des coûts de réfection et de nettoyage des bâtiments, de la baisse des rendements des cultures agricoles et de la dégradation des écosystèmes. La pollution de l'air peut également avoir un coût non sanitaire intangible.

Si les coûts des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique sont plutôt bien documentés et estimés, le coût non sanitaire de la pollution atmosphérique reste encore largement méconnu et très peu étudié.

L'évaluation du coût non sanitaire de la pollution de l'air se heurte à plusieurs difficultés. Comme il a été rappelé précédemment, la pollution de l'air a des effets néfastes sur un ensemble de milieux comme les écosystèmes aquatiques, terrestres. Elle participe à la réduction de la biodiversité et à la détérioration des bâtiments.

Néanmoins, les connaissances demeurent parcellaires, et le coût monétaire de l'impact non sanitaire de la pollution de l'air est encore mal mesuré.

Les différentes études conduites sur les impacts non sanitaires de la pollution de l'air n'ont ainsi que très rarement pu mesurer le coût économique qui leur est associé. Concernant des coûts tangibles, par exemple le coût des réfections de bâtiment, il est méthodologiquement complexe d'attribuer une part de ces coûts à la pollution de l'air. S'agissant des coûts intangibles, il n'existe pas, la plupart du temps, de travaux permettant de confier une valeur monétaire aux biens matériels ou immatériels concernés, par exemple la biodiversité.

Cet ensemble de limites conduit donc à une sous-estimation très importante des effets non sanitaires de la pollution de l'air et de leur coût.

Les études existantes montrent toutefois que le coût non sanitaire de la pollution de l'air est significatif. En sommant les données les plus tangibles s'agissant du coût économique de l'impact de la pollution de l'air sur les rendements agricoles et sur les bâtiments, un premier estimé des coûts non sanitaires de la pollution de l'air serait au minimum de 4,3 milliards d'euros par an en France, en 2015 (Commission d'enquête, 2015).

5.1. Baisse des rendements agricoles et forestiers

Si l'agriculture peut être émettrice de polluants, elle est également directement impactée par la pollution de l'air.

Plusieurs travaux ont mis en évidence le rôle de la pollution de l'air dans la baisse des rendements agricoles. En particulier l'impact négatif de l'ozone a été mis en évidence par plusieurs études nationales et internationales. Dans une étude parue en 1994, la sensibilité des végétaux, et en particulier du blé, à l'ozone a été mise en avant à partir d'un seuil de concentration de 40 nanolitres d'ozone par litre d'air (Commission d'enquête, 2015).

Une étude conduite par l'Institut national de recherche agronomique (Inra) et l'Institut national agronomique Paris-Grignon (aujourd'hui AgroParisTech) et publiée en 2003 a montré que la pollution à l'ozone en Ile-de-France pouvait être responsable de pertes de rendements pour les cultures de blé de l'ordre de 10 % en moyenne, mais pouvant dépasser 20 % pour certaines cultures, avec des variations importantes selon les zones exposées (Castell et Lebard, 2003). Ces effets dommageables ont été mis en évidence à des niveaux de concentration d'ozone pourtant inférieurs aux seuils d'information de la population, qui sont fréquemment atteints en zone rurale francilienne de mai à septembre. Selon l'Inra, cet impact de l'ozone sur les cultures de blé présenterait un coût annuel de 500 millions d'euros par an (Commission d'enquête, 2015).

Dans le cadre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière de longue distance, un programme de recherche international étudie les impacts des polluants de l'air sur les cultures et les végétaux. Un rapport de 2011 de *l'International cooperative programme on*

effects of air pollution on natural vegetation and crops, met en avant les dangers de la pollution à l'ozone sur un certain nombre de cultures comme le blé, la tomate ou le soja. Pour la France, le coût annuel de la baisse des rendements des cultures de blé due à l'ozone est chiffré à 850 millions d'euros en 2000.

Par ailleurs, l'étude coût-analyse menée dans le cadre du programme Cafe (AEA, 2015) a mesuré l'impact économique de la perte de rendements agricoles due à l'ozone dans l'ensemble des 25 pays européens. L'étude évalue ce coût à 2,8 milliards d'euros pour l'année 2000.

Au Canada les pertes dues à la réduction des rendements agricoles sont estimées à 96 millions de dollars en 2015, soit environ 0,6 % de la valeur ajoutée dans le secteur des cultures agricoles. Ce chiffre se situe dans la même fourchette que les conclusions d'autres études (Adams, Hamilton et McCarl, 1986 ; Adams, Glycer, Johnson et McCarl, 1989 ; Murphy, Delucchi, McCubbin et Kim, 1999 ; OCDE, 2016).

Sawyer et al. (2007) ont estimé à 36 millions de dollars la perte de production agricole au Canada associée à l'ozone troposphérique en raison des seules émissions dues au transport en 2000.

Concernant les forêts et les terres agricoles, il est possible de trouver une indication sur la valeur au niveau des forêts et des terres agricoles commerciales du Canada. **Cette étude a été réalisée par Statistique Canada. En 2015, l'agence a estimé cette valeur à 158 milliards de dollars pour les forêts (Statistique Canada, 2016g) et à 376 milliards de dollars pour les terres agricoles (Statistique Canada, 2016f)**. Il s'agit clairement d'actifs très précieux et d'estimation très significative, et ils sont tous deux menacés par les effets de la pollution atmosphérique aussi bien sous la forme du changement climatique, des pluies acides et autres.

Étant donné la valeur importante estimée, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour explorer le lien entre la pollution - en particulier les impacts du changement climatique - et la valeur de ces actifs.

Il est difficile d'évaluer l'impact des polluants sur la valeur des actifs naturels, en grande partie par le fait que l'évaluation des actifs naturels n'en est qu'à ses débuts. Statistique Canada en est un leader international, mais ses évaluations restent largement axées sur le capital naturel qui fournit des flux de biens et de services marchands : ressources du sous-sol, bois et terres agricoles.

Dans l'une des rares études axées sur les coûts des pluies acides au Canada, Crocker et Forster (1986) ont suggéré que la perte de la production commerciale de bois pourrait être de **197 millions de dollars par an et que 1,29 milliard de dollars supplémentaires pourraient être perdus chaque année en opportunités de loisirs et en valeur des habitats fauniques** (prix de 1981) en supposant une réduction de 5 % de la productivité forestière.

Plus récemment, Environnement Canada (2010) a signalé que des "centaines de millions de dollars" de bois sont perdus dans les forêts du Canada atlantique à cause des pluies acides et probablement beaucoup plus en Ontario et au Québec.

Phillips et Forster (1987) ont rapporté que l'impact total des pluies acides sur l'industrie acéricole québécoise pourrait s'élever à 89 millions de dollars (prix de 1986), bien que l'on ne sache pas clairement sur quelle période. La valeur de la production acéricole québécoise a augmenté plus ou moins régulièrement depuis 1985, et la productivité par entaille est restée essentiellement stable. La question de savoir si la production aurait augmenté davantage en l'absence de pluies

acides est une question à laquelle on ne pourrait répondre qu'au moyen de recherches plus approfondies.

Les écosystèmes ne sont actuellement pas évalués par Statistique Canada, bien qu'ils soient mesurés en termes quantitatifs dans une certaine mesure (Statistique Canada, 2013).

5.2. Dégradation du bâti et coûts des réfections

Les pluies acides et les particules en suspension dans l'air sont les principaux facteurs d'encrassement des bâtiments et d'usure prématuée des matériaux, qui entraînent tous deux une augmentation des coûts d'entretien des monuments, des bâtiments et des autres infrastructures. Les données disponibles pour le Canada suggèrent que leurs coûts peuvent être relativement faibles, bien que ces données ne concernent que le coût de l'encrassement des maisons et seulement de certains polluants. Les estimations pour la France et d'autres pays européens suggèrent des coûts beaucoup plus élevés, bien qu'elles soient basées sur des données qui sont souvent anciennes et méthodologiquement incohérentes.

À l'heure actuelle, on ne peut que dire que les coûts liés à la salissure des bâtiments et à l'usure prématuée due aux pluies acides et aux particules au Canada sont certainement importants.

La pollution de l'air, particulièrement la pollution particulaire, est responsable de détérioration des façades des bâtiments. Les dégradations sont tant esthétiques (encrassement, dépôts noirâtres) que physiques, du fait de l'érosion des matériaux et de leur sulfatation ou de leur carbonation. Comme l'indique l'association Airparif, la surface de tous les matériaux peut se couvrir de suies noires : la pierre, le ciment, le béton, la brique, la céramique ou encore le bois. Ces altérations concernent en particulier les monuments du patrimoine, plus fragiles et donc plus exposés aux conséquences néfastes des polluants. Afin de mesurer le rôle des différents polluants et du climat dans l'altération des matériaux du patrimoine, un projet européen a débuté en 2011 qui modélise les processus d'altération à partir d'échantillons. Il indique ainsi que les modifications physico-chimiques des propriétés de surface et de subsurface des matériaux et les dépôts de surface entraînent des transformations quasi irréversibles.

Les pluies acides accélèrent la corrosion de matériaux tels que le calcaire, le grès, le mortier et de nombreux métaux, ce qui pose des problèmes particuliers pour les bâtiments anciens, les sculptures extérieures et les monuments. Les pluies acides endommagent en partie la maçonnerie en dissolvant simplement le carbonate de calcium qui est le matériau principal de la plupart des pierres de construction. Elles provoquent également l'effritement de la pierre par un processus répété de dépôt et de dissolution de cristaux de nitrate, de chlorure et de sulfate dans les pores de la pierre. Les cristaux qui s'accumulent progressivement exercent une pression énorme sur la pierre, ce qui finit par l'émettre. Les pluies acides peuvent également emporter la couche verte protectrice des bâtiments aux toits de cuivre en sulfate et en carbonate de cuivre, la remplaçant par une croûte plus poreuse qui retient l'eau de pluie acide et aggrave encore la détérioration. Ainsi, les maisons et autres bâtiments, les routes, la peinture, les sculptures et autres structures

artificielles peuvent être endommagées esthétiquement et fonctionnellement par les pluies acides (Weaver, 1991).

Ainsi, il existe deux principaux types de coûts associés à l'impact de la pollution de l'air sur les bâtiments : un coût tangible, d'une part, lié à la rénovation périodique des façades du fait de leur encrassement et de leur érosion, et un coût intangible, d'autre part, lié à la dégradation esthétique des bâtiments, et en particulier des bâtiments patrimoniaux. En effet, les individus accordent une valeur économique significative au patrimoine culturel. Ce coût, difficile à mesurer, n'a fait l'objet que de peu d'études. Mais les quelques chiffrages réalisés indiquent qu'il est loin d'être négligeable.

Une étude menée en 2000 par l'Institut de recherche et de conseil Infras et l'Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) de l'Université de Karlsruhe a cherché à estimer le coût externe associé aux transports, pour les pays d'Europe occidentale. Dans ce cadre, elle a pris en compte les coûts représentés par la dégradation des bâtiments. Pour cela, elle s'est référée à une première étude, menée par l'Infras en 1992 sur le coût de la pollution de l'air due aux transports en Suisse. Actualisée en 2014, cette étude a estimé que le coût lié à la dégradation des bâtiments du fait de la pollution de l'air issue des transports à 362 millions de francs suisses par an. L'étude Infras/IWW a extrapolé ces résultats sur les autres pays européens, en prenant en compte les taux d'émissions, la taille du pays ou la population, et en a conclu qu'environ 18 % des coûts associés à la pollution de l'air due aux transports étaient liés aux dommages des bâtiments (contre 81 % pour les coûts sanitaires et 1 % du fait des pertes de rendement agricole). Pour la France, le coût global associé à la pollution de l'air due aux transports de 19 milliards d'euros par an, et donc un coût lié aux dommages des bâtiments d'environ 3,4 milliards d'euros en 2000 (Commission d'enquête, 2015). Des études plus anciennes en Europe fournissent un large éventail de valeurs qui sont difficiles à comparer en raison des différences de période, d'unités de mesure et de champ d'application des mesures (Tidblad et al., 2010).

Au Canada, il existe peu de données sur le coût des salissures et de l'usure prématurée dues à la pollution atmosphérique. La question a été abordée principalement dans plusieurs analyses coûts-avantages entreprises par le gouvernement fédéral ces dernières années à l'appui de l'élaboration de nouvelles réglementations environnementales. L'une de ces analyses (Règlement sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone provenant des centrales électriques au charbon, 2012) a examiné les avantages des règlements visant à réduire les émissions atmosphériques des centrales au charbon. Elle a révélé que les réglementations réduiraient le coût de l'encrassement des maisons (l'encrassement ou l'usure prématurée d'autres biens n'a pas été pris en compte) d'un total de 11,2 millions de dollars (prix de 2010) sur la période 2015-2035. Une analyse similaire a été réalisée pour les règlements relatifs aux émissions des véhicules routiers ont rapporté un gain de 19,8 millions de dollars (prix de 2013) de la réduction de l'encrassement des maisons (Regulations Amending the On-Road Vehicle and Engine Emission Regulations and Other Regulations Made Under the Canadian Environmental Protection Act, 1999, 2015).

Les coûts relativement élevés des salissures signalés par le Sénat français pour la France contrastent avec les coûts relativement faibles des salissures signalés dans les analyses coûts-avantages de la réglementation canadienne. Même si les analyses coûts-avantages ne reflètent pas le coût de toutes les salissures au Canada, il est difficile d'imaginer comment ce coût pourrait approcher le type de valeur indiqué pour la France. Bien sûr, la France et le Canada sont des pays différents, et on peut raisonnablement supposer que les coûts des salissures en France seraient plus élevés qu'au Canada, compte tenu de la population plus importante, de la plus petite superficie et de la plus grande proportion de bâtiments historiques en France par rapport au Canada. Là encore, même en tenant compte de ces différences, il semble y avoir un écart important entre les chiffres communiqués pour la France et ceux du Canada. On ne sait pas très bien laquelle de ces deux valeurs est la plus raisonnable. Il est difficile de comparer les chiffres canadiens avec les valeurs provenant d'autres études en raison des différences de période, d'unités de mesure et de champ d'application des mesures mentionnées ci-dessus. Pour l'instant, l'estimation du coût de l'enrassement et de l'usure prématurée des actifs produits par la pollution au Canada reste une question à approfondir.

5.3. Coûts intangibles

La pollution a un impact à la fois sur les actifs qui sont achetés et vendus sur le marché, tel que les maisons et les infrastructures, et sur les actifs qui ne sont pas évalués sur le marché, tel que les écosystèmes.

La pollution a un double impact sur les actifs. Premièrement, elle peut dégrader leur fonctionnement. Par exemple, une forêt affectée par les pluies acides reste une forêt, mais sa capacité à se régénérer diminue. Celle-ci a par conséquent une valeur moindre en tant que source de bois ou en tant que site récrétouristique. Les pluies acides peuvent également avoir un impact sur les biens produits, tels que les ponts et les bâtiments, en corrodant les matériaux dont ils sont faits. La corrosion réduit la durée de vie des structures comme il a été dit précédemment, mais elle diminue aussi sa valeur esthétique. Ce dernier point est difficilement quantifiable monétairement, mais est réel pour des monuments culturelle ou historique.

Aujourd'hui, les effets du changement climatique signifient que la pollution - plus précisément les émissions de gaz à effet de serre - menace l'existence d'un éventail beaucoup plus large d'actifs produits et naturels. Parmi les nombreuses conséquences du changement climatique, on peut citer l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes. Lorsque des biens produits et naturels tels que des maisons, des réseaux électriques, des routes et des forêts se trouvent sur le chemin de tels événements, ils peuvent être détruits. Bien qu'il soit difficile d'attribuer au changement climatique un seul événement climatique extrême, des progrès sont réalisés dans ce sens (National Academics of Sciences, Engineering and Medicine, 2016).

La difficulté d'estimation ne rend pas ces coûts moins réels, mais simplement plus difficiles à révéler.

5.4. Perte des activités récrétouristiques

Selon une estimation provisoire, le coût des seules possibilités de loisirs en eau douce perdues en 2015 à cause de la pollution s'élève à 56 millions de dollars. Les données disponibles ne permettent pas d'évaluer complètement les coûts de la pollution en termes de perte d'opportunités de loisirs au Canada. Les coûts totaux sont peut-être beaucoup plus élevés (IISD, 2015).

Talhelm et al. (1987) ont constaté que, sous des charges acides sévères simulées sur 50 ans, 5 % des lacs de la région de Muskoka en Ontario ne permettraient finalement pas la pêche, et la qualité de la pêche changerait de façon significative dans 20 % des cas. En conséquence, la quantité annuelle de pêche dans la région diminuerait de 1 % (6 000 jours de pêche). La valeur actuelle de cette perte cumulée sur 50 ans a été estimée à 6,6 millions de dollars (prix de 1981 ; environ 17 millions de dollars en prix de 2015).

5.5. Visibilité réduite

Le coût des pertes liées à la visibilité réduite par le smog au Canada en 2015 est estimé à 438 millions de dollars (IISD, 2017).



Figure 6: Présence de SMOG sur Montréal (extrait de DHNews Montreal, @pfistern)

Les concentrations de pollution atmosphérique ont un impact sur la visibilité dans les milieux résidentiels et récréatifs (figure 6). La réduction de la visibilité dans les zones résidentielles a un

impact sur la vie quotidienne des gens, tandis que la réduction de la visibilité dans les sites de loisirs a un impact sur la jouissance de leur temps libre. Les réductions de visibilité dans ces deux milieux ont des coûts différents, car la volonté des gens de payer pour éviter les réductions de visibilité dans les deux milieux est différente (US EPA, 2011).

Dans une étude sur les activités de transport au Canada, Sawyer et al. (2007) ont estimé à 165 millions de dollars par an (prix de 2000) la perte de bien-être direct due à la réduction de la visibilité due à la pollution atmosphérique causée par les transports.

Selon Environnement Canada (2014), la réduction de la visibilité est principalement associée aux particules et à l'ozone troposphérique. Le transport était responsable d'environ 9 % des particules totales en 2014 (Environnement et changement climatique Canada, 2017b). Le coût estimé de la perte de visibilité au Canada en 2015 due aux particules et à l'ozone troposphérique serait de 219 millions de dollars.

5.6. Perte de richesse

Les impacts sur la richesse sont les moins bien compris des coûts de la pollution. Nous ne savons tout simplement pas combien la pollution nous coûte en termes de perte de richesse (bien que quelques exemples soient présentés ci-dessous). Il est probable qu'il existe des milliards de dollars d'actifs menacés et fortement touchés par la pollution.

5.7. Dégradation des écosystèmes et perte de la biodiversité

La pollution de l'air affecte les végétaux et les écosystèmes. En effet, les interactions entre les milieux et le dépôt de polluants atmosphériques, notamment par les pluies, conduisent à des phénomènes d'acidification ou d'eutrophisation des espaces naturels. L'Ineris a ainsi mis en avant ce phénomène « d'eutrophisation » lié notamment à l'excès de dépôt d'azote. La concentration de certains polluants de l'air affecte également la capacité de stockage du CO₂ des végétaux. Ainsi, l'Ineris a estimé en 2000 que les niveaux d'ozone réduisaient la capacité des arbres à stocker le CO₂ de 14 % (EEA, 2014). Toutefois, les connaissances demeurent encore limitées, en particulier s'agissant des relations entre pollution de l'air et état de la biodiversité, et les études conduites sur le coût économique de la pollution de l'air n'ont pas permis de quantifier et monétariser ces différents impacts.

En dépit de recherches considérables sur leurs impacts écologiques, peu de recherches ont été menées sur les coûts économiques des pluies acides. Les quelques estimations qui ont été faites de ces coûts sont basées sur des données et des méthodes qui sont dépassées et/ou peu concluantes. Aucune estimation n'est donc possible ici. Dans quelques cas seulement, le lien entre les pluies acides et la qualité des écosystèmes est suffisamment bien compris pour que l'on puisse

évaluer les impacts. Les quelques études qui ont été réalisées sont pour la plupart anciennes (datant des années 1980 et 1990), portent sur une gamme limitée de coûts (principalement les impacts de la pêche récréative), sont de qualité incertaine dans certains cas et sont principalement axées sur l'étranger. Les effets de l'acidification qui n'ont pas été quantifiés comprennent la perte de la valeur esthétique des forêts, les effets sur les loisirs en forêt, la réduction des valeurs pour les non-utilisateurs et la réduction de la biodiversité (Seip & Menz, 2002 ; Chestnut & Mills, 2005).

6. Les émissions de NOx au Québec et la contribution excédentaire non déclarée de Volkswagen

Ce chapitre estime le coût environnemental et sanitaire des émissions excédentaires de NOx non déclarées émises par VW entre 2009 et 2015.

Il est composé de :

- La méthodologie générale de l'estimation du coût (figure 7)
- L'estimation des émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW
- L'estimation du coût de la pollution atmosphérique lié au transport au Québec
- L'estimation du coût environnemental et sanitaire des émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW

6.1. Méthodologie

La méthodologie pour estimer les émissions de NOx excédentaires émis par les véhicules VW durant la période 2009 - 2015 est basée sur les données d'études scientifiques et des données gouvernementales.

La méthodologie générale pour obtenir le coût final des émissions excédentaire se base sur 5 étapes, numérotés sur la figure 7, qui sont :

- 1- Les émissions totales de NOx lié aux transports au Québec de 2009 à 2015
- 2- Les émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW au Québec entre 2009 et 2015
- 3- Une estimation de la contribution des émissions excédentaires non déclarée du groupe VW par rapport aux émissions totales
- 4- Une estimation des coûts environnementaux et sanitaire de la pollution atmosphérique lié au transport au Québec.
- 5- Et finalement le coût environnemental et sanitaire des émissions excédentaires non déclarée du groupe VW au Québec sur la période du 1^{er} janvier 2009 au 21 septembre 2015

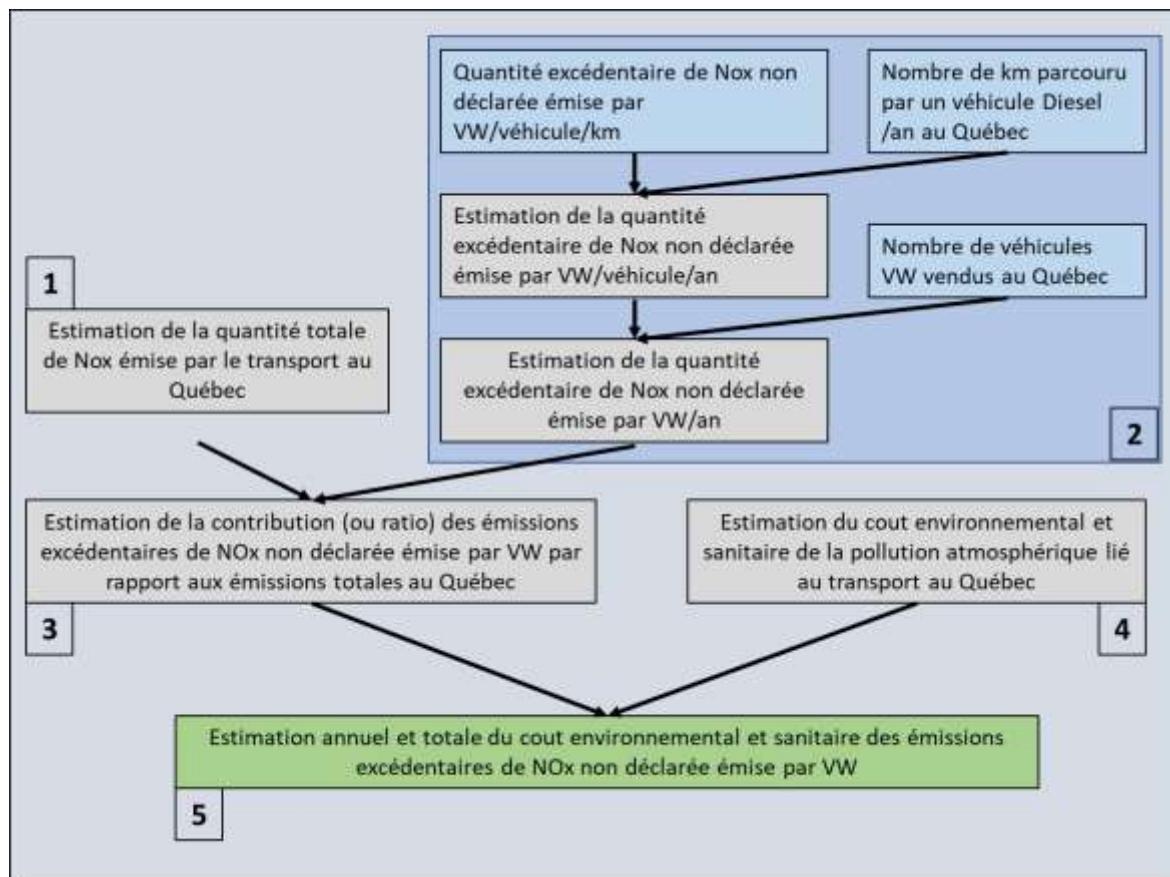


Figure 7. Méthodologie pour estimer le coût environnementale et sanitaire des émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW de 2009 à 2015.

6.2. Estimation de NOx totale au Québec par année de 2009 à 2015

Le calcul des émissions de NOX lié au transport au Québec se base sur les données suivantes

- Émissions de NOx par an en kg/hab (Conference board, 2014, Environment and Climate Change Canada, *Air Pollutant Emission Inventory*; Organisation for Economic Co-operation and Development, *OECD.Stat*; provincial and Canadian population data are from CANSIM table 051-0001, *Estimates of Population, by Age Group and Sex for July 1, Canada, Provinces, and Territories*.)
- Population annuelle (Institut de la statistique Québec, 2019)
- % de NOx liée au transport au Québec: 76% (MDDEP, 2011)

Les émissions totales de NOx sont calculées en multipliant les émissions de NOx (en kg/habitant) par la population. Cette quantité annuelle totale est ensuite pondérée par le pourcentage

d'émissions de NOx lié aux transports soit 76%. Les résultats des émissions de NOx annuelles liées au transport au Québec sont présentés au tableau 2.

Tableau 2. Émissions annuelles de NOx au Québec lié aux transports

Année	NOx Émissions (kg/habitant)	Populations	NOx Émissions totale (kg)	Émissions transport (Tonnes)
2009	33,86	7 843 383	265 576 948	201 838
2010	32,96	7 929 222	261 347 157	198 623
2011	30,77	8 005 090	246 316 619	187 200
2012	30,29	8 061 101	244 170 749	185 569
2013	28,74	8 110 880	233 106 691	177 161
2014	27,61	8 150 183	225 026 553	171 020
2015	27,61	8 175 272	225 71 9260	171 546

Il a donc été possible d'établir une quantité annuelle de NOx émise par le transport de 2009 à 2015 au Québec entre 171 546 et 201 838 tonnes par an.

Ces valeurs serviront à établir la contribution annuelle des émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW au Québec.

6.3. Estimation des émissions excédentaires de NOx non déclarées par le groupe VW

Les émissions excédentaires des véhicules non conformes sont estimées à partir des données suivantes :

- Nombre de véhicules VW non conformes vendus sur la période 2009/2015 (p11. Appendice B, court de l'Ontario). Au nombre total de 32 150 véhicules ont été ajoutés les véhicules Porsche et les véhicules non attribués aux Provinces. Pour ces véhicules supplémentaires, il a été appliqué la pondération de 25.4% correspondant au ratio de la province de Québec. Ainsi le nombre total de véhicules vendus par VW durant la période 2009-2015 est de 33 096.
- Taux de retrait des véhicules. Ce taux est appliqué sur les véhicules vendus pour considérer qu'une partie des véhicules en circulation sont retirés à la suite d'un dysfonctionnement, un accident ou toutes autres actions pouvant retirer le

véhicule de la circulation. Ce taux de retrait est appliqué dans les études américaines mais sa valeur n'est pas citée dans leur étude.

Ce taux de retrait a donc été estimé dans le cadre de cette étude à partir de plusieurs hypothèses :

- La durée de vie moyenne d'un véhicule au Québec est de 7.2 ans (Desjardins, 2014) soit approximativement la durée de l'étude. On peut donc supposer un taux de retrait faible durant la période de 2009 à 2015.
- La durée de vie d'un véhicule au Québec suit une distribution normale centrée sur la moyenne de 7,2 ans.

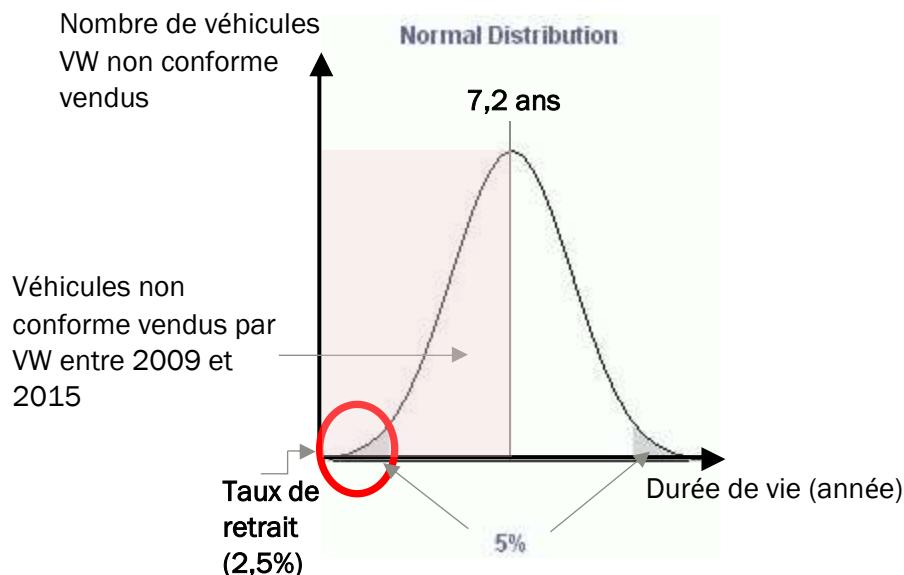


Figure 8. Représentation schématique du taux de retrait attribué aux véhicules VW vendus au Québec entre 2009 et 2015.

Les véhicules ayant une durée de vie supérieure ne sont pas d'intérêt ici car ils sont d'une durée supérieure à celle de l'étude. Il est donc important de se focaliser sur le début de la courbe (figure 8) qui symbolise le nombre de véhicules avec une durée de vie très faible et donc un impact peu ou pas significatif. Il est convenu d'utiliser généralement un intervalle de confiance de 95% pour avoir une estimation exacte d'un échantillon. Ainsi ce 5% d'erreur est distribué de manière égale entre une estimation inférieure et supérieure de la distribution. Comme nous ne nous intéressons qu'à la partie inférieure de la distribution, la proportion est donc de 5% divisée par 2 soit 2,5%. Ainsi nous retirerons dans la suite de l'estimation 2,5% des véhicules totaux comme taux de retrait.

- On suppose également que la vente de véhicule est constante annuellement durant la période à l'étude. On considère ainsi un nombre de véhicules vendus

sur la 1^{ere} année de 4 610 atteignant 32 269 véhicules en circulation pour 2015 une fois que le taux de retrait est appliqué.

- Nombre de km parcouru par an : le nombre de kilomètres parcourus annuellement en moyenne au Québec par un véhicule diesel n'est pas facilement accessible. La plupart des données disponibles estiment une valeur pour l'ensemble des véhicules légers. Cependant l'achat d'un véhicule diesel est préconisé par les acheteurs pour faire plus de kilomètres qu'avec un véhicule essence. Pour les véhicules essence le nombre de km annuel varie selon les études de 14 536 km à 18 000km (Marcon, 2010; Statistique Canada, 2009; CAA, 2013).

Pour les véhicules diesel, le nombre de km parcouru est souvent plus grand et varie selon les sources de 25 000 à 30 000 km.

- 25 000km pour l'organisme UFC-Quechoisir
- 25 000km jusqu'à 30 000km pour l'organisme Paruvendu
- 25 000km pour McKenna (2018)

Une hypothèse raisonnable de 25 000 km est ainsi utilisée ici. On considère ce kilométrage constant chaque année.

- Émissions de NOx excédentaires par voiture, (Thompson et al, 2014) : 861.4 mg /km

Dans son étude Thompson et al., (2014) a estimé une quantité moyenne de NOx émise par voiture non conforme de 904.9 mg/km.

Cette valeur dépasse les normes de 861.40 mg/km sur la période 2009 à 2015 (USEPA, 1996, 2010, 2012, 2018). Cette donnée a notamment été utilisée par Oldenkamp et al., 2016 dans leur étude pour évaluer le coût des dommages humain des émissions excédentaires non déclarées de VW à l'échelle mondiale et par Chossière et al., 2017 (Chu, 2017) sur leur étude en Europe de l'impact sur la santé humaine des émissions excédentaires de NOx par le groupe VW

Les émissions excédentaires sont donc calculées dans le tableau 3 en multipliant pour chaque année, le nombre de véhicules vendus, le nombre de km parcourus et les émissions excédentaires non déclarées par VW.

Rapport final

Tableau 3. Synthèse des données et estimations pour calculer les émissions excédentaires annuelles non déclarées par VW

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Nombre de km moyen parcouru au Québec	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000
Nombre de vw vendus au Québec /an	4 610	9 220	13 829	18 439	23 049	27 659	32 269
Émissions de NOx excédentaires non déclarées par voiture (mg/km)	861	861	861	861	861	861	861
Émissions de NOx excédentaires non déclarées par voiture /an (kg)	215	215	215	215	215	215	215
Émissions de NOx excédentaires non déclarée par VW au Québec (tonnes)/an	99	199	298	397	496	596	695

Le calcul des émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW permet d'estimer la proportion de celle-ci par rapport aux émissions totales estimées précédemment. Ce ratio présenté dans le tableau 4, permet ainsi de déterminer la contribution annuelle et totale de VW sur les émissions de NOx.

Tableau 4. Contribution des émissions excédentaires annuelle non déclarée par VW par rapport aux émissions de NOx totale au Québec

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Émissions totales de NOx liée au transport au Québec	201 838	198 624	187 201	185 570	177 161	171 020	171 547
Émissions de NOx excédentaires non déclarée par VW au Québec (tonnes)/an	99	199	298	397	496	596	695
Contribution annuelle des émissions excédentaires de NOx par VW par rapport aux émissions totales	0,05	0,10	0,16	0,21	0,28	0,35	0,41

On s'aperçoit que les émissions excédentaires des véhicules VW représentent entre 0,05% et 0,41% des émissions de NOx annuelles totales. Ce chiffre augmente constamment sur la période à l'étude car le nombre de véhicules non conforme en circulation augmentent également.

Plusieurs études ont documenté aux USA la pollution émise par VW durant la période à l'étude.

Barrett et al., (2015) estime à ~36,7 millions de kg les émissions excédentaires de NOx non déclarées entre 2008 et 2015 aux États-Unis. Les émissions excédentaires de NOx non déclarées calculées en 2015 sont alors équivalentes à ~1% des émissions totales des véhicules utilitaires légers.

Holland et al., (2016) estime à ~45.1 millions de kg les émissions excédentaires de NOx non déclarées entre 2009 et 2015 aux États-Unis. Oldenkamp et al., (2016) estime quant à eux une estimation excédentaire de NOx aux USA de ~33.8 millions de kg.

Les résultats de la présente étude sont ici bien inférieurs aux émissions émises aux USA, ce qui est tout à fait normal en comparaison du nombre de véhicules vendus et de la différence de population.

Le ratio estimé dans cette étude est également inférieur à celui calculé pour les USA par Barrett et al., (2015) entre les émissions excédentaires et les émissions de NOx totales qui est de 1%. Dans notre étude le ratio est de 2 à 20 fois plus petit car faute de données au Québec il est estimé par rapport au secteur des transports globaux et non pas seulement au transport des véhicules légers.

6.4. Coût de la pollution au Québec

Le coût de la pollution atmosphérique sur l'environnement et la santé au Québec est basé sur :

- Coût de la pollution au Canada (revue de littérature présentée dans ce rapport)
- Pondération des coûts totaux de la pollution atmosphérique au Québec à l'aide de :
 - *% des terres agricoles au Québec : 5% (<https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/>)
 - ** Produit intérieur brut réel de l'industrie forestière québécoise au Canada : 28% (<https://www.rnccan.gc.ca/>)
 - ***% de la population québécoise au Canada : 24% (Institut de la statistique du Québec, 2020)
- Pondération des coûts de pollution atmosphérique au Québec lié au transport : 62%, % du secteur des transports comme source de polluants atmosphériques (MDDEP, 2011).

En fonction des études citées précédemment, il est possible de déterminer un coût de la pollution au Canada et par conséquent d'élaborer un estimé québécois en fonction de la proportion du Québec sur les différents secteurs d'activités. L'ensemble des coûts cités dans le tableau 5 ont été actualisé en dollars de 2015.

Tableau 5. Estimation des coûts annuels de la pollution atmosphérique liée aux transports au Québec

Impacts	Coût de la pollution au canada (en millions de \$)	Coût de la pollution au Québec (en millions de \$)	Coût de la pollution dû au transport (en millions de \$)
Rendements agricoles*	96	5	3
Production forestière**	499	110	68

Pertes des activités +Écosystèmes***	3 265	784	486
Production acéricole		89	55
Bâti***	20	5	3
Visibilité ***	438	105	65
Sanitaire	114 000	28 000	17 360
Total	118 407	29 097	18 040

*% des terres agricoles au Québec : 5% ; ** Produit intérieur brut réel de l'industrie forestière québécoise au Canada : 28% ; ***% de la population québécoise au Canada : 24%

Afin d'estimer le coût au Québec, le coût de la pollution au Canada, doit être remis en perspectives en fonction des proportions de terres agricoles, de la production forestière et de sa population. Il est ainsi possible d'estimer un coût environnemental de la pollution atmosphérique lié aux transports routiers minimum de 680 millions de dollars /an au Québec. Si on ajoute à ces coûts environnementaux, l'ensemble des coûts sanitaires, il est possible d'estimer un coût de la pollution atmosphérique de 18 040 Millions de dollars par an au Québec.

Il apparaît ici que les coûts sanitaires représentent environ 96% des coûts totaux.

Les impacts de la pollution atmosphérique et les coûts associés sur la santé sont bien documentés et régulièrement mis à jour par les divers organismes de santé nationaux et internationaux.

Les coûts environnementaux sont quant à eux sous-estimés. Le coût environnemental estimé dans le cadre de la présente étude est à minima et est certainement très en deçà de la réalité. L'évaluation des coûts environnementaux est peu ou pas documentée et beaucoup des dommages associés aux pertes de biodiversité ou dommages aux écosystèmes sont difficilement quantifiables d'un point de vue monétaire même s'ils existent réellement.

6.5. Estimation des coûts liés à l'émission excédentaire de NOx non déclarée par VW

Les NOx sont un indicateur de la pollution atmosphérique. Si celui -ci est systématiquement mesuré, il entraîne avec lui tout un cocktail de polluant. Ainsi l'augmentation des concentrations de NOx entraîne une augmentation des autres polluants participant donc à l'augmentation de la pollution atmosphérique totale. Il a été démontré que les émissions de NOx et de particules sont positivement corrélées à la sortie d'un pot d'échappement de véhicules diesel (Zervas et Bikas, 2008), c'est-à-dire que plus les émissions de NOx sont importantes, plus les émissions de particules fines le sont aussi.

Aussi il a été démontré que les émissions de NOx, CO₂, CO et HC pour les véhicules diesel ont des comportements d'émissions similaires (Sungwoon et al., 2011). Ainsi lorsque qu'un véhicule diesel circule à faible allure, il va émettre plus de NOx mais également plus de CO₂, CO et HC. Les

émissions augmentent d'autant plus que les véhicules sont lourds. Ceci explique également pourquoi les journées d'embouteillage sont également les plus polluantes.

Il a aussi démontré par Jonson et al., (2017) que des émissions excédentaires de NOx par des véhicules légers diesel entraînent une augmentation des niveaux de NO₂, de PM 2,5 et d'ozone troposphérique.

Les NOx servent ainsi d'étalon pour mesurer la pollution atmosphérique liée au transport routier. Ceux-ci sont plus facilement détectables et identifiables et sont un bon indicateur du niveau de pollution atmosphérique. En effet, plus les concentrations en NOx sont importantes plus les concentrations en autres polluants augmentent également. Une émission excédentaire de NOx entraîne donc une augmentation de la pollution atmosphérique globale.

Pour mesurer ici le coût des émissions excédentaires non déclarées de VW, le ratio annuel déterminé ci-dessus entre les émissions excédentaires et les émissions totales a été appliqué sur le coût total de la pollution atmosphérique lié aux transports. Les coûts associés aux émissions excédentaires non déclarées par VW sont donc présentés dans le tableau 6. Ces coûts représentent les coûts.

Pour l'année 2015, le mandat s'arrête au 21 septembre inclusivement soit 72% de l'année. Ce pourcentage a donc été appliqué sur le montant total de l'année 2015 afin d'avoir un estimé correspondant au mandat.

Tableau 6. Estimation du coût annuel et total des émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW (de 2009 à 2015)

Années	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Coût annuel de la pollution au Québec (Millions de dollars)	18 040	18 040	18 040	18 040	18 040	18 040	18 040
Coût annuel de la pollution environnementale (2009/2015) au Québec des émissions excédentaires (Millions de dollars)	9	18	29	39	51	62	53*
Coût total de la pollution environnementale (2009/2015) au Québec des émissions excédentaires (Millions de dollars)				261			

*Montant estimé jusqu'au 21 septembre 2015 inclusivement

L'ensemble des coûts annuels a ensuite été additionné sur la période à l'étude pour établir un coût total environnemental et sanitaire au Québec de 261 millions de dollars canadiens pour les émissions excédentaires non déclarées de VW au Québec.

7. Limitations et Incertitudes

Les coûts estimés de 261 Millions de dollars canadiens dans la présente étude sont *a minima* pour plusieurs raisons :

- Les apports transfrontaliers des polluants n'ont pas été pris en compte car nous n'avons pas eu les données de VW concernant le nombre de véhicules vendus par États aux USA. Il est donc impossible d'estimer correctement cette valeur pour l'intégrer dans nos calculs.
- Les coûts des émissions de NOx sur les augmentations de GES sont difficilement estimables. L'impact des NOx existe et a un coût mais il est très peu documenté à l'inverse de l'impact des changements climatiques. Les évaluations monétaires des impacts des changements climatiques sont basées sur plusieurs scénarios à des horizons à long terme de 2050 à 2100. Il existe ainsi trop d'incertitudes sur les modèles pour estimer un coût crédible à inclure dans nos calculs (Nations Unies, 1988, 1992, 2013; Gouvernement du Canada, 2011, 2020; Stern et al., 2006).
- Malgré un examen approfondi des études scientifiques et économiques pertinentes, il reste de nombreuses lacunes qui empêchent une estimation complète du coût de la pollution au Québec tel que mentionné dans le rapport.
- Les estimations des coûts sur le Bâti sont très certainement sous-estimées au Québec et nécessiteraient d'être investigués et actualisés.
- Les estimations des coûts liés aux pertes de richesses ne sont pas prises en compte par manque de données.
- Si plusieurs travaux ont mesuré le coût sanitaire de la pollution de l'air au Canada, très peu d'études ont en revanche cherché à quantifier les coûts non sanitaires de celle-ci, en raison principalement du manque de données scientifiques disponibles permettant de mesurer la part de dommages non sanitaires imputables à la pollution. Ainsi, les conséquences de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes ou sur la biodiversité ne sont pour l'instant que peu étudiées. Il en est de même des connaissances scientifiques relatives aux pertes de rendements agricoles provoquées par la pollution atmosphérique, qui restent limitées à un nombre de cultures et de polluants restreint.

L'ensemble de ces limitations et incertitudes tendent donc à sous-estimer le montant des coûts des émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW.

Conclusions

Le présent rapport a pour objectif de déterminer les coûts environnementaux et sanitaires des émissions excédentaires de NOx non déclarées du groupe VW au Québec dans la période du 1^{er} janvier 2009 au 21 septembre 2015.

Pour ce faire, il a été indispensable de faire une importante revue de la littérature pour déterminer les impacts environnementaux et les coûts associés de la pollution atmosphérique. Cette revue de littérature a mis en évidence de nombreuses lacunes dans l'estimation des coûts environnementaux qui tend à sous-estimer de manières importantes ces coûts. Hormis ces lacunes, ces coûts ont été estimés sur l'ensemble de la période à l'étude à 680 millions de dollars canadiens/an.

Les coûts sanitaires sont quant à eux beaucoup mieux documentés et connus. Ils ont l'avantage d'être mis régulièrement à jour. Ces coûts représentent dans ce contexte plus de 96% des coûts totaux liés à la pollution atmosphérique. Ces derniers ont été évalués par Santé Canada à 3800 décès et à 28 milliards de dollars canadiens/an par l'expert Francois Reeves dans le 1^{er} rapport de cette affaire.

Les émissions excédentaires des 32 269 véhicules de VW vendus entre 2009 et 2015 équivalents donc à la mise en circulation de 665 153 véhicules diesel respectant les normes au Québec durant la période à l'étude. Ce chiffre met l'emphase sur l'aspect significatif de ces émissions et de leurs impacts. Les émissions excédentaires dépassant de plus de 20 fois les émissions permises.

Les émissions excédentaires de NOx non déclarées du groupe VW représentent entre 0.05% et 0.41% des émissions totales de NOx au Québec. Cela est en deçà des proportions observées en Amérique du Nord par Barrett et al., 2015 dans son étude scientifique américaine.

Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour combler les lacunes dans notre compréhension du coût des pollutions. Les sommes en jeu sont trop importantes et les répercussions sur la vie des Québécois trop fortes pour être laissées non déterminé. C'est pourquoi dans la présente étude, des choix et hypothèses conservatrices ont été privilégiés afin d'obtenir une valeur plancher fiable et réaliste.

Ainsi il a été possible d'établir les coûts des émissions excédentaires de NOx non déclarées par VW au Québec à 261 millions de dollars canadiens pour la période du 1^{er} janvier 2009 au 21 septembre 2015 sous réserve de ces coûts supplémentaires qui n'ont pas été calculés.



Sébastien
RAYMOND

Références

Adams, R. M., Hamilton, S. A., & McCarl, B. A. (1986). The benefits of pollution control: The case of ozone and U.S. agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*, 68(4), 886–893.

Adams, R. M., Glycer, J. D., Johnson, S. L., & McCarl, B. A. (1989). A reassessment of the economic effects of ozone on U.S. agriculture. *JAPCA*, 39(7), 960–968. Retrieved from www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/08940630.1989.10466583

AEA Technology, Cafe Cost-Benefit-Analysis « Baseline analysis 2000 to 2020, avril 2015.

Argus: <https://www.largus.fr/actualite-automobile/kilometrage-annuel-moyen-les-francais-roulent-de-moins-en-moins-6585392-8101037-photos.html>

Audet Isabelle, 2011. Statut des précipitations acides au Québec et mesure d'échantillonnage dans un contexte de changements climatiques. Centre universitaire de formation en environnement. Université de Sherbrooke.

Barrett, S.; Speth, R.; Eastham, S.; Dedoussi, I.; Ashok, A.; Malina, R.; Keith, D. Impact of the Volkswagen emissions control defeat device on US public Health. *Environ. Res. Lett.* 2015, 10. https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/99727/Barrett_Impact%20of%20the.pdf.

CAA-Québec. 2013. Coûts d'utilisation d'une automobile. Au-delà de l'étiquette de prix : Comprendre les dépenses liées au véhicule.

Castell Jean-François et Lebard Stéphanie, 2003. « Impacts potentiels de la pollution par l'ozone sur le rendement du blé en Ile-de-France : analyse de la variabilité spatio-temporelle », Pollution atmosphérique n° 179.

Chestnut, L. G., & Mills, D. M. (2005). A fresh look at the benefits and costs of the US acid rain program. *Journal of Environmental Management*, 77(3), 252–266.

Conference board, 2014. https://www.conferenceboard.ca/hcp/provincial/environment_t/nox.aspx

Chossière G P, Malina R, Ashok A, Dedoussi I C, Eastham S D, Speth R L and Barrett S R H 2017 Public health impacts of excess NO_x emissions from Volkswagen diesel passenger vehicles in Germany *Environ. Res. Lett.* 12 034014 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa5987/pdf>.

Chu Jennifer, 2017. Study : Volkswagen's excess emissions will lead to 1,200 premature deaths in Europe. MIT News Office.

Commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air. 2015. Tome I : Rapport

Crocker, T. D., & Forster, B. A. (1986). Atmospheric deposition and forest decline. *Water, Air, and Soil Pollution*, 31(3-4), 1007–1017.

Desjardins, Études économiques. 2014. Perspectives www.desjardins.com/economie.Desjardins.com/ressources/pdf/per0414f.pdf

Dupont, J. (2004). *La problématique des lacs acides au Québec*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, 18 p.

EEA Technical report n° 11/2014, Effects of air pollution on European ecosystems Past and future exposure of European freshwater and terrestrial habitats to acidifying and eutrophying air pollutants.

Environnement Canada (2005). Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada. Environnement Canada, 440 p.

Environnement Canada (2010e). Pluie acide. In Environnement Canada, Pollution de l'eau, Site web d'Environnement Canada, [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=FDF30C16-1>

Environment Canada. (2013b). Acid rain FAQs. Government of Canada. <https://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=7E5E9F00-1#wsB0D5BB20>

Environment Canada. (2014). Smog. Government of Canada. Retrieved from <https://ec.gc.ca/Air/default.asp?lang=En&n=13D0EDAA-1>

Environment and Climate Change Canada, *Air Pollutant Emission Inventory*; 2014

Environment and Climate Change Canada. (2017a). *Air pollutant emission inventory*. Government of Canada. Retrieved from <http://www.ec.gc.ca/pollution/default.asp?lang=En&n=E96450C4-1>

Environment and Climate Change Canada. (2017b). *Air Pollutant Emission Inventory Report, 1990–2014*. Cat. No.: En81-26E-PDF. Government of Canada. Retrieved from <http://www.ec.gc.ca/pollution/default.asp?lang=En&n=A17452DA-1>

Ferguson, H. L. and Jeffries, D. S. (2011). Pluie acide. In l'Encyclopédie canadienne, Environnement, Site web de l'Encyclopédie canadienne, [En ligne].
<http://www.thecanadianencyclopedia.com/index.cfm?PgNm=TCE&Params=f1ARTf0000025>

Gouvernement du Canada, Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, *Le prix à payer : les répercussions économiques du changement climatique pour le Canada*, 2011,
<http://nrt-trn.ca/wp-content/uploads/2011/09/prix-a-payer.pdf>.

Gouvernement du Canada, Règlement sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone provenant des centrales électriques au charbon, 2012)

Gouvernement du Canada, Regulations Amending the On-Road Vehicle and Engine Emission Regulations and Other Regulations Made Under the Canadian Environmental Protection Act, 1999, 2015

Gouvernement du Canada, Document sur les conséquences des changements climatiques sur la santé, l'environnement et l'économie : Faits sur les changements climatiques. 2016

Gouvernement du Canada, Document sur les conséquences des changements climatiques sur la santé, l'environnement et l'économie : Effets des changements climatiques sur la santé. 2017

Gouvernement du Canada, Document sur les conséquences des changements climatiques sur la santé, l'environnement et l'économie : Pluies acides : Causes et effets. 2018

Gouvernements du Canada et des États-Unis, Accord entre le Canada et les États-Unis sur la qualité de l'air : annexe sur l'ozone. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmospherique/publications/accord-canada-etats-unis-qualite-annexe-ozone.html>

Grennfelt, P., Englerdyd, A., Forsius, M. et al. Acid rain and air pollution: 50 years of progress in environmental science and policy. *Ambio* **49**, 849–864 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01244-4>

Hadley, K. R., Paterson, A. M., Reid, R. A., Rusak, J. A., Somers, K. M., Ingram, R., & Smol, J. P. (2015). Altered pH and reduced calcium levels drive near extirpation of native crayfish, cambarus bartonii, in Algonquin Park, Ontario, Canada. *Freshwater Science*, **34**(3), 918-932.

Hendershot, W. H. and Jones, A. R. C. (1989). Maple Decline in Quebec: A Discussion of Possible Causes and the Use of Fertilizers to Limit Damage. *The Forestry Chronicle*, août 1989, p.280-287.

Holland S P, Mansur E, Muller N and Yates A 2015 Damages and expected deaths due to excess NOx emissions from 2009–2015 Volkswagen diesel vehicles *Environ. Sci. Technol.*, **50**, 1111–1117

Holt, Rinehart and Winston (s.d). ST9 Acid Rain. In Social Studies, Site web de Holt, Rinehart and Winston, [En ligne].

http://go.hrw.com/hrw.nd/gohrw_rls1/pKeywordResults?keyword=st9%20acid%20rain

Institut national de santé publique du Québec (inspq), 2007. *Estimation des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique au Québec essai d'utilisation du Air Quality Benefits Assessment Tool (AQBAT)*, https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/817_ImpactsSanitairesPollutionAtmos.pdf.

Institut de la Statistique Québec, 2019. https://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/structure/qc_1971-20xx.htm, tiré de statistique Canada Estimations de la population (septembre 2020).

Institut de la Statistique Québec, 2020. <https://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/structure/102.htm>, tiré de Statistique Canada, Recensements du Canada (1851 à 1971) et Estimations démographiques (1971 à 2020 : septembre 2020)

International cooperative programme on effects of air pollution on natural vegetation and crops, « Ozone pollution: a hidden threat to food security », septembre 2011.

International Institute for Sustainable Development. (2017) Cost of Pollution in Canada Measuring the impacts on families, businesses, and governments. Published by the International Institute for Sustainable Development ISBN 978-1-894784-76-4

INFRAS et IWW, « External costs of transport – Accident, environmental and congestion costs in Western Europe », mars 2000

INFRAS, « Effets externes des transports 2010 – Monétarisation des effets sur l'environnement, les accidents et la santé », juin 2014.

Jeziorski, A., & Smol, J. P. (2016). The ecological impacts of lakewater calcium decline on softwater boreal ecosystems. *Environmental Reviews*, doi:10.1139/er-2016-0054

Jonson J E, Borken-Kleefeld J, Simpson D, Nyíri A, Posch M and Heyes C. 2017. Impact of excess NOx emissions from diesel cars on air quality, public health and eutrophication in Europe. *Environ. Res. Lett.* **12** 094017

Keller, W., Yan, N. D., Gunn, J. M., & Heneberry, J. (2007). Recovery of acidified lakes: Lessons from Sudbury, Ontario, Canada. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, **7**(1), 317-322. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/225665936_Recovery_of_Acidified_Lakes_Lessons_From_Sudbury_Ontario_Canada

Marcon (2010) pour l'agence de l'efficacité énergétique du Québec. Potentiels technicoéconomiques en matière de transport. Consulté en ligne: http://www.regieenergie.qc.ca/audiences/3709-09/repddraee_3709-09/b-47_aee18doc2_3709_04nov10.pdf

McKenna Alain, 2018. Le Guide de l'Auto. 2018, année où le diesel est officiellement mort. GuideAutoweb.com: <https://www.guideautoweb.com/articles/46052/2018-annee-ou-le-diesel-est-officiellement-mort/>

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs – MDDEP. (1997). *La qualité de l'air au Québec, de 1975 à 1994*. Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du milieu atmosphérique et Service de la qualité de l'atmosphère. Québec.

MDDEP (2010). Surveillance de la qualité des précipitations. In *Air, Site du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/climat/qualite-precipitation/index.htm#historique>

MDDEP, 2011. Inventaire des émissions des principaux contaminants atmosphériques au Québec en 2008 et évolution depuis 1990 Juin 2011

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2018. Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2016 et leur évolution depuis 1990, Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale de la réglementation carbone et des données d'émission, 40 p.

Murphy, J. J., Delucchi, M. A., McCubbin, D. R., & Kim, H. J. (1999). The cost of crop damage caused by ozone air pollution from motor vehicles. *Journal of Environmental Management*, 55(4), 273–289.

National Academies of Sciences, Engineering and medicine. (2016). *Attribution of extreme weather events in the context of climate change*. Washington, DC: The National Academies Press. DOI: 10.17226/21852

Nixon, A. and Curran, T. (1998). *Les pluies acides*. Division des sciences et de la technologie, Gouvernement du Canada, [En ligne]. <http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca/Collection-R/LoPBdP/CIR/7937-f.htm>

Ontario Court of Justice (Toronto Region), 2019. Agreed statement of facts.

Organisation for Economic Co-operation and Development, 2014. *OECD.Stat*; provincial and Canadian population data are from CANSIM table 051-0001, *Estimates of Population, by Age Group and Sex for July 1, Canada, Provinces, and Territories*

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2016). *The economic consequences of outdoor air pollution*. Paris: OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264257474-en>

Oldenkamp R, Van Zelm R and Huijbregts M A J 2016 Valuing the human health damage caused by the fraud of Volkswagen Environ. Pollut. 212 121–7

Olivier, M. (2009). *Chimie de l'environnement*. 6e édition, Lévis, Les productions Jacques Bernier, 370 p.

Paruvendu.fr : <https://www.paruvendu.fr/auto-moto/l/fixer-le-prix-de-vente-de-sa-voiture-d-occasion-i13312>

Phillips, T. P., & Forster, B. A. (1987). Economic impacts of acid rain on forest, aquatic, and agricultural ecosystems in Canada. *American Journal of Agricultural Economics*, 69(5), 963-969.

Reeves, F. (2020). Rapport d'expertise 1 : Impact de la pollution atmosphérique sur la santé des Québécois et des Canadiens.

Ressources Naturelles Canada <https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/forets-foresterie/industrie-commerce-forestiere/apercu-lindustrie-forestiere-canada/13312>

Rousseau J., 2010. 8e atelier de santé environnementale INSPQ (Présentation Orale).

Sawyer, D., Stiebert, S. & Welburn, C. (2007). *Evaluation of total cost of air pollution due to transportation in Canada, Final Report*. Marbek Resource Consultants Ltd. and RWDI Inc. Ottawa. Retrieved from http://publications.gc.ca/site/archivee/archived.html?url=http://publications.gc.ca/collections/collection_2008/tc/T22-148-2007E.pdf

Seip, H.M., & Menz, F. (2002). *Effects of acid deposition on natural ecosystems: A short summary*. Air Pollution as a Climate Forcing: A Workshop. Honolulu, Hawaii. Retrieved from https://www.giss.nasa.gov/meetings/pollution2002/d4_seip.html

Statistique Canada., 2009. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-402-x/2011000/chap/trans/trans-eng.htm>

Statistics Canada. (2013). *Human activity and the environment: Measuring ecosystem goods and services in Canada*. Catalogue No. 16-201-X. Ottawa: Statistics Canada. Retrieved from <http://www.statcan.gc.ca/pub/16-201-x/2013000/part-partie1-eng.htm>.

Statistics Canada. (2016f). *Table 002-0020 - Balance sheet of the agricultural sector, at December 31, and ratios, annual (dollars unless otherwise noted)*. CANSIM database. Retrieved from <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=eng&id=20020>

Statistics Canada. (2016g). *Table 153-0121 - Value of selected natural resource reserves, annual (dollars)*. CANSIM (database). Retrieved from <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=eng&id=1530121>

Statistique Canada. Tableau 32-10-0153-01 Superficie totale des terres et utilisation des terres agricoles, données chronologiques DOI : <https://doi.org/10.25318/3210015301-fra>

Stern et al., *Stern review: The Economics of Climate Change*, 2006,
https://www.brown.edu/Departments/Economics/Faculty/Matthew_Turner/ec1340/readings/Sternreview_full.pdf.

Sungwoon Jung, Meehye Lee, Jongchoon Kim, Youngsook Lyu & Junhong Park (2011) Speed-dependent emission of air pollutants from gasoline-powered passenger cars, *Environmental Technology*, 32:11, 1173-1181, DOI: [10.1080/09593330.2010.505611](https://doi.org/10.1080/09593330.2010.505611)

Talhelm Daniel R. Hanna J. Edward Victor Peter. 1987. Product Travel Cost Approach: Estimating Acid Rain Damage to Sportfishing in Ontario. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1987\)116<420:PTCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1987)116<420:PTCA>2.0.CO;2)

Thompson GJ, Carder DK, Besch MC, Thiruvengadam A and Kappanna HK. 2014a. In-use emissions testing of light-duty diesel vehicles in the United States Final Report Center for Alternative Fuels, Engines&Emissions, West Virginia University (www.theicct.org/sites/default/files/publications/WVU_LDDV_inuse_ICCT_Report_Final_may2014.pdf)

Tidblad, J., Faller, M., Grøntoft, T., Kreislova, K., Varotsos, C., de la Fuente, D., Yates, T. (2010). *Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution International Co-Operative Programme on Effects on Materials, Including Historic and Cultural Monuments*. Report No 65 Economic assessment of corrosion and soiling of materials including cultural heritage. Stockholm, Sweden: Swerea KIMAB AB. Retrieved from <http://www.corr-institute.se/icpmaterials/getfile.ashx?cid=302892&cc=3&refid=76>

Union fédérale des consommateurs- UFC-QueChoisir : <https://www.quechoisir.org/guide-d-achat-acheter-une-voiture-d-occasion-video-n8817/>

US EPA 1996 40 CFR Parts 50 National Ambient Air Quality Standards for Nitrogen Dioxide; Final Rule. Federal Register / Vol. 61, No. 196 / Tuesday, October 8, 1996 / Rules and Regulations.

US EPA 2010 40 CFR Parts 50 and 58 Primary National Ambient Air Quality Standards for Nitrogen Dioxide; Final Decision. Federal Register / Vol. 75, No. 26 / Tuesday, February 9, 2010 / Rules and Regulations.

US EPA 2011 The Benefits and Costs of the Clean Air Act: 1990 to 2020. Final report of US Environmental Protection Agency Office of Air and Radiation

US EPA (2011b). Acid Rain in New England – Causes of Acid Rain. *In United State Environmental Protection Agency, Site web de EPA New England,* <http://www.epa.gov/NE/eco/acidrain/causes.html>

US EPA 2012 40 CFR Parts 50 Secondary National Ambient Air Quality Standards for Oxides of Nitrogen and Sulfur; Final Rule. Federal Register / Vol. 77, No. 64 / Tuesday, April 3, 2012 / Rules and Regulations.

US EPA 2018 40 CFR Parts 50 Review of the primary National Ambient Air Quality Standards for Oxides of Nitrogen. Federal Register / Vol. 83, No. 75 / Wednesday, April 18, 2018 / Rules and Regulations.

Watt W.D. (1987). A summary of the impact of acid rain on Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Canada. *Water, Air, and Soil Pollution*, 35(1), 27-35.

Weaver, M. (1991). Acid rain and air pollution vs. the buildings and outdoor sculptures of Montréal. *APT Bulletin*. 23(4), 13–19. Retrieved from http://www.jstor.org/stable/1504363?seq=5#page_scan_tab_contents

Zervas E, Bikas, G., 2008. Impact of the Driving Cycle on the NOx and Particulate Matter Exhaust Emissions of Diesel Passenger Cars. *Energy Fuels* 2008, 22, 3, 1707–171. Publication Date:February 19, 2008 <https://doi.org/10.1021/ef700679m>

MODÈLE DE LA MINISTRE DE LA JUSTICE

Déclaration relative à l'exécution de la mission d'un expert (article 235 C.p.c.)

Je déclare que j'exécuterai ma mission en tant qu'expert avec objectivité, impartialité et rigueur. Afin d'éclairer le tribunal dans sa prise de décision, je donnerai un avis au meilleur de mes compétences sur les points qui me seront soumis en tenant compte des faits relatifs au litige.

J'informerais, sur demande, le tribunal et les parties de mes compétences professionnelles, du déroulement de mes travaux et, le cas échéant, des instructions que j'aurai reçues d'une partie. Je respecterai les délais qui me seront donnés et, au besoin, demanderai au tribunal les directives nécessaires pour accomplir ma mission.



Signature
Dr. Sébastien RAYMOND

Expert en évaluation des impacts environnementaux
et génie environnemental

Titre

Le 11 mars 2020

Date

MANDAT POUR SERVICES D'EXPERTS

Dossier : AQLPA c. Goupe Volkswagen et als., CSQ 200-06-000193-154, Action collective.

Cliente : L'Association québécoise de lutte contre la pollution atmosphérique (AQLPA).

Avocat responsable : M^e Dominique Neuman.

Experts : Monsieur François Reeves. Monsieur Sébastien Raymond.

1. CONTEXTE : DESCRIPTION DE L'ACTION COLLECTIVE

L'AQLPA (la demanderesse, « *représentante du Groupe* ») demande à la Cour supérieure de condamner les compagnies Volkswagen (les défenderesses) à verser, à titre de dommages punitifs une somme correspondant à 35\$ pour chacun des quelques 8 millions de personnes ayant résidé au Québec du 1^{er} janvier 2009 au 21 septembre 2015 (le « *Groupe* »).

Le motif allégué de cette demande est l'atteinte « *illicite* » et « *intentionnelle* », par Volkswagen, des droits (garantis par la Charte québécoise) des résidents du Québec « à l'intégrité de leur personne » et « de vivre dans un environnement sain dans la mesure et suivant les normes prévues par la loi ».

Selon l'action collective, la faute, reprochée par à Volkswagen consisterait à avoir produit, importé, mis en vente et location et mis en circulation des véhicules automobiles diesel émettant des oxydes d'azote (NO_x) au-delà des normes applicables (en empêchant la détection par un logiciel anti-détection). Les normes applicables sont les normes québécoises et fédérales canadiennes, lesquelles réfèrent aux normes américaines (qui se trouvent reproduites, avec leurs très longues justifications sanitaires, environnementales et économiques, à la pièce P-3).

Selon l'action collective, les conséquences alléguées de cette faute (les émissions excessives aux normes de NO_x) consisteraient à avoir contribué à quatre (4) types de pollution :

- i) les gaz à effet de serre,
- ii) les précipitations acides,
- iii) le smog et
- iv) la formation d'ozone troposphérique (ozone au sol).

Il est allégué par la demanderesse que chacune de ces 4 types de pollution a déjà des effets sur la santé humaine, sur l'environnement, sur les biens (infrastructures, bâtiments, etc.) et sur l'économie. Il est allégué que les émissions, excédant les normes de NO_x, des véhicules de Volkswagen auraient accru ces effets, selon la proportion que représentent ces émissions excédentaires par rapport à la pollution d'ensemble qui serait autrement déjà existante.

L'action collective ne vise pas tant à quantifier à des fins compensatoires qu'à qualifier (fournir un ordre de grandeur) de la gravité de l'atteinte à l'intégrité des personnes et à l'environnement sain causée par ces émissions atmosphériques excédentaires du Groupe Volkswagen entre le 1^{er} janvier 2009 et le 21 septembre 2015 pour les résidents de la province de Québec.

2. DESCRIPTION DES SUJETS À COUVRIR PAR LES RAPPORTS D'EXPERTISE

Les experts, bien qu'engagés par la demanderesse, doivent agir et se considérer comme étant neutres, indépendants, impartiaux et objectifs. Les experts sont au service du Tribunal, pas au service d'une partie.

Les experts doivent prendre connaissance de la demande (résumée ci-dessus) et des pièces déjà déposées à son soutien, portant sur les sujets couverts par leur expertise. Ils devront faire de même en prenant connaissance, lorsqu'elles seront disponibles, de la défense de Volkswagen et des pièces à son soutien, portant sur ces sujets couverts par leur expertise.

Dans le cadre de leurs rapports d'expertise, les experts auront à exprimer leurs propres opinions neutres, indépendantes, impartiales et objectives destinées à éclairer le Tribunal sur les sujets couverts, notamment en référant (et déposant, éventuellement) toutes sources que les experts jugeront opportunes aux fins de leur rapport (en spécifiant si ces sources sont publiquement accessibles ou non). Dans le cadre de leurs rapports d'expertise, les experts auront évidemment à exprimer leur accord ou leur désaccord (ou leur absence de prise de position) et apporter toutes les nuances appropriées aux allégations contenues aussi bien dans l'action collective de l'AQLPA que dans la défense de Volkswagen et dans les pièces déposées à leur soutien, portant sur les sujets couverts par leur expertise.

Une page dropbox pour usage interne a été créé où se trouvent déposés les documents de la cause (action collective, ses pièces, etc.) et où continueront d'être déposés les autres documents du dossier de la Cour et les autres documents notamment fournis par les experts. Tel qu'indiqué ci-dessus, les experts gardent évidemment toute liberté, en tant qu'experts, d'être en accord ou en désaccord avec toute étude scientifique qui aurait été déposée au dossier de la Cour depuis la demande d'autorisation initiale de 2015, pour les motifs que les experts choisiront d'indiquer.

Conformément à l'article 238 du *Code de procédure civile*, le rapport de tout expert doit être bref mais suffisamment détaillé et motivé pour que le tribunal soit lui-même en mesure d'apprécier les faits qu'il expose et le raisonnement qui en justifie les conclusions; il y est fait mention de la méthode d'analyse retenue.

Les sujets à couvrir par les expertises sont les suivants :

EXPERTISE DE MONSIEUR FRANÇOIS REEVES

Fournir à l'expert Sébastien Raymond, à titre d'intrant, un rapport indiquant quels sont les impacts physiologiques et épidémiologiques de la pollution atmosphérique issue des combustibles fossiles sur la santé humaine, avec données quantitatives et sources.

EXPERTISE DE MONSIEUR SÉBASTIEN RAYMOND

Fournir une évaluation économique de l'impact sanitaire, environnemental et des autres coûts sociétaux des émissions atmosphériques excédentaires non déclarées du Groupe Volkswagen entre le 1^{er} janvier 2009 et le 21 septembre 2015 pour les résidents de la province de Québec, avec données quantitatives et sources. Recevoir à cette fin à titre d'intrant, entre autres, le rapport de Monsieur François Reeves.