

Gestion des halocarbures au Québec

CRITIQUE DE LA VALORISATION DE LA DESTRUCTION
D'HALOCARBURES SUR LE MARCHÉ DU CARBONE AU QUÉBEC



Florian Pedroli
Normand Mousseau
Alain Girard

Gestion des halocarbures au Québec

CRITIQUE DE LA VALORISATION DE LA DESTRUCTION
D'HALOCARBURES SUR LE MARCHÉ DU CARBONE AU QUÉBEC

Florian Pedroli MSc

Associé de recherche
INSTITUT DE L'ÉNERGIE TROTTIER
Facilitateur de réseau
L'ACCÉLÉRATEUR DE TRANSITION

Normand Mousseau PhD

Directeur scientifique
INSTITUT DE L'ÉNERGIE TROTTIER
Directeur scientifique
L'ACCÉLÉRATEUR DE TRANSITION
Professeur titulaire
DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE, UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

Alain Girard

Directeur
GÉNÉRATION HALOCARBURE

POUR CITER CE DOCUMENT :

Pedroli F., Mousseau N. et Girard A. (2022). Gestion des halocarbures au Québec. Transition Accelerator Reports, Vol. 4, Numéro 2, P. 1-21. ISSN 2562-6272.

La version française de ce document est disponible sur le site www.transitionaccelerator.ca

VERSION : 2



TABLE DES MATIÈRES

À propos de l'Accélérateur de transition	iii
À propos de l'Institut de l'énergie Trottier	v
À propos des auteurs.....	vi
Figures, Tableaux, encadrés	viii
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	viii
Liste des encadrés	viii
Remerciements	ix
Résumé	x
Executive summary	xii
1 Utilisation des halocarbures	1
2 Histoire et impact des fluides réfrigérants	2
3 La réglementation sur les halocarbures au Québec.....	4
3.1 Réglementation fédérale	4
3.2 Réglementation provinciale.....	5
4 Les halocarbures et le marché du carbone	7
4.1 Le marché du carbone du Québec.....	7
4.2 Les crédits compensatoires associés aux halocarbures.....	8
4.3 Les projets de destruction d'halocarbures au Québec	11
5 Les problèmes relevés au Québec.....	12
5.1 La zone de récupération des halocarbures	12
5.2 L'attribution des crédits compensatoires pour la destruction de CFC	12
5.3 Le calcul des émissions évitées par la destruction d'halocarbures.....	13
5.3.1 Le calcul des facteurs d'émission des substituts	13
5.3.2 Les fuites d'halocarbures	17
5.4 L'impact du marché du carbone sur les émissions évitées	17
5.5 La gestion des fuites d'halocarbures	19
6 Conclusion.....	21
Références	22





À PROPOS DE L'ACCÉLÉRATEUR DE TRANSITION

L'Accélérateur de transition (l'Accélérateur) a pour objectif de soutenir la transition du Canada vers un avenir carboneutre tout en contribuant à la résolution des problèmes sociétaux. À l'aide d'une méthodologie en quatre étapes, l'Accélérateur collabore avec des acteurs du domaine de l'innovation pour créer une vision de ce à quoi pourrait ressembler un avenir carboneutre qui serait souhaitable sur les plans social et économique, et pour définir des trajectoires de transition qui permettront au Canada de le concrétiser. L'Accélérateur joue le rôle de moteur, de facilitateur et de multiplicateur de forces pour les coaliser et progresser sur ces trajectoires en dynamisant les facteurs de changement.

Notre approche en quatre étapes consiste à comprendre, codévelopper, analyser et faire progresser des trajectoires de transition crédibles et convaincantes qui nous permettront d'atteindre les objectifs sociétaux et économiques que nous nous sommes fixés, y compris celui de conduire le pays à la carboneutralité d'ici 2050.

1

COMPRENDRE le système qui est en voie de transformation, avec ses forces et ses faiblesses, de même que la technologie, le modèle commercial et les innovations sociales qui vont éventuellement perturber le système existant en voulant remédier à l'une ou plusieurs de ses lacunes.

2

CODÉVELOPPER des visions et des trajectoires de transformation de concert avec les principales parties prenantes et les acteurs de l'innovation issus de l'industrie, du gouvernement, des communautés autochtones, du monde universitaire et d'autres groupes de la société. Ce processus d'engagement sera soutenu par les connaissances qui auront été acquises au cours de l'étape 1.

3

ANALYSER et modéliser les trajectoires retenues à l'étape 2 afin d'évaluer des facteurs comme les coûts, les avantages, les compromis, l'acceptabilité publique, les obstacles et les blocages liés à chacune d'elles. À la lumière de ces informations, les principaux acteurs seront à nouveau appelés à apporter des modifications à la vision ainsi qu'à une ou plusieurs trajectoire(s), afin de s'assurer qu'elles soient davantage crédibles, convaincantes et capables d'atteindre les objectifs sociétaux qui incluent une importante réduction des émissions de GES.

4

FAIRE PROGRESSER les trajectoires de transition qui sont les plus crédibles, convaincantes et performantes en appuyant les stratégies d'innovation, en impliquant des partenaires et en soutenant le lancement de consortiums afin d'être à même de prendre des mesures concrètes en suivant les trajectoires de transition qui auront été définies.



À PROPOS DE L'INSTITUT DE L'ÉNERGIE TROTTIER

Créé en 2013, grâce à un don généreux de la Fondation familiale Trottier, l'IET a pour but d'aider à former une nouvelle génération d'ingénieurs et de scientifiques qui comprennent les enjeux énergétiques, de soutenir la recherche de solutions durables pour aider à accomplir la transition qui s'impose et de contribuer à la diffusion des connaissances et au dialogue sociétal sur les questions énergétiques. Ce mandat en fait une institution unique au Canada dans le secteur de l'énergie. Basé à Polytechnique Montréal, l'IET rassemble des professeurs-chercheurs de HEC, de Polytechnique Montréal et de l'Université de Montréal. Cette diversité d'expertises permet la formation d'équipes de travail transdisciplinaires, condition essentielle à la compréhension systémique des enjeux énergétiques dans le contexte de lutte aux changements climatiques.

À PROPOS DES AUTEURS

Florian Pedroli, MSc

INSTITUT DE L'ÉNERGIE TROTTIER

Florian Pedroli est associé de recherche à l'Institut de l'énergie Trottier, à Polytechnique Montréal et agit en tant que facilitateur de réseau pour l'Accélérateur de transition. Il a réalisé ses études d'ingénieur à Mines Nancy, une grande école d'ingénieurs en France et a effectué une maîtrise recherche en génie énergétique à Polytechnique Montréal, dans le cadre d'un double diplôme. Il s'intéresse depuis plusieurs années aux enjeux climatiques et souhaite jouer un rôle actif dans la transition énergétique et l'atteinte des objectifs climatiques.

Normand Mousseau, PhD

INSTITUT DE L'ÉNERGIE TROTTIER

Normand Mousseau est professeur de physique à l'Université de Montréal, directeur scientifique de l'Institut de l'énergie Trottier à Polytechnique Montréal et directeur scientifique à l'Accélérateur de transition. Spécialiste des matériaux complexes, de l'énergie et des ressources naturelles, il est très impliqué en politique énergétique et climatique. Il est l'auteur de plusieurs livres sur ces sujets dont « Au bout du pétrole, tout ce que vous devez savoir sur la crise énergétique » (2008) et « Gagner la guerre du climat. Douze mythes à déboulonner » sorti en 2017 aux Éditions du Boréal. En 2013, il a coprésidé la Commission sur les enjeux énergétiques du Québec, dont le rapport, « Maîtriser notre avenir énergétique », fut publié en 2014. En 2017-2018, il a mené le projet « Le climat, l'État et nous », visant à proposer une gouvernance environnementale pour le Québec, en collaboration avec 22 universitaires québécois. Il a participé à la production de plusieurs rapports liés aux enjeux énergétiques et pilote la publication des « Perspectives énergétiques canadiennes », dont la deuxième édition est parue à l'automne 2021. Il est un des membres fondateurs de l'Accélérateur de transition et est membre du conseil d'administration de l'Institut canadien pour des choix climatiques.

Alain Girard

GÉNÉRATION HALOCAREBURE

Alain Girard est un frigoriste de formation, spécialiste en gestion des halocarbures et en réduction de leurs émissions dans l'atmosphère. Il a travaillé pour SIEMENS Technologie Du Bâtiment pendant plusieurs années. En 2007, il fonde l'entreprise Groupe Refco Inc., un groupe d'entrepreneurs en systèmes de réfrigération et de conditionnement de l'air. En 2011, il est invité par Environnement Canada à la réalisation du dernier « Code de pratiques environnementales pour l'élimination des rejets dans l'atmosphère de fluorocarbures provenant des systèmes de réfrigération et de conditionnement d'air ».



En 2009, il fonde Génération HaloCAREbure ltée., une entreprise consacrée à la récupération des liquides réfrigérants et à la recherche de fuites de systèmes, qui propose aussi la production et la vente de registres personnalisés des halocarbures pour les entreprises de réfrigération stationnaires et les entreprises de climatisation mobiles. En 2009, la compagnie s'est vue décerner le titre de la meilleure entreprise par l'Association patronale des entreprises en construction du *Québec* dans l'avancement du développement durable. En 2012, l'entreprise était membre du conseil pour le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec. En 2012, l'entreprise est sélectionnée pour la décontamination des réfrigérateurs et congélateurs pour le programme RECYC-FRIGO Environnement d'Hydro Québec. En 2013, elle était membre du conseil pour Refrigerant Management Canada. En 2020, Génération HaloCAREbure a été choisie par le Groupe RIVRA pour la gestion des halocarbures et la formation de ses employés dans le cadre du programme québécois de la Responsabilité Élargie des Producteurs pour le traitement des petits appareils en fin de vie contenant des halocarbures.



FIGURES, TABLEAUX, ENCADRÉS

Liste des figures

Figure 5.3.1 : Évolution en tonnes des ventes de R-22 et de ses substituts entre 2003 et 2019 selon le MELCC.....	15
Figure 5.3.2 : Part du R-22 et de ses substituts dans les ventes totales d'halocarbures au Québec entre 2003 et 2019 selon le MELCC	16
Figure 5.3.3 : Part du R-22 et de ses substituts dans les ventes totales d'halocarbures au Québec entre 2003 et 2019 selon Honeywell.....	16
Figure 5.4.1 : Évolution des ventes de R-22 entre 2003 et 2019 par rapport aux ventes totales d'halocarbures (en tonnes).....	19

Liste des tableaux

Tableau 4.2-1 : Facteurs d'émission des substituts considérés par le MELCC [1].....	9
Tableau 4.2-2 : Facteurs d'émissions des halocarbures considérés par le MELCC [1]	10
Tableau 4.2-3 : Calcul du facteur d'émission des substituts au CFC-12 en Californie [8].....	11
Tableau 5.3-1 : Calcul du facteur d'émission des substituts au R-22 par le MELCC	14

Liste des encadrés

Encadré 3-1 Chevauchement des règlementation fédérales et provinciales	6
Encadré 3-2 Application de la règlementation.....	12
Encadré 5-1 Définition tonne équivalent R-22.....	14



REMERCIEMENTS

L'Accélérateur de transition est reconnaissant à ses sponsors financiers. Sans leurs support et encouragement, ce travail ne serait pas possible.

DISTRIBUTION : Les rapports de l'Accélérateur de transition sont disponibles en ligne sur le site www.transitionaccelerator.ca

AVIS DE NON-RESPONSABILITÉ : les opinions exprimées dans cette publication n'engagent que leurs auteurs.

DROITS D'AUTEUR : Copyright ©2022 par l'Accélérateur de transition. Tous les droits sont réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite de quelque manière que ce soit sans autorisation écrite, sauf dans le cas de courts passages pouvant être cités dans des articles critiques et des revues.

ISSN : Rapports de l'Accélérateur de transition (format en ligne): ISSN 2562-6272 (Rapport en français).

IMAGE DE COUVERTURE: <https://www.shutterstock.com/fr/image-photo/fridge-freezers-outdoors-recycle-depot-safe-1451714447>

DEMANDES DE RENSEIGNEMENTS DES MÉDIAS : pour les demandes d'information des médias ou d'autres informations, veuillez écrire à l'adresse info@transitionaccelerator.ca



RÉSUMÉ

Les halocarbures sont des gaz très utilisés comme réfrigérant dans les systèmes de transferts de chaleur, que ce soit pour le refroidissement, dans les appareils de climatisation et de réfrigération, ou la chauffe, dans les thermopompes. Cependant, plusieurs de ces gaz, lorsque relâchés dans l'atmosphère, ont des impacts importants sur l'environnement en appauvrissant la couche d'ozone et en accentuant l'effet de serre. Pour cette raison, le protocole de Montréal, puis l'amendement de Kigali, ratifiés par la majorité des pays du monde, ont pour objectif de mieux contrôler ces gaz et réduire leur impact sur l'environnement. Dans cette optique, la gestion de ces gaz est encadrée par une réglementation stricte au Québec, qui a interdit l'exploitation des gaz les plus dangereux pour l'environnement et le relâchement volontaire dans l'atmosphère des autres halocarbures. Les propriétaires d'appareils fonctionnant avec de tels gaz ont donc l'obligation de faire récupérer ces gaz par une entreprise spécialisée quand l'appareil est en fin de vie. Ces entreprises peuvent alors traiter ces gaz pour réutilisation dans d'autres appareils ou les détruire.

Il est impossible de complètement éviter le relâchement de ces halocarbures dans l'environnement, notamment en raison des fuites difficiles à colmater dans les circuits de réfrigérants. Dans ce contexte, le remplacement d'halocarbures qui ont un impact important sur l'environnement par des gaz moins impactant, accompagnée de leur destruction visant à prévenir leur réutilisation, permet un évitement net d'émissions de gaz à effet de serre (GES). C'est pour cette raison que le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) a instauré un système de crédits compensatoires valorisables sur le marché du carbone pour la destruction de certains halocarbures.

Le marché du carbone au Québec est un système qui oblige les principaux émetteurs de GES au Québec à acquérir un droit d'émission pour chaque tonne d'équivalent CO₂ émis dans l'atmosphère. La quantité totale de droits d'émission disponibles décroît dans le temps ce qui assure que les émissions de GES de ces émetteurs diminuent. Un moyen d'acquérir des droits d'émission est d'acheter des crédits compensatoires à des acteurs qui peuvent justifier que leurs actions évitent l'émission de GES. Ainsi, les entreprises qui peuvent démontrer qu'ils ont volontairement détruits des halocarbures pour réduire les émissions de GES peuvent obtenir des crédits compensatoires et les vendre à des entreprises pour que celles-ci puissent continuer à émettre des GES. Depuis 2015, environ 455 000 crédits compensatoires ont été attribués par le MELCC pour la destruction d'halocarbures utilisés comme réfrigérants.

Cependant, cinq critiques peuvent être émises quant à ce processus de valorisation de la destruction d'halocarbures au Québec :

- Les halocarbures peuvent être récupérés n'importe où au Canada. La destruction d'halocarbures récupérés dans une province autre que le Québec peut avoir un impact sur les émissions de GES de cette province mais n'a aucun impact sur les émissions au Québec. De plus, la destruction des halocarbures utilisés dans le secteur commercial ou industriel est déjà financée au moment de l'achat du gaz à travers un écofrais au niveau fédéral, ce qui fait que l'élimination est payée deux fois.
- Les crédits attribués à ce jour l'ont été pour les gaz ayant le plus grand impact sur l'appauvrissement de la couche d'ozone et sur le réchauffement climatique, soient ceux de la famille des CFC. Or, il est interdit depuis 2013 de réutiliser ces halocarbures. De ce fait, ces gaz ne peuvent pas fuir dans un appareil par la suite et leur destruction ne permet pas d'éviter des émissions de GES.

- La manière de calculer les émissions évitées est questionnable. Les données utilisées pour définir par quel gaz un halocarbure sera remplacé sont des données américaines alors que la situation n'est pas la même aux États-Unis et au Québec, notamment en raison des différences climatiques. De plus, l'analyse des ventes d'halocarbures au Québec depuis 2003 remet en question les substituts considérés par le MELCC. Enfin, les données sur les fuites d'halocarbures n'appuient pas les taux de fuite beaucoup plus faibles pour les substituts retenus dans la réglementation.
- La méthode de calcul des émissions évitées suppose que seul le marché du carbone permet l'élimination des halocarbures alors que la réglementation et l'évolution naturelle du secteur favorisent déjà la destruction d'halocarbures. Ainsi, des crédits compensatoires sont attribués pour la destruction d'halocarbures qui auraient été détruits, même sans le marché du carbone.
- Les fuites d'halocarbures, qui sont la seule raison pour laquelle il existe des émissions de GES associés à l'exploitation des halocarbures, sont considérées comme impossible à éviter. Pourtant, ces fuites représentent des émissions significatives, 0.9Mt eq.CO₂ par an pour les systèmes de supermarché et supérieurs à 20kW. Un tel niveau d'émission mérite une réflexion plus large que la simple substitution par des gaz moins impactant pour y remédier. En particulier, des contrôles plus méticuleux des fuites permettraient de réduire celles-ci de manière significative.

Ces 5 éléments suggèrent des lacunes importantes dans la gestion des halocarbures au Québec, particulièrement en ce qui concerne la valorisation de la destruction d'halocarbures sur le marché du carbone. Certaines incohérences dans les règles d'attribution doivent être corrigées. De même, il est essentiel de recueillir des données de qualité en ce qui concerne les appareils qui utilisent des halocarbures au Québec, incluant la nature des réfrigérants utilisés, les substituts réellement utilisés, les taux de fuite réels des différents appareils, les raisons de ces fuites, etc. Cette analyse spécifique au Québec permettrait d'obtenir enfin un portrait réaliste de la situation et de mieux calculer les impacts des crédits carbone et des autres mesures de réduction sur la destruction d'halocarbures et les émissions de GES qui sont associées à ce secteur.

EXECUTIVE SUMMARY

Halocarbons are gases mostly used as refrigerants in heat transfer systems, for cooling in air-conditioning and refrigeration systems, and for heating in heat pumps. However, several of these gases, when released in the atmosphere, deplete the ozone layer and increase global warming. Therefore, the Montreal protocol, and the Kigali amendment afterwards, were ratified by most of the countries in the world, with the objective to better control these gases and reduce their impact on the environment. Following these protocols, the management of halocarbons is framed with a strict regulation in Quebec, where the exploitation of the most dangerous gases and the voluntary emission in the atmosphere of other halocarbons is forbidden. At the end of life of devices working with such gases, the owners have the obligation to hire a specialized company to recover these gases. These companies can then treat the gases, to be able to use them again, or destroy them.

It is impossible to completely avoid releasing halocarbons in the atmosphere, in particular because of leaks difficult to stop in refrigerant circuits. In this context, the replacement of halocarbons which have a strong impact on the environment by less impacting gases, doubled by their destruction to prevent them being used again, allows a net avoidance of greenhouse gas (GHG) emissions. It is the reason why the Environment and Fight Against Climate Change (MELCC) minister implemented an offset credit system that is integrated with a carbon market for accelerating the destruction of some halocarbons.

Quebec's carbon market is a system that forces main GHG emitters in Quebec to acquire an emission right for each ton of CO₂ equivalent released in the atmosphere. The total quantity of emission rights available is reduced through time which ensures that the GHG emissions of these emitters decrease. One way to acquire these emission rights is to buy offset credits to stakeholders that can justify their actions avoid GHG emissions. Thus, companies that can prove they voluntarily destroyed halocarbons to reduce GHG emissions can obtain offset credits and sell them to companies so they can continue to emit GHG. Since 2015, around 455 000 offset credits have been credited by the MELCC for the destruction of halocarbons used as refrigerants.

However, five criticisms can be observed regarding the process of valorization of the destruction of halocarbons in Quebec:

- Halocarbons can be recovered anywhere in Canada. The destruction of halocarbons recovered in a different province than Quebec can have an impact of the GHG emissions of this province but has no impact on the GHG emissions in Quebec. Furthermore, the destruction of halocarbons used in the commercial and industrial sectors is already funded through federal levies when gases are bought, which means their removal is paid for twice.
- At the moment, offset credits have been attributed for the gases with the most impact on the depletion of the ozone layer and global warming, which are the gases from the CFC family. Yet, it is forbidden since 2013 to reuse these halocarbons. Hence, these gases can not leak in a device afterward and its destruction does not allow avoiding GHG emissions.
- The way the avoided emissions is calculated is questionable. The data used to define which gas will replace a halocarbon are American data while the Quebec and United States situation are different, in particular because of climate difference. Furthermore, the analysis of the sales of halocarbons

since 2003 questions the substitute considered by the MELCC. Finally, the data on halocarbon leaks do not support the much lower leaks selected for the substitutes.

- The calculation method of avoided emissions assumes that only the carbon market leads to the destruction of halocarbons while the regulation and natural evolution of the sector already encourages the destruction. Therefore, offset credits are allocated for the destruction of halocarbons that would have been destroyed, even without the carbon market.
- Halocarbon leaks, which are the only reason why the use of halocarbons lead to GHG emissions, are considered impossible to avoid. However, these leaks represent significant emissions, 0.9 Mt.CO₂.eq each year for supermarket and over 20 kW systems. Such a level of emissions deserves a broader consideration than the substitution with less impacting gases. In particular, more meticulous research of leaks would allow to reduce these significantly.

These five elements suggest important gaps in the management of halocarbons in Quebec, in particular regarding the valorization of the destruction of halocarbons on the carbon market. Some incoherencies in the attribution rules must be corrected. It is also necessary to gather quality data regarding the devices using halocarbons in Quebec, including the type of refrigerant used, the substitute actually used, the real leakage rate of the devices, the reasons of the leaks, etc. This analysis, specific to Quebec, would allow a realistic portrayal of the situation, and to better calculate the impacts of carbon credits and of the other measures on the destruction of halocarbons and the GHG emissions related to this sector.

1 UTILISATION DES HALOCARBURES

Les halocarbures sont des gaz qui sont surtout utilisés comme réfrigérant dans les thermopompes et les appareils frigorifiques en raison de leurs propriétés thermodynamiques. Les thermopompes et les appareils frigorifiques transfèrent de la chaleur d'une source froide vers une source chaude de manière à modifier la température de ces sources. Ainsi, dans une thermopompe utilisée pour le chauffage d'un bâtiment, la source froide est l'extérieur du bâtiment et la source chaude l'intérieur de celui-ci. La thermopompe transfère la chaleur de l'extérieur vers l'intérieur de manière à chauffer le bâtiment sans produire de chaleur. Dans le cas d'un réfrigérateur, la source froide est l'intérieur du réfrigérateur et la source chaude est l'air ambiant autour du réfrigérateur. Le système vise alors à transférer la chaleur de l'intérieur du réfrigérateur vers l'air ambiant de manière à refroidir l'intérieur de celui-ci.

Les halocarbures sont aussi fréquemment utilisés comme agent propulseur dans les aérosols et comme agent de gonflement dans les mousses plastiques. Ces mousses plastiques servent souvent d'isolant, en particulier dans les appareils frigorifiques.

2 HISTOIRE ET IMPACT DES FLUIDES RÉFRIGÉRANTS

Il existe de nombreux fluides qui peuvent jouer le rôle de réfrigérant. Les trois principales familles de fluides utilisés, qui sont regroupées sous le terme halocarbure, sont les chlorofluocarbures (CFC), les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) et les hydrofluorocarbures (HFC). L'ammoniac (NH_3) et le dioxyde de carbone (CO_2) sont aussi régulièrement utilisés à cette fin. De nombreux autres fluides remplissent la fonction de réfrigérant, mais dans des quantités nettement moindres.

Avant les années 1930, les principaux fluides réfrigérants utilisés étaient le dioxyde de soufre, l'ammoniac et le dioxyde de carbone. En cas de fuite, ceux-ci pouvaient cependant s'avérer dangereux pour la santé. La découverte des deux principaux gaz de la famille des CFC, soit le R-11 et le R-12¹, a permis de les remplacer dans les années 1930. En plus de leurs propriétés thermodynamiques, les CFC présentent l'avantage d'être des gaz qui ne sont pas inflammables, ce qui réduit considérablement les risques d'explosion qui caractérisaient les anciens gaz réfrigérants. Le principal gaz de la famille des HCFC, le R-22, a également été utilisé pour la première fois au début des années 1930. Il s'est par la suite imposé comme l'un des principaux gaz réfrigérants employés dans le monde.

Dans les années 1970 toutefois, les scientifiques ont constaté que le relâchement de ces gaz dans l'atmosphère à la fin de vie des appareils frigorifiques contribuait à l'appauvrissement de la couche d'ozone. La couche d'ozone est la partie de l'atmosphère située entre 20 et 40 km au-dessus de la Terre qui présente une forte concentration en ozone (O_3). Cette couche de l'atmosphère réfléchit une grande partie des ultraviolets en provenance du Soleil et joue ainsi un rôle crucial dans le développement de la vie terrestre.

Afin de lutter contre l'appauvrissement de la couche d'ozone, 24 pays, dont les plus gros producteurs de CFC et HCFC, ont ratifié le Protocole de Montréal en 1987. De nombreux pays se sont joints par la suite à ce protocole qui est aujourd'hui ratifié par 197 pays. Celui-ci prévoit l'élimination progressive des substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO), en particulier les CFC et HCFC. Ces derniers sont graduellement remplacés par les gaz de la famille des HFC qui n'ont pas d'impact sur la couche d'ozone.

Les HFC, comme les HCFC et les CFC, sont cependant des gaz à effet de serre ayant un Potentiel de Réchauffement Global (PRG) considérable. Les gaz à effet de serre sont des gaz qui absorbent et reflètent

¹ Chaque réfrigérant se voit attribuer un nombre. Celui-ci est précédé de la lettre R pour réfrigérant ou par l'acronyme de la famille d'halocarbures à laquelle il appartient. Ainsi, le R-11 et le CFC-11 sont le même halocarbure, tout comme le R-22 et le HCFC-22 sont deux désignations du même halocarbure.

le rayonnement infrarouge, et notamment le rayonnement en provenance de la Terre lorsqu'ils sont présents dans l'atmosphère. Ce sont ces gaz qui sont à l'origine de l'effet de serre, sans lequel la température sur Terre serait inférieure d'environ 30°C à la température actuelle. Et c'est l'accroissement de la concentration de ces mêmes gaz dans l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle qui est responsable du réchauffement climatique que nous connaissons en ce moment. Le plus connu des gaz à effet de serre, et celui qui est relâché en plus grande quantité dans l'atmosphère par l'activité humaine, est le dioxyde de carbone (CO₂).

Tous les gaz à effet de serre n'ont pas le même impact sur le réchauffement climatique. Ainsi, afin d'être en mesure de quantifier cet impact, on attribue à chaque gaz à effet de serre une valeur de PRG. L'estimation des valeurs de PRG est basée sur le rapport qui existe entre l'impact d'un kilogramme de chaque gaz par rapport à celui d'un kilogramme de CO₂. Ainsi, si un gaz a un PRG de 20, cela signifie que relâcher un kilogramme de ce gaz dans l'atmosphère aura le même impact sur le réchauffement climatique que le relâchement de 20 kg de CO₂. L'impact d'un gaz à effet de serre peut varier dans le temps, en fonction des différentes réactions dans lesquelles ces gaz peuvent intervenir. C'est la raison pour laquelle le PRG est défini en fonction de l'impact d'un gaz sur une durée déterminée. Les impacts sont généralement mesurés sur une durée de 20 ans ou 100 ans. Il faut noter qu'il existe une grande incertitude en ce qui concerne l'exactitude du PRG attribué à chaque gaz, mais ces estimations fixent un ordre de grandeur permettant de comparer l'impact des différents gaz.

Voici les principaux gaz à effet de serre et leur PRG sur 100 ans :

- Dioxyde de carbone (CO₂) – PRG = 1
- Méthane (CH₄) – PRG = 28
- Protoxyde d'azote (N₂O) – PRG = 265

Les CFC, HCFC et HFC sont des gaz qui ont un PRG considérable. Voici les valeurs relatives à ces principaux gaz sur un horizon de 100 ans [1] :

- CFC-11 – PRG = 4750
- CFC-12 – PRG = 10 900
- HCFC-22 – PRG = 1 810
- HFC-134a – PRG = 1 430
- HFC-245fa – PRG = 1 030

3 LA RÉGLEMENTATION SUR LES HALOCARBURES AU QUÉBEC

Afin de pallier le très grand impact des halocarbures sur le réchauffement climatique, plusieurs pays signataires du Protocole de Montréal ont ratifié en 2015 l'Amendement de Kigali au Protocole de Montréal. Cet amendement vise à réduire l'utilisation des HFC et à encourager le recours à des gaz réfrigérants ayant un faible PRG et ne produisant aucun impact sur la couche d'ozone.

La gestion des halocarbures est régie par une réglementation fédérale et par des réglementations provinciales.

3.1 Règlementation fédérale

Voici la liste des principales lois qui encadrent l'utilisation des halocarbures au Canada [2]:

- Production, importation et exportation des halocarbures encadrée pour des usages précis. Délivrance de permis nécessaire dans le cas des CFC et HCFC. La vente de CFC est interdite.
- Interdiction d'émettre un halocarbure dans l'atmosphère, que ce soit de manière directe ou indirecte.
 - Les exceptions à ce règlement sont, notamment, les fuites quand un halocarbure est utilisé comme réfrigérant si les fuites sont inférieures à 0,1 kg d'halocarbure par kilogramme d'air expulsé ainsi que les halocarbures contenus dans les mousses plastiques.
 - Un test d'étanchéité doit être effectué une fois par année pour détecter d'éventuelles fuites pour tous les appareils de climatisation ou de réfrigération de plus de 20 kW. Si une fuite est détectée, le propriétaire est tenu de voir à faire cesser la fuite et doit veiller à ce que l'halocarbure qui s'échappait soit récupéré par une entreprise spécialisée.
- Les halocarbures utilisés dans des systèmes de réfrigération et de climatisation doivent être récupérés par des entreprises spécialisées. Plusieurs options s'offrent à ces entreprises pour traiter ces gaz récupérés :
- S'il est possible d'identifier le gaz et s'il s'agit d'un HCFC ou d'un HFC, le gaz peut être recyclé en vue d'une réutilisation dans d'autres systèmes.
- S'il n'est pas possible d'identifier le gaz, que celui-ci ne peut pas être réutilisé ou qu'il s'agit d'un CFC, il doit être détruit en faisant appel aux services d'une entreprise spécialisée dans la destruction de ces fluides.
- La destruction des halocarbures est pris en charge par *Refrigerant Management Canada* (RMC). Cet organisme prélève un écofrais à l'achat d'un halocarbure neuf ou à son importation. Les entreprises qui doivent détruire un halocarbure ont simplement à envoyer cet halocarbure à la RMC et celle-ci en disposera, sans frais pour l'entreprise [3]. L'écofrais perçu est de 5\$/kg pour les HCFC et de 1,5\$/kg pour les HFC.



- Les réfrigérants utilisés dans les appareils électroménagers ainsi que dans les voitures ne sont pas pris en charge par le RMC car aucun écofrais n'est perçu à l'achat. La RMC accepte de détruire ces halocarbures mais facture ce service aux entreprises. Il en est de même pour le CFC-11 en raison des quantités trop importantes à détruire et pour lesquelles la RMC n'a pas de financement.

3.2 Règlementation provinciale

Voici la liste des principales lois qui encadrent l'utilisation des halocarbures au Québec [6] :

- Interdiction de fabriquer, vendre ou installer un appareil conçu pour fonctionner avec un CFC ou un HCFC.
- Interdiction de remplir ou de faire fonctionner un appareil de réfrigération ou de climatisation avec un CFC.
 - Interdiction de remplir un appareil de réfrigération ou de climatisation avec un CFC depuis juillet 2013 [7].
- Interdiction d'installer un appareil de réfrigération d'une puissance nominale égale ou supérieure à 50 kW dans un établissement commercial, industriel ou institutionnel conçu pour fonctionner avec un halocarbure ayant un PRG supérieur à 150.
- Interdiction de vendre ou d'installer des appareils fonctionnant avec des halocarbures ayant des PRG supérieur à 2 200, voire inférieur, selon le type d'appareil et leur puissance.
- Différents programmes ont été mis en place au niveau québécois ou municipal pour récupérer les appareils électroménagers contenant des halocarbures et pour les traiter correctement.
 - La majorité des appareils électroménagers au Québec sont récupérés par les municipalités, dans leurs écocentres. Celles-ci font ensuite appel à des entreprises spécialisées pour qu'elles s'occupent de ces appareils, et notamment gèrent les halocarbures. Jusqu'à récemment, cette activité était financée par les municipalités.
 - Depuis 2021, la *Responsabilité élargie des producteurs* (REP) inclue la gestion des appareils ménagers et de climatisation [4]. Cela signifie qu'il est dorénavant de la responsabilité des producteurs de ces appareils de gérer leur fin de vie, et notamment la gestion des halocarbures. Un programme de soutien aux entreprises a été mis en place par le gouvernement du Québec [5] pour aider au financement de la récupération des appareils.

Les halocarbures sont aussi utilisés comme agent de gonflement et ils entrent dans la composition de certaines mousses plastiques. Ces mousses plastiques remplissent notamment un rôle d'isolant dans les réfrigérateurs et climatiseurs. La législation en vigueur actuellement interdit de fabriquer ou vendre une mousse plastique contenant un CFC ou un HCFC. De plus, depuis le 1^{er} janvier 2021, il est interdit de fabriquer une mousse plastique comprenant un halocarbure ayant un PRG supérieur à 150 et, depuis le 1^{er} juillet 2021, il est interdit de vendre une mousse plastique contenant un gaz dont le PRG est supérieur à 150. De nombreuses mousses plastiques qui contiennent des gaz ayant des PRG importants sont cependant encore en circulation et il existe peu de solutions en ce moment permettant d'éviter ultimement le relâchement dans l'atmosphère de ces gaz piégés dans la mousse.

ENCADRE 3-1 CHEVAUCHEMENT DES RÈGLEMENTATION FÉDÉRALES ET PROVINCIALES

La réglementation québécoise reprend plusieurs éléments aussi présents dans la réglementation fédérale. Les auteurs ne sont pas spécialisés en droit et il est possible que certains éléments présentés comme faisant partie de la réglementation provinciale soient aussi présents dans la réglementation fédérale.

4 LES HALOCARBURES ET LE MARCHÉ DU CARBONE

La destruction de CFC ou de HCFC donne droit à des crédits compensatoires sur le marché du carbone dans certaines conditions.

4.1 Le marché du carbone du Québec

Instauré en 2013, le marché du carbone du Québec est un mécanisme de plafonnement des émissions de GES visant les plus grands émetteurs de GES de la province [8]. Le principe de ce marché consiste à obliger les entreprises qui émettent de gros volumes de GES à acquitter un droit d'émission pour chaque tonne de GES relâchée dans l'atmosphère. Les entreprises prenant part à ce marché ont plusieurs moyens à leur disposition pour acquérir ces droits d'émission.

- Les entreprises exposées à la concurrence nationale ou internationale reçoivent des droits d'émission gratuits, mais ce nombre de droits décroît chaque année.
- Le gouvernement met en vente des droits d'émission quatre fois par année. La vente se fait aux enchères et le nombre de droits mis en vente diminue chaque année.
- Les entreprises qui possèdent plus de droits d'émission que nécessaire peuvent revendre ces droits d'émission à d'autres entreprises.
- Les émetteurs ont la possibilité d'acheter des crédits compensatoires. Les crédits compensatoires sont délivrés à des promoteurs qui réalisent des projets volontaires de réduction des émissions de GES ou de retrait des GES de l'atmosphère [9]. Deux types de crédits compensatoires ont été délivrés en date du 9 juin 2021, soit des crédits relatifs à la valorisation et la destruction de méthane et des crédits concernant la destruction d'halocarbures.

Le nombre total de droits d'émission étant en constante diminution, ou compensé par une réduction des émissions de GES réalisée par d'autres acteurs, ce système assure que les émissions de GES des entreprises participant au marché du carbone diminuent de manière progressive.

Les entreprises concernées par le marché du carbone sont les industries qui émettent plus de 25 000 t éq. CO₂ par année ou davantage, les producteurs et importateurs d'électricité dont les émissions sont supérieures à 25 000 t éq. CO₂ par année et les distributeurs de carburants et de combustibles fossiles utilisés au Québec. Le marché du carbone prend ainsi en compte 80 % des émissions de GES produites au Québec.

Les revenus qui sont générés par la vente aux enchères de droits d'émission par le gouvernement du Québec sont versés au Fond d'électrification et de changements climatiques.



En 2014, le marché du carbone du Québec s'est associé à celui de la Californie dans le cadre de la *Western Climate Initiative*. Ce marché élargi permet d'harmoniser les pratiques et donne aux entreprises californiennes et québécoises la possibilité d'acheter ou d'échanger des droits d'émission. La Nouvelle-Écosse s'est jointe à la *Western Climate Initiative* en 2019, mais elle ne participe pas encore au marché commun.

4.2 Les crédits compensatoires associés aux halocarbures

Le *Règlement relatif aux projets de destruction d'halocarbures admissibles à la délivrance de crédits compensatoires* [1] du Québec considère que, dans certaines conditions, la destruction d'un halocarbure permet d'éviter des émissions de GES dans l'atmosphère et que cela peut donner droit à des crédits compensatoires. Ces crédits compensatoires peuvent ensuite être revendus sur le marché du carbone afin de permettre à des entreprises d'émettre des GES. Parmi les conditions mentionnées dans ce règlement notons, entre autres, les suivantes :

- Chapitre II – Section I – Article 3.2 : « Les réductions d'émissions de GES attribuables au projet sont réalisées à l'initiative du promoteur, sans qu'il y soit tenu, [...] par une loi ou règlement, par une autorisation, par une ordonnance rendue en vertu d'une loi d'un règlement ou par une décision d'un tribunal. »
- Chapitre II – Section I – Article 3.3 : « Les halocarbures détruits dans le cadre du projet sont récupérés au Canada ou proviennent d'appareils ou de systèmes de réfrigération, de climatisation et de congélation récupérés au Canada. »
- Chapitre II – Section I – Article 3 : « Lorsque des halocarbures utilisés en tant que réfrigérant visés par le projet proviennent d'appareils de réfrigération, de congélation ou de climatisation comprenant également des halocarbures contenus dans les mousses, le projet doit, pour toute destruction ayant lieu après le 22 octobre 2016, inclure également l'extraction et la destruction des halocarbures contenus dans ces mousses conformément aux conditions prévues au présent règlement. »
- Annexe A (Article 2) : Les halocarbures considérés sont :
 - Lorsque contenus dans des mousses : CFC-11, CFC-12, HCFC-22, HCFC-141b, HFC-134a, HFC-245fa.
 - Lorsque utilisés ou destinés à être utilisés en tant que réfrigérant pour des appareils ou systèmes de réfrigération, de congélation ou de climatisation : CFC-11, CFC-12, CFC-13, CFC-113, CFC-114, CFC-115, HCFC-22.

Étant donné que la *Loi sur la qualité de l'environnement* interdit l'émission directe ou indirecte d'halocarbures, sauf en cas de fuites lorsque ceux-ci servent de réfrigérant ou quand ils sont utilisés comme agent de gonflement dans les mousses plastiques, il s'agit donc des deux seules conditions qui peuvent donner droit à des crédits compensatoires. La Loi prend en compte le fait que, si un halocarbure n'était pas détruit, il pourrait être réutilisé dans un autre appareil susceptible d'avoir des fuites, ce qui pourrait occasionner le relâchement partiel de l'halocarbure dans l'atmosphère. La destruction d'un halocarbure est ainsi considérée comme une mesure permettant d'éviter les émissions de GES liées aux fuites d'halocarbure au cours des 10 années suivantes.

L'équation qui permet de calculer les émissions de GES évitées est la suivante :

Équation 1 : Calcul des émissions évitées par la destruction d'un halocarbure

$$E_{\text{évitées}} = \sum_{i=1}^n Q_i (F e_i PRG_i - F_{\text{sub}_i}) - E_{TD}$$

où :

- $E_{\text{évitées}}$ représente les émissions de GES évitées en kg éq. CO₂;
- n représente le nombre d'halocarbures considérés;
- Q_i représente la quantité d'halocarbure i en kg;
- $F e_i$ représente le facteur d'émission pour l'halocarbure i , soit le pourcentage d'halocarbure qui va fuir sur 10 ans si l'halocarbure est utilisé comme réfrigérant;
- PRG_i représente le PRG de l'halocarbure i en kg éq. CO₂ par kg d'halocarbure;
- F_{sub_i} représente le facteur d'émission du substitut de l'halocarbure i en kg éq. CO₂ par kg d'halocarbure;
- E_{TD} représente les émissions de GES liées au transport et à la destruction des halocarbures en kg éq. CO₂.

L'équation prend en compte le facteur d'émission du substitut d'un halocarbure. En effet, pour assurer le fonctionnement d'un appareil qui devait reposer sur un halocarbure qui a été détruit, on doit utiliser un autre réfrigérant qui va lui-même fuir pendant 10 ans et avoir un impact sur le réchauffement climatique. Le facteur d'émission du substitut correspond donc au taux de fuite de l'halocarbure de substitut multiplié par son PRG. Cependant, il est impossible de savoir avec exactitude quel halocarbure servira de substitut à celui qui a été détruit et de déterminer son taux de fuite sur 10 ans. Par conséquent, le règlement sur l'acquisition de crédits carbone précise les facteurs d'émission des substituts à utiliser dans ce calcul en fonction du réfrigérant de base. Le Tableau 4.2-1 précise les valeurs attribuées à ces facteurs d'émission par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).

Tableau 4.2-1 : Facteurs d'émission des substituts considérés par le MELCC [1]

Halocarbure utilisé ou destiné à être utilisé en tant que réfrigérant	Facteur d'émission des réfrigérants substituts ($FES_{R,i}$)
CFC-11	223
CFC-12	686
CFC-13	7144
CFC-113	220
CFC-114	659
CFC-115	1 139
HCFC-22	389

De la même manière, il est impossible d'estimer quelle quantité d'un halocarbure va fuir pendant 10 ans si celui-ci est réutilisé plutôt que détruit. En conséquence de ce fait, le règlement précise également les facteurs d'émission à prendre en compte dans le calcul des émissions évitées ; ceux-ci sont présentés dans le Tableau 4.2-2.

Tableau 4.2-2 : Facteurs d'émissions des halocarbures considérés par le MELCC [1]

Type d'halocarbure	Facteur d'émission des halocarbures utilisés ou destinés à être utilisés en tant que réfrigérant ($FE_{R,i}$)
CFC-11	0,89
CFC-12	0,95
CFC-13	0,61
CFC-113	0,89
CFC-114	0,78
CFC-115	0,61
HCFC-22	0,72

La manière de calculer les émissions des substituts, qui jouent un rôle très important dans le calcul des émissions de GES évitées par la destruction d'un halocarbure, n'est pas précisée ou expliquée dans les règlements québécois. Ceux-ci stipulent simplement d'utiliser les données présentées. Le MELCC a indiqué que ces facteurs sont déterminés à partir de données américaines. Le calcul relatif aux CFC est décrit avec plus de précisions dans la réglementation californienne. Le calcul concernant les HCFC semble suivre le même raisonnement.

En Californie, plusieurs éléments sont pris en compte pour calculer les émissions des substituts, soit :

- Le PRG des halocarbures utilisés en substitut des CFC, pondéré en fonction de la part de marché.
- La quantité de gaz nécessaire pour remplacer un kilogramme de CFC. Les systèmes ayant évolué et étant plus efficaces, la quantité de gaz nécessaire pour la même utilisation peut changer.
- Le taux de perte des halocarbures de substitution par année.

Il convient de noter que la méthode de calcul des émissions évitées utilisée ici suppose implicitement que seul le marché du carbone permet la destruction des CFC et HCFC. Le scénario de référence, auquel est comparée la destruction des halocarbures, repose sur l'hypothèse que la totalité des halocarbures en circulation sera récupérée et qu'elle finira par fuiter dans un appareil.

Tableau 4.2-3 présente un exemple de calcul effectué dans le cas du CFC-12 en Californie. Les chiffres utilisés ne correspondent pas exactement à ceux que l'on emploie au Québec, notamment en ce qui concerne les PRG, ce qui explique la différence dans la valeur finale obtenue. Cet exemple permet cependant de comprendre le fonctionnement du calcul.

Il convient de noter que la méthode de calcul des émissions évitées utilisée ici suppose implicitement que seul le marché du carbone permet la destruction des CFC et HCFC. Le scénario de référence, auquel est comparée la destruction des halocarbures, repose sur l'hypothèse que la totalité des halocarbures en circulation sera récupérée et qu'elle finira par fuiter dans un appareil.

Tableau 4.2-3 : Calcul du facteur d'émission des substituts au CFC-12 en Californie [10]

Table D.4. Calculation of Substitute Emissions for CFC-12

Application	CFC-12 Market Share of Recharge	ODS Substitute	Market Share Relative to Subsector (by weight)	Overall CFC-12 Market Share	GWP (CO ₂ e)	Relative Charge Size (lb Sub/lb ODS)	Sub Used to Replace One lb CFC-12 (lbs)	Loss Rate of Sub (%/yr)	10-year lbCO ₂ e/ODS Destroyed
Mobile	50%	HFC-134a	100%	50%	1300	.74	0.370	18%	415
Large Refrigeration	33%	HCFC-123	14%	8%	90	0.88	0.068	4%	1
		HFC-134a	34%	20%	1300	1.4	0.278	4%	73
		R-404A	36%	3%	2028	0.78	0.026	11%	130
		R-410A	1%	1%	1725	0.88	0.005	5%	2
Large AC	17%	R-507A	16%	1%	3300	0.78	0.008	12%	95
		HCFC-123	19%	2%	90	0.88	0.014	1%	0
		HFC-134a	78%	14%	1300	1.4	0.196	3%	59
		R-407C	3%	2%	1526	0.76	0.012	2%	1
		R-410A	1%	0%	1725	0.76	0.003	1%	0
CFC-Sub Emissions (lbCO ₂ e/lbODS destroyed)									777

4.3 Les projets de destruction d'halocarbures au Québec

En ce moment, quatre projets relatifs à la destruction d'halocarbures ont été approuvés par Québec et se sont vus attribuer des crédits compensatoires. Tous ces projets sont menés par la société PureSphera, une entreprise qui portait le nom de Recyclage Écosolutions inc. lors de la réalisation des deux premiers projets [11]. Dans les quatre cas, l'entreprise a obtenu des crédits pour la récupération et la destruction des halocarbures provenant d'appareils de réfrigération domestiques. Les quatre projets ont été déposés entre 2015 et 2020. L'entreprise utilise la technologie SEG développée par IBW Engineering qui permet de récupérer les halocarbures présents dans les mousses plastiques. La récupération des halocarbures s'effectue en deux phases : au cours de la première phase, l'appareil est démonté et les halocarbures utilisés comme réfrigérant sont récupérés ; au cours de la deuxième phase, la technologie SEG permet de récupérer les halocarbures contenus dans les mousses. Les projets incluent également la destruction d'halocarbures récupérés dans des systèmes commerciaux et institutionnels.

Au total, 578 785 crédits carbone ont été émis dans le cadre de la destruction d'halocarbures, soit environ 455 500 pour la destruction d'halocarbures utilisés comme réfrigérant et environ 124 000 pour la destruction d'halocarbures servant d'agent de gonflement dans les mousses plastiques. Ce total aurait pu être plus important encore, car certains crédits n'ont pas été attribués en raison de lacunes observées dans le respect du protocole. Pour l'ensemble des projets, 611 424 demandes de crédits compensatoires ont été déposées pour la destruction d'halocarbures utilisés comme réfrigérant. Tous les halocarbures qui ont été détruits et qui étaient utilisés comme réfrigérant étaient des CFC (CFC-11 ou CFC-12).

En Californie, la destruction des halocarbures donne aussi droit à des crédits carbone, que ceux-ci soient utilisés comme réfrigérant ou comme agent de gonflement dans des mousses plastiques. Depuis 2010, 268 projets ont été déposés et 24 211 756 crédits carbone délivrés. Toutefois, aucune précision n'a été trouvée permettant de connaître la part des halocarbures utilisés comme réfrigérant ni le type de réfrigérant détruit.

5 LES PROBLÈMES RELEVÉS AU QUÉBEC

L'analyse de la situation actuelle au Québec fait ressortir les cinq problèmes principaux suivants :

- La zone de récupération des halocarbures ;
- L'attribution des crédits compensatoires pour la destruction de CFC ;
- Le calcul des émissions qui sont évitées par la destruction d'un halocarbure ;
- L'impact du marché du carbone sur les émissions évitées ;
- La gestion des fuites d'halocarbures.

ENCADRE 5-1 APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

Cette étude analyse la pertinence et l'impact de la valorisation de la destruction des halocarbures sur le marché du carbone par rapport à la réglementation sur les halocarbures au Québec. L'hypothèse est faite que la réglementation sur les halocarbures est appliquée et respectée. Dans la réalité, tous les halocarbures ne sont pas récupérés, notamment ceux dans l'électroménager domestique. La valorisation sur le marché du carbone a pu avoir un impact sur la quantité d'halocarbures récupérés mais celui-ci n'est pas mesuré dans cette étude. Il est de l'avis des auteurs que ce n'est pas le rôle du marché du carbone de faire respecter la réglementation sur les halocarbures de manière indirecte. De plus, le règlement sur la valorisation de la destruction des halocarbures sur le marché du carbone n'est pas rédigé dans ce sens.

5.1 La zone de récupération des halocarbures

Le Québec permet la délivrance de crédits compensatoires pour des halocarbures récupérés dans n'importe quelle région du Canada [1]. Toutefois, la destruction d'halocarbures récupérés ailleurs qu'au Québec ne permet pas d'éviter des émissions de GES au Québec. Or, le marché du carbone vise précisément à réduire les émissions sur les territoires québécois et californien. La prise en compte des potentielles émissions évitées dans les autres provinces canadiennes se trouve à modifier les frontières dans lesquelles s'applique le marché du carbone et fausse ainsi ses résultats.

5.2 L'attribution des crédits compensatoires pour la destruction de CFC

Depuis l'entrée en vigueur du *Règlement sur les halocarbures* du 18 juillet 2013, il est interdit de remplir un appareil de climatisation ou de réfrigération avec un CFC. Ces halocarbures ne peuvent donc pas être réutilisés dans un appareil et fuiter ensuite dans l'atmosphère. Par conséquent, la destruction des CFC

utilisés comme réfrigérant ne permet pas d'éviter des émissions de GES. Partant de ce fait, il n'y a pas de raison d'attribuer des crédits compensatoires pour la destruction de CFC utilisés comme réfrigérant depuis 2013. Le marché du carbone ayant aussi été mis en place en 2013, aucun crédit compensatoire n'aurait dû être attribué pour la destruction de CFC utilisés comme réfrigérants. Pour autant, ces gaz représentent 75% des crédits compensatoires attribués à ce jour.

5.3 Le calcul des émissions évitées par la destruction d'halocarbures

Comme les appareils fonctionnant aux CFC sont interdits depuis 2020, les projets visant l'obtention de crédits compensatoires se concentreront désormais sur la destruction de HCFC au cours des années à venir. Toutefois, la manière de calculer les émissions évitées par la destruction d'un halocarbure peut être remise en question à partir d'au moins deux aspects. Ainsi, dans la suite du présent document et à titre d'exemple, nous utiliserons le cas du R-22, car ce gaz est le principal halocarbure de la famille des HCFC. De plus, sa destruction donne droit à des crédits compensatoires depuis 2021.

L'Équation 1 montre que, pour que la destruction d'un halocarbure évite vraiment l'émission de GES, il faut que le produit entre le taux de fuite et le PRG du gaz substitut soit plus faible que le produit entre le taux de fuite et le PRG du gaz détruit. À défaut de cela, la destruction d'un halocarbure pourrait entraîner des émissions de GES plus importantes que s'il n'avait pas été détruit.

Il est donc primordial que les données utilisées pour choisir les halocarbures qui se substitueront à ceux qui ont été détruits et déterminer leurs taux de fuite correspondent à la réalité sur le terrain. Sans cela, il sera impossible de prouver que la destruction d'un halocarbure entraîne réellement une réduction des émissions de GES.

5.3.1 Le calcul des facteurs d'émission des substituts

Le règlement décrivant les conditions dans lesquelles la destruction d'halocarbures donne droit à des crédits compensatoires ne fournit aucune donnée permettant de justifier les facteurs d'émission des substituts utilisés dans le calcul des émissions évitées. Le MELCC fournit le Tableau 5.3-1 qui explique la façon dont ce facteur est calculé pour le R-22 sur la base de données américaines. Le PRP (Potentiel de réchauffement planétaire) est un autre nom utilisé pour désigner le PRG. Plusieurs interrogations subsistent cependant concernant ces données.

- Les données américaines considèrent que le R-22 est utilisé sur le marché dans une proportion de 32 % pour la réfrigération et de 68 % pour la climatisation. Adopter ces données sans apporter de correction suppose que l'utilisation de ce gaz est la même au Québec. Il est cependant probable que, pour des raisons climatiques, la part de la climatisation soit moins importante au Québec qu'aux États-Unis.

Tableau 5.3-1 : Calcul du facteur d'émission des substituts au R-22 par le MELCC

	Part marché	Taux de fuite annuel	Référence: US EPA Vintaging model				
Réfrigération	32%	27%					
Climatisation	68%	5%					
Taux de fuite moyen		12,0%					
Taux de fuite 10 ans		72%					
	Part marché	Substitut	Part marché P/R sous-secteur	PRP	lb Sub / lb HCFC-22	Taux de fuite	PRP substitut pondéré par part de marché
Réfrigération	0,32	R-407C	50%	1774	0,78	2%	40
		HFC-134a	5%	1430	1,4	18%	28
		CO ₂	22,5%	1	1	2%	0
		Hydrocarbures	22,5%	1	1	2%	0
Climatisation	0,68	HFC-134a	85%	1430	1,4	3%	304
		R-407C	10%	1774	0,76	2%	17
		HFO	5%	1	0,76	1%	0
Facteur émission de réfrigérant substitut							389

- En comparant les ventes de R-22 au fil du temps avec les ventes des halocarbures considérés comme substituts par le MELCC [12], tel que présenté à la Figure 5.3.1, l'on constate que cette substitution ne va pas de soi². Elle est peu évidente si l'on se base sur la part des ventes totales d'halocarbures combinant les ventes de R-22 et des substituts considérés par le MELCC, tel que présenté à la Figure 5.3.2. Si le R-22 était entièrement remplacé par ses substituts, la somme des ventes de R-22 et de ses substituts devrait demeurer constante en termes de part du marché. Or ce n'est pas ce que l'on observe. Les ventes de R-22 et de ses substituts représentaient 84 % des ventes d'halocarbures en 2006, mais seulement 45% des ventes en 2019.
 - Comme le montre le Tableau 5.3-1, la substitution ne se fait pas à volume égal. Ainsi, dans le cas de la réfrigération, il est supposé qu'un kilogramme de R-22 est remplacé par 0,78 kg de R-407c ou par 1,4 kg de HFC-134a. C'est la raison pour laquelle la Figure 5.3.1 représente également la quantité de substituts au R-22, exprimée en tonnes équivalent R-22. La figure permet de constater que cette correction accentue encore davantage le fait que la substitution n'est pas évidente.

ENCADRE 5-2 DÉFINITION TONNE ÉQUIVALENT R-22

La tonne équivalent R-22 (t.éq.R-22) est défini comme la quantité de réfrigérant nécessaire pour remplacer 1 tonne de R-22 à système et efficacité égale. Cette unité, inventé spécifiquement pour cette étude, permet de comparer des masses de réfrigérant malgré qu'ils aient des efficacités et des conditions d'utilisation différents.

Ainsi,

- $0.78 \text{ t}_{\text{R-407c}} \rightarrow 1 \text{ t.éq.R-22}$
- $1 \text{ t}_{\text{HFC-134a}} \rightarrow 1 \text{ t.éq.R-22}$
- $1 \text{ t}_{\text{R-22}} \rightarrow 1 \text{ t.éq.R-22}$

²Les données sur le CO₂ et les halocarbures utilisés comme réfrigérant ne sont pas disponibles mais ceux-ci ne représentent que 14,4% des substituts selon les données fournies, ce qui ne changerait pas complètement l'analyse.

- Le fournisseur de réfrigérants Honeywell propose sa propre liste de substituts au R-22 [13], qui diffère de celle qui est considérée par le MELCC. Celle-ci comprend le R-404a (PRG = 3 922), le R-507a (PRG = 3 985), le R-422d (PRG = 2 729), le R-407c (PRG = 1 744), le R-407f (PRG = 1 824) et le R-410a (PRG = 2 088). La Figure 5.3.3 montre que la vente de ces gaz pris en compte par le MELCC, et ce, même si la somme des ventes de R-22 et de ses substituts diminue tout de même en termes de part du marché. Il ne s'agit cependant que d'une corrélation qui ne permet pas de faire la preuve que ces gaz sont, dans la pratique, les substituts réels du R-22, mais ce constat permet de remettre en question les hypothèses du MELCC.
 - Honeywell ne précise pas les quantités de réfrigérant nécessaires pour remplacer 1 kg de R-22 ; c'est la raison pour laquelle les courbes en tonnes équivalent R-22 ne sont pas présentées dans ce graphique.
 - Il faut noter que les PRG des substituts considérés par Honeywell présentent tous des taux plus élevés que le PRG du R-22 (à l'exception du R-407c qui est du même ordre de grandeur), alors que le MELCC propose des substituts qui ont tous un PRG inférieur à celui du R-22. Ainsi, le calcul des émissions des substituts prenant en compte ces gaz aurait un résultat très différent et réduirait le volume des émissions évitées grâce à la destruction du R-22. Il est même possible que la destruction du R-22 entraîne une augmentation des émissions de GES.

Ces trois points montrent que les données utilisées pour établir les facteurs d'émission dans le calcul des émissions évitées doivent être remises en question. Pour établir un portrait réel de la situation québécoise, il faudrait mener une étude au Québec, ce qui permettrait d'effectuer les calculs en se basant sur des données locales.

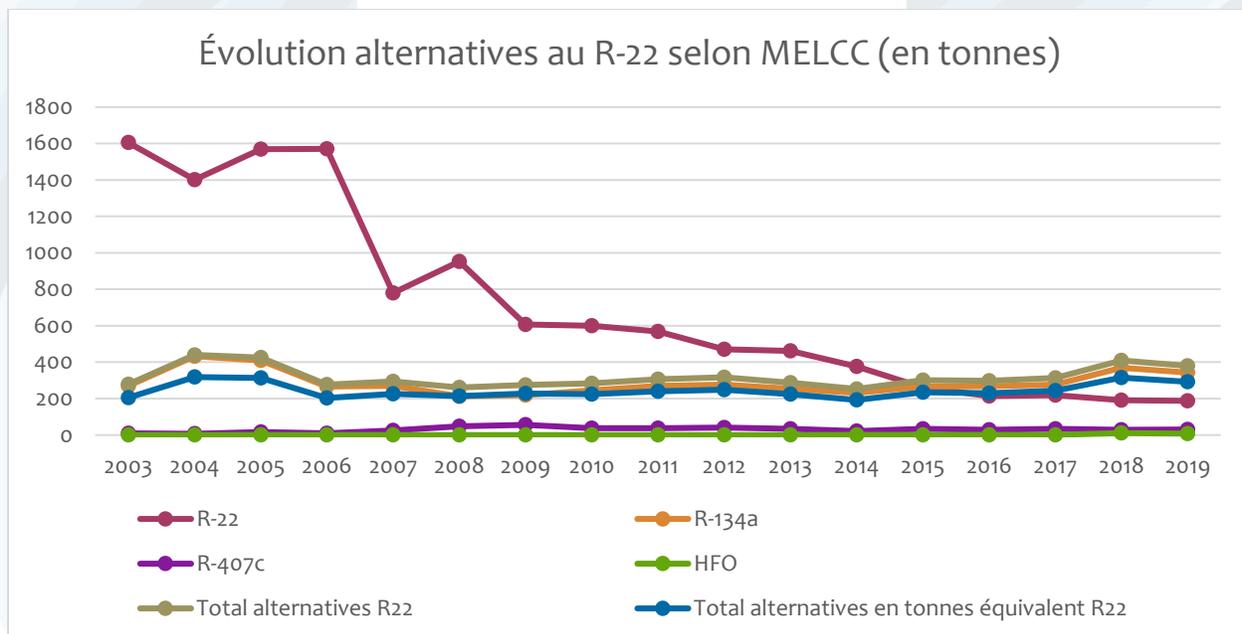


Figure 5.3.1 : Évolution en tonnes des ventes de R-22 et de ses substituts entre 2003 et 2019 selon le MELCC

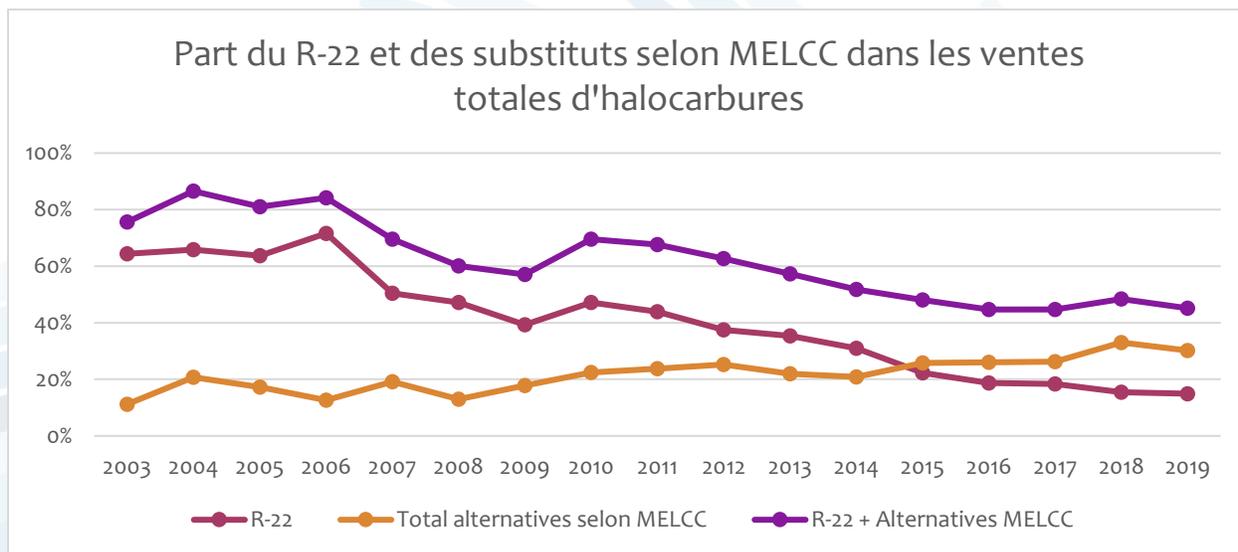


Figure 5.3.2 : Part du R-22 et de ses substituts dans les ventes totales d'halocarbures au Québec entre 2003 et 2019 selon le MELCC

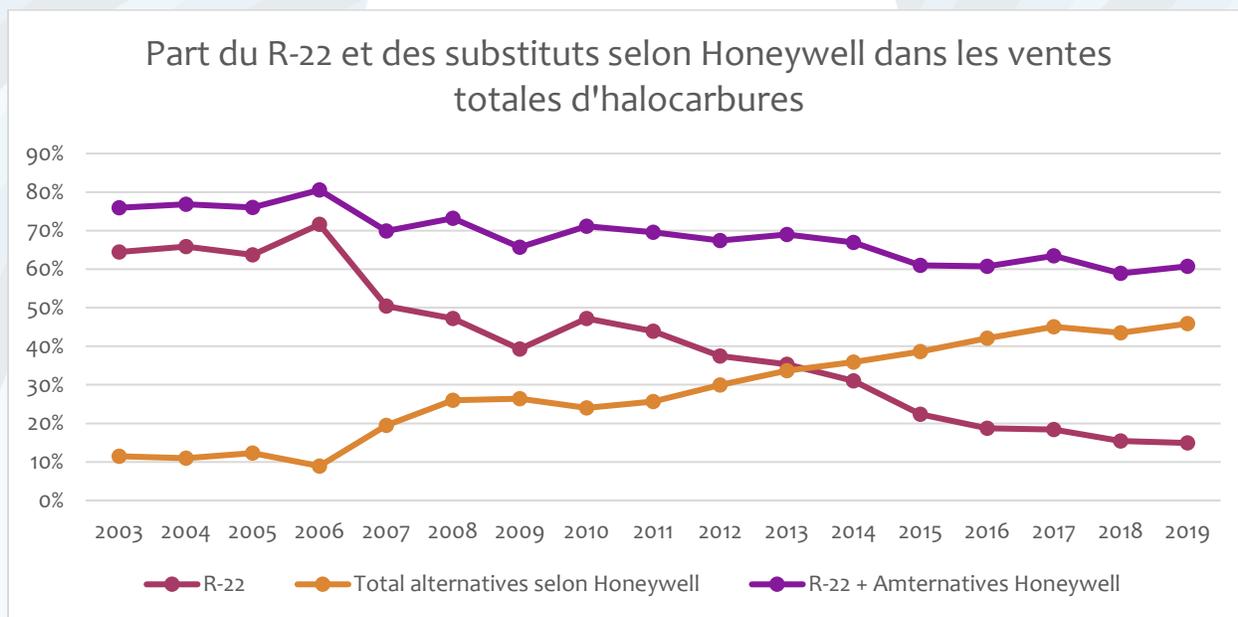


Figure 5.3.3 : Part du R-22 et de ses substituts dans les ventes totales d'halocarbures au Québec entre 2003 et 2019 selon Honeywell

5.3.2 Les fuites d'halocarbures

Les taux de fuite utilisés dans le calcul du facteur d'émission des substituts au R-22 et qui sont présentés dans le Tableau 5.3-1 peuvent également être remis en question. D'après le MELCC [14], les appareils de réfrigération fonctionnant au R-22 présentent un taux de fuite de 27 %, alors que les appareils similaires utilisant du R-407c, du CO₂ ou un hydrocarbure, soit 95 % des substituts utilisés pour la réfrigération selon ces données, présentent un taux de fuite de 2 %. Aucune explication n'est fournie pour justifier le fait que ces appareils aient des fuites nettement plus faibles par rapport aux appareils fonctionnant au R-22.

Selon l'avis d'un professionnel de la recherche de fuites dans les appareils fonctionnant avec des halocarbures, le taux de fuite d'un appareil dépend moins de l'halocarbure utilisé que du professionnalisme avec lequel on effectue la recherche et la réparation des fuites.

Cela remet à nouveau en question les données utilisées pour calculer les émissions évitées par la destruction d'un halocarbure et justifie que l'on réalise une étude complète au Québec afin d'être en mesure de confirmer ou infirmer ces données.

5.4 L'impact du marché du carbone sur les émissions évitées

Pour qu'un projet puisse donner droit à des crédits compensatoires, il faut qu'il permette d'éviter des émissions de GES et que la délivrance des crédits compensatoires soit le facteur permettant d'empêcher ces émissions. Si le projet aurait été réalisé même sans le soutien du marché du carbone, rien ne justifie la délivrance de crédits compensatoires. Si des crédits compensatoires étaient tout de même attribués, cela créerait une situation où des entreprises pourraient acheter ces crédits leur permettant d'émettre davantage de GES, ce qui entraînerait une augmentation des émissions alors que le marché du carbone vise à réduire celles-ci.

La manière de calculer les émissions évitées en vue de la délivrance de crédits compensatoires suppose que la destruction des halocarbures est une conséquence de l'existence du marché du carbone et ne prend pas en compte l'impact de la réglementation sur les halocarbures ou l'évolution naturelle du marché. À nouveau, le R-22 est utilisé à titre d'exemple et pour les mêmes raisons que précédemment.

La quantité de R-22 vendue au Québec, que ce soit en première ou deuxième utilisation, décroît de manière presque continue depuis 2006 [12], soit 7 ans avant l'entrée en vigueur du marché du carbone et 13 ans avant la valorisation de sa destruction sur le marché du carbone, comme le montre la Figure 5.4.1. Entre 2010 et 2019, la quantité de R-22 vendue a été divisée par un facteur supérieur à 3 alors que la quantité totale d'halocarbures vendue est demeurée stable. Ainsi, le remplacement du R-22 par d'autres fluides réfrigérants est un processus qui a commencé bien avant sa valorisation sur le marché du carbone. Il n'est donc pas juste d'affirmer, sans plus de justifications, que seule la destruction de ce gaz va permettre d'accélérer son remplacement.

- La baisse des ventes de R-22 depuis 15 ans s'explique notamment par l'entrée en vigueur, il y a plusieurs années, d'une réglementation visant à éliminer l'utilisation de ce gaz comme réfrigérant.

Pour rappel, il est interdit depuis 2020 d'installer un nouvel appareil fonctionnant avec un HCFC, dont le R-22, et la production et l'importation des HCFC sont interdites.

- Il est très probable que, depuis de nombreuses années, une forte proportion d'opérateurs chargés d'installer de nouveaux appareils choisissent d'utiliser d'autres réfrigérants que le R-22. Si c'est effectivement le cas, la plupart des appareils fonctionnant au R-22 encore en service ont déjà atteint un certain âge et seront bientôt remplacés, même s'il reste encore de grandes quantités de R-22 sur le marché. Par conséquent, la destruction du R-22 dans ces appareils ne permettrait pas d'éviter des émissions de GES.
 - Les facteurs d'émission des gaz sont calculés en supposant que les halocarbures vont fuiter pendant 10 ans. Cependant, dans le cas d'un parc d'appareils qui sont déjà en fin de vie, seule une très petite proportion de ceux-ci fonctionneront encore pendant 10 ans.
- Pour pouvoir évaluer la situation avec justesse, il faudrait estimer le nombre d'appareils qui fonctionnent encore avec du R-22 ainsi que leur durée de vie. On pourrait ainsi déterminer la quantité totale de R-22 qui devrait fuir dans les années à venir et calculer le véritable impact de la destruction du R-22 par rapport à sa réutilisation.
- Le prix actuel du R-22 indique que ce gaz n'occupe pas une grande part de marché. Le coût du R-22 est actuellement d'environ 875 \$ US pour 30 lb sur un site américain [15], soit 64 \$ US/kg ou 82 \$ /kg³. Avec le facteur d'émission sur 10 ans fixé par le MELCC, soit 0,72, et un prix de la tonne équivalent CO₂ sur le marché du carbone de 35,47\$⁴, la destruction du R-22 rapporte environ 45,6\$/kg sur le marché du carbone. Par conséquent, si les personnes qui possèdent du R-22 pouvaient le revendre, elles le feraient, car il serait beaucoup plus intéressant d'un point de vue financier de vendre ce gaz que de le détruire. Si elles optent pour la destruction du R-22, c'est à cause de l'impossibilité de trouver des acheteurs. Il faut noter que le site de vente de produits réfrigérants cité est un site américain, qui offre ses produits partout en Amérique du Nord. Il peut donc être estimé que l'impact du marché du carbone californien et québécois sur leur prix est de peu d'importance.

³ Conversion effectuée le 03 décembre 2021

⁴ Prix d'une unité d'émission aux enchères du 17 novembre 2021

<https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/carbone/ventes-encheres/historique-prix-encheres-WCI.pdf>

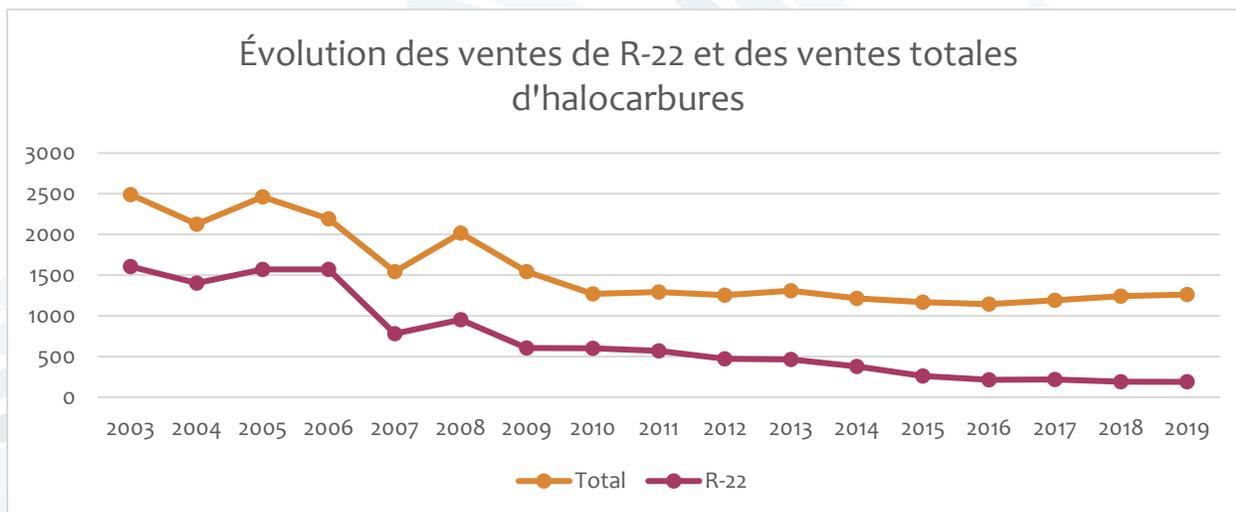


Figure 5.4.1 : Évolution des ventes de R-22 entre 2003 et 2019 par rapport aux ventes totales d'halocarbures (en tonnes)

5.5 La gestion des fuites d'halocarbures

Le principe selon lequel l'utilisation des halocarbures émet des GES se base uniquement sur le fait que les systèmes utilisant des réfrigérants ont des fuites. Sans ces fuites, il n'y aurait aucune raison de parler d'émissions de GES dans l'atmosphère. D'après le MELCC, le taux de fuite moyen annuel est de 6 % pour les appareils de réfrigération de 20 kW et plus, et de 20 % pour les appareils utilisés en supermarché [14]. Les fuites pour ces deux catégories d'appareils représentent plus de 474 000 kg de réfrigérant s'échappent dans l'atmosphère par année, ce qui correspond annuellement à des émissions de plus de 922 000 t éq.CO₂. Les amendements apportés en 2020 au *Règlement sur les halocarbures* visent notamment à interdire l'installation d'appareils fonctionnant avec des réfrigérants présentant un fort PRG. C'est la solution qui est proposée par le MELCC pour réduire ces fuites d'halocarbures.

- La réglementation entrée en vigueur en 2020 ne s'applique qu'aux nouveaux appareils et ne prévoit aucune mesure pour limiter les émissions de GES provenant des appareils qui sont déjà en fonction.
- Il serait intéressant d'effectuer une étude pour déterminer la cause de fuites de cette importance et vérifier s'il n'existe pas des solutions pour les réduire. La manière la plus efficace de réduire les émissions de GES liées aux fuites de réfrigérants consisterait à les éliminer ou les réduire au maximum. Or, aucune mesure ne semble avoir été adoptée pour préciser la cause de ces sources d'émission ni déterminer s'il est possible d'instaurer des règlements s'appliquant à ces fuites ou incitant les propriétaires à prendre davantage de précautions pour les éviter.
- Certains niveaux de fuite sont tellement importants qu'il est difficile de croire que les installations respectent le règlement sur les halocarbures [6], qui oblige à mettre en place de nombreux éléments pour limiter ces fuites.
 - Par exemple, les systèmes de réfrigération fonctionnant au R-22 ont des pertes moyennes de 27% par an selon le MELCC, comme précisé dans le Tableau 5.3-1. Pour autant, un système ne fonctionne plus dès que 5 à 10% du réfrigérant est manquant. Cela signifie que les propriétaires

de systèmes de ce type sont obligés de recharger leurs systèmes en réfrigérant plusieurs fois par an. Il est difficile de croire que cela se fait tout en respectant le règlement sur les halocarbures.

- Le marché du carbone n'a eu jusqu'ici aucun impact sur les émissions des appareils de plus de 20 kW puisque les crédits compensatoires ont été attribués pour des halocarbures provenant d'appareils domestiques. Les fuites dans ces appareils sont négligeables pendant leur fonctionnement ; les émissions ont principalement lieu en fin de vie, lorsque l'extraction des halocarbures n'est pas effectué correctement.

Dans le cas des appareils électroménagers, la situation est légèrement différente. Ces appareils, plus petits, ont des fuites négligeables pendant leur utilisation. Les émissions d'halocarbures dans l'atmosphère ont donc principalement lieu au cours de la gestion de leur fin de vie. La réglementation en vigueur [4] impose que ces appareils soient récupérés par des entreprises spécialisées, qui sont en capacité d'extraire le réfrigérant et de le stocker adéquatement. Le processus pour ces halocarbures est alors le même que pour les halocarbures récupérés dans les systèmes commerciaux ou industriels. Dans les faits, peu de ces appareils sont traités correctement. Ces derniers sont souvent laissés sur le bord de la route et récupérés pour leur ferraille. Ainsi, la majorité des halocarbures utilisés dans les appareils domestiques finissent relâchés dans l'atmosphère.

Cette situation devrait être amenée à changer dans les années à venir, suite à l'élargissement de la Responsabilité Élargie des Producteurs (REP) aux appareils électroménagers [6]. En effet, depuis 2021, les entreprises qui vendent ces appareils sont responsables de leur gestion en fin de vie, et notamment de la gestion des halocarbures. La mesure étant encore récente, il est difficile d'évaluer l'impact qu'aura cette mesure et si celle-ci sera suffisante ou non pour éliminer ces émissions d'halocarbures.

6 CONCLUSION

L'analyse de la gestion des halocarbures au Québec soulève de nombreuses questions et met en lumière des situations qui semblent hautement problématiques à plusieurs égards.

- Tout d'abord, les halocarbures sont responsables d'un volume d'émissions de GES qui est loin d'être négligeable, même si aucune donnée précise n'a pu être trouvée pour le quantifier. Les fuites provenant des appareils de plus de 20 kW et des appareils de supermarché entraînent des émissions de 0,9 Mt éq. CO₂ par année alors que le Québec a émis environ 80 Mt éq. CO₂ en 2018 [16]. Les appareils plus petits, notamment l'électroménager domestique, engendre aussi des émissions de GES, difficiles à comptabiliser. Ces émissions découlent d'une prise en charge de ces appareils par des entreprises non spécialisées qui ne sont pas capables de récupérer les halocarbures et qui les laissent s'échapper dans l'atmosphère, en contradiction avec le *Règlement sur les halocarbures*.
- Environ 455 500 crédits compensatoires ont été délivrés pour la destruction de CFC utilisés comme réfrigérant entre 2015 et 2020 alors que, depuis 2013, il est interdit de remplir un appareil avec un CFC. Cela signifie que des entreprises participant au marché du carbone ont pu émettre 455 500 t éq. CO₂ en achetant ces crédits compensatoires alors qu'elles n'évitaient aucune émission de GES.
- La méthode utilisée pour calculer les émissions de GES évitées peut être remise en question.
 - Les substituts aux gaz donnant droit à des crédits compensatoires sont définis à partir de données américaines qui ne semblent pas correspondre à la situation québécoise. Dans la réalité, certains substituts auraient des PRG plus importants que ceux des gaz détruits, ce qui entraînerait une augmentation des émissions de GES au lieu de réduire celles-ci.
 - Aucune donnée ne permet d'expliquer certaines différences très significatives observées entre les taux de fuite d'un halocarbure et ceux de ses substituts.
- Le rôle joué par le marché du carbone dans la réduction des émissions d'halocarbures n'est pas mesuré en tenant compte des réglementations s'appliquant à ces gaz ou de l'évolution naturelle du marché. Ainsi, le marché du carbone peut actuellement émettre des crédits compensatoires pour la destruction d'halocarbures qui auraient de toute façon été détruits, avec ou sans le soutien du marché du carbone.
- Les fuites de réfrigérants sont considérées comme normales et inévitables, mais rien ne peut justifier qu'il en soit ainsi. Il semble nécessaire d'effectuer un travail d'analyse portant sur la réalité des fuites, leurs causes et les solutions qui existent pour mieux les détecter et les empêcher. Une telle recherche permettrait de déterminer s'il n'existe pas de solutions plus efficaces pour réduire les émissions de GES liées aux réfrigérants que la valorisation de la destruction des halocarbures sur le marché du carbone.

Cette analyse met en lumière la nécessité de réaliser une analyse approfondie de la gestion des halocarbures au Québec afin de mieux comprendre les enjeux et les situations dans lesquelles la destruction d'halocarbures permet vraiment de réduire les émissions de GES.

RÉFÉRENCES

- [1] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, «Règlement relatif aux projets de destruction d'halocarbures admissibles à la délivrance de crédits compensatoires,» 2021.
- [2] Gouvernement du Canada, «Règlement sur les substances apauvrissant la couche d'ozone et les halocarbures de remplacement,» 2020.
- [3] Refrigerant Management Canada, «Pollution Prevention Plan,» [En ligne]. Available: <https://www.hrai.ca/rmc-p2-plan>. [Accès le 03 Décembre 2021].
- [4] Recyc-Québec, «Responsabilité élargie des producteurs,» [En ligne]. Available: <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/entreprises-organismes/mieux-gerer/responsabilite-elargie-producteurs/>. [Accès le 02 Mars 2022].
- [5] Recyc-Québec, «Cadre normatif du Programme d'aide financière pour soutenir les entreprises visées à la REP pour la gestion des appareils ménagers et de climatisation,» 2021.
- [6] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, «Règlement sur les halocarbures,» 2021.
- [7] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, «Règlement sur les halocarbures,» 2013.
- [8] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, «Le marché du carbone, un outil pour la croissance économique verte!,» [En ligne]. Available: Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. [Accès le 02 Décembre 2021].
- [9] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, «Crédits compensatoires,» [En ligne]. Available: <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/carbone/credits-compensatoires/index.htm>. [Accès le 02 Décembre 2021].
- [10] Climate Action Reserve, «Ozone depleting substances - Project protocol,» 2012.
- [11] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, «Registre des projets de crédits compensatoires,» [En ligne]. Available: https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/carbone/credits-compensatoires/registre_creditscompensatoires.htm. [Accès le 02 Décembre 2021].
- [12] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, «Bilan des achats et des ventes d'halocarbures et des reprises d'halocarbures usés au Québec,» 2003-2019.
- [13] Honeywell-refrigerants, «Guide to alternative refrigerants,» [En ligne]. Available: <https://www.honeywell-refrigerants.com/india/?document=r-22-phaseout-and-retrofit-options-for-honeywell-genetron-refrigerants-2&download=1>. [Accès le 02 Décembre 2021].
- [14] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, «Analyse d'impact réglementaire du Règlement modifiant le Règlement sur les Halocarbures,» 2019.

- [15] Refrigerant Depot, «Chemours R-22 30 lbs cylinder,» [En ligne]. Available: <https://www.refrigerantdepot.com/product/r-22/>. [Accès le 2021 Décembre 03].
- [16] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, «Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2016 et leur évolution depuis 1990,» 2018.