

Canadian
Forces
College

Collège
des
Forces
Canadiennes



UN PORTFOLIO SANS GAZ À EFFET DE SERRE : POUR UNE TRANSITION RÉUSSIE

Major Jean-François Huot

JCSP 46

Master of Defence Studies

Disclaimer

Opinions expressed remain those of the author and do not represent Department of National Defence or Canadian Forces policy. This paper may not be used without written permission.

© 2020. Her Majesty the Queen in Right of Canada, as represented by the Minister of National Defence. All rights reserved.

PCEMI 46

Maîtrise en études de la défense

Avertissement

Les opinions exprimées n'engagent que leurs auteurs et ne reflètent aucunement des politiques du Ministère de la Défense nationale ou des Forces canadiennes. Ce papier ne peut être reproduit sans autorisation écrite.

© 2020. Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre de la Défense nationale. Tous droits réservés.

CANADIAN FORCES COLLEGE/COLLÈGE DES FORCES CANADIENNES

JCSP 46 – PCEMI 46
2019 - 2020

MASTER OF DEFENCE STUDIES / MAÎTRISE EN ÉTUDES DE LA DÉFENSE

**UN PORTFOLIO SANS GAZ À EFFET DE SERRE :
POUR UNE TRANSITION RÉUSSIE**

Par le major Jean-François Huot

“This paper was written by a student attending the Canadian Forces College in fulfilment of one of the requirements of the Course of Studies. The paper is a scholastic document, and thus contains facts and opinions, which the author alone considered appropriate and correct for the subject. It does not necessarily reflect the policy or the opinion of any agency, including the Government of Canada and the Canadian Department of National Defence. This paper may not be released, quoted or copied, except with the express permission of the Canadian Department of National Defence.”

« La présente étude a été rédigée par un stagiaire du Collège des Forces canadiennes pour satisfaire à l'une des exigences du cours. L'étude est un document qui se rapporte au cours et contient donc des faits et des opinions que seul l'auteur considère appropriés et convenables au sujet. Elle ne reflète pas nécessairement la politique ou l'opinion d'un organisme quelconque, y compris le gouvernement du Canada et le ministère de la Défense nationale du Canada. Il est défendu de diffuser, de citer ou de reproduire cette étude sans la permission expresse du ministère de la Défense nationale. »

Word Count: 17,597

Nombre de mots : 17 597

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières.....	i
Liste des figures	ii
Résumé.....	iii
Abstract	iv
Introduction.....	1
1. Le portfolio.....	8
2. Revue de la littérature	12
3. Technologies disponibles	18
4. Facteurs de transition	39
5. Critères de réussite	61
Conclusion : Des critères de réussite pour une transition vers la carboneutralité.....	75
Annexe A	82
Bibliographie.....	83

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1 : Éolienne à axe horizontale.....	21
Figure 3.2 : Éolienne à axe verticale.....	22
Figure 3.3 : Vitesse moyenne des vents au Canada	23
Figure 3.4: Potentiel géothermique du Canada selon l'utilisation	25
Figure 3.5 : Couvert minimum de glace dans l'Arctique, été 2019 et moyenne 1981-2010.....	28
Figure 3.6 : Concentrateur solaire.....	31
Figure 3.7 : Densité d'énergie de différents médiums	34
Figure A.1. Carte des installations de l'UOI(N)	82

RÉSUMÉ

Le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada a mandaté en 2017 une réduction des émissions de gaz à effet de serre résultant des activités du gouvernement. Le Ministère de la défense, en tant que plus grand pollueur du gouvernement, doit faire sa part, entre autres avec sa consommation d'énergie dans l'Arctique reposant aujourd'hui presque exclusivement sur les carburants fossiles. Ce travail explore les options disponibles pour remplacer les énergies fossiles. Il discute des principaux facteurs de transitions, soit les risques, les défis et les opportunités auxquels le gouvernement fait face pour accomplir une transition vers des énergies propres et renouvelables. Ces facteurs servent par la suite à induire des critères de réussite pour cette transition. Trois critères essentiels sont présentés. D'abord, la nécessité pour le gouvernement de créer une synergie nationale entre tous les acteurs, qu'ils s'agissent des différents ministères fédéraux, des provinces et territoires, des municipalités ou du secteur privé. Ensuite, vu les difficultés associées à la construction dans l'Arctique, il est essentiel que les entreprises qui installeront ces nouveaux systèmes aient toute la compétence et l'expérience requise pour assurer le succès des projets. Enfin, afin d'atteindre la carboneutralité, les solutions retenues devront utiliser des énergies renouvelables et propres. De plus, étant donné la nature intermittente dans la production de plusieurs énergies renouvelables, des solutions de stockage d'énergie sont proposées. Celle de l'utilisation de l'hydrogène semble la plus prometteuse, mais requiert la synergie nationale mentionnée.

ABSTRACT

In 2017, the Treasury Board of Canada Secretariat mandated a reduction in greenhouse gas emissions resulting from government activities. The Ministry of Defense, as the government's biggest polluter, must do its part, among other things with its energy consumption in the Arctic, which today relies almost exclusively on fossil fuels. This work explores the options available to replace fossil fuels. It discusses the main transitional factors, namely the risks, challenges and opportunities that the government faces to make a transition to clean and renewable energy. These factors are then used to induce success criteria for this transition. Three essential criteria are presented. First, the need for the government to create national synergy between all the players, whether they are different federal departments, provinces and territories, municipalities or the private sector. Second, given the challenges associated with building in the Arctic, it is essential that the companies installing these new systems have the skill and experience required to ensure the success of the projects. Finally, in order to achieve carbon neutrality, the solutions chosen must use renewable and clean energies. In addition, given the intermittent nature in the production of several renewable energies, energy storage solutions are proposed. The use of hydrogen seems to be the most promising, but requires the national synergy mentioned.

INTRODUCTION

Le Ministère de la défense nationale (MDN) et les Forces armées canadiennes (FAC) doivent pouvoir compter sur un large éventail d'infrastructure de toutes sortes, incluant terrains d'aviation, routes, terrains d'entraînements, hangars, garages, bureaux, etc. afin de rencontrer les objectifs assignés par le gouvernement. Le maintien et l'opération de toutes ces infrastructures représente un coût important pour le Canada, non seulement en termes de dollars et de main d'œuvre, mais aussi en termes de gaz à effet (GES) de serre émis dans l'atmosphère. Dans l'opération des infrastructures, ces GES proviennent principalement de la combustion de carburants fossiles pour le chauffage ou pour la production d'électricité à l'aide de génératrices.

Bien que certaines génératrices soient présentes dans les installations principales du MDN, elles servent en général de sources temporaires d'électricité lors de pannes. En effet, la très grande majorité des infrastructures du MDN sont reliées aux différents réseaux électriques des communautés où elles se retrouvent. Or, il en est tout autrement des installations situées dans le nord canadien. La majorité de ces bâtiments consomment de l'électricité produite par des génératrices fonctionnant avec des carburants fossiles. En plus d'émettre des GES lors de leur combustion, ces derniers représentent un fardeau logistique additionnel. En effet, à chaque année, des quantités importantes de carburants doivent être acheminées par bateaux aux différentes installations de l'Arctique canadien, ce qui contribue à faire augmenter les coûts d'opération, déjà élevés, dans le nord. De plus, l'acheminement d'hydrocarbures par voie maritime représente un risque

environnemental non négligeable¹. Malgré la fonte des glaces constatées dans l'Arctique², la navigation dans cette région demeure tout de même plus difficile et les risques d'accidents sont ainsi accrus. Un déversement de carburant dans l'Arctique constituerait une catastrophe environnementale d'autant plus importante qu'il serait bien plus difficile de la gérer que dans les secteurs plus au sud. Il fallut près de trois mois pour arrêter la fuite de la plateforme *Deepwater Horizon* en 2010, dans les eaux du Golfe du Mexique, malgré la facilité d'accès et la présence de milliers de travailleurs qualifiés. En 2017, le nettoyage n'était toujours pas complété. S'il fallait ajouter des glaces, l'impossibilité de larguer des dispersants par les airs en raison des conditions météorologiques rarement favorables et le fait que le pétrole accumulé sous les glaces ne se dégrade pas par l'action microbienne³, il s'agirait d'une catastrophe difficilement imaginable et encore plus difficilement contrôlable. D'ailleurs, le déversement du pétrolier Exxon Valdez en 1989 près des côtes de l'Alaska continuait d'avoir des effets environnementaux néfastes 20 ans plus tard⁴.

Pour sa part, le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (CT) a déterminé en 2017 des cibles ambitieuses de réduction des GES résultant des activités du gouvernement. La cible à atteindre est une réduction des « émissions de GES de 80 %

¹ Lucia Mortensen, Anne Merrild Hansen et Alexander Shestakov, « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities », *Polar Geography* 40, n° 3, (2017), p. 165.

² Joshua Ho, « The implications of Arctic sea ice decline on shipping », *Marine Policy* 34, n° 3, (mai 2010) p. 713.

³ Elizabeth Riddell-Dixon, *Breaking the Ice – Canada, Sovereignty, and the Arctic Extended Continental Shelf*, (Toronto : Dundurn, 2017), p. 31-32.

⁴ Doug Struck, « Twenty Years Later, Impacts of the Exxon Valdez Linger », *Yale Environment 360*, 24 mars 2009, [en ligne], page consultée le 31 mars 2020, https://e360.yale.edu/features/twenty_years_later_impacts_of_the_exxon_valdez_linger

d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 2005⁵ ». Pour l'année financière (AF) 2017-2018, le MDN était à lui seul responsable de près de 50 % des émissions de tous le Gouvernement du Canada avec des émissions de 544 kilotonnes (kt)⁶. Ces émissions étaient déjà 31 % sous celles de 2005, mais encore bien loin des 80 % exigés, ou de l'objectif encore plus ambitieux aussi énoncé par le gouvernement d'être carboneutre⁷. C'est d'ailleurs à cet objectif de carboneutralité que ce travail fait référence.

Aussi, il existe de nombreuses données montrant que la température moyenne de la planète augmente. Lors de son allocution d'ouverture à la Conférence sur les changements climatiques en décembre 2019, le ministre canadien de l'environnement soulignait entre autres que le climat du Canada se réchauffe deux fois plus vite que la moyenne mondiale, et pire encore, trois fois plus vite dans l'Arctique⁸. Malgré tout, il existe toujours un débat à savoir si les changements climatiques sont réels ou non. Et aussi, certains prenant part à ce débat reconnaissent leur existence, mais nient qu'ils sont dus à des causes anthropomorphiques. Il est donc important de préciser que ce texte n'est pas une contribution à ce débat. Il n'est pas question ici de savoir si le réchauffement climatique est réel ou non et si les GES y contribuent.

⁵ Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, *Le gouvernement du Canada fixe des cibles ambitieuses pour réduire les gaz à effet de serre découlant des activités fédérales*, 2017, [en ligne], page consultée le 28 janvier 2020, https://www.canada.ca/fr/secretariat-conseil-tresor/nouvelles/2017/12/le_gouvernement_ducanadafixedesciblesambitieusespourreduirelesga.html

⁶ Canada, *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre du gouvernement du Canada*, 2019, [en ligne], page consultée le 28 janvier 2020, <https://www.canada.ca/fr/secretariat-conseil-tresor/services/innovation/ecologiser-gouvernement/inventaire-emissions-gas-effet-serre-gouvernement-canada.html>

⁷ Canada, *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre du gouvernement*.

⁸ Canada, Environment and Climate Change Canada, *National Statement – December 10, 2019 – Madrid, Spain*, page consultée le 16 décembre 2019, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CANADA_cop25cmp15cma2_HLS_EN.pdf.

Le but de ce texte est de suggérer des critères de réussite pour une transition vers des sources d'énergie propres et renouvelables, afin de rencontrer les objectifs énoncés par le CT, dont la carboneutralité pour le gouvernement du Canada. Il existe différents moyens pour atteindre ces cibles : programmes de sensibilisation à la conservation d'énergie, contrats de performance énergétique, ou choix de techniques de construction rencontrant des normes plus performantes en conservation d'énergie (par exemple la norme LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*). Mais toutes ces mesures ne peuvent à elles seules permettre d'atteindre l'objectif de carboneutralité. Pour atteindre cet objectif très ambitieux, il faut aussi planifier la transition des systèmes de génération d'énergie actuels utilisant des carburants fossiles vers des systèmes utilisant des sources d'énergie renouvelables. C'est sur ce dernier point que ce texte se concentre. De plus, comme les infrastructures du MDN sont généralement reliées aux systèmes publics dans les 10 provinces, ce travail portera sur les infrastructures du MDN présentes dans le nord canadien, celles-ci constituant le portfolio de l'Unité des opérations immobilières (Nord) (UOI(N)). En effet, ces sites sont généralement isolés et ne sont pas connectés à de grands réseaux. En plus de contribuer à l'atteinte des objectifs de réduction des GES du CT, ce texte fournit aussi des pistes de solution en vue de répondre à l'objectif 102 de la politique de défense du Canada, soit « Examiner d'autres options d'énergie et leur utilisation possible pour les opérations militaires⁹. »

Il est d'autant plus important de s'attarder au nord canadien dans le contexte mondial d'aujourd'hui. En effet, depuis quelques années, avec la fonte des glaces

⁹ Canada, Ministère de la défense nationale, *Protection Sécurité Engagement*, (Ottawa : Groupe communication Canada, 2017), p. 112.

constatées dans l'Arctique, de plus en plus de nations portent leur attention vers cette région. La Chine a d'ailleurs publié un livre blanc affirmant qu'elle était une « nation proche de l'Arctique¹⁰ » [traduction libre de '*Near Arctic State*']. Cette politique affirme aussi l'importance de protéger l'environnement de la région. Le Canada se doit dès lors de montrer à la communauté internationale qu'il prend ses responsabilités sérieusement et qu'il agit pour atteindre les objectifs qu'il a lui-même fixés. En démontrant un comportement exemplaire dans la région, il sera par la suite plus facile d'exiger des acteurs d'autres nations transitant dans la région de suivre les normes sévères dictées par les Canada¹¹.

L'objectif énoncé auparavant dans le texte est rencontré de deux façons. Dans un premier temps, il est démontré que l'utilisation de sources d'énergie propres et renouvelables est une avenue viable pour générer l'énergie nécessaires aux installations situées dans l'Arctique. Cette démonstration est effectuée par l'utilisation de différents exemples, répartis à travers le texte, où de tels systèmes de production d'énergie sont utilisés avec succès dans des environnements similaires. Dans un deuxième temps, le texte propose une liste de critères qui contribueront à la réussite de la transition des énergies fossiles aux énergies propres et renouvelables pour les infrastructures de l'UOI(N), et aussi des communautés de l'Arctique. En effet, lors de sa campagne électorale de 2019, le Premier Ministre, Justin Trudeau, a entre autres affirmé que « Nous

¹⁰ People's Republic of China, State Council Information Office, *China's Arctic Policy*, Beijing, 2018, [en ligne], page consultée le 29 janvier 2020, http://english.www.gov.cn/archive/white_paper/2018/01/26/content_281476026660336.htm

¹¹ Adam Lajeunesse, « Finding “win-win” China's Arctic Policy and what it means for Canada », *The School of Public Policy Publications* 11, n° 33, (décembre 2018), <https://www.policyschool.ca/wp-content/uploads/2018/12/final-Chinas-Arctic-Policy-Lajeunesse.pdf>, p. 3.

allons nous assurer que toutes les communautés autochtones ne soient plus dépendantes du diesel et consomment de l'énergie propre et abordable, comme l'hydroélectricité, d'ici 2030¹² ». Comme plusieurs des installations du MDN sont situées près de communautés autochtones dans le nord, il faut trouver les moyens adéquats afin de collaborer dans le développement de solutions qui rencontreront les objectifs du CT pour les installations gouvernementales, mais aussi profiter des synergies possibles avec les autres acteurs de la région.

Pour ce faire, le texte est divisé en cinq chapitres. Dans un premier temps, ce travail brosse un portrait de l'UOI(N). Il est important de comprendre l'envergure du problème à l'étude ici et ce ne serait pas possible sans avoir une idée du portfolio en question. Cette section considère l'emplacement géographique des infrastructures, si elles sont colocalisées avec des communautés civiles et leur utilité pour le MDN.

Par la suite, une revue de la littérature est présentée. Cette dernière s'intéresse à la documentation disponible sur les énergies renouvelables sans avoir la prétention d'avoir tout recensé ce qui est disponible sur ce domaine en pleine expansion. La recherche est plutôt concentrée sur les articles dans cette sphère qui portaient sur des applications similaires à celles recherchées ici, soit en environnement isolé et extrême, comme l'Arctique canadien. Une seconde partie de la revue de la littérature s'intéresse à certaines publications et documents gouvernementaux pertinents, comme les lettres de mandats ministériels.

¹² Joëlle Girard, Radio-Canada, *Justin Trudeau parle climat au pays du générateur au diesel*, 8 octobre 2019, [en ligne], page consultée le 10 octobre 2019, <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1337409/parti-liberal-iqaluit-nunavut-autochtones-environnement-energie-elections?depuisRecherche=true>

Même si l'existence des changements climatiques ne fait pas l'unanimité dans la communauté internationale, il y a tout de même des efforts de recherche et de développement importants dans le domaine des énergies renouvelables. Il est important de faire un survol des technologies disponibles afin de considérer l'ensemble des possibilités pour atteindre les objectifs. En revanche, il est essentiel de mentionner que le but de ce travail n'est pas de développer une solution d'ingénierie visant l'atteinte de ces objectifs. C'est ce qui fait l'objet du Chapitre 3.

Le quatrième chapitre présente différents facteurs qui peuvent influencer la transition vers les sources d'énergie qui permettront d'atteindre les objectifs visés. Ces facteurs sont en partie tirés d'exemple d'implantation d'énergie propre et renouvelable dans des environnements similaires, mais aussi de projets réalisés dans des milieux moins hostiles. Enfin, d'autres facteurs venant du sens commun sont aussi présentés.

Grâce aux informations des quatre premiers chapitres, il est possible d'induire des critères favorisant la réussite de la transition vers les nouvelles énergies et l'atteinte de la carboneutralité. Ces critères sont discutés dans le Chapitre 5, avant de procéder à la conclusion. Tout comme pour les facteurs présentés au Chapitre 4, les critères discutés ne constituent pas une liste exhaustive; ils sont cependant suffisamment nombreux pour augmenter considérablement les chances de succès de futurs projets.

1. LE PORTFOLIO

Afin de bien comprendre l'ampleur de la tâche à accomplir, c'est-à-dire réduire les émissions de GES de l'UOI(N) à zéro d'ici 2050, il est important de bien comprendre le portfolio en question. Bien que ce portfolio soit bien plus petit en termes de nombre de bâtiments que ceux des autres régions du Groupe des opérations immobilières¹³, il comporte des caractéristiques et des difficultés uniques.

Tout d'abord, la région qu'il couvre est énorme. L'UOI(N) est responsable de toutes les infrastructures dans l'Arctique canadien, la région au nord du 60^e parallèle qui représente plus de 40 % du territoire terrestre canadien. De plus, l'UOI(N) est aussi responsable des installations de Goose Bay au Labrador.

Le type d'installations est aussi très varié. En plus de la base à Goose Bay, Il comprend quatre emplacements d'opérations avancés (Inuvik et Yellowknife aux Territoires du Nord-Ouest ainsi que Rankin Inlet et Iqualuit au Nunavut), quatre sites d'infrastructures du MDN (White Horse au Yukon, Eureka, Nanisivik et Resolute Bay au Nunavut), sept sites de communication de données du Haut-Arctique (à l'intérieur du cercle polaire, nord de 66° 33'), 47 site de radars, trois sites abandonnés du système avancé d'alerte¹⁴, un centre de recherche de Recherche et développement de défense Canada (RDDC) ainsi que la station de Alert située à moins de 850 km du pôle nord, ou à plus de 4 100 km d'Ottawa. À l'exception des infrastructures d'Inuvik, Yellowknife, White Horse, Goose Bay et du site de radar près de Tuktoyaktuk, au nord d'Inuvik, aucun

¹³ Le Groupe des opérations immobilières a comme tâche de maintenir et opérer tout le portfolio immobilier du MDN. Il est divisé en 7 régions : Atlantique (NB, NE, IPE, TN), Québec, Ontario, Ouest (MB, SK, AB), Pacifique (CB), Nord (NU, TNO, YU) et Centre (région de la capitale nationale).

¹⁴ Mieux connu sous le nom de DEW line ou *Distant Early Warning*.

© 2020. Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre de la Défense nationale.

de ces sites n'est accessible par route. Ils ne sont accessibles que par mer ou par les airs.

Une carte des installations est présentée à l'annexe A.

Toutes ces installations sont occupées par du personnel à l'année, sauf les sites de radars et de communications qui sont des systèmes automatisés, et le site de ravitaillement maritime automatisé de Nanisivik. La plupart des installations habitées sont colocalisées avec des communautés civiles; ce n'est cependant pas le cas pour Alert et Eureka. La station d'Eureka est habitée à l'année par du personnel du service météorologique du Ministère de l'environnement et des changements climatiques du Canada. Le MDN y envoie du personnel à l'occasion, selon les exercices ou les tâches en cours. Les installations de Rankin Inlet pour leur part sont maintenues par l'UOI(N), mais elles n'ont jamais été mises en service.

Toutes ces infrastructures sont alimentées en électricité par des micro-réseaux, sauf dans les cas de Whitehorse et Yellowknife où les réseaux sont de plus grande envergure. Dans le cas où les sites du MDN sont colocalisés avec des communautés civiles, le MDN et les communautés partagent les réseaux. Ces derniers sont en grande partie alimenté par des génératrices au diesel, et c'est aussi le cas pour les sites du MDN qui sont isolés. Les deux seules exceptions sont les sites de Yellowknife et de Whitehorse. En effet, ces deux territoires utilisent certaines sources d'énergie renouvelable pour alimenter leur réseau, mais ils doivent aussi compter sur des centrales brûlant des combustibles fossiles. Au total, les installations de l'UOI(N) consomment pas loin de 17 millions de litres de diesel annuellement, rejetant ainsi plus de 27 millions de tonnes de

CO₂ dans l'atmosphère, ce qui correspond à 7 % des émissions de GES pour l'ensemble du parc immobilier dont le Groupe des opérations immobilières est responsable¹⁵.

Le portfolio de l'UOI(N) comporte plus de 772 infrastructures de toute sorte, incluant à la fois les bâtiments, citernes, pistes d'aviation, stations de pompages, soit tout type de structures qui doit être entretenues. Toutes les données présentées ici au sujet du portfolio ont été extraites du système intégré de gestion des ressources de la défense (SIGRD)¹⁶ et elles représentent le portfolio en date du 23 avril 2019. Des 772 infrastructures mentionnées, 283 se retrouvent au Nunavut, 329 au Labrador, 100 au Territoires du Nord-Ouest et 60 au Yukon. Aussi, il faut préciser que 125 de ces infrastructures sont des résidences militaires familiales et que leur entretien n'est pas sous la responsabilité de l'UOI(N). Malgré cela, ces résidences militaires sont approvisionnées en énergie par les réseaux locaux et contribuent de ce fait aux émissions de GES du gouvernement fédéral. De plus, leur âge moyen est inquiétant : 63 ans; et seulement sept de ces habitations ont été construites après 1973 dont une en 1987 et les autres en 1989, ce qui leur donne toutes un âge supérieur à 30 ans.

Les infrastructures sous la responsabilité de l'UOI(N) ont été construites entre 1951 et 2016. L'année moyenne de construction est 1976, ce qui représente un âge de 44 ans en moyenne. Comme le premier choc pétrolier a eu lieu en 1973, il est raisonnable de supposer que les considérations d'économie d'énergie, telles qu'on les connaît aujourd'hui, n'étaient pas incluses dans la construction des bâtiments. Près de la moitié des infrastructures ont été construites avant cette date, soit 321. Enfin, pour compléter le

¹⁵ Joseph Newton, J9-2 Conformité, Groupe des opérations immobilières, *Energy and GHG Working File.xlsx*, fichier reçu par courriel, 23 janvier 2020.

¹⁶ En anglais : *Defence Resource Integrated Management System (DRIMS)*.

© 2020. Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre de la Défense nationale.

portrait de l'âge du portfolio de l'UOI(N), 318 constructions ont plus de 50 ans, alors que seulement 51 de celles-ci ont 20 ans ou moins.

Dans l'ensemble, comme le MDN construit généralement ses bâtiments avec une vie utile envisagée de 50 ans, le portfolio de l'UOI(N) a en grande partie dépassé cette vie utile et il est très peu efficace d'un point de vue énergétique. De plus, certaines des structures ne sont pas utilisées à leur plein potentiel; il y a même des sites comme celui de Rankin Inlet, dont l'utilité est questionnée, qui pourrait potentiellement être décommissionné afin de réduire les émissions des GES et le fardeau de maintenance.

En somme, le portfolio de l'UOI(N) est généralement isolé. Une grande partie des installations ne sont accessibles que par les airs ou la mer. Mis à part les sites de Yellowknife et Whitehorse qui sont connectés à des réseaux électriques d'envergure utilisant une certaine proportion d'énergie renouvelable, toutes les installations ont recours au diesel pour combler leurs besoins en énergie. Cela contribue à faire augmenter les coûts d'opération, constitue un fardeau logistique et, représente un risque environnementale considérable lors de l'acheminement et le transbordement du diesel, en plus d'émettre des GES. Enfin, près de 50 % du portfolio a plus de 50 ans et ne rencontre pas les normes d'efficacité énergétique contemporaine, ce qui augmente les besoins en carburant.

2. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Cette revue de littérature comporte deux parties. Elle couvre d'abord le sujet des énergies renouvelables. Comme ce sujet est très vaste et en pleine expansion, il existe une pléthore d'écrits sur le sujet, que ce soit dans les domaines de sciences fondamentales, d'ingénierie, des politiques, de l'environnement ou de la futurologie. Cette section n'a donc pas la prétention de tout couvrir ce qui a été écrit à ce jour dans le domaine. La recherche a retenu une quantité minimale d'ouvrages de nature techniques et a plutôt été orientée vers des écrits reliés au sujet avec des applications similaires à celles couvertes ici, soit l'implantation dans l'environnement arctique.

La seconde portion de cette revue de la littérature s'attarde à des documents gouvernementaux et met une emphase particulière sur des écrits qui ne sont disponibles au public que depuis récemment : les lettres de mandats ministériels fédérales. En effet, le Premier Ministre Justin Trudeau a rendu ces lettres publiques lors de son premier mandat, en 2015, et a refait de même à la suite de sa réélection à l'automne 2019. L'objectif de carboneutralité a été établi par le CT, alors ces lettres peuvent indiquer quels ministères seront les plus susceptibles de collaborer avec le MDN en vue de l'atteindre.

2.1 Les énergies renouvelables

Quelques manuels d'ingénierie et de sciences ont été consultés afin de permettre de brosser un portrait de la situation actuelle des méthodes de production et de stockage de l'électricité, ce qui se retrouve au Chapitre 3. Plusieurs articles scientifiques reliés au domaine ont aussi été recensés. La recherche a d'abord fourni une abondante quantité de résultats au sujet des énergies renouvelables; il a donc été nécessaire de la préciser en

spécifiant que les articles devaient inclure, dans la discussion, des applications dans la région arctique. Un troisième critère de recherche a par la suite été appliqué, soit celui de trouver des articles au sujet d'applications canadiennes; ce critère a cependant été abandonné étant donné le faible nombre de résultats obtenus. Les articles abordent les énergies renouvelables sous différents angles qui peuvent être regroupés en trois groupes.

Il y a d'abord plusieurs articles qui abordent la production d'énergie renouvelable sous l'angle technique. Il s'agit entre autres d'études sur l'irradiation solaire de certaines régions, ou sur la puissance des vents, tandis que d'autres regardent la corrélation qui peut exister entre plusieurs sources différentes. D'autres abordent l'aspect des micro-réseaux électriques opérant en isolation, comme c'est le cas dans la majorité des localités dans l'Arctique. Ces informations sont essentielles afin de comprendre le type de solution qui peut fonctionner dans l'Arctique. Elles fournissent aussi des paramètres nécessaires à l'optimisation des systèmes de remplacement, tel que l'utilisation de sources renouvelables différentes pour un même emplacement.

Un autre grand thème recensé est celui du partage de réussites. En effet, plusieurs articles expliquent comment des sources d'énergie renouvelable ont été intégrées avec les systèmes actuels de production au diésel. Comme la recherche se penchait sur l'Arctique, les exemples recensés portaient sur des applications similaires en Alaska, en Russie ou en Antarctique. Ces articles ont été essentiels afin de constater la viabilité de telles sources d'énergie pour l'environnement hostile du nord canadien. Ils ont aussi fourni, dans certains cas, des facteurs importants qui ont contribué la réussite de leur implantation, qui sont discutés dans le Chapitre 4.

Enfin, la dernière catégorie a trait à l'environnement social et politique. Quelques auteurs ont en effet conduit des études auprès des populations de l'Arctique afin de déterminer l'acceptabilité sociale de ces technologies. D'autres ont plutôt mis en valeur l'importance d'une intervention des états par voie de politiques afin de favoriser la transition vers les énergies renouvelables et s'assurer que leur adoption ne fluctue pas avec les prix des énergies fossiles, comme c'est le cas où le support gouvernemental est moindre ou absent. Cette catégorie d'articles a aussi permis de recueillir d'autres facteurs importants en vue de la transition recherchée, qui sont aussi discutés au Chapitre 4.

Cependant, aucun des documents trouvés adopte une approche similaire à celle proposée ici, soit d'utiliser les facteurs qui caractérisent les projets d'énergies renouvelables réussis afin d'en induire des critères de réussite pour une transition vers la carboneutralité. C'est ce que le présent travail propose dans le but de faciliter cette transition qui est mandatée par le CT, mais qui contribuera aussi à augmenter la sécurité environnementale ainsi que la sécurité énergétique des communautés de l'Arctique canadien.

2.2 Documents gouvernementaux

Développer de nouvelles infrastructures pour la production d'énergie est une entreprise qui requiert de grandes sommes de capitaux. Comme les objectifs du CT s'adressent à l'ensemble du gouvernement du Canada, il est intéressant de s'attarder aux lettres de mandat des différents ministres afin de voir si certains d'entre eux n'ont pas des objectifs spécifiques à atteindre en vue de la réduction des émissions de GES. Le cas

échéant, ces ministères devraient être contactés afin de créer des partenariats dans le but de faciliter la réalisation de projets de génération d'énergie pour l'Arctique.

Le cabinet actuel compte 36 ministres et chacune de leur lettre de mandat a été révisée. Neuf de celles-ci comportent des objectifs en lien avec le présent travail. Cependant, bien que le MDN soit le plus grand émetteur de GES du gouvernement fédéral, aucun des mandats confiés au Ministre de la Défense nationale ne vise la réduction des émissions de GES du MDN.

Pourtant, le MDN a tout avantage à collaborer avec d'autres ministères afin de réduire ses émissions de GES. Voici les mandats confiés à d'autres ministres¹⁷ qui peuvent être utiles au MDN dans l'atteinte de ses cibles :

- **Ministre de l'Innovation, des Sciences et de l'Industrie :**
 - « [...] continuer de mener des recherches axées sur la mission afin de relever les grands défis de notre époque, notamment les changements climatiques, la croissance propre.
 - [...] faire du Canada un chef de file mondial en matière de technologies propres. »
- **Ministre des Affaires étrangères :** « [...] maintenir le rôle de chef de file du Canada dans les efforts internationaux de lutte contre les changements climatiques. »
- **Vice-Première Ministre et Ministre des affaires inter-gouvernementales :** « [...] continuer de mettre en œuvre le cadre sur la croissance propre. »

¹⁷ Certaines des lettres étaient disponibles dans les deux langues officielles alors que d'autres n'ont été trouvées qu'en anglais. Pour ces dernières, une traduction libre est fournie dans le texte. Toutes les lettres ont été retrouvées en ligne, le 6 février 2020, <https://pm.gc.ca/fr/cabinet>

- **Ministre des Services Publics et de l'Approvisionnement :** « [...] développer une stratégie pour fournir les édifices fédéraux avec de l'énergie 100% propre. »
- **Ministre de l'Infrastructure et des Collectivités :**
 - « [...] livrer des projets d'investissement [...] dans les infrastructures vertes.
 - Aller de l'avant avec un Fond de l'énergie propre [...] et appuyer la transition des communautés du nord, isolées et indigènes de leur dépendance au diesel vers des énergie propres, renouvelables et fiables. »
- **Ministre des Services aux Autochtones :** « [...] appuyer la transition des communautés autochtones qui dépendent de l'énergie issue du diesel vers l'adoption de sources d'énergie propres, renouvelables et fiables d'ici 2030. »
- **Ministre des finances :**
 - « Réduire de 50 % le taux d'impôt des compagnies qui développent et fabriquent des technologies sans émission. Les secteurs éligibles devraient inclure [...] l'énergie renouvelable, [...] le stockage d'énergie.
 - Assurer que tous les revenus fédéraux du projet Trans Mountain soient investis [...] dans des projets d'énergie propre. »
- **Ministre des ressources naturelles :**
 - « Mettre en application les recommandations du Rapport du conseil de la génération de l'énergie, incluant [...] migrer vers de l'énergie propre.
 - [...] positionner le Canada comme leader mondial en technologie propres
 - [...] améliorer l'électrification des industries canadiennes par des sources sans émissions de carbone.

- [...] appuyer la transition des communautés autochtones qui dépendent de l'énergie issue du diesel vers l'adoption de sources d'énergie propres, renouvelables et fiables d'ici 2030. »

- Ministre de l'Environnement et du Changement climatique :
 - « [...] commencer le travail pour que le Canada atteigne la cible de zéro émission d'ici 2050.
 - Mener les efforts gouvernementaux pour développer un plan pour que le Canada atteigne un futur prospère sans émissions d'ici 2050. »

Ces différentes lettres de mandat démontrent clairement que la réduction des émissions de GES est un objectif important pour le gouvernement du Canada. Elles illustrent la possibilité de créer une synergie entre différents ministères afin de coordonner les efforts pour une transition réussie, ce qui est discuté plus en détail au Chapitre 5.

Plusieurs autres documents du gouvernement fédéral ont permis de déterminer une image plus précise de la situation. Entre autres, la politique de défense du Canada *Protection Sécurité Engagement* contient des objectifs en lien avec le but de ce travail. Le site du Bureau du vérificateur général du Canada a aussi été consulté. Par exemple, l'examen du Rapport de 2018 sur la Stratégie fédérale de développement durable paru à l'automne 2019 indique que la tendance actuelle et prévue de réduction des émissions de

GES ne permettra pas d'atteindre la cible de 2030¹⁸. Enfin, certains sites gouvernementaux ont été consultés afin d'obtenir les données climatiques pertinentes.

¹⁸ Bureau du vérificateur général du Canada, *Rapport 1 – Examen du Rapport de 2018 sur la Stratégie fédérale de développement durable*, Automne 2019, [en ligne], page consultée le 27 mars 2020, https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_cesd_201912_01_f_43478.html

3. TECHNOLOGIES DISPONIBLES

Cette section est divisée en deux grandes parties. D'abord, les différentes technologies de production d'énergie sont présentées. Mais comme plusieurs des sources d'énergie renouvelables sont intermittentes¹⁹, elles doivent être combinées à des moyens de stockage de l'énergie produite en période de demande plus faible, énergie qui peut être utilisée par la suite lorsque la demande est plus grande que la capacité de production renouvelable installée. La deuxième partie porte donc sur les moyens de stockage de l'énergie.

Plusieurs textes et articles au sujet des énergies renouvelables discutent de systèmes hybrides. Ils sont en fait une combinaison de plusieurs technologies disponibles. Beaucoup de systèmes déjà installés combinent différentes sources d'énergie renouvelables avec des génératrices au diesel conventionnelles, mais il peut aussi s'agir de systèmes de production d'énergie combinant différentes sources entièrement renouvelables.

3.1 Production

Avant de se tourner vers les différentes technologies, il est important de faire une distinction entre source d'énergie renouvelable et source d'énergie propre. Ces deux concepts sont souvent applicables aux mêmes technologies, mais ils ne sont pas synonymes et ne doivent pas être confondus. « L'agence internationale de l'énergie définit l'énergie renouvelable comme venant d'un processus naturel (par exemple le vent

¹⁹ Kevin B.Jones, Mark James et Roxana-Andreea Mastor, « Securing our energy future: three international perspectives on microgrids and distributed renewables as a path toward resilient communities », *Environmental Hazards* 16, n° 2, (2017), p. 106.

ou le soleil) qui se régénère plus rapidement qu’il est consommé²⁰. » En revanche, il ne semble pas y avoir de consensus pour une définition d’énergie propre. La *North Carolina Sustainable Energy Association* la définit comme étant « dérivée des sources renouvelables, sources avec zéro émission, ainsi que l’énergie sauvée par des mesures d’efficacité énergétique²¹. » Pour sa part, le site SEGwiki la définit comme étant de « l’énergie produite par des moyens qui ne polluent pas l’atmosphère²². » On peut dire des ‘moyens qui ne polluent pas l’atmosphère’ mentionné dans la deuxième définition qu’ils sont ‘zéro émission’; c’est donc ce concept qui sera retenu dans le texte comme définition d’énergie propre.

Biomasse

La biomasse est une ressource renouvelable. De la matière organique est brûlée afin de générer de la chaleur qui peut servir au chauffage ou à la production de vapeur pour générer de l’électricité. Cette ressource est renouvelable puisque lors de la combustion, du carbone est émis et il est récupéré par d’autres plantes en croissance, remplissant ainsi le stock de matière disponible. Cependant, la combustion de la biomasse émet des GES; il ne s’agit donc pas d’une source d’énergie propre. Il existe certes des mécanismes de comptabilité des GES pour démontrer que la contribution de la biomasse aux GES est nulle²³. En revanche, les plantes qui croissent pour remplacer la biomasse

²⁰ Michaël Aklin et Johannes Urpelainen, *Renewables – The Politics of a Global Energy Transition*, (Cambridge : The MIT Press, 2018), p. 7. [traduction libre]

²¹ North Carolina Sustainable Energy Association, *What is clean energy?*, [en ligne], page consultée le 5 février 2020, <https://energync.org/what-is-clean-energy/> [traduction libre]

²² SEGwiki, *Clean energy*, [en ligne], page consultée le 5 février 2020, https://wiki.seg.org/wiki/Clean_energy [traduction libre]

²³ Eric Johnson, « Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right », *Environmental Impact Assessment Review* 29, n° 3, (Avril 2009), p. 165.

ainsi consommée pousseraient de toute façon, utilisant du carbone atmosphérique fourni par d'autres sources. Il est préférable de ne pas utiliser de techniques de comptabilité créatives pour calculer les émissions de GES et d'éviter l'utilisation de la biomasse afin de parvenir à une réduction réelle des émissions de GES²⁴.

Éolien

L'énergie éolienne est une des plus vieilles sources d'énergie utilisée par l'humanité, par exemple pour moudre le grain avec les moulins à vent, pour actionner des pompes pour l'irrigation ou encore des scieries. Depuis plusieurs années, le vent est aussi utilisé pour générer de l'électricité. Les éoliennes capturent l'énergie du vent et la transforme en électricité grâce à une génératrice.

La majorité des éoliennes en fonction sont à axes horizontales (figure 3.1), c'est-à-dire que l'axe de rotation est parallèle à la surface du sol. Ces éoliennes doivent donc pouvoir être orientée face au vent afin d'en récolter le maximum de puissance.

²⁴ Hilma Salonen. « Public justification analysis of Russian renewable energy strategies », *Polar Geography* 41, n° 2, (2018), p. 83.



Figure 3.1 : Éolienne à axe horizontale²⁵

Mais il existe aussi des éoliennes à axe verticale (figure 3.2). Comme elles ont fait l'objet de moins de recherche, elles ne sont pas aussi performantes que celles à axe horizontale, mais cette situation tend à changer et l'écart s'est considérablement rétrécie. Elles atteignent aujourd'hui des coefficients d'efficacité²⁶ de 0,38 contre 0,40 pour celles à axe horizontale. Les éoliennes à axes verticales ont aussi certains avantages : elles n'ont pas besoin d'être orientées face au vent, elles résistent mieux aux vents violents et elles requièrent moins de maintenance²⁷, ce qui est un bénéfice considérable pour une opération en milieu éloigné. Outre l'efficacité légèrement moindre, l'autre désavantage

²⁵ Source : app.emaze.com

²⁶ Le coefficient d'efficacité représente la quantité d'énergie mécanique contenue dans le vent qui est convertie en électricité. Par exemple, un coefficient de 0,4 indique que pour chaque kW contenu dans le vent qui frappe l'éolienne, 0,4 kW d'électricité sera produit.

²⁷ Robert Ehrlich et Harold A. Geller, *Renewable Energy – A First Course* (Boca Raton : CRC Press, 2018) p. 200.

est l'espace occupé par les câbles qui servent à les maintenir en place. Cependant, pour une utilisation dans l'Arctique où il y a peu d'usage pour le terrain, ce désavantage est négligeable.



Figure 3.2 : Éolienne à axe verticale²⁸

Les éoliennes se définissent aussi selon leur puissance. Elles sont généralement groupées en petites (moins de 10 kW), intermédiaires (10-250 kW) et grandes (250kW jusqu'à 6 MW)²⁹. Cette diversité de puissance facilite une installation modulaire adaptée aux différents besoins. Il est aussi facile d'augmenter la puissance en installant plus d'éoliennes si la demande augmente avec le temps.

²⁸ Source : cfim.ca

²⁹ Gisele M Arruda et Feb M. Arruda, « Towards sustainable energy systems through smart grids in the Arctic », *Renewable Energy for the Arctic: New Perspectives*, sous la direction de Gisele Arruda, (Routledge, 2018), p. 96.

De plus, comme le montre la figure 3.3, le potentiel éolien de l'Arctique canadien est considérable. En particulier, le potentiel du Nunavut est le plus grand de toutes les provinces et territoires. En effet, les éoliennes commencent à tourner avec des vitesses de vent autour de 4 m/s, les zones en bleu pâle sur la carte, et leur production augmente avec la vitesse du vent³⁰.

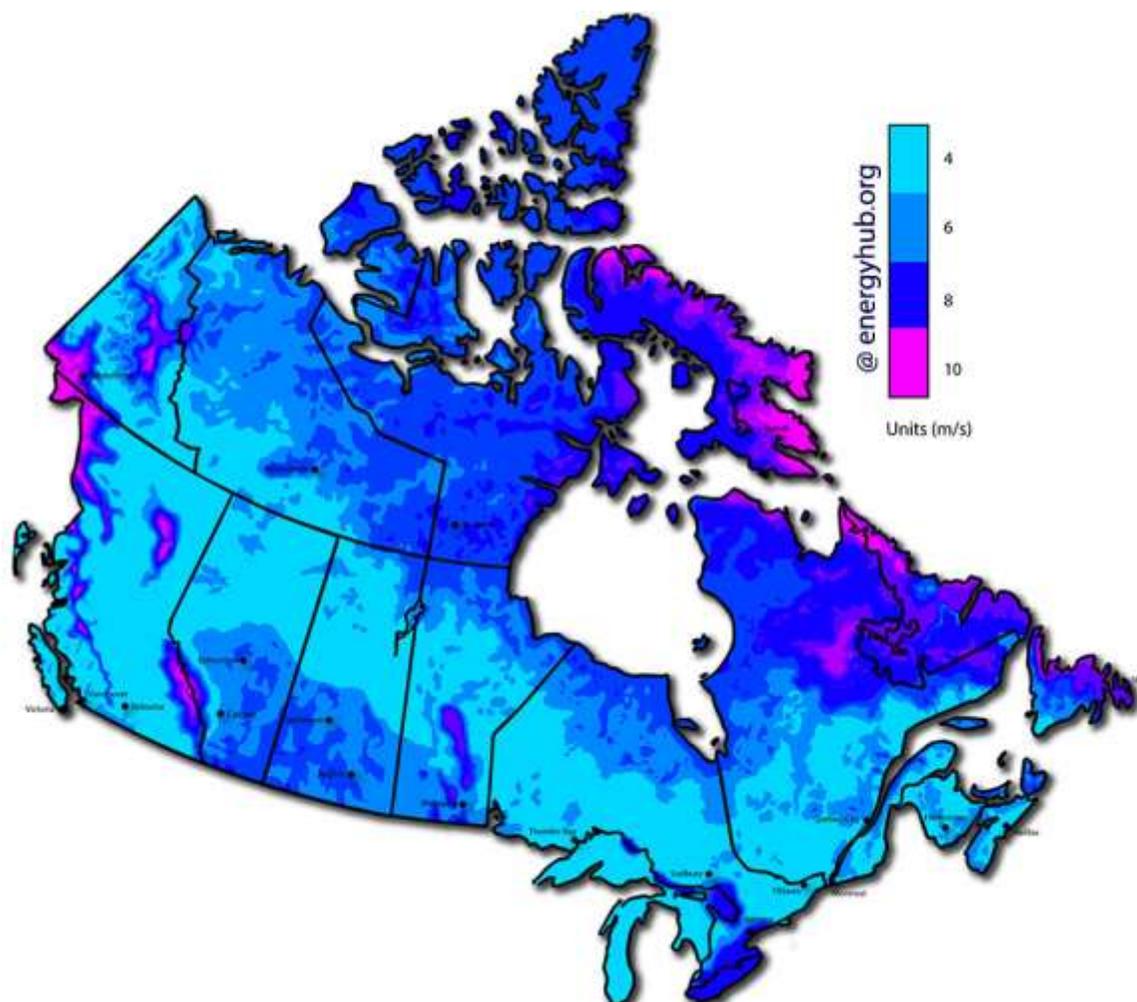


Figure 3.3 : Vitesse moyenne des vents au Canada³¹

³⁰ Marc-André Jacques, *Autant en emportera le vent : l'énergie éolienne*, 13 septembre 2019, [en ligne], page consultée le 26 mars 2020, <https://www.centredessciencesdemontreal.com/blogue/autant-en-emportera-le-vent-l-energie-eolienne>

³¹ Source : EnergyHub.org

Géothermie

Comme son nom l'indique, la géothermie utilise la chaleur (thermie) de la terre (géo). En creusant dans le sol, la température augmente graduellement. Cette chaleur peut être utilisée pour chauffer des bâtiments ou produire de l'électricité. On utilise la température plus élevée en profondeur pour transformer un liquide en vapeur qui alimente une turbine qui à son tour fait tourner une génératrice pour produire de l'électricité. En utilisant des liquides à basses températures d'évaporation comme du butane, on peut produire de l'électricité avec des puits n'ayant pas de très grande température; le record à ce jour est de 57 °C,³² c'est-à-dire la température ambiante au fond du puit géothermique où le liquide est réchauffé.

Dépendant des endroits de la planète, le gradient de température (vitesse de changement de la température) est plus ou moins grand selon la profondeur et les gradients sont qualifiés de grands lorsque la température augmente d'au moins 250 °C/km de profondeur, de moyens pour une augmentation entre 150 et 250 °C/km ou de faibles lorsque moins de 150 °C/km. La figure 3.4 montre le potentiel géothermique pour le Canada selon l'utilisation possible. Une partie du Yukon, des Territoires du Nord-Ouest ainsi qu'une petite partie du Nunavut, situé sur l'île de Cornwallis où se retrouve la station de Resolute Bay, ont un potentiel pour produire de l'électricité. Le reste du Yukon et environ la moitié des Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut ont aussi un potentiel pour le chauffage des bâtiments.

³² Robert Ehrlich et Harold A. Geller, *Renewable Energy – A First Course* (Boca Raton : CRC Press, 2018) p. 168.

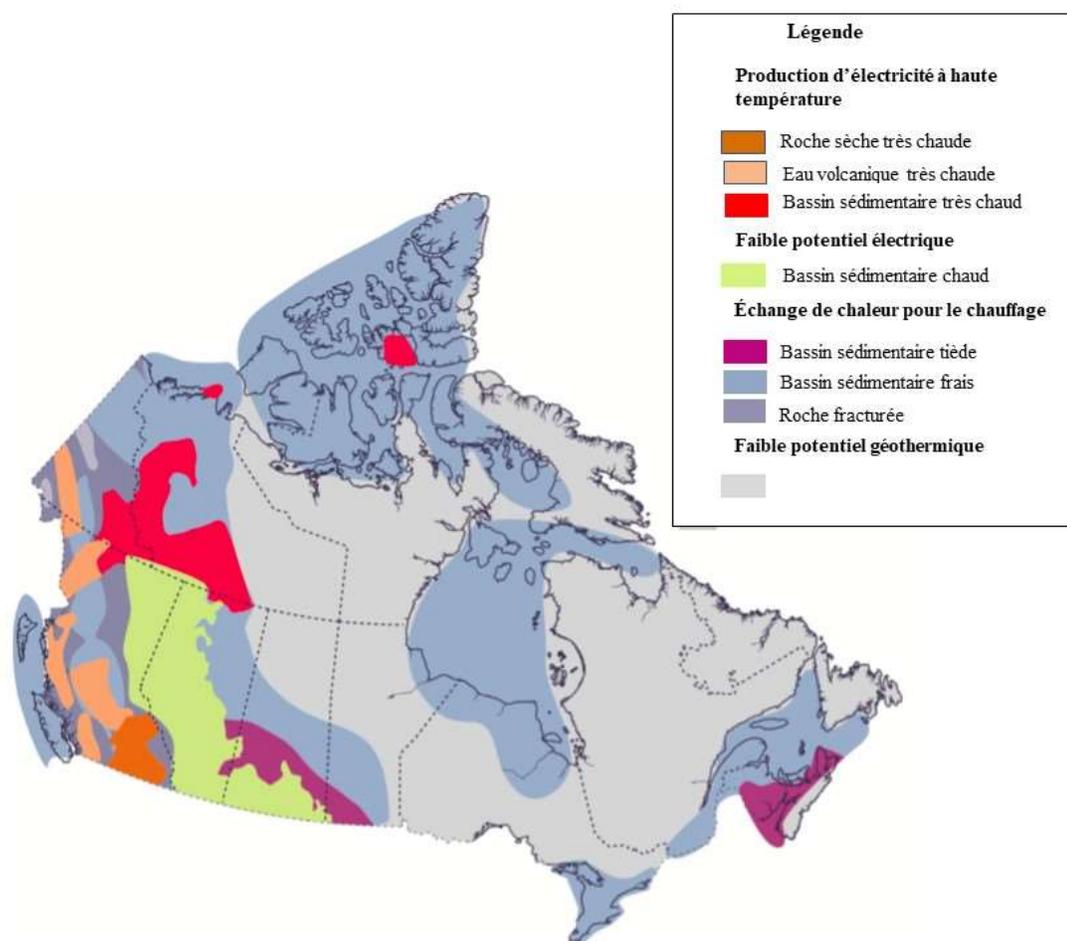


Figure 3.4: Potentiel géothermique du Canada selon l'utilisation³³

Le principal obstacle à l'utilisation de la géothermie pour la production d'électricité est le coût élevé pour creuser les puits, surtout en région éloignée comme l'Arctique. Cependant, si des exploitations minières, présentes ou futures, se trouvaient à proximité des installations du MDN, il faudrait évaluer la faisabilité économique pour installer des systèmes de géothermie.

³³ Source: *Canadian Geothermal Energy Association*, <https://www.cangea.ca/>

© 2020. Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre de la Défense nationale.

Tous droits réservés.

En revanche, la chaleur recueillie en profondeur peut être utilisée directement pour chauffer des bâtiments. Cette application ne requiert pas de puit profond, elle peut être mise en application à peu près n'importe où et c'est d'ailleurs le domaine de la géothermie connaissant la plus grande croissance dans le monde³⁴. En utilisant des échangeurs de chaleur à haute performance, il est possible d'utiliser la différence de température du sol à faible profondeur pour chauffer les bâtiments en hiver et les climatiser en été, si requis. Des systèmes géothermiques à basse température ont été installés avec succès en Alaska³⁵. Le seul bémol à l'utilisation de ces systèmes est qu'ils requièrent de l'électricité pour fonctionner; il faut donc que cette électricité soit produite de façon propre pour atteindre la cible de carboneutralité.

Hydro-électricité

L'hydro-électricité est une source de production d'énergie mature et largement répandue au Canada, principalement au Québec et en Colombie-Britannique. Il s'agit d'une source fiable qui fonctionne de façon continue, bien qu'elle puisse être affectée par la quantité de précipitations annuelles. On construit généralement un barrage sur une rivière afin de créer un réservoir qui sert par la suite à alimenter des turbines qui font tourner des génératrices.

³⁴ Robert Ehrlich et Harold A. Geller, *Renewable Energy – A First Course* (Boca Raton : CRC Press, 2018) p. 169.

³⁵ Gwen P. Holdmann et Richard W. Wies, « Renewable Energy Integration in Alaska's Remote Islanded Microgrids: Economic Drivers, Technical Strategies, Technological Niche Development, and Policy Implications », *IEEE Proceedings*, Special Issue "Electricity for All: Access to Electricity Issues and Solutions for Energy-disadvantaged Communities," invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, p. 1825.

Toutefois, il ne s'agit pas d'une panacée. Les installations hydro-électriques ne sont pas modulaires et elles ne peuvent pas être construites n'importe où, alors elles sont souvent loin des lieux de consommation. Les coûts de construction sont habituellement très élevés. De plus, lors de leur construction, elles ont des impacts environnementaux importants. Les barrages inondent de vastes étendues de terre et la matière organique inondée se décompose en relâchant du méthane, un puissant GES. Aussi, l'acceptabilité sociale de ces projets est très faible dans les communautés arctiques. Les bassins d'eau créés modifient de façon permanente l'environnement et les habitudes de la faune. À cela s'ajoute des indications de concentration de métaux lourds, comme le mercure, dans les poissons vivant dans les bassins, les rendant impropres à la consommation humaine³⁶.

Il est aussi possible d'installer des turbines au fil de l'eau, c'est-à-dire qu'elles utilisent le courant d'une rivière sans la nécessité d'un barrage. Mais encore ici, il faut une rivière avec un débit suffisamment important à proximité des endroits de consommation, comme la centrale de Beauharnois sur le fleuve Saint-Laurent à l'ouest de Montréal. Enfin, comme la majorité des rivières de l'Arctique gèlent en profondeur pendant l'hiver, il faudrait enlever ces systèmes pendant l'hiver pour éviter qu'ils ne soient endommagés³⁷. Ces systèmes ont aussi le potentiel d'affecter les poissons dans les rivières, ce qui risque d'être inacceptable aux communautés autochtones.

Marémotrice

³⁶ Nicole C. McDonald et Joshua M. Pearce, « Community Voices : Perspectives on Renewable Energy in Nunavut », *Arctic* 66, n° 1, (mars 2013), p. 98.

³⁷ *Ibid*, p. 97.

L'énergie marémotrice utilise le mouvement des vagues afin de mouvoir des systèmes qui convertissent ce mouvement alternatif en mouvement rotatif qui fait tourner des génératrices. Certains de ces systèmes sont utilisés dans l'Arctique russe et l'Alaska considère leur utilisation³⁸. Malgré ces exemples et la quantité phénoménale d'énergie contenue dans les océans, l'utilisation de ces systèmes dans l'Arctique canadien n'est pas encore recommandée. En effet, en consultant la figure 3.5, il est facile de constater qu'une grande partie de l'Arctique canadien est pris par les glaces, même en été, ce qui n'est pas le cas pour la Russie et l'Alaska. De plus, les principaux courants marins ont tendance à pousser les glaces vers l'archipel canadien. Les glaces risqueraient donc d'endommager les systèmes et rendraient leur utilisation difficile, voire même impossible.

³⁸ Lucia Mortensen, Anne Merrild Hansen et Alexander Shestakov, « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities », *Polar Geography* 40, n° 3, (2017), p. 171.

Minimum pour l'été 2019

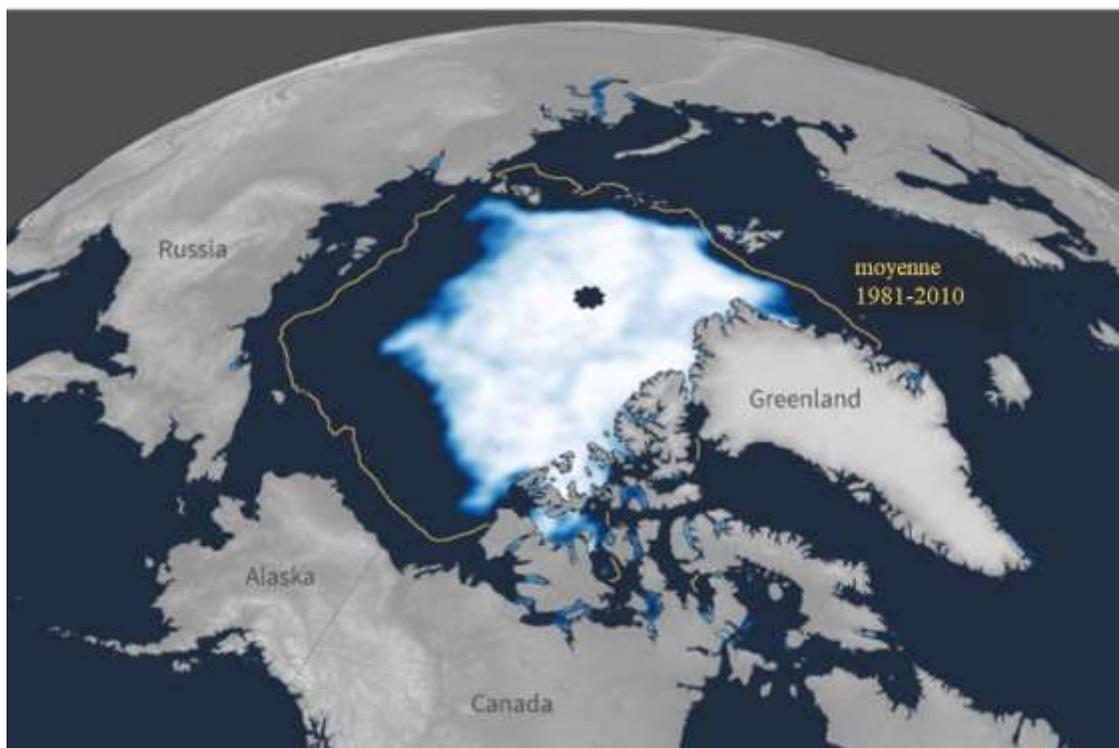


Figure 3.5 : Couvert minimum de glace dans l'Arctique, été 2019 et moyenne 1981-2010.³⁹

³⁹ Source : NOAA Climate.gov

© 2020. Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre de la Défense nationale.

Tous droits réservés.

Nucléaire

L'énergie nucléaire est une source fiable et continue d'électricité. Il s'agit d'une technologie prouvée et elle n'émet pas de GES. Des efforts de développement récent dans le domaine porte sur les petits réacteurs modulaires qui pourraient être adaptés pour l'utilisation dans des endroits isolés comme les bases des FAC et les communautés arctiques. Un réacteur développé par la compagnie *Hyperion Power Generation* devrait pouvoir opérer pendant une dizaine d'année sans intervention humaine; après cette période le carburant serait remplacé par la compagnie⁴⁰. Cependant, les réacteurs nucléaires ne sont pas tout à fait propres car, ils produisent des déchets hautement radioactifs et il n'y a toujours pas de solution définitive pour traiter ces déchets, bien qu'ils soient en quantité relativement faible par rapport à l'énergie produite.

En plus des problèmes de traitement des déchets, l'acceptabilité sociale du nucléaire est relativement faible au Canada⁴¹. Les quelques accidents des dernières décennies (Three Miles Island, É-U; Tchernobyl, Russie; Fukushima, Japon) ont largement marqué la pensée collective. Ces mauvais exemples sont une entrave claire nuisant au développement de cette technologie⁴². De plus, dans un contexte strictement canadien, le récent rejet par une communauté autochtone d'un projet d'enfouissement de déchets nucléaires⁴³ laisse présager que l'installation de petits réacteurs nucléaires dans

⁴⁰ Robert Ehrlich et Harold A. Geller, *Renewable Energy – A First Course* (Boca Raton : CRC Press, 2018) p. 124.

⁴¹ Franklyn Griffiths, Rob Huebert and P. Whitney Lackenbauer, *Canada and the Changing Arctic – Sovereignty, Security and Stewardship*, Waterloo: Wilfrid Laurier University Press, 2014, p. 33.

⁴² Lucia Mortensen, Anne Merrild Hansen et Alexander Shestakov, « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities », *Polar Geography* 40, n° 3, (2017), p. 177.

⁴³ Colin Perkel, La Presse, *Centrale nucléaire de Bruce : le stockage de déchets nucléaires rejeté*, 1 février 2020, [en ligne], page consultée le 1 février 2020,

l'Arctique ne serait pas acceptable. Et il faut comprendre qu'il ne s'agit pas d'une source renouvelable. Donc, malgré les avantages fournis par le nucléaire pour des installations isolées, il est préférable de ne pas investir dans ce genre de technologie dans le contexte canadien.

Piles atomiques

Les piles atomiques, contrairement à ce que leur nom pourrait laisser entendre, ne peuvent pas stocker l'énergie produite par une autre source; elles sont une source d'énergie en soit. Elles utilisent la chaleur produite par la radioactivité de certains éléments et la transforme en électricité, grâce à l'effet thermoélectrique qui se manifeste entre deux conducteurs différents soumis à une différence de température. Il ne s'agit pas de mini centrales nucléaires, donc elles ne génèrent qu'une quantité négligeable de déchet en fin de vie utile. Ces piles sont en utilisation depuis longtemps pour des applications nécessitant de longues durées, comme les satellites, et puisqu'elles n'émettent qu'une infime quantité de radioactivité, elles servent aussi de source d'énergie de longue durée pour certains implants médicaux⁴⁴. Recherche et développement de défense Canada conduit actuellement une étude de faisabilité pour leur utilisation pour un site de radar isolé⁴⁵. Cependant, tout comme l'énergie nucléaire, ce n'est pas une source renouvelable.

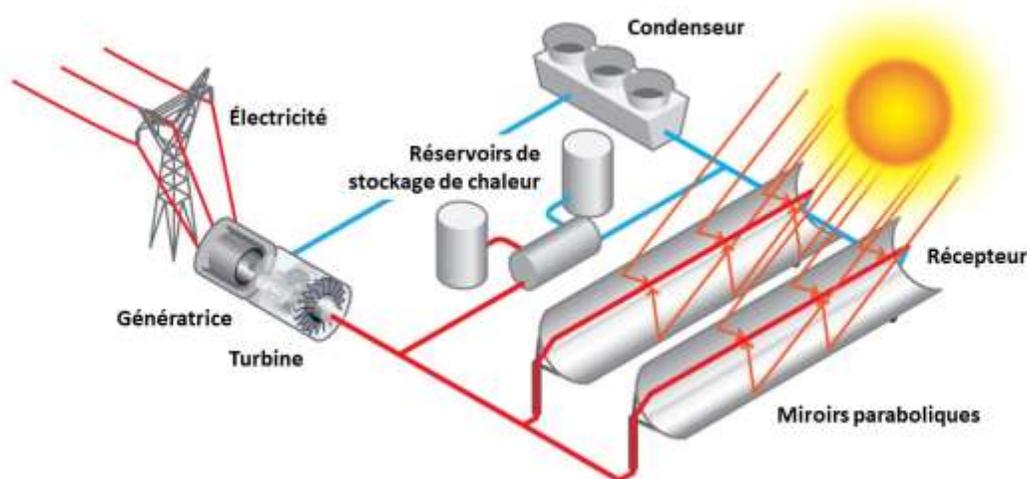
<https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/202002/01/01-5259189-centrale-nucleaire-de-bruce-le-stockage-de-dechets-nucleaires-rejete.php>

⁴⁴ Robert Ehrlich et Harold A. Geller, *Renewable Energy – A First Course* (Boca Raton : CRC Press, 2018) p. 395.

⁴⁵ Lieutenant-colonel Rob Knapik, Chef d'état-major de l'UOI(N), Courriel envoyé à l'auteur, 7 février 2020.

Solaire

L'énergie solaire, malgré ce que l'on pourrait penser en raison de la nuit polaire où le soleil est absent pendant des mois, est la source d'énergie propre la plus abondante dans l'Arctique⁴⁶. La radiation solaire moyenne varie entre 2 et 5 kW/m²/jour, comparé à 3,4 dans le sud de l'Allemagne où il y a plusieurs fermes solaires⁴⁷. Il existe trois façons principales d'utiliser l'énergie solaire, soit les concentrateurs solaires qui transforment l'eau en vapeur pour alimenter des turbines et ainsi produire de l'électricité (figure 3.6); le chauffage solaire pour l'eau ou les bâtiments; et les panneaux photovoltaïques (PV), qui convertissent directement la radiation solaire en électricité.



⁴⁶ Lucia Mortensen, Anne Merrild Hansen et Alexander Shestakov, « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities », *Polar Geography* 40, n° 3, (2017), p. 170.

⁴⁷ Natalia Yu. Kirsanova, Olga M. Lenkovets et Anni Yu. Nikulina, « Renewable energy sources (RES) as a factor determining the social and economic development of the Arctic zone of the Russian Federation », *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2018, p. 682.

Figure 3.6 : Concentrateur solaire⁴⁸

Aucune mention de concentrateur solaire n'a été recensé lors de la recherche de la littérature. Cela ne signifie pas que cette technologie ne pourrait pas être viable dans l'Arctique, mais il serait préférable d'utiliser des technologies ayant fait leurs preuves. Les chances de succès sont ainsi maximisées et le développement des projets est plus rapide.

Un seul exemple de système de chauffage solaire pour l'Arctique a été trouvé au cours de la recherche pour ce travail, mais il n'y avait pas de discussion sur sa performance. Une école dans la communauté de Sisimiut au Groenland utilise un tel système⁴⁹. Cette communauté est située à une latitude de 66° 56', soit légèrement à l'intérieur du cercle arctique, où l'on rencontre des périodes de nuit polaire. Malgré le manque de données sur la performance du système, cela porte à croire que ces systèmes sont viables pour des applications arctiques.

Les panneaux PV sont utilisés dans plusieurs communautés arctiques, que ce soit en Alaska⁵⁰ ou en Russie⁵¹. La réflexion du soleil sur la neige⁵² ainsi que les basses températures ambiantes augmentent l'efficacité des panneaux solaires⁵³. Tout comme les

⁴⁸ Source : Energy.gov

⁴⁹ Lucia Mortensen, Anne Merrild Hansen et Alexander Shestakov, « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities », *Polar Geography* 40, n° 3, (2017), p. 170.

⁵⁰ Gisele M Arruda et Feb M. Arruda, « Towards sustainable energy systems through smart grids in the Arctic », *Renewable Energy for the Arctic: New Perspectives*, sous la direction de Gisele Arruda, (Routledge, 2018), p. 96.

⁵¹ Hilma Salonen, « Public justification analysis of Russian renewable energy strategies », *Polar Geography* 41, n° 2, (2018), p. 76.

⁵² Gisele M Arruda et Feb M. Arruda, « Towards sustainable energy systems through smart grids in the Arctic », *Renewable Energy for the Arctic: New Perspectives*, sous la direction de Gisele Arruda, (Routledge, 2018), p. 96.

⁵³ Robert Ehrlich et Harold A. Geller, *Renewable Energy – A First Course* (Boca Raton : CRC Press, 2018) p. 328.

éoliennes, les panneaux PV sont modulaires et peuvent être adaptés à la demande locale. Il s'agit de la source d'énergie propre qui a le moins d'impact sur l'environnement, ils demandent très peu de maintenance une fois installée, un avantage indéniable pour des applications isolées comme l'Arctique, et il s'agit d'une technologie mature, même si elle est en constante évolution⁵⁴. Certaines fermes solaires utilisent des panneaux à orientation automatique qui suivent le soleil tout au long de la journée. Cependant, cette technologie n'est pas recommandée pour une application dans l'Arctique. Ces systèmes augmentent la complexité de l'installation, les besoins en maintenance, et ils sont peu adaptés à l'environnement hostile de l'Arctique⁵⁵.

3.2 Stockage

Le plus grand désavantage de l'énergie éolienne et de l'énergie solaire est leur intermittence. Comme la production d'électricité n'est pas constante, ces technologies doivent être jointes à des systèmes assurant un apport constant en électricité. Il existe plusieurs exemples où des systèmes solaires et/ou éoliens sont joints à des génératrices au diesel pour assurer cet apport constant. L'effet net est une réduction des émissions de GES, mais il demeure impossible d'éliminer complètement ces émissions de cette façon. Afin d'atteindre la carboneutralité, il faut des systèmes assurant une production de pointe supérieure aux besoins et emmagasiner cette énergie supplémentaire pour un usage ultérieur. Il existe plusieurs façons de stocker de l'énergie, mais elles ne sont pas toutes

⁵⁴ Ibid, p. 316.

⁵⁵ Gwen P. Holdmann et Richard W. Wies, « Renewable Energy Integration in Alaska's Remote Islanded Microgrids: Economic Drivers, Technical Strategies, Technological Niche Development, and Policy Implications », *IEEE Proceedings*, Special Issue "Electricity for All: Access to Electricity Issues and Solutions for Energy-disadvantaged Communities," invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, p. 1825.

applicables lorsque le stockage doit être de longue durée, comme dans le cas présent. Trois méthodes de stockage d'énergie seront discutées : les batteries, l'hydrogène et les volants⁵⁶. La figure 3.7 illustre les densités d'énergie de certaines de ces technologies, montrant que les piles à combustible à l'hydrogène (*fuel cells* sur la figure), une des applications de l'hydrogène, ont la densité d'énergie la plus élevée⁵⁷.

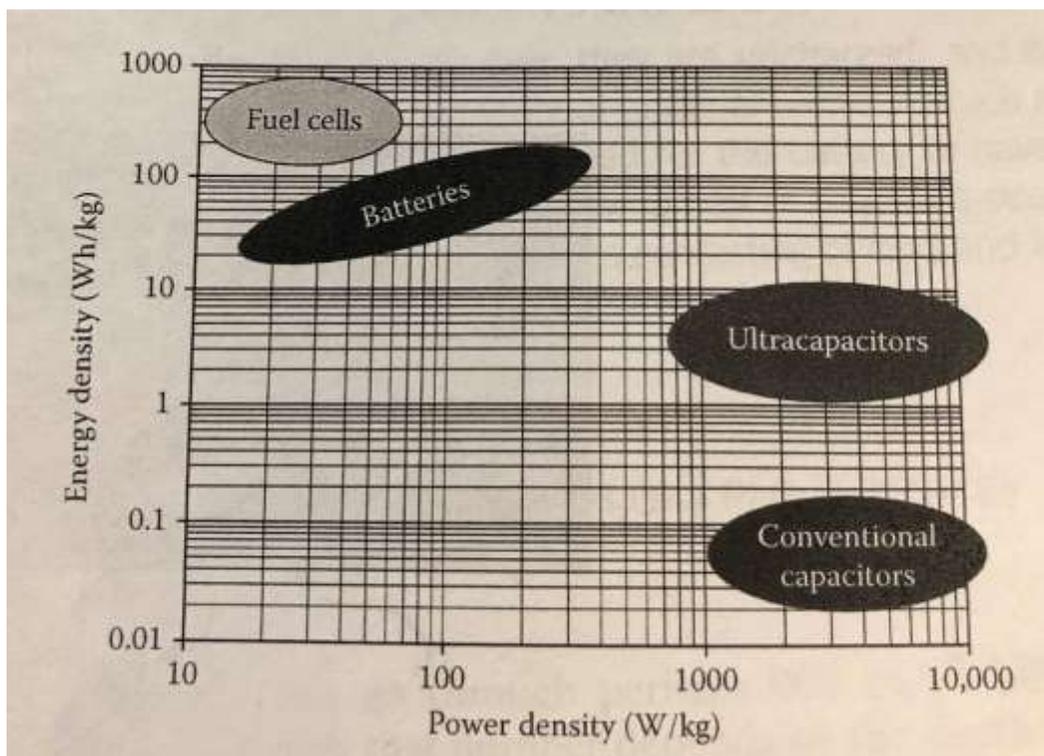


Figure 3.7 : Densité d'énergie de différents médiums⁵⁸

⁵⁶ *Flywheel* en anglais.

⁵⁷ En terme physique, l'énergie est ce qui est requis pour produire un travail comme actionner un moteur, faire chauffer un four ou allumer une lumière. La densité d'énergie correspond à la quantité d'énergie qui peut être emmagasinée par kilogramme de substrat.

⁵⁸ Source : Robert Ehrlich et Harold A. Geller, *Renewable Energy – A First Course* (Boca Raton : CRC Press, 2018) p. 389.

Batteries

La technologie des batteries a grandement évolué au cours des dernières décennies, entre autres grâce à l'apparition des voitures hybrides et électriques. Les batteries que celles-ci emploient, au lithium-ion, ont une densité d'énergie plus de trois fois supérieure à celle des batteries au plomb et à l'acide⁵⁹ que l'on retrouve dans toutes les voitures à essence. En plus de leur plus grande densité d'énergie, les batteries lithium-ions conservent aussi leur charge plus longtemps. Leur principal défaut est leur coût élevé, mais il y a actuellement énormément de recherche et de développement pour augmenter leurs performances et applications. Entre autres, la compagnie Tesla Motors a construit la *Gigafactory* au Nevada où ils produisent des batteries pour certaines de leurs voitures, et aussi pour des applications domestiques et industrielles. Ils espèrent réaliser des économies d'échelles qui devraient contribuer à faire diminuer leurs coûts⁶⁰. En Alaska, plusieurs opérateurs de micro-réseaux utilisant l'énergie éolienne ont opté pour les batteries comme moyen de stockage. Entre autres, ils ont installé une banque de batteries de 40 MW en 2003, et elle était alors la plus grande au monde; plusieurs autres batteries ont été installées depuis⁶¹.

Hydrogène

⁵⁹ Ibid p. 385.

⁶⁰ Tesla, *Tesla Gigafactory*, [en ligne], page consultée le 11 février 2020, https://www.tesla.com/en_CA/gigafactory

⁶¹ Gwen P. Holdmann et Richard W. Wies, « Renewable Energy Integration in Alaska's Remote Islanded Microgrids: Economic Drivers, Technical Strategies, Technological Niche Development, and Policy Implications », *IEEE Proceedings*, Special Issue "Electricity for All: Access to Electricity Issues and Solutions for Energy-disadvantaged Communities," invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, p. 1827.

L'hydrogène est l'élément le plus abondant de l'univers et il est une excellente source d'énergie : c'est cet élément qui alimente le Soleil, bien que la réaction, dans ce cas, est la fusion nucléaire. Son utilisation comme moyen de stockage et de transport d'énergie fait l'objet de discussions depuis près de 50 ans⁶². Dans une utilisation de stockage d'énergie, il n'est pas question de fusion, mais bien d'hydrolyse de l'eau. Comme il y a aussi abondance d'hydrogène sur la Terre, cet élément est un excellent candidat comme mécanisme de stockage d'énergie. Lorsqu'un voltage assez grand est appliqué à l'eau en utilisant deux électrodes, il y a hydrolyse, c'est-à-dire que les molécules d'eau se brisent en leurs constituants de base : deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène. Il est donc possible d'utiliser les surplus d'électricité produits en période de surcapacité pour hydrolyser de l'eau; l'hydrogène est emmagasiné alors que l'oxygène est relâché dans l'environnement, sans effet néfaste⁶³. Par la suite, l'hydrogène peut être brûlé pour produire de l'énergie qui est utilisée de la même façon que celle qui serait produite par la combustion de diesel, ou il peut être utilisé dans une pile à combustible qui produit directement de l'électricité⁶⁴. Dans les deux cas, l'énergie est produite par la recombinaison d'un combustible; dans ce cas-ci, des atomes d'hydrogène. Ils se combinent avec un comburant, l'oxygène, comme dans la combustion du diesel ou du bois, excepté que le gaz d'échappement produit est de la vapeur d'eau. Il n'y a donc pas d'impact négatif sur l'environnement. Bien qu'il s'agisse d'une technologie beaucoup moins mature que l'utilisation du diesel ou du gaz naturel, certaines grandes compagnies,

⁶² Bent Sørensen et Giuseppe Spazzafumo, *Hydrogen and Fuel Cells – Emerging Technologies and Applications*, (San Diego : Elsevier, 2018), p. 3.

⁶³ Bent Sørensen et coll, *Renewable Energy Focus Handbook*, (San Diego : Elsevier, 2009) p. 505.

⁶⁴ Robert Ehrlich et Harold A. Geller, *Renewable Energy – A First Course* (Boca Raton : CRC Press, 2018) p. 389.

comme Toyota, ont développé des réservoirs d'hydrogène comprimé à 70 MPa⁶⁵ atteignant des densités d'énergie de 6 MJ/l, ce qui toutefois est bien inférieur au 38 MJ/l du diésel ou du 22 MJ/l du gaz naturel liquéfié. Cette densité pourrait être augmentée à 10 MJ/l si des processus de liquéfaction de l'hydrogène commerciaux étaient développés⁶⁶. Par contre, cette solution a l'avantage d'être la plus efficace pour faire face aux fluctuations de production des énergies solaire ou éolienne afin de rencontrer la demande⁶⁷.

Volants

Les volants sont des roues qui tournent sur elles-mêmes. Elles sont accélérées par l'électricité excédentaire et transforment cette dernière en énergie cinétique qui peut par la suite être utilisée pour faire tourner une turbine. Les volants modernes opèrent avec des suspensions à lévitation magnétique et sont contenues sous vide, leur permettant ainsi de garder leur énergie pendant très longtemps. Ils peuvent contenir deux à trois fois plus d'énergie par kg qu'une batterie standard à l'acide. De plus, ils sont couplés à des moteurs à induction magnétique, ce qui élimine tout frottement pour leur opération, réduisant ainsi la maintenance requise et l'usure; ils peuvent donc fournir plus de 10 000 fois le nombre de cycles charge-décharge d'une batterie à l'acide⁶⁸. Les volants sont très efficaces pour répondre à des changements rapides dans la demande d'électricité, ce qui

⁶⁵ Bent Sørensen et Giuseppe Spazzafumo, *Hydrogen and Fuel Cells – Emerging Technologies and Applications*, (San Diego : Elsevier, 2018), p. 57.

⁶⁶ Wikipedia, *Energy Density*, [en ligne], page consultée le 21 février 2020, https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density

⁶⁷ Bent Sørensen et Giuseppe Spazzafumo, *Hydrogen and Fuel Cells – Emerging Technologies and Applications*, (San Diego : Elsevier, 2018), p. 463.

⁶⁸ Robert Ehrlich et Harold A. Geller, *Renewable Energy – A First Course* (Boca Raton : CRC Press, 2018) p. 379-380.

n'est pas rare dans un micro-réseau électrique comme ceux dans l'Arctique. En effet, si l'on allume un four qui consomme 1 kW dans un réseau de 100 kW, on augmente instantanément la demande de 1 %. Les volants sont utilisés avec succès dans certains micro-réseaux en Alaska avec des puissances allant jusqu'à 2 MW⁶⁹.

Ce chapitre servait à donner une idée générale des technologies disponibles actuellement, et pouvant servir à l'atteinte de l'objectif de carboneutralité. Cette connaissance aide aussi à comprendre certains des facteurs présentés au Chapitre 4 et elle permet de déterminer une partie des critères de transition présentés au Chapitre 5. De plus, plusieurs de ces technologies furent présentées avec des exemples en milieu arctique, démontrant ainsi leur viabilité dans cet environnement.

⁶⁹ Gwen P. Holdmann et Richard W. Wies, « Renewable Energy Integration in Alaska's Remote Islanded Microgrids: Economic Drivers, Technical Strategies, Technological Niche Development, and Policy Implications », *IEEE Proceedings*, Special Issue "Electricity for All: Access to Electricity Issues and Solutions for Energy-disadvantaged Communities," invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, p. 1826.

© 2020. Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre de la Défense nationale.

4. FACTEURS DE TRANSITION

Ce chapitre discute certains facteurs de transition vers les énergies renouvelables propres. Il se divise en trois sections qui s'attardent d'abord aux risques, ensuite aux défis et enfin aux opportunités. Les différents facteurs présentés permettent par la suite d'induire des critères essentiels à la réussite de la transition souhaitée. Ces critères font l'objet du chapitre suivant.

4.1 Risques

Cette section examine différents risques; celui de ne pas agir assez rapidement, ceux qui peuvent retarder la transition vers des sources d'énergie renouvelable et propre, et enfin le risque d'une mauvaise mise en œuvre. Comme ce texte ne se veut pas une contribution au débat sur les changements climatiques, il ne sera pas mention du risque environnemental que pourrait constituer l'émission de GES par l'UOI(N) si une transition vers des énergies propres n'est pas exécutée. Les objectifs du CT sont clairs et le gouvernement doit réduire ses émissions de GES afin de devenir carboneutre.

Autorité morale

À ce jour, le Canada demeure le neuvième plus important émetteur de GES de la planète⁷⁰, malgré le fait qu'il n'arrive qu'au 39^e rang en termes de population⁷¹. Et sur une

⁷⁰ Hannah Ritchie et Max Roser, *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*, Our World in Data, University of Oxford, [en ligne], page consultée le 22 février 2020, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

⁷¹ PopulationData.net, *Palmarès – Pays et territoires du monde*, [en ligne], page consultée le 22 février 2020, <https://www.populationdata.net/palmares/population/>

base *per capita*, la position canadienne n'est pas plus enviable, avec le 11^e rang des plus grands émetteurs⁷². Ces statistiques sont peu reluisantes et ne contribuent pas à l'atteinte des objectifs du Ministre des affaires étrangères, notamment celui de « maintenir le rôle de chef de file du Canada dans les efforts internationaux de lutte contre les changements climatiques.⁷³ »

Certes, la position géographique du Canada ne facilite pas la tâche pour atteindre une cible de zéro émission. Le pays est le deuxième plus grand de la planète, alors que les distances sont énormes. Les variations de températures saisonnières sont parmi les plus grandes du globe avec des maxima avoisinant les 40 °C et des minima sous les -40 °C, rendant nécessaire des systèmes de chauffage et de climatisation consommant de grandes quantités d'énergie.

Le Canada a signé le traité de Paris sur la réduction des GES et se veut un champion de la protection de l'environnement. Malgré cela, le gouvernement a tout de même acheté le projet d'expansion de l'oléoduc Trans Mountain, afin d'augmenter la capacité de transport du pétrole des sables bitumineux albertains vers le port de Vancouver, en vue de plus grandes exportations. Et malgré les discours prônant la protection de l'environnement, les résultats canadiens en vue de contrer les changements climatiques demeurent faibles⁷⁴. Heureusement pour le gouvernement, la délicate décision d'approuver ou non le projet d'exploitation de ce qui aurait été la plus grande

⁷² Hannah Ritchie et Max Roser, *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*, Our World in Data, University of Oxford, [en ligne], page consultée le 22 février 2020, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

⁷³ Justin Trudeau, Premier Ministre du Canada, *Lettre de mandat du ministre des Affaires Étrangères*, 2019, [en ligne], page consultée le 6 février 2020, <https://pm.gc.ca/fr/lettres-de-mandat/2019/12/13/lettre-de-mandat-du-ministre-des-affaires-etrangees>

⁷⁴ Franklyn Griffiths, Rob Huebert and P. Whitney Lackenbauer, *Canada and the Changing Arctic – Sovereignty, Security and Stewardship*, Waterloo: Wilfrid Laurier University Press, 2014, p. 143.

mine de sable bitumineux, la mine Frontier de la compagnie Teck Resources Limited n'est plus nécessaire, puisque la compagnie a retiré sa demande⁷⁵. L'approbation de cette demande aurait miné encore plus la position canadienne, tandis que son refus aurait augmenté la division palpable entre l'Alberta et Ottawa. Mais malgré le retrait de cette demande, le gouvernement affirme vouloir un secteur du pétrole en bonne santé⁷⁶, ce qui ne contribue en rien à favoriser sa position morale face à la réduction des GES.

Alors il est grand temps pour le Canada de joindre l'action à la parole s'il ne veut pas voir sa position morale face aux changements climatiques se dégrader davantage. Avec une position affaiblie, il sera d'autant plus difficile pour le Canada d'exhorter les autres nations à contribuer plus significativement à la réduction des GES. Et il ne serait pas surprenant qu'une dégradation de la position morale canadienne en environnement ait des répercussions plus larges; par exemple, elle pourrait nuire à l'obtention du siège au conseil de sécurité de l'ONU que le Canada convoite avec le vote prévu pour juin 2020.

Mythe de l'amélioration technologique

Le remplacement complet de systèmes de production d'énergie, qui est requis pour atteindre la cible de zéro GES pour l'UOI(N), demande des investissements considérables. Il peut dès lors être tentant d'attendre *la* percée technologique qui fera chuter les coûts des systèmes photovoltaïques ou l'apparition d'une nouvelle source

⁷⁵ Teck Resources Limited, *Teck Withdraws Regulatory Application for Frontier Project*, [en ligne], page consultée le 29 février 2020, <https://www.teck.com/news/news-releases/2020/teck-withdraws-regulatory-application-for-frontier-project>

⁷⁶ Amanda Connolly, Global News, *Teck Frontier cancellation should be 'wake-up call' for Canada: Freeland*, [en ligne], 1 mars 2020, page consultée le 2 mars 2020, <https://www.msn.com/en-ca/news/politics/teck-frontier-cancellation-should-be-wake-up-call-for-canada-freeland/ar-BB10AYQ4?li=AAgNb9&ocid=mailsignout>

d'énergie propre, renouvelable et très abordable. Un exemple concret de ce mythe est la fusion nucléaire qui est à 30 ans d'une percée commerciale, depuis plus de 30 ans⁷⁷!

Plusieurs des technologies en utilisation à ce jour ont atteint un niveau de maturité assez avancé et cette mythique percée technologique a déjà eu lieu. Les coûts sont donc généralement liés aux forces des marchés et ils diminuent avec la demande. C'est entre autres le cas des panneaux photovoltaïques. L'effet photovoltaïque a été découvert plus de 100 ans avant que le premier panneau soit fabriqué, mais les coûts étaient alors énormes et les applications étaient limitées à l'industrie spatiale. Cependant, avec la demande qui a augmenté, les coûts ont chutés. Au milieu des années '70, il en coûtait plus de 50 \$ / W alors que les ventes étaient négligeables. Au début des années 2000, le coût était passé sous la barre des 5 \$ / W et la quantité installée dépassait les 220 MW annuellement⁷⁸.

Donc, malgré les pressions que cela exerce sur les budgets, il ne faut pas attendre. La transition vers les énergies propres et renouvelables doit être entreprise immédiatement, faute de quoi les objectifs de réduction des GES ne seront pas atteints.

Mauvaise presse

La presse canadienne est constamment à l'affût des actions entreprises par les différents paliers de gouvernements au Canada. Certains journalistes se font d'ailleurs un plaisir d'user d'un peu de démagogie afin d'illustrer les difficultés de réalisation de

⁷⁷ The Economist, *Fusion power is attracting private-sector interest*, édition du 4 mai 2019, [en ligne], page consultée le 22 février 2020, <https://www.economist.com/science-and-technology/2019/05/04/fusion-power-is-attracting-private-sector-interest>

⁷⁸ Karl Mallon, *Renewable energy policy and politics – A handbook for decision making*, (London : Earthscan, 2006), p. 8.

grands projets au Canada. Par exemple, dans son émission du 30 janvier 2020, Jean-René Dufort, alias Infoman, se faisait un plaisir de montrer que la Chine avait construit deux hôpitaux en deux semaines pour faire face au coronavirus, alors que Montréal avait mis 22 ans pour construire son nouveau centre hospitalier universitaire; il ne faisait évidemment pas mention, bien entendu, des différences de complexité entre ces hôpitaux⁷⁹.

Comme il est discuté plus loin, à la section 5.2, il est primordial que les premiers projets de mise en service d'énergie propre et renouvelable soient réalisés sans aucune anicroche. Le contraire exposerait le MDN à la critique, et si ces ratés étaient médiatisés, ça ne ferait qu'éroder d'avantages la confiance des populations de l'Arctique face aux énergies propres.

4.2 Défis

Passer d'une technologie mature et qui fonctionne très bien, malgré la pollution qu'elle engendre, comme les systèmes aux carburants fossiles utilisés actuellement dans l'Arctique, ne vient pas sans son lot de défis. La liste qui suit n'est sans doute pas complète, et il serait illusoire de croire le contraire puisque certains défis ne se manifesteront que lors de l'exécution, mais elle permet une réflexion initiale et contribue à démontrer l'ampleur du problème à régler.

⁷⁹ Jean-René Dufort, Radio-Canada, *Infoman*, épisode du 30 janvier 2020, [en ligne], page consultée le 1 février, <https://ici.tou.tv/infoman/S20E20?lectureauto=1>

Changement de paradigmes

La disponibilité d'énergie pour les communautés de l'Arctique peut devenir une question de vie ou de mort. Il y a donc une réticence face aux nouvelles technologies, et cette réticence est exacerbée par des exemples de projets d'énergie renouvelable qui n'ont pas fonctionné, comme celui d'une éolienne à Rankin Inlet qui ne fonctionne que lors de visites de dignitaires⁸⁰. Les habitants préfèrent ce qu'ils connaissent⁸¹, malgré les bienfaits d'adopter des sources d'énergie plus propre. Dans plusieurs cas, on adopte la voie de la facilité lorsque les génératrices arrivent en fin de vie utile et on les remplace par d'autres génératrices, certes plus propres et plus performantes⁸², mais émettant tout de même des GES. Il est donc important de fournir plus d'information sur les projets avant leur réalisation afin d'en expliquer les bienfaits. Des exemples positifs doivent être fournis afin d'encourager les communautés à accepter les sources d'énergie renouvelables. C'est ce qui s'est passé en Russie dans la région de Murmansk où un projet pilote hybride a été installé de façon réussie, exemple ensuite reproduit par d'autres villages dans la région⁸³.

Un deuxième paradigme à changer est celui de la primauté des coûts dans l'évaluation des projets. Si l'on veut réduire les émissions de GES de l'UOI(N), il faut que le potentiel de réduction des GES soit le critère principal d'évaluation des projets, ce

⁸⁰ Nicole C. McDonald et Joshua M. Pearce, « Community Voices : Perspectives on Renewable Energy in Nunavut », *Arctic* 66, n° 1, (mars 2013), p. 99.

⁸¹ Alexandra Mallett et David Cherniak, « Views from above : policy entrepreneurship and climate policy change on electricity in the Canadian Arctic », *Regional Environmental Change* 18, (2018), p. 1331.

⁸² Lucia Mortensen, Anne Merrild Hansen et Alexander Shestakov, « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities », *Polar Geography* 40, n° 3, (2017), p. 178.

⁸³ Hilma Salonen, « Public justification analysis of Russian renewable energy strategies », *Polar Geography* 41, n° 2, (2018), p. 76.

qui n'est pas le cas présentement. En effet, l'UOI(Ouest) a développé un projet de ferme solaire pour la base de Suffield en Alberta en 2019. Cependant, ce projet a été arrêté par le quartier-général du Groupe des opérations immobilières parce qu'il n'y avait pas d'étude financière démontrant la rentabilité économique du projet⁸⁴. Il est certain que la conversion à l'énergie renouvelable demande une grande quantité initiale de capital, mais les coûts continuent de baisser et ils sont maintenant régulièrement moindres pour les fermes solaires que de nouvelles centrales au charbon⁸⁵. Afin de faciliter ce changement de paradigme, il serait bon d'inclure dans les comparatifs financiers les coûts de nettoyages environnementaux dû aux déversements de diesel. Seulement pour les Territoires du Nord-Ouest, la moyenne annuelle de déversement de diesel dépasse les 33 000 litres⁸⁶. D'ailleurs, certaines études ont montré que les énergies renouvelables sont moins dispendieuses que les sources thermales classiques, comme celles aux énergies fossiles, lorsque toutes les externalités économiques sont considérées⁸⁷.

Enfin, il faut aussi changer le paradigme de la société du pétrole et faire la transition vers une société qui tend vers la carboneutralité. À ce jour, le médium le plus prometteur pour remplacer le pétrole est l'hydrogène. Cependant, une telle transition doit être accompagnée d'investissements considérables qui peuvent en décourager plus d'un. En revanche, il existe des exemples de transitions similaires d'une source d'énergie vers

⁸⁴ Selon les notes de l'auteur qui supervisait l'employée en charge de la réalisation de ce projet lors de son interruption.

⁸⁵ Anna Pegels et coll., « Politics of Green Energy Policy », *Journal of Environment & Development* 27, n° 1, (2017), p. 35.

⁸⁶ Kevin B. Jones, Mark James et Roxana-Andreea Mastor, « Securing our energy future: three international perspectives on microgrids and distributed renewables as a path toward resilient communities », *Environmental Hazards* 16, n° 2, (2017), p. 106.

⁸⁷ Karl Mallon, *Renewable energy policy and politics – A handbook for decision making*, (London : Earthscan, 2006), p. 12.

une autre. La transition des industries manufacturières de la vapeur à l'électricité à la fin du XIX^e siècle a nécessité de grands investissements. Non seulement la production de l'électricité et les réseaux de distribution ont-ils dû être construits, mais toute les machines fonctionnant à la vapeur ont dû être remplacées par des machines électriques. Mais un tel changement de paradigme comporte une quantité phénoménale d'embûches et il ne peut s'accomplir de lui-même. Malgré le fait que ce soit une excellente idée pour la survie de la planète, la nécessité de ce changement doit être identifiée par les gouvernements et ils doivent mettre en place les politiques nécessaires pour qu'il se réalise⁸⁸.

Investissements requis

Un changement de technologie requiert généralement un investissement en capital important. C'est certainement le cas ici où tous les systèmes de production et d'entreposage d'énergie doivent être remplacés afin d'atteindre l'objectif d'aucune émission de GES. Bien que la section précédente mentionne l'importance d'un changement de paradigme pour ne pas considérer seulement les coûts initiaux de construction, il faut quand même que l'argent nécessaire soit disponible, ce qui est d'autant plus difficile dans un environnement de défense où l'on continue d'affirmer que les FAC doivent être une force militaire apte au combat, couvrant tout le spectre des opérations et équipée à la fine pointe de la technologie⁸⁹, ce qui crée un environnement de

⁸⁸ Ibid, p. 9.

⁸⁹ Justin Massie et Srdjan Vucetic, « Canadian Strategic Culture : From Confederation to Trump », *Canadian Defence Policy in Theory and Practice*, sous la direction de Thomas Juneau, Philippe Lagassé et Srdjan Vucetic, Ottawa: Palgrave Macmillan, 2019, p. 31.

compétition féroce pour l'obtention de capitaux. En plus, les coûts pour expédier les équipements requis sont plus élevés et tout doit être expédié, car il n'y a pas moyen de s'approvisionner sur place. Enfin, les coûts d'hébergement et de nourriture pour les équipes de constructions sont aussi beaucoup plus élevés dans l'Arctique. L'indice des coûts d'hébergement pour 2018 (où 100 est la moyenne à travers le Canada) varie de 71 (Saint John, NB) à 118 (Toronto, ON) pour les grandes villes des différentes provinces et il grimpe à 124 pour Yellowknife aux Territoires du Nord-Ouest, alors qu'il n'y a pas de donnée de disponible pour le Nunavut. Pour ce qui est de la nourriture, toujours en 2018, l'indice varie de 98 (Edmonton, AB et Montréal, QC) à 109 (St. John's, TN) dans les provinces. Pour les territoires, c'est 109 à Whitehorse (YU), 112 à Yellowknife (TNO) et 168 à Iqualuit au Nunavut⁹⁰! Enfin, les coûts de transport sont aussi exorbitants; par exemple, le prix d'un billet d'avion aller-retour entre Toronto et Resolute Bay se paie plus de 3 500 \$. Et comme le montre la section suivante, les difficultés de construction dans l'Arctique contribue aussi à faire grimper la facture.

Construction dans l'Arctique

La construction d'infrastructure dans l'Arctique canadien représente un défi de taille. Alors que la majorité des installations du MDN sont accessibles par route au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest, il en va tout autrement pour le Nunavut où ces dernières ne sont accessibles que par la mer ou les airs. Et encore, la saison de navigation ne dure en général que deux mois, d'août à septembre, et seules les pistes d'atterrissage

⁹⁰ Canada, *Indices comparatifs des prix des biens et des services de consommation entre les villes, données annuelles*, [en ligne], page consulté le 28 mars 2020, <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tb11/fr/tv.action?pid=1810000301>

d'Iqaluit et de Rankin Inlet sont pavées, limitant le type d'appareils qui peut se poser ailleurs. Plusieurs constructions sont faites sur le pergélisol, cette couche de terrain qui ne dégèle jamais. Bien qu'il existe une expertise à ce sujet, le réchauffement de la région change le pergélisol⁹¹ et l'expertise est alors limitée et doit évoluer grâce à la recherche. Malgré le réchauffement, les températures demeurent très froides et rendent toutes activités à l'extérieur plus difficiles et plus longues, donc plus coûteuses. Alors que la moyenne annuelle de température à Ottawa est de 6,6 °C, elle n'est que de -18,8 °C à Eureka au Nunavut⁹². Plusieurs infrastructures sont dans des endroits isolés, comme les stations radar, ou près de communautés minuscules; il n'est donc pas possible de se procurer de matériaux localement en cas d'oubli. Enfin, il y a souvent des règles et règlements additionnels relatifs aux normes de construction, les techniques à employer sont différentes et il y a peu ou pas de main d'œuvre disponible sur place. Toutes les étapes de projet, incluant tous les matériaux nécessaires, doivent donc être planifiées avec minutie pour assurer la réussite des projets dans des coûts raisonnables. Autrement, les oublis et les erreurs entraînent généralement des retards. Ces derniers font rapidement grimper la facture⁹³ puisqu'il faut alors garder les équipes de construction plus longtemps sur place, ou expédier du matériel par avion afin de minimiser les délais.

Expertise nécessaire

⁹¹ Erica M Dingman. « Arctic Sustainability: The Predicament of Energy and Environmental Security », extrait de *The Quarterly Journal*, (hiver 2011), p. 2.

⁹² Canada. *Normales climatiques canadiennes*, [en ligne], page consultée le 2 mars 2020, https://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/index_f.html

⁹³ Ken Drysdale, Accutech Engineering Inc. *Design / Construction Problems in the Arctic – Nunavut*, [en ligne], page consultée le 2 mars 2020, http://www.apegm.mb.ca/pdf/PD_Papers/ArcticDesign.pdf

Les FAC ont présentement sept métiers dans le domaine de la construction, incluant ceux de techniciens en groupes électrogènes et de techniciens en distribution électrique. Les premiers sont responsables de l'installation, de la maintenance et du bon fonctionnement des génératrices qui fournissent l'électricité aux troupes en opérations et sur les bases éloignées, utilisant des génératrices au diésel. Les seconds s'occupent entre autres de la distribution électrique. Cependant, l'entraînement fourni par les FAC à ces deux groupes de métier n'inclut actuellement rien en lien avec les énergies renouvelables propres. L'arrivée de ces nouveaux systèmes doit être accompagnée du développement de l'expertise nécessaire à leur opération et maintenance à l'intérieur des FAC. Il est certain que ce rôle peut être donné à contrat, mais il est essentiel de développer cette expertise au sein des FAC afin d'augmenter la résilience face aux imprévus. De plus, afin de bénéficier de tous les avantages que ces technologies peuvent apporter aux FAC, il est important de les incorporer dans les opérations et la culture de l'organisation⁹⁴.

De plus, la disparition des génératrices au diésel qu'entraînera la transition aux énergies propres réduira sûrement le besoin de techniciens en groupes électrogènes. Plutôt que d'éliminer ce métier, il devrait être modifié afin que ces techniciens deviennent les experts des FAC pour la maintenance et l'opération des éoliennes et des systèmes à l'hydrogène. La maintenance et l'opération des systèmes photovoltaïques pourraient être confiée à l'un ou l'autre de ces groupes de techniciens; une étude de leurs responsabilités détaillées serait nécessaire avant de prendre cette décision afin de s'assurer que le champ de compétence d'un groupe ne soit pas trop grand ou trop petit.

⁹⁴ Stephanie Carvin, « Canadian Defence and New Technology », *Canadian Defence Policy in Theory and Practice*, sous la direction de Thomas Juneau, Philippe Lagassé et Srdjan Vucetic, (Ottawa: Palgrave Macmillan, 2019) p. 390.

Cet ajustement dans les responsabilités de certains groupes d'emploi des FAC représente certes un défi, mais il s'agit aussi d'une opportunité. Au Canada, les personnes âgées de 18 à 29 ans sont les plus anxieuses face aux changements climatiques, et la moitié sont convaincus qu'il s'agit maintenant d'une urgence⁹⁵. Ils sont aussi les plus nombreux à dire que le Canada devrait utiliser 100 % de sources propres et renouvelables d'énergie⁹⁶. Enfin, les gens de ce groupe d'âge sont aussi les plus nombreux en faveur d'un monde plus vert⁹⁷. Aller dans cette direction a le potentiel de devenir un outil de recrutement puissant pour les FAC, non seulement pour les gens qui peuvent être intéressés par les métiers qui toucheront directement ces technologies, mais aussi pour les personnes soucieuses de protéger l'environnement qui sont intéressées par une carrière dans les FAC.

4.3 Opportunités

La transition vers des énergies propres et renouvelables vient certes avec ses risques et ses défis. Mais plusieurs opportunités y sont aussi liées. Certaines d'entre-elles, comme la création d'une économie de l'hydrogène qui est discuté ci-dessous, n'est sans doute pas pour demain. Mais le Canada a déjà plusieurs atouts qui peut lui permettre de prendre une position de chef de file dans ce domaine prometteur. Dans la politique de défense *Protection Sécurité Engagement*, l'objectif 103 demande la rationalisation du portfolio, donc il s'agit aussi d'une opportunité sur laquelle il faut capitaliser. Le MDN

⁹⁵ Abacus Data, *Is Climate Change “an Emergency” and do Canadians support a Made-in-Canada Green New Deal?*, [en ligne], page consultée le 21 février 2020, <https://abacusdata.ca/is-climate-change-an-emergency-and-do-canadians-support-a-made-in-canada-green-new-deal/>

⁹⁶ Ibid.

⁹⁷ Ibid.

doit aussi profiter du climat politique actuel; les changements climatiques sont au cœur de plusieurs discussions et il existe un élan sur lequel il est important de capitaliser. Enfin, cette section discute de la réduction du fardeau logistique et des coûts d'opération que la transition vers des énergies renouvelables permettra.

Économie de l'hydrogène

Hydro-Québec verra probablement ses profits chuter en 2020 à cause des températures plus clémentes pendant les premiers mois de l'année⁹⁸. Ces anomalies climatiques se font aussi sentir en Europe où le programme Copernicus pour l'observation de la planète a confirmé que le mois de janvier 2020 avait été 3,1 °C plus chaud que la moyenne entre 1981-2010⁹⁹.

Comme il y a encore peu d'application concrète pour l'utilisation de l'hydrogène comme médium de stockage d'énergie, cela constitue une opportunité intéressante pour le Canada. Certaines provinces, comme le Québec, ont des sources d'énergie renouvelable énormes qui pourraient être mises à profit pour la production d'hydrogène. Par exemple, plutôt que de rester passive face aux aléas du climat, Hydro-Québec pourrait investir et transformer ses surplus d'hydro-électricité en hydrogène pour un usage futur.

Il est certes difficile de passer du modèle énergétique actuel à un modèle reposant sur l'hydrogène. Il existe une pléthore d'acteurs, comme les multinationales du pétrole,

⁹⁸ Hélène Baril, La Presse, *Un hiver doux pour tous, mais dur pour Hydro*, [en ligne], 19 février 2020, page consultée le 21 février 2020, <https://www.lapresse.ca/affaires/202002/18/01-5261500-un-hiver-doux-pour-tous-mais-dur-pour-hydro.php>

⁹⁹ Euronews, *Records de températures battus en janvier en Europe*, [en ligne], 5 février 2020, page consultée le 29 février 2020, <https://fr.euronews.com/2020/02/05/records-de-temperatures-battus-en-janvier-en-europe>

qui n'ont aucun intérêt à voir apparaître un compétiteur pouvant mettre en doute leur industrie. Cependant, ces compagnies sont conscientes que les hydrocarbures sont une ressource finie, et que, tôt ou tard, ils seront épuisés. Il faut donc que les gouvernements créent des moyens d'inciter ces compagnies à participer à la transition vers une économie de l'hydrogène. Après tout, ces compagnies ont une somme d'expérience inégalée dans le domaine de l'énergie, qu'il s'agisse de l'extraction, du transport, de la transformation ou de la distribution. Les inclure dans une transition vers une économie basée sur l'hydrogène plutôt que le pétrole ne serait que naturel.

Il s'agit certes d'une transition qui sera coûteuse. Mais ce genre d'investissements a été réalisé dans le passé et est encore possible, à condition que les gouvernements les incitent et y participent. Par exemple, pensons à l'électrification des communautés isolées. Si le choix avait été laissé aux forces du marché, les calculs économiques auraient fort probablement démontrés qu'il n'était pas viable d'étendre les réseaux desservants les grandes villes, ou d'installer des réseaux locaux. Les gouvernements de l'époque ont investi et cela rapporte des dividendes aujourd'hui puisque l'électrification globale est une des caractéristiques qui distinguent encore aujourd'hui les pays les plus riches des plus pauvres¹⁰⁰. La construction d'un chemin de fer de l'Atlantique au Pacifique est un autre exemple d'engagement du gouvernement qui rapporte aujourd'hui beaucoup au pays.

Rationalisation du portfolio

¹⁰⁰ Bent Sørensen et Giuseppe Spazzafumo, *Hydrogen and Fuel Cells – Emerging Technologies and Applications*, (San Diego : Elsevier, 2018), p. 465.

L'objectif 103 de la politique de défense actuelle, *Protection Sécurité Engagement*, demande de « procéder à l'aliénation des bâtiments sous-utilisés et désuets.¹⁰¹ » Une cible facile contribuant à répondre à cet objectif est le système d'alerte avancé du nord, un réseau de 47 stations de surveillance de l'espace aérien. Ces stations approchent rapidement de la fin de leur vie utile. Il n'y a pas encore de décision ferme pour leur remplacement, ce qui constitue une opportunité significative en termes de réduction des GES, puisque ces stations consomment bon an mal an près de sept millions de litres de carburant fossile¹⁰². Plutôt que de remplacer ces stations, pourquoi ne pas opter pour un système en orbite ? Le Canada a déjà eu un programme de recherche en ce sens, *Northern Watch*¹⁰³. Et sans faire une analyse financière poussée ici, il est fort probable qu'un tel système serait moins coûteux que le remplacement des stations actuelles. En effet, avec l'apparition de compagnies aérospatiales privées comme *Space X*, les prix de mise en orbite de satellites ont grandement chuté; avec la mise en service de *Falcon Heavy* par *Space X* en 2020, le prix par kg devrait passer sous la barre des 1000 \$¹⁰⁴. Ceci n'inclut pas le coût de développement et de fabrication du système, mais lorsque l'on pense aux défis que représentent la construction d'infrastructure dans l'Arctique, surtout avec la possibilité de dégel du pergélisol¹⁰⁵, en plus des coûts d'opération annuels, le calcul mérite d'être fait.

¹⁰¹ Canada, Ministère de la défense nationale, *Protection Sécurité Engagement*, (Ottawa : Groupe communication Canada, 2017), p. 77.

¹⁰² Lieutenant-Colonel Rob Knapik, Chef d'état-major de l'UOI(N), *Courriel du 7 février 2020*.

¹⁰³ Franklyn Griffiths, Rob Huebert and P. Whitney Lackenbauer, *Canada and the Changing Arctic – Sovereignty, Security and Stewardship*, Waterloo: Wilfrid Laurier University Press, 2014, p. 37.

¹⁰⁴ FutureTimeline.net, *Launch costs to low Earth orbit, 1980-2100*, 2018, [en ligne], page consultée le 7 février 2020, <https://www.futuretimeline.net/data-trends/6.htm>

¹⁰⁵ Erica M Dingman, « Arctic Sustainability: The Predicament of Energy and Environmental Security », *The Quarterly Journal*, (hiver 2011), p. 2.

Si par ailleurs l'option d'un système en orbite n'est pas envisageable, il faut se questionner sur la possibilité de réduire le nombre de stations du système de remplacement.

Enfin, si toutes les stations du système actuel doivent être conservées, il s'agit tout de même d'une occasion de réduire la demande en énergie. Dans ce cas comme dans le précédent, les nouvelles infrastructures et les nouveaux systèmes qu'elles abriteront devront être plus énergétiquement efficace, réduisant ainsi la demande totale et facilitant la transition à des sources renouvelables et propres.

Coopération

La transition vers de nouvelles sources d'énergie représente des coûts très important qu'ils seraient difficiles de justifier pour le MDN seul, surtout dans un contexte de compétition féroce pour les investissements majeurs en capitaux. Mais il existe pour le MDN plusieurs opportunités de coopération afin de réaliser la transition vers des énergies propres et renouvelables. En effet, à l'intérieur du gouvernement fédéral, huit ministres se sont fait donner des objectifs reliés, soit à la croissance propre, soit à la réduction des GES en vue d'atteindre la carboneutralité.

La coopération est certainement possible avec les territoires. En 2014, les communautés de l'Arctique canadien ont consommé 76 millions de litres de diesel pour produire leur électricité. Dans le cas du Nunavut, les dépenses de diesel atteignent presque 20 % du budget du territoire¹⁰⁶. Ces dépenses sont aussi sujettes à des

¹⁰⁶ Kevin B. Jones, Mark James et Roxana-Andreea Mastor, « Securing our energy future: three international perspectives on microgrids and distributed renewables as a path toward resilient communities », *Environmental Hazards* 16, n° 2, (2017), p. 105.

fluctuations dues au marché international et aussi au climat. En effet, les routes maritimes sont dépendantes de la température. Bien qu'un réchauffement de l'Arctique soit constaté, il pourrait y avoir un hiver particulièrement froid qui réduirait la durée de la saison pour les navires cargo. Et le contraire, des hivers plus cléments, pourrait augmenter la durée de navigation sur les routes maritimes; mais la réduction du couvert de glace pourrait être accompagné d'une augmentation des tempêtes et des vagues, compliquant la navigation. Dans un cas comme dans l'autre, lorsqu'une quantité suffisante de diésel ne peut être acheminée par la mer, alors le reste doit être expédié par les airs, ce qui gonfle encore plus la facture¹⁰⁷.

Une autre possibilité de coopération réside avec les sociétés de génération d'électricité présentes dans les territoires. En outre, la Société d'énergie Qulliq, qui fournit l'électricité au Nunavut, regarde du côté des énergies renouvelables et propres afin de réduire ses coûts de production¹⁰⁸.

Enfin, il existe aussi un potentiel de coopération avec l'industrie privée. Par exemple, Rio Tinto a installé près de 10 MW d'énergie éolienne à sa mine de Diavik aux Territoires du Nord-Ouest¹⁰⁹. En plus de contribuer à réduire leurs coûts d'opération, cela permet à la compagnie de démontrer aux investisseurs que la compagnie fait des efforts pour réduire les émissions de GES, une caractéristique recherchée par un nombre croissant d'investisseurs soucieux de protéger l'environnement. S'il n'y a pas

¹⁰⁷ Ibid, p. 105.

¹⁰⁸ Société d'énergie Qulliq, *Énergie renouvelable*, [en ligne], page consultée le 29 février 2020, <https://www.qec.nu.ca/fr/%C3%A9lectricit%C3%A9-au-nunavut/%C3%A9nergie-renouvelable>

¹⁰⁹ Alexandra Mallett et David Cherniak, « Views from above : policy entrepreneurship and climate policy change on electricity in the Canadian Arctic », *Regional Environmental Change* 18, (2018), p. 1329.

d'exploitation industrielle ou minière à proximité des sites du MDN, il s'agit tout de même d'une opportunité d'apprendre de ces compagnies en vue de l'installation des systèmes du MDN.

Volonté politique

Les dernières élections fédérales de l'automne 2019 ont montré l'importance grandissante de la protection de l'environnement au sein de la population canadienne. Il y a évidemment des différences entre l'importance accordée entre les populations des provinces, mais il s'agit d'une inquiétude de taille à travers le pays¹¹⁰. Bien que les différents partis politiques ne s'entendent pas nécessairement sur les moyens ou l'importance des mesures à prendre, il n'en demeure pas moins qu'ils sont tous d'accord pour agir. Il y a donc peu de chance que des initiatives ou des projets de transition vers des énergies propres et renouvelables soient annulés avec un changement de parti au pouvoir. Le MDN peut donc confortablement se commettre dans cette voie sans danger de devoir faire marche arrière.

Obsolescence des systèmes

Plusieurs des équipements et bâtiments en usage dans l'Arctique canadien sont déjà obsolètes, ou le seront très prochainement. Comme il est mentionné au Chapitre 1, l'âge moyen des structures de l'UOI(N) est de 44 ans. De plus, comme la majorité des communautés dans l'Arctique ne sont pas relié à un réseau central de production d'électricité, elles utilisent des génératrices au diesel comme source d'électricité. La majorité de ces génératrices ont été installées dans les années '50 et '60 et plusieurs

¹¹⁰ James Keller, The Globe and Mail, *Poll shows Canadians favour national response to climate change despite Alberta's carbon tax objections*, [en ligne], 31 décembre 2019, page consultée le 1^{er} mars 2020, <https://www.theglobeandmail.com/canada/alberta/article-poll-shows-canadians-favour-national-response-to-climate-change/>

d'entre elles, 18 sur 26 dans le cas du Nunavut, ont dépassé leur limite de vie utile¹¹¹. Il en va de même pour les sites de radar du MDN qui utilisent des génératrices au diesel qui doivent constamment être reconstruites¹¹².

Mais en plus des systèmes qui sont déjà obsolètes, il faut aussi considérer la vaste majorité des systèmes consommant de l'énergie en utilisation aujourd'hui, que ce soit de gros systèmes comme les génératrices au diesel, les véhicules ou les bâtiments, ou encore des appareils plus petits allant des ampoules, ordinateurs aux appareils électro-ménagers, qui arriveront à la fin de leur vie utile d'ici 2050. Les choix de remplacement de tous ces systèmes ont le potentiel de transformer le futur énergétique de la société¹¹³, autant dans l'Arctique que dans le reste du Canada. En plus de sélectionner des appareils ayant une plus faible consommation pour réduire la demande, le remplacement des systèmes consommant aujourd'hui des carburants fossiles représente une occasion de procéder à la transition vers des systèmes à l'hydrogène. Cependant, comme plusieurs de ces systèmes et équipements n'existent pas encore aujourd'hui, le gouvernement doit envoyer des signaux clairs pour encourager leur développement. Plusieurs mécanismes existent, que ce soient des allègements fiscaux, des subventions directes aux entreprises ou aux universités, afin d'assurer une transition vers une économie de l'hydrogène.

Réduction du fardeau logistique

¹¹¹ Kevin B. Jones, Mark James et Roxana-Andreea Mastor, « Securing our energy future: three international perspectives on microgrids and distributed renewables as a path toward resilient communities », de *Environmental Hazards* 16, n° 2, (2017), p. 104.

¹¹² Lieutenant-colonel Rob Knapik, Chef d'état-major de l'UOI(N), Courriel envoyé à l'auteur, 7 février 2020.

¹¹³ Karl Mallon, *Renewable energy policy and politics – A handbook for decision making*, (London : Earthscan, 2006), p. xv.

Le diésel requis pour opérer les génératrices des différentes communautés de l'Arctique représente plus de la moitié du tonnage expédié vers le nord¹¹⁴. Le transport du diésel constitue un danger considérable pour l'environnement puisque les risques de déversements sont considérables, notamment en raison des températures froides extrêmes dans la région, qui rend les fuites plus fréquentes, ou le danger à la navigation posé par les glaces¹¹⁵. Il y a aussi très peu de fenêtres d'opportunités pour expédier le carburant à destination. En effet, la saison de navigation est courte et même si le réchauffement constaté dans l'Arctique contribue à réduire le couvert de glace, cela ne facilite pas nécessairement la navigation. Les installations de l'UOI(N) ainsi que les communautés Arctiques doivent donc entreposer des réserves importantes au cas où l'approvisionnement annuel n'aurait pas lieu. Par exemple, à la station des FAC de Alert, la consommation annuelle est d'environ deux millions de litres de diésel, mais on garde sur place six millions de litres¹¹⁶ afin de faire face aux imprévus. Ceci représente un risque environnemental accru, demande de la maintenance supplémentaire et immobilise inutilement des capitaux. L'utilisation d'énergie produite sur place diminuerait grandement la nécessité de l'expédié depuis le sud du Canada et réduirait aussi la grandeur des réserves requises sur place.

Réduction des coûts d'opération

¹¹⁴ Kevin B.Jones, Mark James et Roxana-Andreea Mastor, « Securing our energy future: three international perspectives on microgrids and distributed renewables as a path toward resilient communities », *Environmental Hazards* 16, n° 2, (2017), p. 105.

¹¹⁵ Lucia Mortensen, Anne Merrild Hansen et Alexander Shestakov, « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities », *Polar Geography* 40, n° 3, (2017), p. 165.

¹¹⁶ Lieutenant-colonel Rob Knapik, Chef d'état-major de l'UOI(N), Courriel envoyé à l'auteur, 7 février 2020.

L'opération de génératrices au diésel représente un coût important pour le MDN et les communautés de l'Arctique. Par exemple, le coût de production d'électricité à Resolute Bay est d'environ 1 \$ par kWh¹¹⁷, soit près de 14 fois le prix payé au Québec, où l'électricité est la moins dispendieuse, ou plus de 5 fois le prix payé en Saskatchewan¹¹⁸, où elle est la plus chère. En Alaska, près du tiers des 200 communautés ayant des systèmes indépendants de production d'électricité ont opté pour des sources renouvelables afin de réduire leurs coûts en diésel¹¹⁹. Une étude économique conduite en Russie pour l'implantation d'énergie renouvelable, dont le stockage à l'hydrogène, a aussi fourni des résultats intéressants. Ces derniers ont démontré que le prix du kWh pourrait être réduit d'un facteur de 2 à 4, dépendant des régions¹²⁰. Les endroits où la plus grande réduction pourrait être atteinte sont les endroits où les coûts de production sont aujourd'hui les plus grands, atteignant plus de 4,50 \$ par kWh avec des systèmes de production utilisant des génératrices au diésel.

Ce chapitre portait sur les principaux facteurs qui peuvent influencer une transition vers des énergies renouvelables et propres. Ces facteurs se regroupent en trois grandes catégories. D'abord, certains risques ont été présentés. Ils exploraient le danger de ne pas agir assez vite, ou le danger de mal agir. La catégorie suivante s'attardait aux

¹¹⁷ Major Garry Johnson, Officier d'état-major senior, Centre d'entraînement de l'Arctique des Forces armées canadiennes, discussion avec l'auteur.

¹¹⁸ EnergyHub, *Electricity Prices in Canada 2020*, [en ligne], page consultée le 28 février 2020, <https://energyhub.org/electricity-prices/>

¹¹⁹ Gwen P. Holdmann et Richard W. Wies, « Renewable Energy Integration in Alaska's Remote Islanded Microgrids: Economic Drivers, Technical Strategies, Technological Niche Development, and Policy Implications », *IEEE Proceedings*, Special Issue "Electricity for All: Access to Electricity Issues and Solutions for Energy-disadvantaged Communities," invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, p. 1821.

¹²⁰ Yulia Alexandrovna Nazarova et coll., « Feasibility Study of Renewable Energy Deployment Scenarios in Remote Arctic Communities », *International Journal of Energy Economics and Policy* 9, no 1, (2019), p. 333.

défis que comportent cette transition. Les principaux regroupent des aspects plus techniques, comme la construction dans l'Arctique, l'expertise requise ou encore les investissements requis. Mais la nécessité d'un changement de paradigme a aussi été discutée, soit celui de voir d'une autre façon notre économie basée sur les énergies fossiles. Enfin, malgré les difficultés énoncées, il existe actuellement plusieurs opportunités qui peuvent contribuer à la transition recherchée. Plusieurs des systèmes et bâtiments actuellement en opération approchent de la fin de leur vie utile et devront être remplacés. Il y a une volonté de rationaliser le portfolio d'infrastructures du MDN, ainsi qu'une volonté politique pour une réduction des émissions de GES. Enfin, diminuer la dépendance au diesel peut réduire le fardeau logistique et les coûts. Mais plus encore, le Canada a les ressources pour devenir un leader d'une nouvelle économie de l'énergie, une économie basée sur l'hydrogène plutôt que sur les carburants fossiles, donc il ne faut pas rater cette occasion et emboîter rapidement le pas à des acteurs dont l'Australie ou la ville de Los Angeles. La connaissance de ces facteurs est donc essentielle au développement de critères de réussite pour cette transition. Ces critères de réussite font l'objet du prochain chapitre.

5. CRITÈRES DE RÉUSSITE

Dans le Chapitre 2, une partie de la revue de la littérature a montré que plusieurs ministres avaient des objectifs de rendement liés à la diminution des GES. Le Chapitre 3 a présenté un bref survol des technologies disponibles tandis que le Chapitre 4 a considéré différents facteurs pouvant influencer l'implantation de systèmes de production d'énergies propres et renouvelables. Ces informations sont utilisées dans le présent chapitre afin d'induire des critères qui contribueront grandement à la réussite d'une transition vers les énergies qui permettront d'atteindre l'objectif du CT d'être carboneutre.

Six critères sont discutés. D'abord, la synergie requise entre tous les acteurs; ensuite l'importance de l'expertise technique. Puis, bien que ce concept ait déjà été mentionné à plusieurs reprises dans le texte, le besoin d'augmenter l'utilisation des énergies propres et renouvelables afin de devenir carboneutre. Cette approche progressive est facilitée par l'utilisation de systèmes hybrides qui est discutée par la suite. Un autre critère est l'importance de maximiser l'utilisation de ressources locales. Enfin, le dernier critère discuté est la nécessité de réduire la consommation d'énergie pour faciliter la transition.

5.1 Synergie entre acteurs

Une transition vers des sources d'énergies propres demande une quantité importante de ressources, surtout pour réaliser cette transition dans l'Arctique. Il n'y a pas

une seule partie prenante qui puisse mener cette transition seule¹²¹. Il faut créer une synergie entre les différents acteurs et l'opportunité existe, tel que mentionné précédemment. Le gouvernement fédéral s'est fixé des objectifs ambitieux et plusieurs ministres ont dans leur lettre de mandat des objectifs clairs qui doivent contribuer à l'atteinte de la transition vers des énergies propres et renouvelables. L'approche pangouvernementale tant galvaudée dans les discours doit ici se matérialiser par une collaboration concrète. Et pour le MDN, puisqu'il n'y a pas d'objectif clair lié au développement durable dans la lettre de mandat du ministre, cela veut sans doute dire de transférer des crédits à un autre ministère qui serait plus à bien de mener cette transition, tout en énonçant clairement les besoins du MDN et en étant partenaire lors de l'exécution.

Pour leur part, les gouvernements territoriaux commettent une partie importante de leur budget annuel aux hydrocarbures, et les communautés ont à gagner en termes de sécurité énergétique et en possibilité de développement économique et l'expertise de l'industrie privée peut être mise à profit. Dans les endroits où les installations du MDN sont colocalisées avec des communautés civiles, comme à Resolute Bay, le parc de génératrices sert à la fois la communauté civile et militaire¹²². Afin de tirer profit des réseaux de distribution existant, ces partenariats doivent se poursuivre.

Mais pour créer cette synergie, il faut d'abord que le gouvernement fédéral mette en place les programmes requis et s'implique d'avantages. Malgré les annonces publiques et les objectifs cités dans les lettres de mandats, l'appui limité du gouvernement envers

¹²¹ Anna Pegels et coll., « Politics of Green Energy Policy », *Journal of Environment & Development* 27, n° 1, (2017), p. 32.

¹²² Major Garry Johnson, Officier d'état-major senior, Centre d'entraînement de l'Arctique des Forces armées canadiennes, discussion avec l'auteur.

les énergies renouvelables dans l'Arctique demeure un obstacle¹²³. L'appui gouvernemental est une caractéristique commune entre l'Allemagne, les États-Unis et le Japon qui sont tous des leaders dans l'implantation d'énergie renouvelable, avec des capacités installées en progression constante¹²⁴. Les habitants de l'Arctique mentionnent aussi l'importance d'avoir l'appui des gouvernements afin que les projets d'énergies renouvelables se matérialisent¹²⁵. Cette synergie est d'autant plus importante qu'elle doit servir à briser l'inertie actuelle face au changement de paradigme requis, notamment celui de notre société basée sur le pétrole. Ce changement de paradigme doit être planifié et accompagné des politiques adéquates pour réussir¹²⁶. Or, le Canada continue d'encourager le statu quo en subventionnant les énergies fossiles pour la production d'électricité dans l'Arctique¹²⁷.

Les outils de politiques devraient être directif et viser certaines technologies en particulier plutôt que de laisser les forces du marché dicter la marche à suivre¹²⁸. Ainsi, il serait possible de profiter des opportunités présentes au Canada, comme celle d'être un pionnier de l'économie de l'hydrogène discuté au Chapitre 4. D'ailleurs, l'Australie, même si elle a actuellement un gouvernement protégeant son industrie du charbon et

¹²³ Kevin B. Jones, Mark James et Roxana-Andreea Mastor, « Securing our energy future: three international perspectives on microgrids and distributed renewables as a path toward resilient communities », *Environmental Hazards* 16, n° 2, (2017), p. 107.

¹²⁴ Hilma Salonen, « Public justification analysis of Russian renewable energy strategies », *Polar Geography* 41, n° 2, (2018), p. 82.

¹²⁵ Alexandra Mallett et David Cherniak, « Views from above : policy entrepreneurship and climate policy change on electricity in the Canadian Arctic », *Regional Environmental Change* 18, (2018), p. 1327.

¹²⁶ Anna Pegels et coll., « Politics of Green Energy Policy », *Journal of Environment & Development* 27, n° 1, (2017), p. 27.

¹²⁷ Lucia Mortensen, Anne Merrild Hansen et Alexander Shestakov, « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities », *Polar Geography* 40, n° 3, (2017), p. 175.

¹²⁸ Anna Pegels et coll., « Politics of Green Energy Policy », *Journal of Environment & Development* 27, n° 1, (2017), p. 28.

n'agissant pas contre les changements climatiques¹²⁹, a décidé d'investir dans la production d'hydrogène. En effet, la Tasmanie, cet état insulaire situé au sud du pays, investira 44 millions \$ CDN afin de transformer ses surplus d'hydro-électricité en hydrogène, pour ensuite l'exporter vers l'Asie où la demande d'énergie propre est en forte croissance. Ce marché est estimé à plus de 1 milliard \$ d'ici 2030¹³⁰. La ville de Los Angeles aux États-Unis a d'ailleurs entreprise une transition vers l'hydrogène pour remplacer les centrales au charbon et au gaz naturel. La ville vient d'acheter de nouvelles turbines qui fonctionneront d'abord au gaz, mais qui pourront être converties pour fonctionner 100 % à l'hydrogène d'ici 2045. L'hydrogène sera produit grâce aux surplus d'électricité des parcs solaires et éoliens¹³¹.

Mais afin d'éviter que cette transformation majeure du secteur énergétique fasse des gagnants et des perdants, surtout dans l'industrie du pétrole, il est important d'inclure cette dernière, dès maintenant, dans la transformation envisagée afin qu'elle en devienne un agent actif, mais qu'elle soit aussi compensée de façon appropriée pour ses investissements. Cette réalité est d'autant plus importante dans le contexte canadien actuel où une fracture entre les provinces productrices de pétrole et le reste du pays semble se créer. Néanmoins, ces provinces, peuvent aussi jouer un rôle significatif dans

¹²⁹ Paul Karp, « Scott Morrison threatens crackdown on protesters who would 'deny liberty' », *The Guardian*, 1 novembre 2019, [en ligne], page consultée le 31 mars 2020, <https://www.theguardian.com/australia-news/2019/nov/01/scott-morrison-threatens-crackdown-on-secondary-boycotts-of-mining-companies>

¹³⁰ James Thornhill, Bloomberg Green, *Australia's Island State Touts 10-Year Plan to Export Hydrogen*, 2 mars 2020, [en ligne], page consultée le 3 mars 2020, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-03/australia-s-island-state-touts-10-year-plan-to-export-hydrogen>

¹³¹ Naureen S Malik, Bloomberg Green, *L.A. Aims to be First to Power U.S. City With Green Hydrogen*, 10 mars 2020, [en ligne], page consultée le 28 mars 2020, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-10/l-a-aims-to-be-first-to-power-u-s-city-with-renewable-hydrogen>

cette transition. La Saskatchewan, l'Alberta et le Manitoba ont toutes d'excellents potentiel pour le solaire PV¹³² qui pourrait contribuer à une économie de l'hydrogène. L'Alberta a même un meilleur potentiel solaire que des villes comme Miami ou San Francisco, en raison de la moins grande quantité de pollution atmosphérique¹³³.

De plus, malgré les prix d'installation en déclin pour le solaire PV et l'éolien, les investissements requis sont énormes, surtout dans l'Arctique. La transformation ne peut être réussie que grâce à de nouvelles politiques¹³⁴; les objectifs, que ce soit celui du CT ou des lettres de mandats ministériels n'ont pas le même poids qu'une loi ou une politique.

5.2 Expertise technique

Le facteur le plus efficace pour faire la promotion de l'énergie propre dans les communautés arctiques demeure l'existence de réussites similaires¹³⁵. Mais dû à certains projets n'ayant pas eu les résultats escomptés, comme trois projets éoliens au Nunavut qui ont dû être démantelé après seulement cinq ans, faute de maintenance et de problèmes techniques¹³⁶, il existe une certaine réticence face à ces nouvelles technologies¹³⁷.

¹³² Canada, Régie de l'énergie du Canada, *Aperçu du marché : Quelles villes canadiennes recèlent le plus grand potentiel d'énergie solaire?*, [en ligne], page consultée le 3 mars 2020, <https://www.cer-rec.gc.ca/nrg/ntgrtd/mrkt/snpsht/2018/06-03ctsslprntnl-fra.html?=&wbdisable=true>

¹³³ Kris Hodgson, « The OTHER Energy Sector – Part II », *PEG*, (Summer 2014), p. 79.

¹³⁴ Anna Pegels et coll., « Politics of Green Energy Policy », *Journal of Environment & Development* 27, n° 1, (2017), p. 36.

¹³⁵ Lucia Mortensen, Anne Merrild Hansen et Alexander Shestakov, « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities », *Polar Geography* 40, n° 3, (2017), p. 177.

¹³⁶ Kevin B. Jones, Mark James et Roxana-Andreea Mastor, « Securing our energy future: three international perspectives on microgrids and distributed renewables as a path toward resilient communities », *Environmental Hazards* 16, n° 2, (2017), p. 106.

¹³⁷ Nicole C. McDonald et Joshua M. Pearce, « Community Voices : Perspectives on Renewable Energy in Nunavut », *Arctic* 66, n° 1, (mars 2013), p. 98.

Pourtant, il existe de nombreux projets réussis ailleurs, par exemple en Russie¹³⁸, en Alaska¹³⁹ ou même en Antarctique¹⁴⁰. Il est donc essentiel que les premiers projets qui iront de l'avant utilise des technologies qui auront fait leurs preuves dans un environnement similaire. De même, ces projets doivent être réalisés par des firmes établies ayant des expériences comparables réussies. Une réussite mitigée ou un échec retarderait grandement l'adoption de ces nouveaux systèmes par les communautés locales. Enfin, en plus de mettre des systèmes robustes et fonctionnels en place, tout projet devra s'assurer que la main d'œuvre requise pour l'opération et la maintenance des systèmes soit facilement disponible à tout moment, depuis l'implantation des systèmes jusqu'à leur remplacement. Donc en mettant en place des systèmes performant, l'acceptabilité par les communautés sera facilitée et des membres de ces dernières pourront s'impliquer localement dans l'opération et la maintenance des systèmes.

Étant donné l'importance critique de ce critère, il faut être prêt à prendre des risques accrus lors de l'octroi des projets. Il vaut mieux privilégier une sélection très rigoureuse et sévère des soumissionnaires, quitte à se faire accuser de trop restreindre l'accès aux projets ou à faire augmenter le prix. En ce sens, si la réalisation de certains de ces projets est confié à Construction de défense Canada (CDC), il est essentiel de suivre

¹³⁸ Hilma Salonen, « Public justification analysis of Russian renewable energy strategies », *Polar Geography* 41, n° 2, (2018), p. 76.

¹³⁹ Gisele M. Arruda et Feb M. Arruda, « Towards sustainable energy systems through smart grids in the Arctic », *Renewable Energy for the Arctic: New Perspectives*, sous la direction de Gisele Arruda, (Routledge, 2018), p. 95.

¹⁴⁰ Tina Tin et coll., « Energy efficiency and renewable energy under extreme conditions: Case studies from Antarctica », *Renewable Energy* 35, no 8, (August 2010), p. 1715.

de façon beaucoup plus serrée le processus d'appel d'offre et l'évaluation des soumissions¹⁴¹.

5.3 Renouvelables et propres

Afin de parvenir à une réduction réelle des émissions de GES et d'assurer une meilleure acceptabilité sociale, les sources d'énergie renouvelables et propres doivent être privilégiées. Ainsi, malgré le potentiel que représente l'énergie nucléaire pour des applications isolées, cette solution ne doit pas être considérée puisqu'elle n'est pas renouvelable, d'autant plus que son acceptabilité sociale est très faible. Similairement, la biomasse ne doit pas être envisagée puisqu'il ne s'agit pas d'une ressource propre, malgré ce que certains schèmes de comptabilité des GES laissent croire. Certaines études ont d'ailleurs démontré que la biomasse contribuerait à l'augmentation des GES atmosphérique plutôt qu'à leur réduction¹⁴².

Une exception à ce critère est l'énergie hydroélectrique. Bien qu'elle soit renouvelable et propre, son acceptabilité sociale par les communautés de l'Arctique est très faible. Des études ont montré que les communautés arctiques étaient très opposées à l'hydroélectricité¹⁴³. Ils craignent principalement les impacts que l'implantation de barrages ou de système au fil de l'eau sur les rivières pourraient avoir sur l'environnement et la faune, surtout que cette dernière joue un rôle essentiel dans leur

¹⁴¹ En effet, CDC insiste pour privilégier un accès le plus grand possible à toutes les entreprises afin de minimiser les risques de poursuites judiciaires, au détriment parfois des résultats obtenus. Opinion de l'auteur, basée sur 3 ans d'expérience à travailler avec CDC en tant que commandant-adjoint de l'UOI (Ouest).

¹⁴² Hilma Salonen, « Public justification analysis of Russian renewable energy strategies », *Polar Geography* 41, n° 2, (2018), p. 83.

¹⁴³ Nicole C. McDonald et Joshua M. Pearce, « Community Voices : Perspectives on Renewable Energy in Nunavut », *Arctic* 66, n° 1, (mars 2013), p. 98.

survie. De plus, comme plusieurs cours d'eau sont complètement gelés en hiver, les centrales hydroélectriques n'ont pas le même potentiel que dans le sud et sont sujettes au même problème que l'énergie solaire ou éolienne, soit l'intermittence dans la production. De plus, les changements climatiques entraînent des modifications dans les régimes de précipitations, ce qui peut nuire à la production de ces centrales hydro-électriques dans les années plus sèches. Par exemple, les Territoires du Nord-Ouest ont connu ce phénomène en 2014-2015 et ils ont dû payer près de 50 millions de dollars en subventions aux consommateurs. Cette dépense a été nécessaire afin de couvrir les frais additionnels du diesel qui a servi à alimenter les génératrices requises pour assurer une production d'électricité suffisante pour rencontrer les besoins¹⁴⁴.

Les sources d'énergies à privilégier dans l'Arctique devraient donc se limiter à l'éolien, la géothermie et le solaire. Pour ce qui est des moyens de stockage nécessaires pour faire face aux périodes de demande supérieures à la production, les trois discutés au Chapitre 3 sont appropriés, mais comme méthode de plus grand stockage, l'hydrogène devrait être privilégié à long terme face aux batteries. Cette source d'énergie a le potentiel de remplacer les énergies fossiles non seulement pour la production d'électricité, mais aussi pour le chauffage et pour plusieurs applications dans le domaine des transports, en plus de représenter un potentiel de croissance économique intéressant pour le Canada, comme le montre les investissements australiens discutés précédemment.

5.4 Systèmes hybrides

¹⁴⁴ Alexandra Mallett et David Cherniak, « Views from above : policy entrepreneurship and climate policy change on electricity in the Canadian Arctic », *Regional Environmental Change* 18, (2018), p. 1323-1324.

Certaines études¹⁴⁵ ont démontré l'existence de corrélations négatives entre différentes sources d'énergie renouvelables comme l'énergie solaire ou éolienne, c'est-à-dire que leur production maximale n'est pas au même moment. Ainsi, des systèmes différents ont une utilité complémentaire et contribue à réduire les fluctuations de puissance sur les réseaux électriques, ce qui en retour facilite leur gestion. De plus, un apport plus constant en énergie réduit la dimension des systèmes de stockage nécessaires. Ces corrélations dépendent cependant de l'emplacement géographique. Ce facteur doit donc être considéré dans la sélection d'un système d'énergie renouvelable et les systèmes hybrides devraient être privilégiés, lorsque pertinents, face à l'utilisation d'une seule source d'énergie.

La transition devrait aussi tirer parti des systèmes au diésel actuellement en place. Il n'est pas réaliste d'atteindre la carboneutralité du jour au lendemain. Les objectifs énoncés par le CT sont ambitieux, mais ils permettent cette période de transition. Cependant, il ne faut pas perdre de temps; 30 ans n'est pas une période aussi longue qu'il puisse paraître. Les nouvelles sources propres et renouvelables devraient s'intégrer dans un premier temps avec les génératrices au diésel déjà en place. Une étude en ce sens a été conduite afin de déterminer quelles seraient les meilleurs endroits pour déployer de tels systèmes, et les simulations réalisées montrent que des systèmes hybrides, couplés aux systèmes diésel, pourraient grandement réduire les émissions de GES ainsi que les coûts en diésel¹⁴⁶. Il faut cependant faire preuve de prudence dans ces cas. En réduisant la

¹⁴⁵ Kine Solbakken, Bilal Babar et Tobias Boström, « Correlation of wind and solar power in high-latitude arctic areas in Northern Norway and Svalbard », *Renewable Energy and Sustainability* 42, (2016), p. 1-4.

¹⁴⁶ Indrajit Das et Claudio Cañizares, « Renewable Energy Integration in Diesel-based Microgrids at the Canadian Arctic », *IEEE Proceedings*, Special Issue "Electricity for All: Access to Electricity Issues

charge sur les génératrices au diésel, on peut réduire leur performance et augmenter leurs coûts de maintenance. Des installations similaires en Alaska ont montré qu'on ne devrait pas réduire la charge des génératrices au diésel sous la barre des 30 %¹⁴⁷. Une fois ce niveau atteint, il faut être prêt à faire la transition complète à un nouveau système. Dans un deuxième temps, la capacité de production propre devrait être augmentée et une solution de stockage d'énergie installée, afin de pouvoir retirer les génératrices au diésel et atteindre la carboneutralité.

Une étude de faisabilité conduite en Russie a d'ailleurs montré qu'un système hybride combinant éoliennes et piles à combustible à l'hydrogène était possible pour l'Arctique russe¹⁴⁸. Il en va de même en Antarctique où l'avantage de combiner des technologies différentes en systèmes hybrides a été utilisé. En effet, des systèmes solaires PV, des collecteurs de chaleurs et des éoliennes ont été déployé avec succès, dans le but de parvenir à une production d'électricité 100 % renouvelable et propre¹⁴⁹.

D'autres exemples de systèmes hybrides sont employés en Alaska, cette fois-ci pour gérer la fluctuation dans la production éolienne en stockant les excédant dans un système utilisant des volants et des batteries au lithium-ion. L'utilisation des volants en

and Solutions for Energy-disadvantaged Communities," invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, p. 1856.

¹⁴⁷ Gwen P. Holdmann et Richard W. Wies, « Renewable Energy Integration in Alaska's Remote Islanded Microgrids: Economic Drivers, Technical Strategies, Technological Niche Development, and Policy Implications », *IEEE Proceedings*, Special Issue "Electricity for All: Access to Electricity Issues and Solutions for Energy-disadvantaged Communities," invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, p. 1834.

¹⁴⁸ Yulia Alexandrovna Nazarova et coll., « Feasibility Study of Renewable Energy Deployment Scenarios in Remote Arctic Communities », *International Journal of Energy Economics and Policy* 9, no 1, (2019), p. 333.

¹⁴⁹ Tina Tin et coll., « Energy efficiency and renewable energy under extreme conditions: Case studies from Antarctica », *Renewable Energy* 35, no 8, (August 2010), p. 1715.

amont des batteries réduit le nombre de cycle de charge-décharge que ces dernières subissent et prolonge ainsi leur vie utile¹⁵⁰.

5.5 Ressources locales

Afin de réduire le fardeau logistique, il est important que les systèmes choisis consomment le plus de ressources locales possibles. Comme une grande partie des installations du MDN situées dans l'Arctique le sont dans un désert, ces ressources se limitent souvent au vent et au soleil. Certains systèmes utilisant de la biomasse ont récemment été installés dans l'Arctique. C'est le cas pour une nouvelle bâtisse utilisant un système de convection sous le plancher comme chauffage qui a été installé à Crystal City près de Resolute Bay. Le système utilise la combustion de pastilles de bois afin de chauffer du glycol qui circule sous le plancher pour fournir la chaleur¹⁵¹. Un tel système est mieux que le chauffage au diesel, mais il demeure problématique en raison des GES qu'il émet, comme expliqué précédemment au Chapitre 3, mais aussi parce qu'il faut acheminer sur place les pastilles de bois requises à son opération. Les risques associés au transport d'hydrocarbures sont certes éliminés, mais le transport d'un carburant est toujours nécessaire, ce qui ne fait que modifier le fardeau logistique. En plus de devoir être transporté, ce système demande un carburant qui doit être acheté, ce qui contribue à en augmenter le coût d'opération. Le désir d'utiliser des ressources locales pour la production d'énergie est d'ailleurs un des facteurs qui a favorisé l'émergence de ces

¹⁵⁰ Gwen P. Holdmann et Richard W. Wies, « Renewable Energy Integration in Alaska's Remote Islanded Microgrids: Economic Drivers, Technical Strategies, Technological Niche Development, and Policy Implications », *IEEE Proceedings*, Special Issue "Electricity for All: Access to Electricity Issues and Solutions for Energy-disadvantaged Communities," invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, p. 1828.

¹⁵¹ Visite de l'auteur à Crystal City, 26 février 2020.

systèmes dans plusieurs communautés en Alaska¹⁵², plutôt que de devoir importer à fort prix du diésel pour opérer des génératrices. En 2016, cet état comptait plus de 70 installations de production d'énergie renouvelable qui ont permis d'économiser la combustion de 117 millions de litres de diésel¹⁵³.

Une fois les projets réalisés, en plus d'utiliser des ressources locales pour la production d'électricité, il serait aussi tout approprié de faire appel à la main d'œuvre locale afin d'entretenir les systèmes, lorsque ces derniers sont à proximité de communautés civiles, ce qui représente la majorité des cas pour l'UOI(N). Dans plusieurs communautés en Alaska, des éoliennes sont devenues signe de fierté, elles représentent l'indépendance énergétique. Les habitants de ces communautés sont dès lors très motivés à garder ces équipements fonctionnels et plusieurs de ces éoliennes sont en opération depuis plus de dix ans¹⁵⁴. Donc, en plus de réaliser les projets en partenariat avec les communautés avoisinantes, il faut inclure un volet de formation de main d'œuvre pour l'entretien à long terme de ces systèmes, plutôt que de se fier à des contrats dispendieux reposant sur des compagnies du sud qui doivent envoyer des techniciens à grand prix dans l'Arctique. Tout en impliquant les communautés, l'utilisation de la main d'œuvre locale permettrait une réponse beaucoup plus rapide à tout problème constaté avec les systèmes.

¹⁵² Gwen P. Holdmann et Richard W. Wies, « Renewable Energy Integration in Alaska's Remote Islanded Microgrids: Economic Drivers, Technical Strategies, Technological Niche Development, and Policy Implications », *IEEE Proceedings*, Special Issue "Electricity for All: Access to Electricity Issues and Solutions for Energy-disadvantaged Communities," invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, p. 1830.

¹⁵³ Gisele M. Arruda et Feb M. Arruda, « Towards sustainable energy systems through smart grids in the Arctic », *Renewable Energy for the Arctic: New Perspectives*, sous la direction de Gisele Arruda, (Routledge, 2018), p. 95.

¹⁵⁴ Gwen P. Holdmann et Richard W. Wies, « Renewable Energy Integration in Alaska's Remote Islanded Microgrids: Economic Drivers, Technical Strategies, Technological Niche Development, and Policy Implications », *IEEE Proceedings*, Special Issue "Electricity for All: Access to Electricity Issues and Solutions for Energy-disadvantaged Communities," invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, p. 1831.

Il y a même possibilité de développer des compétences plus poussées. Des partenariats devraient être créés avec la nouvelle université du Yukon pour développer des cours ou des programmes sur les énergies propres et renouvelables. Et si la demande ne justifie pas les investissements pour l'université du Yukon, des partenariats avec l'université de l'Alaska devraient être mis en place; cette dernière a l'expertise dans le domaine¹⁵⁵.

¹⁵⁵ Ibid, p. 1833.

5.6 Premier ‘R’

L’adage le plus commun du développement durable est celui des quatre ‘R’ : réduire, récupérer, réparer et recycler. Plusieurs contrats d’efficacité énergétique ont été mis en place par le Groupe des opérations immobilières dans l’ensemble du pays. Un tel contrat est en place pour la station de Alert et il incorporera une capacité solaire PV¹⁵⁶. De plus, afin de diminuer la demande et faciliter la transition à de nouvelles sources d’énergie pour l’Arctique, tous les projets d’acquisition et d’immobiliers doivent s’assurer de contribuer au premier ‘R’, soit la réduction de la demande en électricité. Donc, avant de chercher des alternatives à plus faible consommation d’énergie, il faut d’abord se questionner sur la nécessité de remplacer les systèmes qui arrivent en fin de vie utile, ou sur la possibilité de réduire la quantité de ces systèmes.

Mais en plus de profiter de l’obsolescence des équipements et des bâtiments pour les remplacer par d’autres consommant moins d’électricité, les projets d’implantation d’énergie solaire et éolienne en Antarctique ont montré qu’il est essentiel d’inclure des programmes de sensibilisation. Il est impératif que les usagers adoptent de nouveaux comportements favorisant la réduction de la consommation plutôt que la faciliter des opérations¹⁵⁷. Trop souvent des portes de hangars restent encore ouvertes à longueur de journée pour faciliter l’entrée et la sortie de véhicules, à peine une fois l’heure. Les changements de comportements ne sont pas faciles, mais ils peuvent rapporter gros et sont une composante essentielle de la réduction de la consommation d’énergie.

¹⁵⁶ Lieutenant-colonel Rob Knapik, Chef d’état-major de l’UOI(N), Courriel envoyé à l’auteur, 7 février 2020.

¹⁵⁷ Tina Tin et coll., « Energy efficiency and renewable energy under extreme conditions: Case studies from Antarctica », *Renewable Energy* 35, no 8, (August 2010), p. 1715.

Les six critères énoncés précédemment sont nécessaires pour une transition vers des sources d'énergie renouvelables et propres, qui permettront d'atteindre les objectifs du CT en matière de réduction des émissions de GES. Trois de ces critères ont une importance capitale. Vu les investissements demandés, le Gouvernement doit créer la synergie requise entre tous les acteurs, qu'ils soient les différents ministères fédéraux, les provinces et territoires, les municipalités et communautés ou l'industrie privée. De plus, ce n'est qu'en accompagnant cette synergie par des politiques contraignantes que le gouvernement pourra changer les paradigmes actuels comme il a été discuté au Chapitre 4. Un facteur tout aussi essentiel est la compétence technique requise pour ceux qui exécuteront ces projets. Une demi-réussite, ou pire, un échec, minerait la confiance des populations de l'Arctique, serait une source de mauvaise presse gênante pour le gouvernement et représenterait des pertes financières considérables. Il en va de même pour l'entretien des systèmes qui seront installés : il faut s'assurer d'avoir l'expertise nécessaire. Le dernier critère capital va de soi : il faut que les nouveaux systèmes de production d'énergie utilisent des énergies propres et renouvelables. Les trois autres critères présentés, l'utilisation de systèmes hybrides, l'utilisation de ressources locales ainsi que la réduction de la consommation d'énergie, ne sont pas essentiels à la transition recherchée, mais ils faciliteront grandement sa réussite, et devraient être adoptés par tous ceux envisageant des projets dans le Grand Nord.

CONCLUSION :

DES CRITÈRES DE RÉUSSITE POUR UNE TRANSITION VERS LA CARBONEUTRALITÉ

Le but de cette étude était de suggérer des critères de réussite pour une transition vers des sources d'énergie propres et renouvelables, afin de rencontrer les objectifs énoncés par le CT, dont la carboneutralité pour le gouvernement du Canada. Cet objectif a été rencontré de deux façons. Dans un premier temps, il a été démontré, à l'aide d'exemples similaires, que l'utilisation de sources d'énergie propres et renouvelables est une avenue viable pour générer l'énergie nécessaires aux installations situées dans l'Arctique. Dans un deuxième temps, le texte a proposé une série de critères qui contribueront à la réussite de la transition des énergies fossiles aux énergies propres et renouvelables pour les infrastructures de l'UOI(N), et aussi des communautés de l'Arctique

Cette transition vers des sources d'énergie renouvelable et propre est essentielle pour atteindre les objectifs du CT, soit de réduire les « émissions de GES de 80 % d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 2005¹⁵⁸ », voir même, d'atteindre la carboneutralité pour le gouvernement fédéral. En plus de contribuer à cet objectif, les sources d'énergie renouvelable sont aussi reconnues pour augmenter la sécurité énergétique et l'économie des communautés où ces projets sont mis en service¹⁵⁹. En réduisant la quantité de diésel

¹⁵⁸ Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, *Le gouvernement du Canada fixe des cibles ambitieuses pour réduire les gaz à effet de serre découlant des activités fédérales*, 2017, [en ligne], page consultée le 28 janvier 2020, https://www.canada.ca/fr/secretariat-conseil-tresor/nouvelles/2017/12/le_gouvernement_ducanadafixedesciblesambitieusespourreduirelesga.html

¹⁵⁹ Lucia Mortensen, Anne Merrild Hansen et Alexander Shestakov, « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities », *Polar Geography* 40, n° 3, (2017), p. 177.

nécessaire à la production d'électricité et au chauffage dans l'Arctique, ces énergies contribuent de plus à la sécurité environnementale de la région en faisant chuter considérablement le nombre de navires devant transporter du pétrole vers les installations arctiques.

Et cette transition est possible, autant pour l'UOI(N) que pour l'ensemble des communautés de l'Arctique canadien. Plusieurs exemples de communautés ayant réussi l'intégration d'énergie renouvelable ont été cités, que ce soit en Alaska, en Russie ou en Antarctique. Les preuves sont faites, le Canada a tout ce qu'il faut pour aussi y parvenir. Les meilleurs exemples présentés utilisent une variété de sources de production, combinant généralement solaire et éolien, ainsi que différents mécanismes de stockage comme les batteries et les volants. Une étude économique réalisée en Russie a même montré que l'utilisation de piles à combustible hydrogène serait un moyen rentable de stocker de l'énergie, bien que cette technologie ne soit pas encore aussi répandue que les batteries ou les volants.

Après avoir cerné le problème en décrivant le portfolio de l'UOI(N), une revue de la littérature portant principalement sur les énergies renouvelables dans l'Arctique et les lettres de mandat ministériel a été conduite. Il n'a pas été possible de trouver de travail similaire à celui-ci, qui induit des critères favorisant l'implantation d'énergie renouvelable dans l'Arctique à partir de différents facteurs, incluant risques, défis et opportunités, caractérisant la mise en service de ces systèmes de production d'énergie. Cependant, l'étude des lettres de mandat ministériel a clairement indiqué le potentiel de collaboration entre plusieurs ministères avec la possibilité de mettre en place une

approche pangouvernementale claire, pouvant contribuer à la transition vers les énergies renouvelables propres.

Ce travail a aussi fait un rapide tableau des différentes technologies disponibles à ce moment pour atteindre la carboneutralité. Plusieurs sources d'énergies renouvelables ou propres ont été discutées, incluant le potentiel pour les utiliser dans l'Arctique, certains de leurs inconvénients et de leurs avantages. Parmi celle-ci, les énergies éolienne, géothermique et solaire sont les plus prometteuses. Le Nunavut peut compter sur le meilleur potentiel éolien au Canada alors que le potentiel solaire et géothermique des trois territoires est suffisant pour envisager leur utilisation. Par la suite, trois technologies de stockage de l'énergie ont été présentées. En se servant de la littérature consultée, la discussion s'est concentrée sur les trois les plus susceptibles de fonctionner dans le nord canadien, soit les batteries, les volants et les piles à combustible à l'hydrogène.

Une fois le problème cerné et les solutions possibles identifiées, plusieurs facteurs entourant l'application d'énergie propre et renouvelable pour l'Arctique canadien ont été discutés. Ces différents facteurs ont été regroupés en trois groupes, soit les risques, les défis et les opportunités.

Le risque le plus important est celui de la perte de l'autorité morale du Canada sur la scène internationale s'il n'y a pas d'action rapide donnant des résultats tangibles. Le Canada a dépensé plus de quatre milliards de dollars pour acheter un oléoduc, ce qui n'aidera pas le ministre des affaires étrangères à atteindre l'un des objectifs énoncés dans sa lettre de mandat, soit celui de « [...] maintenir le rôle de chef de file du Canada dans

les efforts internationaux de lutte contre les changements climatiques¹⁶⁰. » Ce sera difficile pour ce dernier d'atteindre ce but si des investissements équivalents dans de l'énergie propre ne sont pas réalisés. Il serait facile de se demander si le discours de lutte contre les changements climatiques n'est pas dans le seul but d'obtenir des votes, que ce soit lors d'élections fédérales ou en vue de celle pour l'obtention d'un siège au conseil de sécurité de l'ONU. L'attente pour agir d'une percée technologique a aussi été mentionnée. Il est illusoire de croire qu'une nouvelle technologie miracle sera sous peu disponible, ou qu'il y aura des développements de productivité exponentiel pour les technologies actuelles. Celles-ci continuent d'évoluer certes, mais elles sont matures. Elles doivent être mises en application maintenant. Malgré tout, les bonnes technologies doivent être choisies pour les applications envisagées et leur installation ne doit pas être confiée à n'importe qui. Certains échecs passés ont créé de l'incrédulité fautive à l'adoption d'énergie renouvelable pour l'Arctique et il ne faut pas donner de raison d'alimenter cette réticence.

Le plus grand défi rencontré sera sans doute celui de changer les paradigmes actuels. L'impératif économique domine généralement dans les sociétés occidentales et ce dernier est organisé autour du pétrole. Et bien qu'il faille s'éloigner de l'impératif d'un retour sur l'investissement rapide, les sommes requises pour procéder à la transition sont considérables. Elles sont d'autant plus grandes que la construction dans l'Arctique comporte des complexités additionnelles qu'il ne faut pas négliger. Et il ne faudra pas

¹⁶⁰ Justin Trudeau, Premier Ministre du Canada, *Lettre de mandat du ministre des Affaires Étrangères*, 2019, [en ligne], page consultée le 6 février 2020, <https://pm.gc.ca/fr/lettres-de-mandat/2019/12/13/lettre-de-mandat-du-ministre-des-affaires-etrangeres>

oublier de modifier l'entraînement des techniciens des FAC afin de s'assurer qu'ils aient les compétences nécessaires pour maintenir ces nouveaux systèmes.

Heureusement, plusieurs opportunités existent pour favoriser la transition recherchée. Il y a possibilité de coopération entre plusieurs acteurs qui ont tous à gagner en travaillant vers l'atteinte de la carboneutralité. Il y a un consensus politique entre tous les partis sur l'importance d'agir, bien que les moyens diffèrent. La politique *Protection Sécurité Engagement* énonce le besoin de rationaliser le portfolio du MDN, ce qui se traduira par une réduction des émissions de GES. Une grande partie des bâtiments du portfolio de l'UOI(N) sont obsolètes et pourront être remplacés par des constructions plus efficace énergétiquement. L'utilisation d'énergie renouvelable produira aussi le bénéfice de réduire le fardeau logistique ainsi que les coûts d'opération. Et enfin, le Canada a la possibilité d'être un des pionniers pour une transition vers une économie de l'hydrogène.

Tous ces facteurs ainsi que les informations recueillies au préalable ont permis d'induire des critères qui favoriseront la transition. Parmi ces critères, il a été fait mention de l'importance d'avoir l'expertise technique pour la construction, la mise en service et l'opération des nouveaux systèmes de production d'énergie. Il a aussi été déterminé que ces systèmes doivent utiliser des sources d'énergie renouvelable et propre, puisqu'il existe une distinction entre les deux. Aussi, afin de profiter des ressources que l'environnement offre, et aussi afin de faire face à l'inconstance de production de plusieurs énergie renouvelable, comme l'éolien et le solaire entre autres, il est important de les combiner dans des systèmes hybrides plutôt que d'opter pour une seule technologie. Ce critère s'applique aussi à l'utilisation de moyens de stockage différents qui se complètent. Afin de réduire le fardeau logistique et les coûts d'opération, il est

important que les systèmes qui seront choisis utilisent des ressources locales pour leur opération. Enfin, toutes les décisions d'acquisition ou reliées à l'infrastructure devraient être faites en considérant toujours la possibilité de réduire les besoins, plutôt que de remplacer les capacités existantes par des capacités identiques.

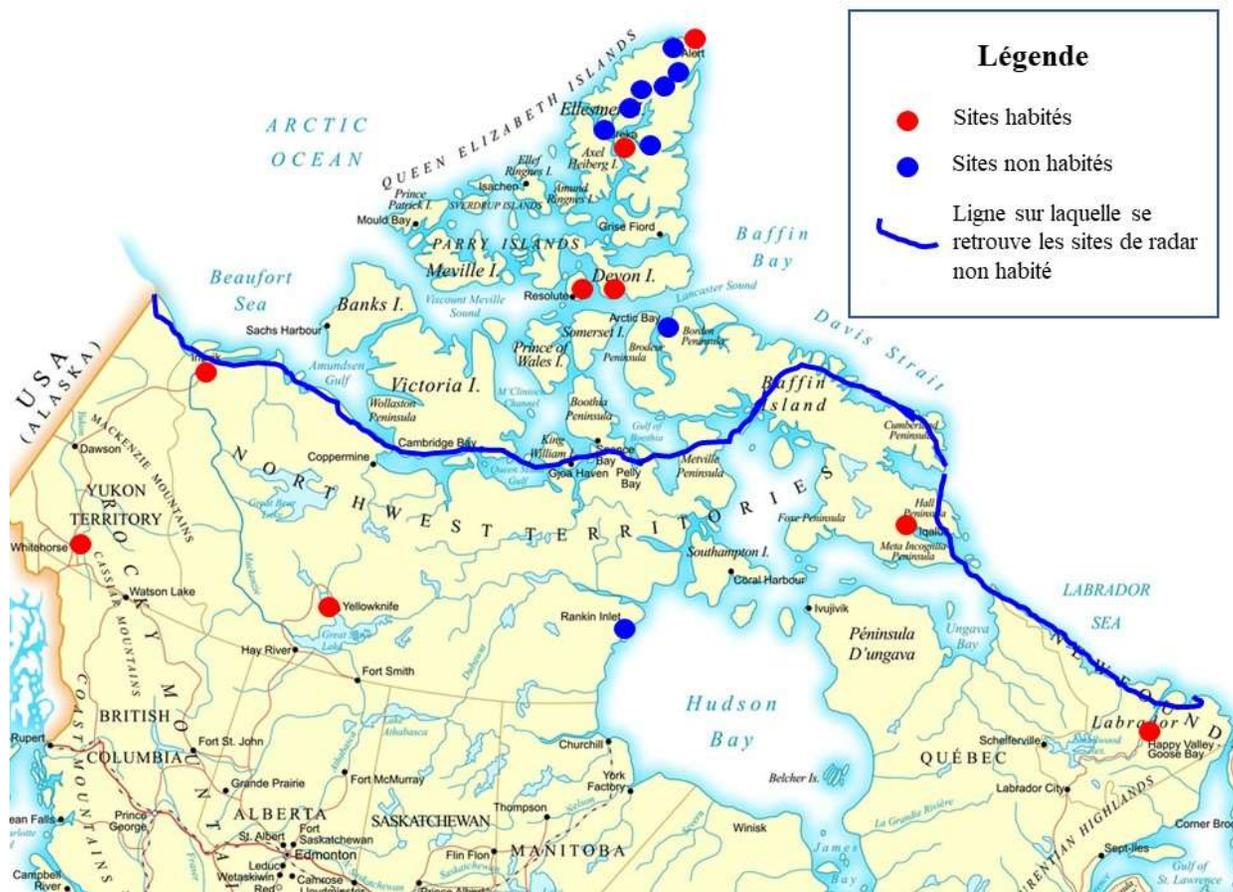
Mais le critère le plus important pour y parvenir est sans contredit celui de la synergie. Les possibilités de coopération existent, mais le gouvernement fédéral doit forcer cette transition à l'aide de politiques appropriées. Il ne doit pas se fier aux forces du marché ou au bon vouloir des acteurs en place. Il existe bien des projets d'énergie propre un peu partout au Canada, mais ils sont minuscules en comparaison des investissements dont continue de bénéficier l'industrie du pétrole. Le gouvernement fédéral doit agir avec force pour mettre la roue en mouvement, pour vaincre l'inertie actuelle. Il doit joindre les actes à la parole. Un investissement équivalent à celui de l'achat de l'oléoduc Trans Mountain pour démarrer une économie de l'hydrogène, accompagné de politiques et programmes, contribuerait à faire regagner au Canada son autorité morale et contribuerait grandement à l'atteinte de la carboneutralité, en plus de créer des possibilités de croissance économique intéressantes.

De plus, l'effondrement du prix du pétrole de mars 2020 représente certes une catastrophe économique pour le Canada, et surtout pour l'Alberta. Mais plutôt que de se restreindre à trouver des solutions pour soutenir cette industrie, le gouvernement doit profiter de ces événements pour initier la transition vers une économie de l'hydrogène. Le gouvernement devrait mettre sur pied une stratégie nationale pour y parvenir, en consultation avec les partenaires potentiels à tous les niveaux. Cette stratégie doit comporter des jalons clairs, accompagnés de mesures de rendement et de performance,

assurant la réussite de cette stratégie. C'est d'ailleurs un élément qui fait actuellement défaut dans le mandat du CT. Il y a bien des cibles pour 2030 et 2050, mais il n'y a pas de cibles intermédiaires qui forcent les différents acteurs à agir maintenant. Quoique l'élaboration d'une telle stratégie dépasse le cadre de ce travail, plusieurs des critères mentionnés dans cette étude devraient constituer les paramètres clés de cette stratégie nationale.

Enfin, en paraphrasant l'ancien président américain John F. Kennedy lorsqu'il commit sa nation dans la course vers la Lune, il faut que tous les acteurs concernés, politiciens et décideurs publics à tous les niveaux, choisissent la transition vers les énergies propres et renouvelables, pas parce que ce sera facile, mais parce que ce sera difficile. C'est ça le vrai leadership.

ANNEXE A



© 2020. Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre de la Défense nationale.

Tous droits réservés.

Figure A.1. Carte des installations de l'UOI(N)¹⁶¹

¹⁶¹ Carte préparée par l'auteur

BILIOGRAPHIE

Abacus Data. *Is Climate Change “an Emergency” and do Canadians support a Made-in-Canada Green New Deal?*, [en ligne], page consultée le 21 février 2020,

<https://abacusdata.ca/is-climate-change-an-emergency-and-do-canadians-support-a-made-in-canada-green-new-deal/>

Aklin, Michaël et Johannes Urpelainen. *Renewables – The Politics of a Global Energy Transition*, Cambridge : The MIT Press, 2018.

Alexandrovna Nazarova, Yulia, Natalya Yuryevna Sopilko, Andrey Valentinovich Kulakov, Irina Ivanovna Shatalova, Olga Yuryevna Myasnikova et Nataliya Vital’evna Bondarchuk. « Feasibility Study of Renewable Energy Deployment Scenarios in Remote Arctic Communities », extrait de *International Journal of Energy Economics and Policy* 9, no 1, (2019), p. 330-335.

Arruda, Gisele M. et Feb M. Arruda. « Towards sustainable energy systems through smart grids in the Arctic », extrait de *Renewable Energy for the Arctic: New Perspectives*, sous la direction de Gisele Arruda, Routledge, 2018.

Baril, Hélène, La Presse. *Un hiver doux pour tous, mais dur pour Hydro*, [en ligne], 19 février 2020, page consultée le 21 février 2020,

<https://www.lapresse.ca/affaires/202002/18/01-5261500-un-hiver-doux-pour-tous-mais-dur-pour-hydro.php>

Bureau du vérificateur général du Canada. *Rapport 1 – Examen du Rapport de 2018 sur la Stratégie fédérale de développement durable*, Automne 2019, [en ligne], page consultée le 27 mars 2020, https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_cesd_201912_01_f_43478.html

Canada. *Indices comparatifs des prix des biens et des services de consommation entre les villes, données annuelles*, [en ligne], page consulté le 28 mars 2020,

<https://www150.statcan.gc.ca/t1/tb11/fr/tv.action?pid=1810000301>

Canada. *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre du gouvernement du Canada*, 2019, [en ligne], page consultée le 28 janvier 2020, <https://www.canada.ca/fr/secretariat-conseil-tresor/services/innovation/ecologiser-gouvernement/inventaire-emissions-gas-effet-serre-gouvernement-canada.html>

Canada. *Normales climatiques canadiennes*, [en ligne], page consultée le 2 mars 2020, https://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/index_f.html

Canada. Environment and Climate Change Canada. *National Statement – December 10, 2019 – Madrid, Spain*, page consultée le 16 décembre 2019, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CANADA_cop25cmp15cma2_HLS_EN.pdf.

Canada. Ministère de la défense nationale. *Protection Sécurité Engagement*, Ottawa : Groupe communication Canada, 2017

Canada, Régie de l'énergie du Canada. *Aperçu du marché : Quelles villes canadiennes recèlent le plus grand potentiel d'énergie solaire?*, [en ligne], page consultée le 3 mars 2020, <https://www.cer-rec.gc.ca/nrg/ntgrtd/mrkt/snpsh/2018/06-03ctsslrptntl-fra.html?=&wbdisable=true>

Canada. Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada. *Le gouvernement du Canada fixe des cibles ambitieuses pour réduire les gaz à effet de serre découlant des activités fédérales*, 2017, [en ligne], page consultée le 28 janvier 2020, https://www.canada.ca/fr/secretariat-conseil-tresor/nouvelles/2017/12/le_gouvernement_ducanadafixedesciblesambitieusespourreduirelesga.html

Carvin, Stephanie. « Canadian Defence and New Technology », *Canadian Defence Policy in Theory and Practice*, sous la direction de Thomas Juneau, Philippe Lagassé et Srdjan Vucetic, (Ottawa: Palgrave Macmillan, 2019) p. 383-397.

Connolly, Amanda, Global News. *Teck Frontier cancellation should be 'wake-up call' for Canada: Freeland*, [en ligne], 1 mars 2020, page consultée le 2 mars 2020, <https://www.msn.com/en-ca/news/politics/teck-frontier-cancellation-should-be-wake-up-call-for-canada-freeland/ar-BB10AYQ4?li=AAggNb9&ocid=mailsignout>

Das, Indrajit et Claudio Cañizares. « Renewable Energy Integration in Diesel-based Microgrids at the Canadian Arctic », extrait de *IEEE Proceedings*, Special Issue "Electricity for All: Access to Electricity Issues and Solutions for Energy-disadvantaged Communities," invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, pp. 1838-1856.

Dingman, Erica M. « Arctic Sustainability: The Predicament of Energy and Environmental Security », extrait de *The Quarterly Journal*, (hiver 2011), p. 1-10.

Drysdale, Ken, Accutech Engineering Inc. *Design / Construction Problems in the Arctic – Nunavut*, [en ligne], page consultée le 2 mars 2020, http://www.apegm.mb.ca/pdf/PD_Papers/ArcticDesign.pdf

Dufort, Jean-René, Radio-Canada. *Infoman*, épisode du 30 janvier 2020, [en ligne], page consultée le 1 février, <https://ici.tou.tv/infoman/S20E20?lectureauto=1>

Ehrlich, Robert et Harold A. Geller. *Renewable Energy – A First Course*, Boca Raton : CRC Press, 2018.

- EnergyHub. *Electricity Prices in Canada 2020*, [en ligne], page consultée le 28 février 2020, <https://energyhub.org/electricity-prices/>
- Euronews. *Records de températures battus en janvier en Europe*, [en ligne], 5 février 2020, page consultée le 29 février 2020, <https://fr.euronews.com/2020/02/05/records-de-temperatures-battus-en-janvier-en-europe>
- FutureTimeline.net. *Launch costs to low Earth orbit, 1980-2100*, 2018, [en ligne], page consultée le 7 février 2020, <https://www.futuretimeline.net/data-trends/6.htm>
- Girard, Joëlle, Radio-Canada. *Justin Trudeau parle climat au pays du générateur au diesel*, 8 octobre 2019, [en ligne], page consultée le 9 février 2020, <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1337409/parti-liberal-iquait-nunavut-autochtones-environnement-energie-elections?depuisRecherche=true>
- Griffiths, Franklyn, Rob Huebert and P. Whitney Lackenbauer. *Canada and the Changing Arctic – Sovereignty, Security and Stewardship*, Waterloo: Wilfrid Laurier University Press, 2014.
- Ho, Joshua. « The implications of Arctic sea ice decline on shipping », extrait de *Marine Policy* 34, n° 3, (mai 2010) p. 713-715, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2009.10.009>
- Hodgson, Kris. « The OTHER Energy Sector – Part II », extrait de *PEG*, (Summer 2014), p. 72-79.
- Holdmann, Gwen P. et Richard W. Wies. « Renewable Energy Integration in Alaska’s Remote Islanded Microgrids: Economic Drivers, Technical Strategies, Technological Niche Development, and Policy Implications », *IEEE Proceedings*, Special Issue “Electricity for All: Access to Electricity Issues and Solutions for Energy-disadvantaged Communities,” invited paper, vol. 107, no. 9, September 2019, p. 1820-1837.
- Jacques, Marc-André. *Autant en emportera le vent : l’énergie éolienne*, 13 septembre 2019, [en ligne], page consultée le 26 mars 2020, <https://www.centredessciencesdemontreal.com/blogue/autant-en-emportera-le-vent-l-energie-eolienne>
- Jones, Kevin B., Mark James et Roxana-Andreea Mastor. « Securing our energy future: three international perspectives on microgrids and distributed renewables as a path toward resilient communities », extrait de *Environmental Hazards* 16, n° 2, (2017), p. 99-115.
- Johnson, Eric. « Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right », extrait de *Environmental Impact Assessment Review* 29, n° 3, (Avril 2009), p. 165-168.

Justin Trudeau, Premier Ministre du Canada. [en ligne], page consultée le 6 février 2020, <https://pm.gc.ca/fr/cabinet>

Karp, Paul. « Scott Morrison threatens crackdown on protesters who would ‘deny liberty’ », *The Guardian*, 1 novembre 2019, [en ligne], page consultée le 31 mars 2020, <https://www.theguardian.com/australia-news/2019/nov/01/scott-morrison-threatens-crackdown-on-secondary-boycotts-of-mining-companies>

Keller, James, *The Globe and Mail*. *Poll shows Canadians favour national response to climate change despite Alberta’s carbon tax objections*, [en ligne], 31 décembre 2019, page consultée le 1^{er} mars 2020, <https://www.theglobeandmail.com/canada/alberta/article-poll-shows-canadians-favour-national-response-to-climate-change/>

Kirsanova, Natalia Yu., Olga M. Lenkovets et Anni Yu. Nikulina. « Renewable energy sources (RES) as a factor determining the social and economic development of the Arctic zone of the Russian Federation », *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2018, p. 679-686.

Lajeunesse, Adam. « Finding “win-win” China’s Arctic Policy and what it means for Canada », extrait de *The School of Public Policy Publications* 11, n° 33, (décembre 2018), <https://www.policyschool.ca/wp-content/uploads/2018/12/final-Chinas-Arctic-Policy-Lajeunesse.pdf>

Majorowicz, Jacek et Stephen E Grasby. « Heat flow, depth – temperature variations and stored thermal energy for enhanced geothermal systems in Canada », extrait de *Journal of Geophysics and Engineering* 7, n° 3, (septembre 2010), p. 232-241.

Malik, Naureen S. Bloomberg Green. *L.A. Aims to be First to Power U.S. City With Green Hydrogen*, 10 mars 2020, [en ligne], page consultée le 28 mars 2020, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-10/l-a-aims-to-be-first-to-power-u-s-city-with-renewable-hydrogen>

Mallett, Alexandra et David Cherniak. « Views from above : policy entrepreneurship and climate policy change on electricity in the Canadian Arctic », extrait de *Regional Environmental Change* 18, (2018), p. 1323-1336.

Mallon, Karl. *Renewable energy policy and politics – A handbook for decision making*, London : Earthscan, 2006.

Massie, Justin et Srdjan Vucetic. « Canadian Strategic Culture : From Confederation to Trump », *Canadian Defence Policy in Theory and Practice*, sous la direction de Thomas Juneau, Philippe Lagassé et Srdjan Vucetic, Ottawa: Palgrave Macmillan, 2019, p. 29-44.

McDonald, Nicole C. et Joshua M. Pearce. « Community Voices : Perspectives on Renewable Energy in Nunavut », extrait de *Arctic* 66, n° 1, (mars 2013), p. 94-104.

Mortensen, Lucia, Anne Merrild Hansen et Alexander Shestakov. « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities », extrait de *Polar Geography* 40, n° 3, (2017), p. 163-185.

North Carolina Sustainable Energy Association. *What is clean energy?*, [en ligne], page consultée le 5 février 2020, <https://energync.org/what-is-clean-energy/>

Pegels, Anna Georgeta Vidican-Auktor, Wilfried Lütkenhorst et Tilman Altenburg. « Politics of Green Energy Policy », extrait de *Journal of Environment & Development* 27, n° 1, (2017), p. 26-45.

People's Republic of China. State Council Information Office. *China's Arctic Policy*, Beijing, 2018, [en ligne], page consultée le 29 janvier 2020, http://english.www.gov.cn/archive/white_paper/2018/01/26/content_281476026660336.htm

Perkel, Colin. La Presse. *Centrale nucléaire de Bruce : le stockage de déchets nucléaires rejeté*, 1 février 2020, [en ligne], page consultée le 1 février 2020, <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/202002/01/01-5259189-centrale-nucleaire-de-bruce-le-stockage-de-dechets-nucleaires-rejete.php>

PopulationData.net. *Palmarès – Pays et territoires du monde*, [en ligne], page consultée le 22 février 2020, <https://www.populationdata.net/palmares/population/>

Riddell-Dixon, Elizabeth. *Breaking the Ica – Canada, Sovereignty, and the Arctic Extended Continental Shelf*, Toronto : Dundurn, 2017.

Ritchie, Hannah et Max Roser. *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*, Our World in Data, University of Oxford, [en ligne], page consultée le 22 février 2020, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

Salonen, Hilma. « Public justification analysis of Russian renewable energy strategies », extrait de *Polar Geography* 41, n° 2, (2018), p. 75-86.

SEGwiki. *Clean energy*, [en ligne], page consultée le 5 février 2020, https://wiki.seg.org/wiki/Clean_energy

Société d'énergie Qulliq. *Énergie renouvelable*, [en ligne], page consultée le 29 février 2020, <https://www.qec.nu.ca/fr/%C3%A9lectricit%C3%A9-au-nunavut/%C3%A9nergie-renouvelable>

Solbakken, Kine, Bilal Babar et Tobias Boström. « Correlation of wind and solar power in high-latitude arctic areas in Northern Norway and Svalbard », extrait de *Renewable Energy and Sustainability* 42, (2016), p. 1-4.

Sørensen, Bent et Giuseppe Spazzafumo. *Hydrogen and Fuel Cells – Emerging Technologies and Applications*, San Diego : Elsevier, 2018.

Sørensen, Bent, Paul Breeze, Galen J. Suppes, Nasir El Bassam, Semida Silveira, Shang-Tian Yang, Aldo V. da Rosa, Harsh K. Gupta, Sukanta Roy, Mukesh Doble, Michel Broussely, Preben Maegaard, Frano Barir, Gianfranco Pistoia, Soteris Kalogirou et Truman Storvick. *Renewable Energy Focus Handbook*, San Diego : Elsevier, 2009.

Struck, Doug. « Twenty Years Later, Impacts of the Exxon Valdez Linger », extrait de *Yale Environment* 360, 24 mars 2009, [en ligne], page consultée le 31 mars 2020, https://e360.yale.edu/features/twenty_years_later_impacts_of_the_exxon_valdez_linger

Teck Resources Limited. *Teck Withdraws Regulatory Application for Frontier Project*, [en ligne], page consultée le 29 février 2020, <https://www.teck.com/news/news-releases/2020/teck-withdraws-regulatory-application-for-frontier-project>

Tesla. *Tesla Gigafactory*, [en ligne], page consultée le 11 février 2020, https://www.tesla.com/en_CA/gigafactory

The Economist. *Fusion power is attracting private-sector interest*, édition du 4 mai 2019, [en ligne], page consultée le 22 février 2020, <https://www.economist.com/science-and-technology/2019/05/04/fusion-power-is-attracting-private-sector-interest>

Thornhill, James, Bloomberg Green. *Australia's Island State Touts 10-Year Plan to Export Hydrogen*, [en ligne], 2 mars 2020, page consultée le 3 mars 2020, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-03/australia-s-island-state-touts-10-year-plan-to-export-hydrogen>

Tin, Tina, Benjamin K. Sovacool, David Blake, Peter Magill, Saad El Naggat, Sven Lidstrom, Kenji Ishizawa et Johan Berte. « Energy efficiency and renewable energy under extreme conditions: Case studies from Antarctica », *Renewable Energy* 35, no 8, (August 2010), p. 1715-1723.

Wikipedia. *Energy Density*, [en ligne], page consultée le 21 février 2020, https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density