

BARRIÈRES À L'IMPLANTATION DE PROJETS D'ÉNERGIE RENOUVELABLE  
DANS LES COMMUNAUTÉS HORS RÉSEAU DES RÉGIONS NORDIQUES  
CANADIENNES

Par

Laurence Serra

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

Directeur : Jean-Marie Bergeron

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT  
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, juin 2011

## **SOMMAIRE**

Mots clés : énergies renouvelables, régions nordiques canadiennes, produits pétroliers, éoliennes, hydroélectricité, énergie solaire, géothermie, efficacité énergétique

L'approvisionnement énergétique mondial émet plus du quart des émissions globales de gaz à effet de serre. Les prix élevés des combustibles fossiles et les préoccupations liées aux changements climatiques imposent de revoir les modes de production d'énergie actuels. Depuis quelques années, les communautés dépendant entièrement des produits pétroliers, notamment celles isolées du Nord canadien souhaitent intégrer les énergies renouvelables dans leur production énergétique.

Au cours des dernières années, certains projets d'implantation d'énergie renouvelable ont vu le jour dans les régions nordiques canadiennes, en Alaska et en Europe du Nord. L'étude et l'analyse de ces projets mettent en évidence les principales barrières auxquelles les gestionnaires de projet et les promoteurs doivent faire face. Les communautés canadiennes sont dispersées sur de grandes distances et éloignées les unes par rapport aux autres, influençant les coûts et la logistique de construction, sans parler du manque flagrant d'investissement dans le domaine des énergies vertes.

En fonction des difficultés énumérées, le but de cet essai est de présenter des recommandations générales sous forme de discussion et d'idées afin d'alimenter la réflexion. Les communautés sont grandement encouragées à se doter d'une stratégie énergétique afin de préciser leurs besoins actuels et futurs, puis de proposer des alternatives réalistes et adaptées à chaque situation. Au fil des recherches et des lectures, il s'est avéré que l'implantation des technologies d'énergie renouvelable était à bien des égards très complexe. Toujours dans une optique de réduction de l'utilisation des produits pétroliers, il est fortement encouragé de mettre en place, dans un premier temps, des mesures d'efficacité énergétique et d'encourager, par la suite la mise en place d'une technologie d'énergie renouvelable peu coûteuse, ayant un retour sur l'investissement rapide et étant facilement adaptable aux conditions extrêmes des régions nordiques.

## **REMERCIEMENTS**

La réalisation de cet essai n'aurait pu être menée à bien sans le support et les encouragements de Jean-Marie Bergeron. Je tiens à le remercier pour sa présence soutenue ainsi que pour la pertinence de ses commentaires et de ses avis lors de la rédaction et de la correction de cet essai.

De plus, la participation des professionnels des énergies renouvelables en régions nordiques contactés a grandement contribué au développement et à la réalisation de cet essai. J'ai apprécié leur disponibilité et leur enthousiasme à faire découvrir leurs projets et à partager leur expertise à une étudiante du « sud ». Je les remercie pour leur aide précieuse.

La patience de Jean-Philippe Bourque a été sollicitée pour la correction finale de mon essai et je suis grandement reconnaissante de sa participation. Ses suggestions et son esprit critique ont été très appréciés. Un gros merci à ma mère qui a lu et corrigé les pages suivantes avec une attention particulière. Je remercie aussi Dominique Bastien qui m'a accompagnée lors de nombreuses sessions de travail au carrefour de l'information du campus de l'Université de Sherbrooke à Longueuil. Merci pour les conseils et les pauses café bien méritées. Finalement, je tiens à souligner le support de ma famille et de mes amis pour leurs encouragements soutenus.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>1 L'ÉNERGIE DANS LE MONDE .....</b>	<b>3</b>
1.1 Portrait énergétique mondial .....	3
1.2 Portrait énergétique du Canada.....	4
1.3 Les changements climatiques .....	7
<b>2 LES RÉGIONS NORDIQUES DU CANADA.....</b>	<b>9</b>
2.1 Milieu physique .....	10
2.2 Milieu social et économique.....	12
2.3 Portrait énergétique des régions nordiques au Canada.....	14
2.3.1 Territoires du Nord-Ouest .....	15
2.3.2 Nunavut .....	16
2.3.3 Nunavik .....	16
2.3.4 Yukon .....	17
<b>3 LES PROJETS D'ÉNERGIE RENOUVELABLE EN RÉGIONS NORDIQUES 19</b>	
3.1 L'énergie éolienne .....	19
3.1.1 Haeckel Hill, Yukon.....	20
3.1.2 Tuktoyaktuk, Territoires du Nord-Ouest.....	24
3.1.3 Île de Ramea, Terre-Neuve-et-Labrador .....	25
3.1.4 Kotzebue, Alaska.....	26
3.1.5 Suorva, Suède.....	28
3.1.6 Nunavut .....	29
3.2 L'énergie solaire .....	30
3.2.1 Iqaluit, Nunavut.....	30
3.2.2 Autres projets, Territoires du Nord-Ouest.....	32
3.3 L'énergie hydroélectrique.....	33
3.3.1 Iqaluit, Nunavut.....	34
3.3.2 Inukjuak, Nunavik .....	35
3.4 La géothermie .....	37

3.5	La biomasse .....	39
3.6	L'énergie des marées et des vagues.....	40
3.7	L'efficacité énergétique.....	40
<b>4</b>	<b>LES BARRIÈRES AU DÉVELOPPEMENT DES PROJETS D'ÉNERGIE</b>	
	<b>RENOUVELABLE.....</b>	<b>42</b>
4.1	La réalité du nord.....	42
4.2	Les barrières environnementales .....	44
4.2.1	Les conditions climatiques extrêmes.....	44
4.2.2	La disponibilité de la ressource renouvelable.....	47
4.3	Les barrières économiques .....	49
4.3.1	L'absence d'économie d'échelle .....	50
4.3.2	L'absence d'investissement.....	51
4.3.3	L'engagement des gouvernements .....	51
4.4	Les barrières logistiques .....	53
4.4.1	L'éloignement.....	53
4.4.2	Les défis technologiques .....	55
4.5	Les barrières sociales.....	57
4.5.1	L'acceptabilité du projet.....	58
4.5.2	La formation .....	58
4.5.3	La croissance démographique .....	59
4.5.4	Les subventions .....	59
<b>5</b>	<b>DISCUSSION SUR LE PAYSAGE ÉNERGÉTIQUE DES RÉGIONS</b>	
	<b>NORDIQUES.....</b>	<b>61</b>
5.1	Retour sur les barrières à l'implantation de projets.....	62
5.2	Les recommandations générales.....	63
5.3	Les mesures d'efficacité énergétique .....	65
5.4	Les énergies renouvelables.....	66
5.4.1	Choisir la meilleure ressource renouvelable.....	67
5.5	S'adapter au milieu physique .....	70
5.6	L'investissement.....	71

5.6.1	Impliquer les grands joueurs .....	71
5.6.2	La place des gouvernements.....	72
5.6.3	Des coûts réalistes .....	73
<b>CONCLUSION.....</b>		<b>75</b>
<b>RÉFÉRENCES .....</b>		<b>78</b>

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1.1 Prix du diesel par litre au Canada entre 2008 et 2011.....	6
Figure 1.2 Activités responsables des émissions de gaz à effet de serre mondiales .....	7
Figure 2.1 Régions nordiques du Canada.....	10
Figure 3.1 Présence de givre sur les pales .....	22
Figure 3.2 Éoliennes à Kotzebue, Alaska.....	27
Figure 3.3 Panneaux solaires installés sur le Nunavut Arctic College.....	31
Figure 3.4 Plan de l'aménagement hydroélectrique à Inukjuak.....	36
Figure 4.1 Effet du givre sur la puissance d'une éolienne.....	45
Figure 4.2 Installation de la deuxième éolienne à Haeckel Hill, Yukon .....	54

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1.1 Production d'électricité au Canada par source d'énergie .....	5
Tableau 2.1 Répartition des communautés hors réseau dans les régions nordiques.....	14
Tableau 5.1 Barrières à l'implantation des énergies renouvelables .....	62
Tableau 5.2 Exemple d'actions pour un plan énergétique .....	63

## **LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES**

ACIA	<i>Arctic Climate Impact Assessment</i>
AEA	<i>Alaska Energy Authority</i>
CanWEA	<i>Canadian Wind Energy Association</i>
CEC	<i>Commission for Environmental Cooperation</i>
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
KEA	<i>Kotzebue Electric Association</i>
kW	Kilowatt
kWc	Kilowatt-crête
kWh	Kilowattheure
IEA	<i>International Energy Agency</i>
MW	Mégawatt
NTPC	<i>Northwest Territories Power Corporation</i>
NUL	<i>Northland Utilities Limited</i>
PLC	<i>Pituvik Landholding Corporation</i>
QEC	<i>Qulliq Energy Corporation</i>
SAA	Secrétariat aux affaires autochtones
TEP	Tonnes d'équivalent pétrole
YEC	<i>Yukon Energy Corporation</i>
YECL	<i>Yukon Electrical Company Limited</i>

## LEXIQUE

Albédo	Rapport de l'énergie solaire réfléchie par une surface à l'énergie solaire incidente
Électrolyse	Procédé électrolytique qui décompose l'eau en dioxygène et dihydrogène gazeux avec l'aide d'un courant électrique
Givre	Accumulation de glace sur un solide en période de gel dans un environnement humide avec de l'air supersaturé
Pergélisol	Matériaux du sol demeurant à 0 °C pendant deux étés consécutifs

## INTRODUCTION

Les préoccupations et questions énergétiques sont devenues, au cours des dernières années, de véritables enjeux nationaux et internationaux. Nul ne peut passer outre le fait que le développement d'une nation passe en grande partie par une production et un approvisionnement énergétique stable et durable. Toutefois, une demande accrue pour les énergies fossiles, pour faire face aux modes de vie occidentaux énergivores et de la croissance des pays émergents, fait grimper les prix de l'énergie (Kitous *et al.*, 2010). De plus, les préoccupations grandissantes face aux changements climatiques encouragent le développement et l'utilisation de sources d'énergies renouvelables et durables.

Alors que de nombreux pays comptent sur des sources d'énergies renouvelables telles que l'hydroélectricité, l'énergie éolienne et la biomasse afin de pourvoir à leurs besoins en électricité et en chauffage, plusieurs communautés demeurent entièrement dépendantes des combustibles fossiles, comme le pétrole et le charbon. C'est le cas des communautés nordiques au Canada. Celles-ci, isolées sur de vastes territoires utilisent des génératrices fonctionnant au diesel, accentuant leur vulnérabilité face aux prix et à la disponibilité d'une source d'énergie unique et importée (Affaires indiennes et du Nord Canada, 2010a).

En cette période où les questions sur la réduction de la pollution occupent la place publique et où les conséquences appréhendées des changements climatiques inquiètent, des alternatives aux modes de production d'énergie s'avèrent nécessaires. Afin de diversifier l'approvisionnement énergétique des communautés nordiques canadiennes, les énergies renouvelables constituent une option intéressante. Toutefois, quelle technologie s'avère la mieux adaptée et la plus intéressante pour ces communautés? Est-ce que d'autres mesures pourraient aider ces communautés à réduire leur dépendance face aux produits pétroliers?

Cet essai a comme objectif principal d'émettre des recommandations et des idées afin de faciliter et d'encourager le développement d'alternatives à l'usage des combustibles fossiles. Afin d'y parvenir, des objectifs spécifiques devront être atteints. La recherche bibliographique et la rédaction des premiers chapitres de l'essai permettent de saisir les spécificités des milieux concernés. Par la suite, l'analyse de différents cas d'implantation

des énergies renouvelables au Canada et dans d'autres régions nordiques du globe souligne les principales barrières au développement de ce type de technologies. L'énumération des principales barrières sera suivie des recommandations et d'une discussion en vue de faciliter le choix de la meilleure technologie renouvelable et des actions à prioriser pour diversifier le paysage énergétique des communautés nordiques au Canada.

La réalité de ces régions est complexe à cerner pour une personne qui n'y a pas mis les pieds. Afin de pallier un manque de connaissances et d'expériences sur le terrain, de nombreuses sources gouvernementales et scientifiques ont été consultées. Une attention particulière a été portée sur les sources d'informations utilisées lors de ce travail. Leur pertinence, leur qualité, leur provenance et la crédibilité des auteurs ont été considérées. De plus, étant donné le caractère changeant du domaine des énergies renouvelables, les sources consultées étaient relativement récentes et de nombreux contacts ont été faits avec les professionnels et les scientifiques impliqués dans le développement des énergies vertes afin de connaître les derniers développements.

L'essai s'articule autour de cinq chapitres suivant une suite logique et permettant ainsi d'atteindre les objectifs mentionnés préalablement. Le premier chapitre présente, de façon globale la situation énergétique mondiale et au Canada dans une période où les changements climatiques prennent une place croissante dans l'espace public et dans les choix de sociétés. Le deuxième chapitre porte sur la situation géographique, socio-économique et énergétique des communautés nordiques canadiennes. Cette section permet de comprendre davantage les particularités du terrain. Par la suite, la troisième partie porte sur l'étude de différents cas d'implantation des énergies renouvelables au Canada, en Alaska et en Europe du Nord. Cette analyse permet de cerner les principales barrières et difficultés, tant environnementales, économiques, logistiques que sociales à l'implantation de ces technologies renouvelables qui seront analysées au quatrième chapitre. Finalement, l'essai conclut avec des recommandations et des suggestions afin d'aborder l'avenir des énergies renouvelables dans le nord et sur les stratégies que peuvent mettre en place ces communautés en vue de réduire leur dépendance et leur vulnérabilité face à une source d'énergie unique et polluante.

## **1 L'ÉNERGIE DANS LE MONDE**

L'énergie, sous de multiples formes, est un des piliers du développement socio-économique des sociétés contemporaines. Le paysage énergétique mondial fait toutefois face à une crise grandissante. En effet, l'accroissement de la demande pour les ressources énergétiques en provenance des économies émergentes et la rareté grandissante des combustibles fossiles traditionnels bouleversent les modèles énergétiques actuels. La demande accrue des pays émergents et les réserves de pétrole diminuant encouragent la mise en place d'alternatives afin de combler ces besoins en croissance permanente. En ces temps d'incertitude climatique, les énergies renouvelables constituent de véritables solutions aux combustibles fossiles, notamment pour les communautés quasi exclusivement dépendantes de ces types d'énergies. En effet, elles deviennent grandement vulnérables à l'augmentation du prix du diesel comme c'est le cas pour les régions nordiques au Canada. Malgré cela, le développement et la mise en place d'alternatives ne se font pas actuellement à grande échelle. Le contexte socio-économique entourant les énergies renouvelables et le rôle important qu'elles auront à jouer dans l'approvisionnement énergétique mondial de demain et notamment en régions nordiques éloignées doivent être davantage compris et étudiés.

### **1.1 Portrait énergétique mondial**

L'énergie est une mesure du travail. Elle est le moteur des sociétés modernes. Celles-ci se sont construites et développées sur cette maîtrise et cette transformation de l'énergie et leur croissance tant sociale qu'économique en dépend (Hofman and Li, 2009).

Au cours des dernières décennies, les défis énergétiques se sont faits de plus en plus nombreux et grandissants. La dernière crise financière mondiale de 2008 et les fluctuations des prix en fonction de l'offre et la demande sur les marchés couplées à des préoccupations soulevées par les changements climatiques imposent de revoir les modèles énergétiques actuels. Selon l'organisation *International Energy Agency* (IEA) qui œuvre, entre autres, à la mise en place de moyens de production d'énergie propre, des difficultés de taille se présentent et compromettent la fiabilité et la durabilité de l'approvisionnement mondial (IEA, 2010a). La consommation de combustibles fossiles, tant pour les transports, l'industrie que pour la production d'électricité ne cesse d'augmenter. En 2008, la

consommation énergétique mondiale, comprenant le pétrole, le gaz naturel, le charbon, les énergies renouvelables et autres se chiffrait à environ 8428 millions de tonnes d'équivalent pétrole (tep), soit une augmentation de 55 % par rapport aux données de 1973 (IEA, 2010b).

L'émergence de nouvelles puissances économiques telles que la Chine et l'Inde aura un rôle important à jouer sur le marché énergétique. En effet, la croissance économique et démographique, l'urbanisation, l'industrialisation et la transition vers une plus grande utilisation des combustibles fossiles de ces pays affectent la demande en énergie (Biro et Malyshev, 2002). En 2009, la Chine est devenue le plus grand consommateur d'énergie au monde, avec une part du marché de 17 % (IEA, 2010a). Néanmoins, inversement à l'accroissement de la demande, ces économies émergentes pourraient aussi servir de moteur au développement de technologies moins énergivores et moins polluantes, favorisant ainsi une réduction des coûts et l'accessibilité de ces mêmes technologies pour d'autres pays (*ibid.*).

Dans les années à venir, une hausse soutenue de la demande, couplée à l'augmentation des prix et à une diminution de l'offre exacerbera les difficultés d'approvisionnement déjà présentes ainsi que le fardeau économique et la vulnérabilité des plus démunis. Les perspectives énergétiques mondiales dépendent grandement de l'engagement des gouvernements via des politiques ambitieuses en vue de promouvoir l'essor de nouvelles technologies durables tout en insufflant des changements permanents dans le comportement des consommateurs (Kitous *et al.*, 2010).

## **1.2 Portrait énergétique du Canada**

Au Canada, la présence d'une saison hivernale longue, d'une économie nationale reposant grandement sur l'industrie lourde et énergivore ainsi qu'une population éparsée et distancée affectent la consommation énergétique du pays et des Canadiens (Islam *et al.*, 2004).

Afin de répondre aux besoins en énergie de ses habitants, le Canada peut compter sur différentes sources d’approvisionnement. En termes d’électricité, les installations hydroélectriques arrivent en tête de liste avec près de 59 % de la production canadienne. Les grands barrages sont principalement installés au Québec, en Colombie-Britannique, en Ontario, au Labrador et au Manitoba. Les sources d’énergies renouvelables, sans comptabiliser l’hydroélectricité, ne participent qu’à hauteur de 1,6 %. La biomasse (résidus de bois) est l’énergie renouvelable prédominante. Le solaire, l’éolien, les marées, la géothermie connaissent une croissance constante depuis les dernières années (Ressources naturelles Canada, 2009a). La balance de la production est assurée par des sources telles que le charbon, le gaz naturel, le pétrole et l’énergie nucléaire, comme l’illustre le tableau 1.1.

**Tableau 1.1 Production d’électricité au Canada par source d’énergie**

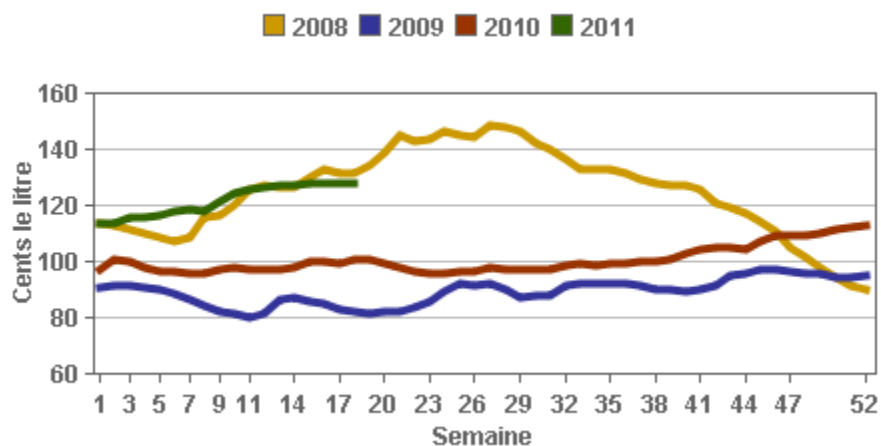
Source d’énergie	Production (%)
Hydroélectricité	59,3
Charbon	16,5
Gaz naturel	5,2
Pétrole	1,9
Nucléaire	15,6
Énergies renouvelables (biomasse, éolien, solaire)	1,6

(Inspiré de Ressources naturelles Canada, 2009a)

La production, la distribution et le contrôle des prix sont gérés par les gouvernements provinciaux via des sociétés d’État, comme Hydro-Québec, Manitoba Hydro et autres. Le gouvernement fédéral tient un rôle de soutien en permettant des investissements dans les programmes de recherche et de développement afin de favoriser l’acquisition de technologies plus propres. En ce qui concerne les coûts, ceux-ci dépendent des sources utilisées pour la production. Actuellement, les grands barrages hydroélectriques produisent une électricité à faible coût, mais les investissements de départ et les capitaux sont très élevés. Inversement, les coûts d’exploitation des combustibles fossiles sont relativement faibles en comparaison avec d’autres sources d’électricité. À cela, il faut ajouter les frais de

transport et de distribution, ce qui explique les prix élevés en régions nordiques. Au Canada, la croissance annuelle moyenne de la demande en électricité est de 1,2 %, suivant la croissance économique et démographique, constamment plus élevée. Afin de répondre à cet accroissement, les sources d'énergie actuelles telles que l'hydroélectricité, le gaz naturel et le nucléaire seront mis à profit, mais une place grandissante sera donnée aux énergies renouvelables ainsi qu'à l'efficacité énergétique (*ibid.*).

Partout au Canada, ce sont près de 150 communautés, dont plus de 80 en régions nordiques qui dépendent entièrement du diesel pour combler leurs besoins en chauffage et en électricité. L'approche d'une nouvelle crise pétrolière mondiale, due à la croissance de la demande et à une baisse de l'offre, couplée aux préoccupations liées aux changements climatiques encourage le développement de nouvelles solutions et alternatives. Pour les régions nordiques, des moyens de production locaux doivent être implantés afin d'éviter une augmentation excessive des coûts par rapport à la capacité financière de ces communautés et de limiter les difficultés reliées au transport et à l'approvisionnement (Affaires indiennes et du Nord Canada, 2010a). La figure suivante présente l'évolution du prix du diesel par litre au Canada et illustre de façon claire les fréquentes fluctuations ainsi que la hausse soutenue depuis 2009.



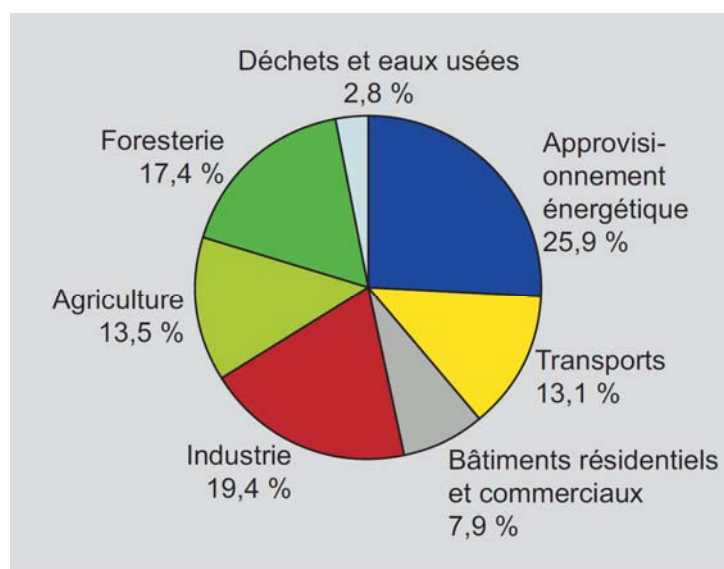
**Figure 1.1 Prix du diesel par litre au Canada entre 2008 et 2011**

(Tirée de Ressources naturelles Canada, 2011)

### 1.3 Les changements climatiques

Une prise de conscience générale face aux changements climatiques a été observée suite à la création du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 1988 dont le mandat était d'étudier les changements dans le climat mondial et de mesurer les conséquences environnementales, sociales et économiques de ces perturbations (GIEC, s. d.). Selon le dernier rapport du GIEC datant de 2007, une multitude de systèmes naturels sont touchés par les changements climatiques. De plus, il ne s'agit plus uniquement de conséquences écologiques et environnementales, mais également d'impacts sur la santé humaine et sur le développement social et économique des sociétés.

À la base de ces changements climatiques se trouvent notamment des variations dans les émissions de gaz à effet de serre (GES). La hausse des émissions imputables aux activités humaines se chiffre à 70 % entre 1970 et 2004 (GIEC, 2007). En 2004, les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) en provenance des combustibles fossiles étaient responsables de 5,6 % des émissions mondiales tandis que l'approvisionnement énergétique est responsable de 25,9 % des émissions globales, comme l'illustre la figure suivante.



**Figure 1.2 Activités responsables des émissions de gaz à effet de serre mondiales**

(Tirée du rapport de synthèse du GIEC, 2007, p.46)

Selon certains scénarios d'experts, les émissions devaient continuer d'augmenter, à cause de la prépondérance des combustibles fossiles dans la production énergétique jusqu'en 2030 voire même au-delà. Les incidences sur l'eau, les écosystèmes, la production alimentaire, les régions côtières, la santé et le bien-être des humains se feront ressentir tant à une échelle locale que globale (*ibid.*). Au Canada, les répercussions se feront sentir de plusieurs façons et dans plusieurs régions. Il sera possible d'observer des baisses des niveaux d'enneigement et l'augmentation des températures ressenties. Les régions côtières deviendront particulièrement vulnérables aux aléas climatiques. Dans le cas des régions nordiques, les premiers impacts se font notamment ressentir sur le milieu naturel, avec une réduction du couvert de glace, de neige ainsi que sur la fonte accélérée du pergélisol. Les infrastructures et les modes de vie des communautés autochtones seront grandement touchés, fragilisés, leur survie dépendant grandement de la viabilité des milieux qui les entourent (Ressources naturelles Canada, 2007a).

L'approvisionnement énergétique des sociétés actuelles étant le secteur émettant la plus grande quantité de GES, il est nécessaire de trouver des modes de production durables afin d'assurer une sécurité énergétique pour tous (GIEC, 2007). Pour diminuer les émissions dans ce secteur, les énergies renouvelables doivent devenir compétitives avec les différentes formes d'énergies fossiles pour ainsi pouvoir observer des réductions substantielles des émissions atmosphériques de CO<sub>2</sub>. Les activités de recherche et de développement doivent encourager la faisabilité technologique et les subventions gouvernementales doivent permettre la réalisation économique de ces projets. De tels changements vont s'opérer avec la participation grandissante des différents paliers de gouvernement tant fédéral, provincial que territorial. Des mesures fiscales incitatives ainsi que de nouveaux règlements doivent encourager le développement de mesures favorisant une réduction des GES ainsi que la dépendance de plusieurs communautés envers une seule source d'énergie. Les régions arctiques connaîtront un réchauffement mondial important et il s'avère primordial de repenser leurs modes de production énergétique afin d'assurer un développement durable et l'adaptation des populations locales face aux changements climatiques.

## 2 LES RÉGIONS NORDIQUES DU CANADA

L'accès à des sources d'énergie, primordial au développement socio-économique des sociétés devient préoccupant et les besoins à combler grandissants, influent sur la demande, l'offre ainsi que sur les prix des ressources disponibles. En cette période de changements climatiques, la nécessité de trouver des alternatives aux combustibles fossiles traditionnels se fait de plus en plus pressante. Selon le rapport du GIEC de 2007, la manifestation des changements climatiques s'observe à divers endroits et particulièrement dans les régions nordiques qui devraient connaître les plus grandes et les plus rapides perturbations sur le globe (*ibid.*). Malgré la complexité des interactions climatiques en milieu polaire, les données récentes parues dans le document *Arctic Climate Impact Assessment (ACIA)*, démontrent un réchauffement généralisé dans la région (*Arctic Council and the International Arctic Science Committee, 2005*). Un tel réchauffement se fait sentir sur les niveaux de glace et de neige, sur le pergélisol et entraîne ainsi une érosion plus importante des côtes. Les projets futurs, notamment dans le domaine énergétique devront tenir compte de ces changements et s'assurer que les solutions retenues soient modulables en fonction des transformations climatiques appréhendées.

La situation est particulièrement préoccupante pour les communautés isolées, extrêmement dépendantes des produits pétroliers pour leur production électrique, telles les communautés nordiques au Canada. Celles-ci sont situées hors des réseaux électriques régionaux ou nationaux et sont vulnérables aux aléas du transport. Elles doivent assurer un approvisionnement régulier en diesel pour le fonctionnement de leurs génératrices, occasionnant une hausse de la charge économique pour les institutions publiques qui subventionnent l'achat de l'électricité, étant donné l'éloignement et le prix de plus en plus élevé des produits pétroliers. Compte tenu de la situation actuelle, les projets d'énergie renouvelable possèdent un véritable potentiel de développement (Thompson and Duggirala, 2009). Les communautés éloignées du Nord sont des sociétés en perpétuel mouvement ayant réussi à s'adapter, à travers les siècles, à des conditions de vie extrêmement difficiles. De nos jours, elles font face à un accroissement démographique soutenu et doivent promouvoir un développement durable au sein de leur collectivité afin de faire face aux changements climatiques et encourager leur croissance tant sociale qu'économique (*Arctic*

*Council and the International Arctic Science Committee, 2005*). La section suivante présente quelques-unes des particularités de ces régions, tant au niveau géographique, social, économique qu'énergétique.

## 2.1 Milieu physique

Les régions nordiques au Canada ont des frontières et des limites différentes selon les définitions employées. L'expression « Arctique canadien » regroupe généralement les trois territoires canadiens soit le Yukon, les Territoires du Nord-Ouest et le Nunavut (Ressources naturelles Canada, 2007a). Toutefois, dans le cadre de cet essai, les collectivités nordiques du Nunavik au nord du Québec et celles du Nunatsiavut, territoire Inuit du Labrador seront aussi considérées, comme l'affiche la figure 2.1. Les communautés visées dans le cadre de cet essai ont plusieurs aspects en commun, dont celui de se retrouver en dehors des réseaux de distribution d'électricité régionaux et nationaux, sans aucune connexion avec les provinces et territoires avoisinants. Elles dépendent entièrement de l'approvisionnement en produits pétroliers pour combler leurs besoins (Affaires indiennes et du Nord Canada, 2010a).



**Figure 2.1 Régions nordiques du Canada**

(Modifiée de *Canadian Geographic – The Canadian Atlas Online, 2007*)

Ces communautés possèdent quelques similitudes au niveau géographique et social, mais ont aussi beaucoup de différences. Ensemble, les terres du nord comptent pour plus de 60 % de terres émergées au Canada et regroupent une grande variété d'écosystèmes (Ressources naturelles Canada, 2007a). Cet ensemble comprend cinq grandes régions physiographiques, passant de la Cordillère à l'ouest au Bouclier canadien, aux plaines intérieures, aux basses terres de l'arctique et pour terminer à la région inuitienne complètement au nord. Les particularités climatiques et les caractéristiques physiographiques permettent de diviser ces cinq grandes régions en huit écorégions, possédant une topographie, un climat, une végétation qui leur sont propres. De grandes variations géophysiques et biologiques existent au sein des régions nordiques canadiennes et ces spécificités doivent être connues et prises en compte lors du développement de projets énergétiques (*ibid.*).

Le climat, variant selon les régions et les saisons, est influencé par les masses d'air, la topographie et la présence de bassins maritimes. La compilation d'informations climatiques de ces régions est récente et l'accès à des données fiables est apparu seulement vers 1950 (*Arctic Council and the International Arctic Science Committee, 2005*). Ces régions se caractérisent par un faible bilan annuel de rayonnement et un climat froid dû à la proximité avec des masses polaires. Les hivers sont longs et froids et les étés courts et frais. Les précipitations sont principalement enregistrées durant les mois les plus chauds et sont peu abondantes (Prowse *et al.*, 2009a). Les moyennes de température varient entre -1°C et -5°C dans la partie méridionale alors que des moyennes de -18°C sont comptabilisées dans l'extrême nord de l'Arctique (Ressources naturelles Canada, 2007a). Les radiations solaires sont importantes en été, mais l'absorption est considérée comme faible étant donné l'effet d'albédo. Inversement, les radiations solaires en hiver sont faibles voir nulles (*Arctic Council and the International Arctic Science Committee, 2005*). En ce qui concerne les vents, les pointes varient selon les saisons et les régions sont caractérisées par un régime de vents important (Environnement Canada, 2005). Les moyennes annuelles, changeant selon les régions, peuvent atteindre entre 5 et 9 m/s.

Les changements climatiques apportent leur lot de perturbations notamment au niveau des températures et des précipitations, mais peuvent aussi accélérer le réchauffement du pergélisol (Ressources naturelles Canada, 2007b). L'étude de l'évolution du pergélisol est nécessaire afin de mesurer les impacts sur le bâti ainsi que sur les différentes infrastructures de transport. Le pergélisol joue un rôle important sur les propriétés du sol et sur l'hydrologie de surface, pouvant influencer l'aménagement du territoire. Il s'agit d'un élément à considérer dans le développement futur des régions nordiques. La durabilité des infrastructures telles que les barrages au fil de l'eau en sera grandement affectée. De plus, les impacts liés aux changements climatiques se font grandement sentir en milieu côtier et la grande majorité des communautés nordiques vivent en zone côtière, milieu vulnérable aux phénomènes d'érosion et de diminution du couvert de glace (Prowse *et al.*, 2009b).

Les milieux nordiques possèdent des caractéristiques variant selon les régions et les saisons. Des études plus approfondies, spécifiquement aux endroits concernés, devront être réalisées et le succès d'un projet énergétique durable dépendra de son adaptabilité aux conditions extrêmes de ces régions.

## **2.2 Milieu social et économique**

Les milieux visés par cet essai comprennent principalement les collectivités hors réseau, comptant entre quelques centaines à quelques milliers d'habitants. La majorité de ces collectivités ont des infrastructures routières très limitées et un accès maritime et aérien opérant principalement l'été (Nepetaypo *et al.*, 2010). Les centres urbains, tels Whitehorse et Yellowknife comptent grandement sur l'hydroélectricité pour répondre à leurs besoins énergétiques et possèdent les moyens logistiques nécessaires au développement de ce genre d'infrastructures. Leur situation ne peut se comparer à celle des petites collectivités isolées et grandement dépendantes du diesel qui sont considérées dans le cadre de cet essai.

Il y a de grandes disparités au niveau de l'aménagement et de l'occupation du territoire dans les régions nordiques canadiennes. Par exemple, la ville de Whitehorse au Yukon accueille 73 % de la population du territoire alors que près du 2/3 des résidents du Nunavut vivent dans des collectivités de 1000 habitants et moins (Ressources naturelles Canada,

2007a). Ces collectivités sont habitées majoritairement par des membres des premières nations au Yukon et aux Territoires du Nord-Ouest et par les Inuits sur les autres territoires visés par l'essai. Cette population est grandissante et jeune. Par exemple, 35 % de la population inuit est âgée de moins de 15 ans (*Inuit Tapiriit Kanatami*, 2008). Cette situation, similaire pour l'ensemble des collectivités nordiques illustre la croissance démographique vécue dans ces territoires et l'influence de celle-ci sur les besoins énergétiques présents et futurs.

L'activité économique de ces territoires est un partage entre des activités traditionnelles de subsistance et des activités économiques génératrices de revenus pour la région, tel que l'extraction de matières premières et l'administration publique. Les activités minières, gazières et pétrolières ont des retombées économiques sur la région mais ce sont des activités à fort impact sur l'environnement. Des études socio-économiques démontrent les disparités au niveau de la richesse entre les communautés autochtones et les autres communautés canadiennes. Leur situation d'isolement peut être synonyme de coûts élevés pour tous les biens consommés au quotidien (Senécal *et al.*, 2008). Cela présente des impacts importants sur les revenus qui sont généralement faibles dans ces communautés. Toutefois, de nombreuses activités liées à la chasse et la pêche à des fins de subsistance peuvent constituer des apports non comptabilisés qui diminuent la charge économique de ces communautés. Bon nombre de petites collectivités continuent de pratiquer des modes de vie et de consommation autosuffisants à cause notamment des prix élevés des biens venant de l'extérieur (Ressources naturelles Canada, 2007a). Le développement économique des collectivités est limité en raison de l'éloignement des marchés primaires, de l'insuffisance d'infrastructures de transport, des coûts élevés des biens et de l'énergie, du manque de capitaux et autres.

La croissance démographique importante et le développement économique de ces territoires via l'exploitation des ressources naturelles ne font qu'accroître les besoins énergétiques. Le développement des énergies renouvelables devra se faire en considérant les spécificités actuelles et des besoins futurs du milieu.

### 2.3 Portrait énergétique des régions nordiques au Canada

Au sein des communautés nordiques hors réseau, les coûts de l'énergie sont élevés à cause de la nécessité d'importer des produits pétroliers sur de grandes distances. La faible population grandement dispersée, les coûts d'opération et de maintenance des équipements élevés par manque de main-d'œuvre qualifiée et de pièces et outils nécessaires influencent aussi les prix. Le tableau 2.1 présente le nombre de communautés hors réseau réparties dans les différentes régions nordiques canadiennes considérées dans le cadre de cet essai. Celles-ci utilisent des génératrices fonctionnant au diesel pour combler leurs besoins en électricité et en chauffage. Les fluctuations de prix affectent grandement les communautés et les organismes qui subventionnent l'achat de l'électricité, mais peuvent aussi encourager la mise sur pied de programmes d'efficacité énergétique et de développement des énergies renouvelables. Le coût de l'énergie est si important qu'il doit être grandement subventionné par l'État. Les habitants paient seulement une partie de leur facture énergétique, incluse dans le prix de leur loyer (Secrétariat aux affaires autochtones (SAA), 2011; *Government of Nunavut*, 2007b).

**Tableau 2.1 Répartition des communautés hors réseau dans les régions nordiques**

Localisation géographique	Nombre de communautés hors réseau
Yukon	6
Territoires du Nord-Ouest	33
Nunavut	27
Nunavik	14
Nunatsiavut	6

(Inspiré du Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada, 2010b)

La section suivante présente quelques-unes des particularités de la gestion énergétique dans ces territoires. Il sera notamment question des organismes territoriaux qui gèrent l'approvisionnement et la distribution des produits pétroliers, des acteurs impliqués dans la gestion régionale de l'énergie, de quelques données sur la consommation et les prix afin de dresser le portrait de la situation actuelle.

Le prix de l'électricité est responsable, en partie, du coût élevé de la vie dans les régions nordiques. Il s'agit d'une part importante du budget des consommateurs et de l'administration publique en plus de constituer un frein à la croissance tant à une échelle locale que globale (*Government of the Northwest Territories, 2008a*). Le prix des produits pétroliers et la situation géographique des communautés font en sorte que les coûts reliés à l'énergie resteront toujours élevés. Les prix varient pour les consommateurs, en fonction de leur localisation, notamment au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest. En effet, ces territoires comptent sur l'hydroélectricité pour alimenter leurs centres urbains, tels que Whitehorse et Yellowknife, ce qui explique la grande disparité dans les prix au niveau résidentiel au sein d'un même territoire, étant donné les différents moyens de production d'électricité. Par exemple, à Yellowknife, le coût par kilowattheure (kWh) est de 20,77 cents alors qu'il est au minimum de 36,92 cents pour la localité de Tuktoyaktuk au nord des Territoires du Nord-Ouest (*ibid*).

Les régions nordiques partagent certains points en commun au niveau de l'énergie. L'électricité et le chauffage proviennent des produits pétroliers importés et la densité de population est faible et répartie sur d'immenses territoires, limitant le développement d'économie d'échelle. L'absence de réseau électrique territorial limite les possibilités de transmission entre les communautés et les coûts ne peuvent être partagés sur un plus grand nombre d'utilisateurs. Leur éloignement et leur répartition sur un territoire immense limitent les projets énergétiques d'envergure.

### **2.3.1 Territoires du Nord-Ouest**

La gestion de l'approvisionnement et de la distribution de l'électricité est gérée par différents organismes à la fois publics et privés. Dans les Territoires du Nord-Ouest, la *Northwest Territories Power Corporation* (NTPC) est la propriété du gouvernement local et cette organisation génère et distribue de l'électricité à 45 % de la population. La *Northland Utilities Limited* (NUL) est une compagnie privée qui ne génère pas d'électricité, mais qui distribue l'électricité à l'autre 55 % de la population. Des 415 millions de litres de produits pétroliers consommés annuellement en 2005, 92 millions de litres ont servi au chauffage et 96 millions de litres ont servi à la production d'électricité (*Government of the*

*Northwest Territories*, 2006a). Au niveau territorial, l'hydroélectricité compte pour 39 % de la production totale et dessert près de 75 % de la population. L'utilisation résidentielle du diesel compte pour 19 % de la consommation alors que la balance est partagée entre l'usage du diesel en milieu commercial et le gaz naturel.

### **2.3.2 Nunavut**

Au Nunavut, la stratégie énergétique du gouvernement *Ikummatiit*, propose des programmes d'accroissement de l'efficacité énergétique et la mise en place d'installations de production d'énergie renouvelable, telles que des barrages hydroélectriques au fil de l'eau, des éoliennes, etc. (*Government of Nunavut*, 2007a). La livraison de produits pétroliers a coûté environ 130 millions de dollars en 2005-2006, en ne tenant pas compte des subventions et autres coûts reliés aux opérations et à la maintenance (*Government of Nunavut*, 2006). Lors de cette même période, le gouvernement a acheté et distribué 172 millions de litres de produits pétroliers. De cette quantité, 64 millions ont servi pour le chauffage et 40 millions pour la production d'électricité. Le gouvernement a défrayé 80 % de la facture énergétique, soit 20 % du budget total de l'État (*Government of Nunavut*, 2007a). La production, la transmission et la distribution d'énergie sont assurées par *Qulliq Energy Corporation* (QEC), une société d'État (QEC, 2008a).

### **2.3.3 Nunavik**

Au Nunavik, Hydro-Québec a l'obligation de fournir de l'électricité pour satisfaire les besoins énergétiques des 14 communautés nordiques non reliées au réseau québécois. Celles-ci sont alimentées par des génératrices au diesel appartenant à Hydro-Québec (SAA, 2011). Le transport des produits pétroliers est assuré seulement pendant la saison estivale. De grandes capacités de stockage existent sur place. Hydro-Québec est tenu de vendre son électricité au même tarif uniforme partout au Québec, mais la Loi sur la régie de l'énergie stipule que la tarification doit être uniforme sauf pour les réseaux autonomes du Nord du Québec, soit ceux situés au nord du 53<sup>e</sup> parallèle (Saint-Pierre *et al.*, 2010). La consommation de base se chiffre au même tarif que celui du Québec pour les 30 premiers kWh par jour. Toutefois, si la consommation devient excédentaire, le tarif est presque quintuplé (*ibid.*). Hydro-Québec et l'office municipal d'habitation Kativik assument la

différence entre le tarif uniforme et le coût réel de la production, notamment dans le cas de logements sociaux (SAA, 2011). Les résidents des logements sociaux paient environ 10 % du coût réel du loyer et ce montant couvre les différents frais associés à la gestion des logements sociaux (Fournier, 2011). Afin de favoriser une réduction de la consommation et des coûts ainsi engendrés, Hydro-Québec encourage aussi la mise en place d'alternatives aux génératrices, comme l'utilisation de chaudières fonctionnant au mazout pour la production de chauffage (Cloutier, 2011).

Les communautés paient cher leur électricité et malgré les subventions gouvernementales, cette situation peut décourager le développement d'activités économiques en raison des quantités limitées d'électricité qui sont disponibles et de leur coût. Une meilleure efficacité énergétique et une promotion des énergies renouvelables permettraient de réduire la vulnérabilité et la dépendance de ces collectivités envers les produits pétroliers, en plus de favoriser un développement plus durable.

#### **2.3.4 Yukon**

Au Yukon, deux sociétés sont chargées de la production et de la distribution d'électricité à travers le territoire. La société *Yukon Energy Corporation* (YEC), propriété du gouvernement yukonnais, est le principal producteur et transmetteur d'électricité. L'énergie produite provient de l'utilisation de centrales hydroélectriques, des génératrices au diesel et de deux éoliennes. La *Yukon Electrical Company Limited* (YECL), une compagnie privée produit une quantité limitée d'électricité via des installations au diesel et une centrale hydroélectrique. Son rôle est de distribuer l'électricité à la majorité des consommateurs (*Government of Yukon*, 2009). L'électricité produite sur le territoire provient à 94 % de l'hydroélectricité et ce chiffre frôle le 100 % dans les communautés où se situent les centrales hydroélectriques (Pearson, 2011). Le potentiel de développement de cette énergie est intéressant, mais les difficultés d'accès et l'isolement rendent difficile la construction de telles infrastructures ailleurs que dans les grands centres. La réalité du Yukon ne peut se comparer à celle des autres régions comme le Nunavut, entièrement dépendante du diesel. Le gouvernement yukonnais mentionne toutefois son désir de développer davantage les ressources renouvelables afin de limiter l'usage des produits pétroliers

En conclusion, les régions nordiques possèdent de nombreux points en commun, dont une population dispersée sur un grand territoire et une grande utilisation de combustibles fossiles pour répondre à leurs besoins en électricité et en chauffage. Toutefois, des particularités climatiques, géographiques, sociales et économiques doivent être prises en compte lors de l'implantation de projets d'énergie renouvelable afin d'assurer leur succès à long terme.

### **3 LES PROJETS D'ÉNERGIE RENOUVELABLE EN RÉGIONS NORDIQUES**

Comme indiqué précédemment, les communautés nordiques sont nombreuses à dépendre entièrement des produits pétroliers pour répondre à leurs besoins en électricité et en chauffage. Ces collectivités, en plus de devoir s'adapter aux changements climatiques ayant des impacts sur leur mode de vie, devront aussi accorder une part grandissante de leurs finances pour l'approvisionnement énergétique. Cette situation entraîne une hausse des dépenses pour ces provinces ou territoires, en plus d'augmenter leur vulnérabilité aux variations de prix. Alors que le Yukon et les Territoires du Nord-Ouest produisent de grandes quantités d'électricité via l'hydroélectricité, les communautés hors réseau et éloignées du Nunavut et du Nunavik dépendent entièrement du diesel pour combler leurs besoins en électricité et en chauffage. Dues à leur grande dépendance envers une source d'énergie unique, les communautés hors réseau constituent des terrains intéressants en vue d'implanter des projets d'énergie renouvelable. De nombreux cas, passés et actuels, s'insèrent dans le paysage nordique et offrent aux collectivités des alternatives moins polluantes et plus durables que celles reliées à l'usage du diesel.

La planification à long terme de projets basés sur les énergies renouvelables offre de nombreux avantages, tant économiques qu'environnementaux pour les communautés (St. Denis and Parker, 2009). Néanmoins, de grands obstacles limitent l'implantation durable de tels projets. L'étude de quelques-uns d'entre eux, présentée dans la présente section permettra de cerner les principales difficultés en vue d'identifier ultérieurement des pistes de solution. Les projets seront présentés selon le type d'énergie renouvelable ayant le potentiel d'être utilisé dans ces territoires éloignés.

#### **3.1 L'énergie éolienne**

L'utilisation du vent comme source d'énergie connaît une croissance soutenue un peu partout à travers le monde. En Europe, il est le type d'énergie renouvelable ayant connu la plus grande croissance en 2009 (IEA, 2010c). Au Canada, il s'agit d'une des filières énergétiques ayant vécu un développement remarqué et de nombreuses études et évaluations de projets tendent à démontrer sa facilité d'implantation dans les régions éloignées, notamment nordiques (Ressources naturelles Canada, 2009b). Par contre, ce type

d'énergie ne peut à lui seul combler tous les besoins énergétiques. Le vent demeure un élément parfois imprévisible et les systèmes doivent être couplés à des génératrices au diesel ou autres sources d'énergie fiables afin de répondre à la demande quotidienne (Weis and Maissan, 2007).

Le développement de l'éolien présente une opportunité afin de réduire l'utilisation de combustibles fossiles et de diminuer la vulnérabilité des petites communautés face à la volatilité des prix, mais les difficultés d'implantation sont nombreuses. Il faut avoir accès à des vents constants et assez importants, les coûts de transport des équipements sont élevés et les activités d'opération et de maintenance sont plus difficiles étant donné l'éloignement. Sans l'aide et le support des gouvernements, les projets peinent à être compétitifs face aux systèmes fonctionnant au diesel, bien implantés, même si les coûts sont de 5 à 10 fois plus élevés pour les communautés hors réseau (*ibid.*). Toutefois, de nombreux projets misant sur l'implantation de l'éolien en régions nordiques ont vu le jour et continuent d'être développés. La section suivante présente quelques-uns de ces projets.

### **3.1.1 Haeckel Hill, Yukon**

Le Yukon compte sur l'hydroélectricité pour combler ses besoins énergétiques, notamment à proximité des grands centres urbains. Au sud et au centre du territoire, quatre barrages sont installés, dont deux situés près de Whitehorse, un à Aishihik et un à Mayo. Dans le cas des communautés hors réseau et éloignées, ainsi que pour répondre aux pics de demande, notamment lors de la période hivernale, des génératrices au diesel sont utilisées. En 2009, le gouvernement du Yukon a publié sa stratégie énergétique et y mentionne son engagement dans le développement de nouvelles sources d'énergie, notamment l'éolien (*Government of Yukon, 2009*).

Afin de favoriser le développement de l'éolien, les autorités du Yukon peuvent se baser sur un projet bien implanté dans la région de la capitale, Whitehorse. Dès les années 80, différentes études ont mesuré le potentiel de développement commercial des éoliennes au Yukon. À cette époque, tous les travaux ont démontré que de tels projets n'étaient pas encore économiquement rentables. Malgré cela, à partir des années 90, suite à une étude

des régimes de vents menée par deux citoyens, une station de mesurage du vent a été installée à Haeckel Hill, à l'ouest de Whitehorse à une altitude de 1 430 mètres (Maissan, 2001). Des données météorologiques d'Environnement Canada démontraient que la vitesse du vent augmentait avec l'altitude à cet endroit et de bons régimes de vent ont été enregistrés. De plus, les vents sont plus forts en hiver qu'en été, suivant ainsi la courbe de demande électrique qui est beaucoup plus élevée en période froide. Des observations de givre ont aussi été faites et il fallait trouver des solutions à ce phénomène météorologique si les promoteurs voulaient implanter des éoliennes dans la région.

En 1992, il a été décidé de mettre sur pied un programme d'adaptation au climat des éoliennes commerciales déjà existantes. Étant donné le manque de ressources financières, les gens impliqués dans le projet n'avaient d'autre choix que de prendre des modèles d'éoliennes existants et réputés comme fiables afin de les adapter aux conditions du Yukon. *La Yukon Energy Corporation* était responsable du projet (YEC, 2001). Une éolienne de 150 kilowatts (kW) d'une hauteur de 30 mètres a été choisie. Afin de contrer les impacts négatifs du froid, un acier tolérant aux températures basses a été utilisé dans la conception de plusieurs parties de l'éolienne en plus de l'usage d'huiles hydrauliques synthétiques, restant liquides à basse température. Plusieurs petites chauffettes électriques, contrôlées par des thermostats ont été utilisées près du générateur, du contrôle par ordinateur et du local qui assure les communications radio. Afin de limiter les impacts du givre, l'anémomètre et la girouette ont été équipés de points chauffants. Les pales de l'éolienne ont été pourvues de bandes chauffantes sur toute leur longueur et finalement, un détecteur de glace a été installé permettant ainsi de démarrer le chauffage au besoin. L'éolienne a été érigée et mise en fonction au mois de juillet 1993. Un contrat d'entretien de deux ans a été signé avec la compagnie responsable de la construction de l'éolienne. À l'époque, le projet a coûté 800 000 dollars dont le quart investi pour améliorer le réseau de transport de l'énergie ainsi que pour la réfection du réseau routier à proximité de l'éolienne. YEC a reçu 300 000 dollars de différentes sources gouvernementales (Maissan, 2001).

Plusieurs aspects du projet ont bien fonctionné. L'acier résistant à de faibles températures était adéquat tout comme les lubrifiants synthétiques. Les systèmes de chauffage installés

dans la boîte de vitesses, à proximité de la génératrice et près des composantes électroniques, ont bien résisté et se sont avérés fiables. Toutefois, l'anémomètre et la girouette étaient toujours recouverts de glace et ont dû être remplacés par des pièces plus résistantes. La ligne de transmission a connu plusieurs arrêts causés par l'accumulation de neige et les câbles ont été enfouis. Enfin, le détecteur de glace pour les pales ne fonctionnant pas, il a été décidé que les circuits chauffants seraient toujours en fonction durant l'hiver afin d'éviter des situations illustrées à la figure 3.1. Les bandes chauffantes sur les pales ont été remplacées en 1998 par d'autres, plus larges (YEC, 2001).



**Figure 3.1 Présence de givre sur les pales**

(Tirée de Maissan, 2001)

Concernant le suivi environnemental, un programme de surveillance, échelonné sur cinq ans a permis de mesurer les voies migratoires des oiseaux. Il a été démontré qu'à cet endroit, les différentes trajectoires migratoires empruntaient la vallée, bien en dessous de l'altitude où se trouvait l'éolienne. Les risques pour la faune aviaire étaient limités.

En termes de productivité, le projet n'a pas rencontré ses cibles prévues, mais a su résoudre de nombreux problèmes. Durant la troisième année d'opération, une bande chauffante a cessé de fonctionner au début de l'hiver et l'éolienne a continué d'opérer, déstabilisant le poids des pales. Les pertes dues au givrage étaient de l'ordre de 60 000 à 70 000 kWh par année, soit 20 % de la production cible. Des réparations sur la ligne électrique ont été effectuées en 1996 ce qui a limité les problèmes électroniques. La même année, les pales ont été peintes en noir afin de favoriser la fonte de la neige et les résultats positifs se sont fait sentir les années suivantes (Maissan, 2001).

En septembre 2000, la YEC, avec l'aide du gouvernement a installé une deuxième éolienne. L'appareil a été conçu afin d'opérer sans restriction jusqu'à des températures allant jusqu'à -30 °C. L'éolienne possède toutes les composantes nécessaires pour fonctionner à de telles températures grâce à l'expérience vécue lors de l'utilisation de la première éolienne. Ce nouveau modèle possède une capacité de 660 kW, soit quatre fois plus grande que celle de la première génération. Tous les instruments de mesure du vent sont chauffés, les pales sont de couleur noire et les bords de pales sont chauffés. Ensemble, les deux éoliennes ont la capacité de fournir de l'électricité à environ 150 maisons (YEC, 2011).

Étant donné le succès de l'opération des deux éoliennes malgré plusieurs difficultés, la YEC étudie le potentiel éolien à d'autres endroits au Yukon. La durabilité de ces projets démontre la faisabilité des projets énergétiques éoliens en régions éloignées et nordiques. Néanmoins, un article récent paru sur le site *Yukon News*, mentionne que le gouvernement souhaite se tourner davantage vers le développement et l'agrandissement du réseau hydroélectrique que vers l'éolien, en argumentant que le vent est une ressource imprévisible. Plusieurs défenseurs de l'éolien mentionnent toutefois que le vent constitue une alternative énergétique parfaite, notamment en hiver alors que le niveau des cours d'eau est plus bas (Munson, 2009). Le rendement des éoliennes sur Haeckel Hill est modéré, mais plusieurs pensent que le manque d'entretien est responsable. La YEC semble avoir mis de côté l'avenue de l'éolien alors que celle-ci possède un potentiel très intéressant dans les régions nordiques.

### 3.1.2 Tuktoyaktuk, Territoires du Nord-Ouest

Au début des années 2000, l'organisme *Aurora Research Institute*, actif dans la recherche scientifique et la sensibilisation du public aux Territoires du Nord-Ouest, effectue des études sur les régimes de vent dans plusieurs secteurs. Entre 2005 et 2006, six régions dont quatre situées près de la mer de Beaufort ont fait l'objet d'observations sur les vents, en se basant notamment sur les relevés des aéroports entre 2001 à 2006 (Pinard, 2007).

Des recommandations sont ressorties de ces études afin de déterminer le potentiel éolien et la faisabilité de certains projets de développement. Des six communautés choisies, une en particulier présentait plusieurs aspects intéressants. Il s'agit de Tuktoyaktuk, une collectivité en bordure de la mer de Beaufort, avec une population de 870 personnes (Statistique Canada, 2006a). Les régimes de vent sont considérés comme modérés, mais l'existence d'infrastructures routières accessibles en hiver et la présence de matériel ainsi que de personnel local formé en raison des activités d'exploitation gazière peuvent faciliter l'implantation d'un tel projet. Il a été décidé que d'autres études devaient être réalisées à différents endroits près de la collectivité (Pinard, 2007).

Des études de préfaisabilité ont été réalisées et le succès du projet dépendra de la possibilité de trouver de bonnes ressources de vent et d'identifier les turbines les mieux adaptées à l'endroit. À partir de 2007, la station a été déplacée à un autre endroit et les études portant sur le vent se sont déroulées jusqu'en 2009. John Maissan, un spécialiste de l'énergie éolienne ayant travaillé notamment au Yukon a été impliqué dans le projet jusqu'à tout récemment. Dernièrement, beaucoup de changements se sont produits au sein du projet. Le modèle d'éolienne proposé a changé et l'estimation des coûts a été revue à la hausse. De plus, les acteurs de la communauté initialement impliqués dans le projet ne sont plus présents et finalement, le manque d'engagement de la *Northwest Territories Power Corporation* dans le projet retarde son implantation. Actuellement, le projet est au point mort et le cas de Tuktoyaktuk démontre bien la complexité et les obstacles auxquels doivent faire face les projets d'énergie renouvelable en régions nordiques (Maissan, 2011).

### **3.1.3 Île de Ramea, Terre-Neuve-et-Labrador**

Le vent ne peut à lui seul fournir tous les besoins en électricité d'une communauté. Son caractère changeant et souvent imprévisible oblige les collectivités à faire des couplages éolien-diesel afin d'assurer la sécurité de leur approvisionnement. Au Canada, une seule communauté hors réseau a mis en place un système fonctionnant avec des éoliennes et des génératrices au diesel. Il s'agit de l'île de Ramea, située au sud de Terre-Neuve-et-Labrador. Dernièrement, cette collectivité a aussi ajouté un système de production d'hydrogène couplé aux éoliennes et aux génératrices. Ce cas sera brièvement décrit étant donné qu'il ne s'agit pas d'une collectivité nordique telle qu'étudiée dans le cadre de cet essai, mais cette dernière peut encourager d'autres municipalités à emboîter le pas dans cette direction (Ressources naturelles Canada, 2009c).

Le site et les régimes de vent sont à l'étude depuis 2004 afin de démontrer le potentiel d'un projet de couplage diesel et éolien. Avant l'arrivée des éoliennes, les trois génératrices en service consommaient près d'un million de litres de diesel par année. Dès 2004, six éoliennes ont été installées pour une capacité de 390 kW alors que les pointes de demande au sein de la communauté peuvent se chiffrer à 1 078 kW. Toutefois, le suivi a démontré que près de 50 % de l'énergie produite par les éoliennes était gaspillée parce que celle-ci n'arrivait pas à être intégrée dans le réseau électrique des génératrices au diesel (Jones, 2010). Des propositions ont été lancées afin de trouver des moyens d'utiliser cette énergie au lieu de la perdre, dont celle de produire de l'hydrogène avec ce surplus d'énergie. En 2009, trois nouvelles turbines ont été installées ainsi que l'équipement pour l'électrolyse et le stockage de l'hydrogène. Selon les attentes, le projet devrait fournir assez d'électricité pour couvrir les besoins des habitants en période de faible demande (Oprisan, 2007).

Depuis sa mise en service en 2009, le projet est sous surveillance étant donné l'important potentiel de développement qu'il représente. Le système à l'hydrogène fonctionnera lors de surplus de production d'électricité en provenance des éoliennes. L'hydrogène produit via l'électrolyse de l'eau et par la suite stocké servira à alimenter une génératrice en cas de besoin. Le projet, d'un budget total de 9,7 millions de dollars, est géré par la société d'État *Newfoundland and Labrador Hydro* qui étudie le potentiel éolien sur son territoire,

notamment pour les communautés dépendant du diesel (*Newfoundland Labrador Hydro*, 2007).

#### **3.1.4 Kotzebue, Alaska**

Le vent devient une option de plus en plus intéressante, étant donné les disponibilités de cette ressource, l'amélioration des performances technologiques et les coûts du pétrole qui rendent cette alternative de plus en plus avantageuse. La ville de Kotzebue, située à environ 40 km au nord du cercle polaire dans le nord-ouest de l'Alaska est l'une des premières collectivités à s'être dotée d'un champ d'éoliennes. Cette ville de 3 000 habitants possède plusieurs similitudes avec certaines villes nordiques du Canada, dont des dimensions similaires et un climat caractérisé par de longs hivers rigoureux et des étés courts et frais. Le cas de l'Alaska constitue un bon exemple pour certaines communautés canadiennes (*U.S. Department of Energy*, 2009).

Kotzebue est la plus grande communauté dans le nord-ouest de l'Alaska et fournit une multitude de services, tant économiques, gouvernementaux que médicaux pour l'ensemble des 11 communautés dispersées dans la zone arctique du nord-ouest. Le projet d'éoliennes a été mis sur pied grâce à une collaboration entre le *U.S. Department of Energy*, la *Kotzebue Electric Association (KEA)* et l'*Alaska Energy Authority (AEA)*. Le but était de développer une installation regroupant des éoliennes sous un climat arctique. Un autre des grands objectifs était aussi de fournir une électricité à moindre coût tout en profitant de l'occasion pour créer des emplois. Le financement est venu du *U.S. Department of Energy*. Les premières éoliennes furent installées à l'été 1997 et les dernières en 2007 pour un grand total de 17 turbines avec une capacité de 1,16 mégawatt (MW). Les éoliennes sont situées à proximité de la ville, soit à moins de 7 km sur un terrain plat exposé aux vents dominants comme l'illustre la figure 3.2 (KEA, 2007).



**Figure 3.2 Éoliennes à Kotzebue, Alaska**

(Tirée de *Renewable Energy Alaska Project*, 2011)

Dès le départ, l'organisme KEA a été inclus dans le programme de vérification des turbines afin de documenter le développement, la construction et l'opération du projet d'éoliennes dans une optique de partage des informations. À ce jour, le projet a permis d'économiser près de 1,2 million de litres de diesel (*U.S. Department of Energy*, 2009). Le cas de Kotzebue démontre la faisabilité de tels projets en régions nordiques et peut servir d'exemple pour d'autres communautés souhaitant utiliser le vent comme source d'énergie alternative.

### 3.1.5 Suorva, Suède

La Laponie est une autre région nordique et elle s'étend sur une partie de la Norvège, de la Suède ainsi que de la Finlande. Récemment, le *Regional Council of Lapland* a mis sur pied une stratégie énergétique afin d'encourager l'utilisation durable des ressources. Cette région du globe compte déjà énormément sur l'utilisation de la biomasse pour combler une bonne partie de ses besoins en chauffage (*Regional Council of Lapland*, 2007).

Toutefois, la situation de la Laponie ne peut pas toujours se comparer à celle du Canada, puisque dans plusieurs cas, la biomasse est quasi inexistante. Pourtant, certaines collectivités se sont tournées vers l'éolien. C'est le cas de la localité de Suorva, située à une centaine de kilomètres au nord du cercle arctique en Suède. Suite à des initiatives locales, des études sur les régimes de vent ont été entreprises. À des hauteurs de 35 mètres, des moyennes de vent annuelles de 7,5 m/s, de même que les probabilités de givre ont été observées. Celles-ci surviennent entre 2 à 4 % du temps durant lequel les turbines sont en activité. En 1998, la communauté s'est embarquée dans un projet en choisissant une éolienne de 600 kW bien adaptée aux conditions climatiques arctiques de la région (Wolff *et al.*, 2000). Des mesures de suivi du givre avaient été mises en place. Les pales ont été équipées d'un système de chauffage à différents endroits, mis en fonction grâce aux détecteurs de glace. Des appareils de chauffage ont aussi été installés dans la boîte de vitesse et près des composantes électroniques, systèmes similaires à ceux retrouvés sur les éoliennes à Haeckel Hill au Yukon. Malgré cela, les températures extrêmes ont forcé l'arrêt de la turbine pendant 10 jours au cours de la première année. *Vanttefall*, une entreprise de production et de distribution d'électricité en Suède, a assuré un support continu lors des différentes phases du projet. Le but premier du projet était d'étudier le potentiel de l'éolien en région nordique.

La situation est bien différente de celle de plusieurs collectivités complètement isolées du Canada. Dans le cas de Suorva, la localité est située à moins de 300 mètres d'une route, ce qui facilite le transport du matériel, en plus de réduire les coûts reliés au transport (CADDET - *Centre for renewable energy*, 2000). Toutefois, le cas de la Suède illustre bien la nécessité du support gouvernemental afin d'assurer le succès de tels projets.

### 3.1.6 Nunavut

Dans les années 90, avant la création du Nunavut, cette région faisait partie des Territoires du Nord-Ouest. À cette époque, les pressions venant de différents acteurs publics et citoyens ont fait en sorte que la filière de l'énergie éolienne a pu faire son apparition au Nunavut (QEC, 2002).

Le premier projet en 1994 à Cambridge Bay impliquait l'installation d'une éolienne de 80 kW. La production a connu de nombreux problèmes causés par des températures très froides et un manque d'entretien. Deux autres éoliennes ont été installées dans la collectivité de Kugluktuk en 1996. Ces deux turbines faisaient partie du programme sur l'énergie éolienne mis sur pied par la NTPC et ont beaucoup participé à l'acquisition de connaissances. Les éoliennes ont été déplacées et lors de leur mise en service, celles-ci ont rencontré de nombreux problèmes, notamment avec le contrôle électronique. La résolution de problèmes a pris énormément de temps à réaliser et les gestionnaires du projet ont rencontré des difficultés avec le fabricant qui offrait très peu de services après-vente. Les pales d'une des machines sont tombées suite à des problèmes de montage et la deuxième éolienne a été frappée par la foudre. Celle-ci a été remise en service alors que la première n'a pas été réparée. Pour l'achat et l'installation, les deux éoliennes ont coûté 580 000 dollars et les frais économisés en diesel se sont chiffrés à 41 298 dollars après 28 mois d'opération. Pourtant, certaines journées, les deux éoliennes pouvaient combler jusqu'à 60 % des besoins en électricité et chauffage (*ibid.*) Malgré cela, elles sont hors service depuis 2002 (Ascher, 2002). Une quatrième éolienne a été installée à Rankin Inlet en 2000. Celle-ci a été déménagée à quelques reprises puisque la localisation interférait avec le transport aérien avoisinant (QEC, 2002).

De nos jours, aucune de ces éoliennes n'est en service pour des raisons tant économiques que technologiques. Les coûts importants et le manque d'entretien ont mis un terme à leur opération. En raison des coûts toujours grandissants des produits pétroliers, les éoliennes pourraient refaire leur apparition au Nunavut. Les récents développements dans d'autres secteurs du Grand Nord pourraient encourager leur implantation (*Government of Nunavut, 2007b*).

Pour conclure, le potentiel de l'éolien pourra se transformer en réalité si le prix des produits pétroliers continue d'augmenter et si les frais d'installation de tels projets diminuent en raison de l'accroissement du nombre de projets. Des études de préfaisabilité sont nécessaires afin de déterminer les régimes de vents, les conditions climatiques et les besoins à combler pour chaque ville et village. Cette mesure permettra de faire le bon choix des éoliennes. Par contre, les projets énergétiques utilisant l'éolien ne sont pas la panacée en termes économiques. Des emplois sont créés principalement lors de la construction et de l'installation et la maintenance nécessite des connaissances techniques que les résidents ne possèdent pas généralement. Pourtant, ces projets ont un avenir intéressant (Maissan, 2006a).

### **3.2 L'énergie solaire**

L'énergie solaire possède de nombreuses applications et détient un certain potentiel de développement dans les régions nordiques, malgré un taux d'ensoleillement plutôt faible. Les applications pourraient notamment servir pour les postes de transmissions radio et de communication. L'utilisation de l'énergie solaire peut aussi se faire par des moyens passifs en misant sur une meilleure conception et orientation des bâtiments. Le soleil pourrait aussi servir à chauffer l'eau chaude domestique, grande consommatrice d'énergie dans le cas des communautés isolées. Des études démontrent que les applications du solaire via l'usage de panneaux photovoltaïques demeurent une des options les plus coûteuses. L'option pourrait être intéressante dans le cas de maisons isolées ayant une très faible consommation. Toutefois, si le coût du pétrole continue d'augmenter, toutes les options actuellement dispendieuses deviendront davantage concurrentielles et abordables (AEA, 2009a).

#### **3.2.1 Iqaluit, Nunavut**

En 1995, un panneau solaire photovoltaïque mesurant 25 m<sup>2</sup> et d'une puissance de 3.2 kilowatt-crête (kWc) a été installé sur la façade du *Nunavut Arctic College* à Iqaluit, comme l'illustre la figure 3.3 (*Government of Nunavut*, 2007b). Le projet avait comme but d'obtenir de l'expérience dans la construction, la conception, le suivi et la maintenance des systèmes photovoltaïques dans le nord.



**Figure 3.3** Panneaux solaires installés sur le Nunavut Arctic College

(Tirée de Poissant *et al.*, 2004)

Au nord, une part importante des radiations solaires se fait à de faibles angles d'élévation. Les rayons solaires doivent traverser des masses d'air importantes et la réflexion des radiations solaires sur le sol ou la neige modifie le spectre de la lumière et l'incidence des radiations. Le suivi du rayonnement permet de suivre l'évolution des variations saisonnières dans les régions nordiques. Par exemple, en 2003, la production électrique a été de 13.2 kWh en décembre alors qu'elle était de 471 kWh en avril. L'efficacité maximum est obtenue lorsque les radiations solaires sont abondantes, mais que les températures demeurent basses, notamment lors des derniers mois de l'hiver, soit en mars et en avril. Étonnamment, les mois de juin à novembre connaissent des rendements inférieurs à ceux obtenus au printemps. Sans surprise, le mois de décembre est celui ayant le plus faible rendement étant donné le manque d'ensoleillement (Poissant *et al.*, 2004).

Dans son ensemble, le module solaire connaît de bonnes performances. Le système produit 70 % de sa capacité totale, le 30 % étant perdu lors de conditions climatiques non favorables ou lors de la conversion de l'énergie en électricité. Il s'agit d'un taux semblable à ceux que l'on peut observer dans les régions plus au sud, ce qui démontre la faisabilité des projets solaires au nord (*ibid.*).

### **3.2.2 Autres projets, Territoires du Nord-Ouest**

L'implantation de panneaux solaires ne se fait pas à grande échelle dans le nord parce que les défis liés aux fluctuations de rayonnements couplés à des extrêmes climatiques limitent le développement de cette technologie. Néanmoins, l'acquisition de nouvelles connaissances permet de miser de plus en plus sur cette source d'énergie.

Mis sur pied en 1993, le programme de cinq ans *PV for the North* de l'organisme CANMETénergie, branche du ministère des Ressources naturelles du Canada et actif dans le développement et la recherche en énergies renouvelables, avait comme mission de démontrer le potentiel de cette technologie dans les régions nordiques. Trois projets allaient permettre d'étudier en profondeur l'adaptation des techniques solaires dans le nord. Des mesures de suivi sur le rayonnement, sur l'enlèvement de la neige et sur la performance des batteries étaient nécessaires afin d'assurer la longévité de tels projets dans un climat froid. Via le programme, plusieurs analyses ont été entreprises afin d'étudier la faisabilité des panneaux solaires. Dans les Territoires du Nord-Ouest, des panneaux ont été installés sur des bâtiments fédéraux utilisés sur une base saisonnière. L'expérience a été entreprise pour des installations de télécommunications, notamment au sein des infrastructures de Parcs Canada (Martel *et al.*, 1998).

Les systèmes solaires possédant le plus grand potentiel sont ceux qui sont reliés au réseau d'électricité déjà existant. Si les panneaux ne sont pas reliés au réseau, l'installation de batteries pour accumuler l'énergie est nécessaire. Ces batteries doivent être protégées des conditions climatiques extrêmes afin d'assurer leur fonctionnalité. En effet, la capacité des batteries diminue lorsque les températures sont basses. Le programme a permis de travailler sur des moyens d'augmenter la capacité des batteries tout en évitant les coûts associés à

l'installation d'un bac nécessaire à la protection des batteries contre les intempéries et le froid. Une autre technologie a aussi été développée afin d'éviter l'accumulation de neige sur les panneaux entraînant ainsi une baisse de leur efficacité. Il s'agit d'un collecteur d'énergie thermique monté au-dessus du panneau afin de favoriser la fonte de la neige (*ibid.*). La longévité du projet au *Nunavut Arctic College* démontre la faisabilité et le potentiel des technologies solaires dans les régions nordiques.

### **3.3 L'énergie hydroélectrique**

Au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest, la demande énergétique en provenance des grands centres urbains est principalement comblée grâce à la production d'hydroélectricité. Le Yukon compte quatre centrales hydroélectriques dont deux à proximité de Whitehorse (*Government of Yukon, 2008a*). Dans le cas des Territoires du Nord-Ouest, six centrales sont en opération avec comme but premier de desservir les industries, notamment minières. Ces centrales fournissent près de 75 % de l'énergie demandée pour les services publics, mais ne couvrent que 39 % de l'ensemble des besoins en électricité au sein du territoire. Le potentiel de développement des centrales à moindre échelle est grand et le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest a sorti une ébauche de stratégie énergétique reliée à l'hydroélectricité en 2008 (*Government of the Northwest Territories, 2008b*). Des pourparlers pour développer des petites centrales au fil de l'eau ou des micro-barrages font partie des options envisagées par les Territoires du Nord-Ouest. Par contre, les capitaux d'investissement pour les centrales hydroélectriques sont beaucoup plus élevés que ceux nécessaires pour construire des petites centrales thermiques. Néanmoins, la hausse du coût des produits pétroliers pourrait rendre les projets basés sur les énergies renouvelables plus compétitifs sur le marché. L'hydroélectricité est une source d'énergie fiable et les infrastructures possèdent une bonne longévité.

Le potentiel de l'hydroélectricité est intéressant à plusieurs endroits dans les régions nordiques, mais aucun projet n'existe dans l'extrême arctique. Pour une petite communauté, le capital financier de départ est très important et peut constituer un frein au développement de cette filière énergétique. La section suivante présente quelques projets en cours d'étude de faisabilité.

### **3.3.1 Iqaluit, Nunavut**

Le Nunavut souhaite miser sur cette filière énergétique en optant pour des barrages de petite taille. En 2005, des spécialistes en hydrologie investissent plusieurs sites à proximité d'Iqaluit, la plus grande agglomération du Nunavut avec une population de plus de 6 000 habitants (Statistique Canada, 2006b). Par année, cette ville consomme près de 14 millions de litres de carburant pour un budget de plus de 15 millions de dollars.

En 2006, des études de préfaisabilité et des études préliminaires en environnement ont eu lieu sur différents sites. En 2008, les résultats préliminaires hydrologiques ont été publiés et la société QEC, responsable de la production et de la distribution d'électricité au Nunavut commence la sélection des sites ayant le plus de potentiel. Afin de répondre aux pointes de demande plus grandes en hiver, les projets avec barrage sont à l'étude afin de faciliter l'emmagasinage de grandes quantités d'eau durant l'été. Par contre, les projets avec barrage nécessitent un investissement plus important. Un site près d'Iqaluit présente certains avantages naturels qui réduiraient les coûts ainsi que les infrastructures nécessaires (QEC, 2008c).

Iqaluit, comme plusieurs autres collectivités nordiques fait face à une croissance démographique importante. Selon les données fournies par QEC sur la demande énergétique, les chiffres de la consommation actuelle dépassent les prévisions réalisées dans le passé. La nécessité de trouver des alternatives au diesel est primordiale. Toutefois, le succès d'un projet hydroélectrique dépend de plusieurs éléments importants. Il faut que le potentiel hydroélectrique se retrouve à moins de 100 km d'Iqaluit afin de répondre aux besoins des habitants tout en limitant les infrastructures et les coûts reliés au transport de l'énergie sur de grandes distances. La taille des projets doit varier entre 4 MW et 30 MW afin d'assurer la longévité du projet en fonction des besoins toujours grandissants de la population. Selon les sites, le capital d'investissement de départ varie entre 80 et 550 millions de dollars (QEC, 2008b).

Les dernières nouvelles publiques concernant le projet remontent à 2008. Un site, celui de Jayne Inlet a été choisi. Situé à plus de 60 km de la ville d'Iqaluit, le projet nécessite la

construction d'un barrage et de nombreuses infrastructures de transmission. Bien que les projets au fil de l'eau soient généralement moins chers et nécessitent moins d'infrastructures, les options avec réservoir sont généralement envisagées et pour cause. L'hiver, alors que les débits des rivières sont à leur plus bas, la demande en électricité et en chauffage est à son pic. Il faut trouver des moyens d'accumuler l'eau de la fonte du printemps et des pluies estivales et la présence d'un réservoir est un moyen approprié pour y parvenir. Actuellement, les différentes phases du projet ont été reportées à une date indéterminée, par manque de financement. QEC est à la recherche de nouveaux partenaires afin de financer le développement du projet (Veevee, 2011). À défaut de trouver de nouvelles sources de financement, le projet hydroélectrique d'Iqaluit pourrait ne jamais se réaliser.

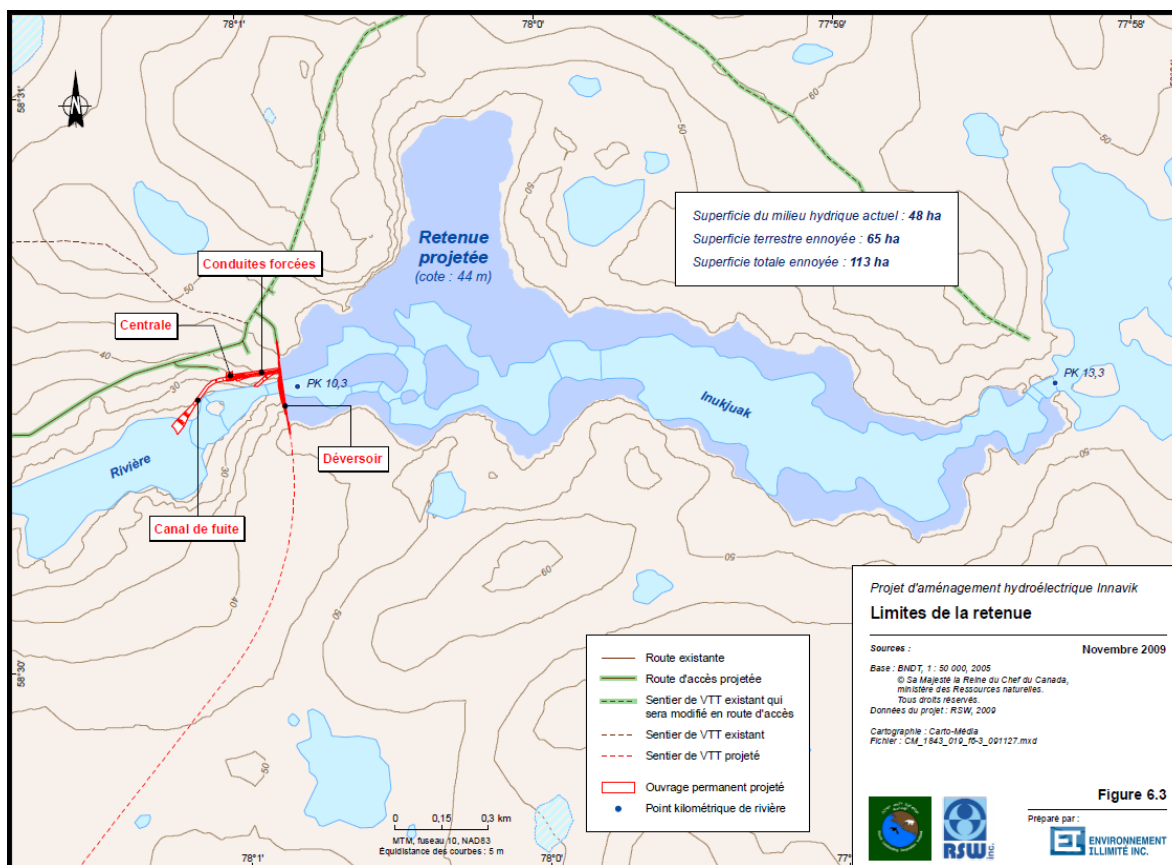
### **3.3.2 Inukjuak, Nunavik**

Alors que de grands barrages se sont implantés au fil des ans dans le Grand Nord québécois, aucune communauté du Nunavik ne bénéficie de cette électricité moins polluante et à bas prix. Les nombreuses communautés du Nunavik sont hors réseau et dépendent uniquement du diesel pour combler leurs besoins (*Kativik Environmental Quality Commission*, 2009).

Les projets de développement hydroélectrique commencent à faire leur chemin, notamment dans le village d'Inukjuak, installé en bordure de la baie d'Hudson. En 2006, le village a annoncé qu'il souhaitait investir dans un projet de barrage hydroélectrique sur la rivière Inukjuak ainsi que dans un projet de parc éolien. À l'époque, l'échéance du projet était de cinq ans. Toutefois, bien avant l'étude de pré faisabilité, le projet de parc éolien a été mis de côté. L'organisme *Pituvik Landholding Corporation* (PLC) d'Inukjuak, responsable d'administrer le territoire suite à la Convention de la Baie James est en charge du projet. Le projet est supporté financièrement par l'organisme PLC et par l'Administration régionale de Kativik avec des fonds en provenance du fédéral (PLC, 2010).

Étant donné les coûts reliés au transport du diesel sur de grandes distances pour desservir les communautés nordiques, coûts grandement financés par les institutions publiques, les

gouvernements, provincial et fédéral ainsi qu'Hydro-Québec ont de nombreuses raisons de miser sur une production d'électricité sur une base locale (George, 2006). Le projet consiste en une centrale au fil de l'eau d'une puissance de 7,5 MW installée à 10 km du village, tel qu'illustré à la figure 3.4.



**Figure 3.4 Plan de l'aménagement hydroélectrique à Inukjuak**

(Tirée de Pituvik Landholding Corporation, 2010)

Entre 2005 et 2007, PLC a entrepris d'étudier le potentiel de différents sites et en 2007, l'étude de préfaisabilité a identifié ce site. En 2008, la communauté a approuvé la poursuite du projet. Il a été déterminé que l'électricité produite sera vendue à Hydro-Québec et le prix préalablement négocié. Les considérations environnementales préoccupaient la population locale, celle-ci pratiquant de nombreuses activités reliées à la chasse et pêche à proximité de la rivière. Afin de répondre à ces inquiétudes, des études d'impacts environnementaux

ont été menées (PLC, 2010). PLC sera propriétaire de l'infrastructure et le projet prévoit la création de trois à cinq emplois durant la phase d'exploitation.

En 2010, 83 % de la population d'Inukjuak a voté en faveur du projet. Par contre, des 28 millions de dollars prévus en 2006, le projet se chiffre maintenant à près de 68 millions de dollars (*Nunatsiaq News*, 2011). Lors des dernières nouvelles, la construction du projet n'avait pas commencé. La conception, l'ingénierie et les études d'impacts environnementaux ont été produites mais un problème demeure au niveau des ententes avec Hydro-Québec, étant donné que le projet sera géré par la communauté et qu'Hydro-Québec sera l'acheteur unique. Selon Éric Atagotaaluk, président de PLC, si tout se passe bien, la construction devrait débuter en 2012 (Atagotaaluk, 2011). Malgré un début de projet datant de 2006, les gestionnaires du projet ont rencontré plusieurs difficultés qui ralentissent la mise en place de ce projet, mais les gestionnaires semblent confiants dans la suite du projet.

L'hydroélectricité est une source d'énergie grandement utilisée au Canada et notamment dans les territoires du nord. Malgré son grand potentiel, les investissements financiers et l'importance des infrastructures nécessaires ralentissent son développement à grande échelle.

### **3.4 La géothermie**

La commission géologique du Canada, autrefois la Direction de la physique du globe, a entrepris des études sur l'activité géothermique dans la zone du pergélisol au nord du Canada à partir des années 60 (Ressources naturelles Canada, 2007c). Par contre, ces analyses étaient davantage axées sur la compréhension de la perturbation thermique due aux forages pour les activités minières, gazières et pétrolières et non pas sur une étude portant sur le potentiel géothermique des régions nordiques. Néanmoins, ces mesures ont permis de dresser un portrait de températures observées dans le pergélisol à des profondeurs pouvant atteindre 125 mètres.

Actuellement, un projet de géothermie en phase de démonstration est à l'étude à Ft. Liard dans les Territoires du Nord-Ouest. Il s'agit d'un projet à petite échelle pour une

communauté d'environ 700 habitants, située en dehors du réseau électrique du territoire. Le projet procurera de l'électricité et du chauffage à la communauté. En attente de financement en provenance du Programme du Fonds pour l'énergie propre du ministère des Ressources naturelles du Canada, le projet pourrait se voir attribuer entre 10 et 20 millions de dollars (*Borealis Geopower*, 2011). Si la démonstration s'avère un succès, la géothermie pourrait combler une grande partie des besoins de la communauté et servir d'exemple pour d'autres collectivités nordiques hors réseau désirant emboîter le pas.

La ville de Yellowknife mise aussi beaucoup sur le développement de la géothermie. Depuis quelques années, la municipalité a poursuivi des recherches sur la possibilité d'utiliser la chaleur produite par une mine fermée à proximité pour chauffer de nombreux bâtiments du centre-ville. Le coût d'un tel projet est estimé à 60 millions de dollars, dont 14 millions seraient alloués par le gouvernement fédéral. Les autorités de Yellowknife ont demandé à la population leur accord pour un emprunt de fonds publics du territoire à hauteur de 49 millions de dollars. Les résidents de la ville ont été conviés à aller voter pour exprimer leur opinion sur la question le 14 mars 2011 (*City of Yellowknife*, 2011). Alors que le projet semblait bien préparé et que les partisans étaient confiants de l'appui de la population, les citoyens se sont prononcés contre l'emprunt et forcent les autorités municipales à revoir le projet (Veerman, 2011). L'avenir de ce plan sera déterminé au courant des semaines et des mois qui viennent.

Des études sur le potentiel de la géothermie au Yukon au courant des années 70 ont permis de cibler certaines zones ayant un potentiel attrayant. Actuellement, la ville de Whitehorse et celle de Mayo utilisent la géothermie de faible profondeur en provenance d'une source d'eau chaude souterraine pour éviter que leur système d'eau potable gèle l'hiver. L'avantage de la géothermie se mesure surtout en termes de chauffage et refroidissement. En effet, durant l'hiver la chaleur de la terre, relativement stable comparée à celle de l'air extérieur permet de chauffer un fluide qui transférera son énergie dans un bâtiment. Inversement, l'été, le surplus de chaleur peut être renvoyé au sol (*Government of Yukon*, 2008b). À Mayo, l'eau potable en provenance d'un puits est chauffée par l'eau souterraine

chaude de deux autres puits. Cette chaleur pourrait servir à de nombreuses autres applications.

Néanmoins, la géothermie possède un potentiel intéressant, mais les coûts des infrastructures demeurent élevés et les opérations de forage complexes, mais cette option pourrait devenir une option très intéressante si les projets en démonstration arrivent à illustrer la faisabilité de cette technologie.

### **3.5 La biomasse**

La biomasse est une source d'énergie importante, de plus en plus utilisée au Canada. Celle-ci possède un potentiel intéressant pour le chauffage des bâtiments. La biomasse peut provenir de différentes sources, telles que les résidus des scieries, les résidus de la coupe forestière, les résidus reliés aux activités agricoles, les déchets de construction et autres (Richardson, 2008). Dans le cas des communautés de l'extrême arctique, la biomasse forestière peut être éliminée des options énergétiques possibles. L'absence de ressource ligneuse empêche le développement de cette filière. Néanmoins, plusieurs communautés sont confrontées à une problématique grandissante de la gestion des déchets résiduels municipaux. La valorisation des déchets en source d'énergie, via la biométhanisation ou la gazéification peuvent constituer des avenues intéressantes, mais les investissements sont importants. Le Nunavut en fait mention dans le cadre du dévoilement de sa stratégie énergétique, mais reconnaît la nécessité d'études préalables et d'analyse des coûts bénéfiques (*Government of Nunavut, 2007a*). De plus, les gouvernements étant à la recherche d'options moins polluantes que les génératrices fonctionnant au diesel, l'incinération des déchets peut être d'ores et déjà éliminée des options potentielles. La pollution engendrée par l'incinération de matériaux contenant des polymères, des huiles, des solvants et d'autres produits dangereux ne favorise en rien la protection des milieux de vie.

Pour certaines communautés du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest à proximité des régions forestières, l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie constitue une option très intéressante. Déjà, près de 25 % des Yukonnais utilisent le bois comme source de chauffage principale (*Government of Yukon, 2007*). Des poêles à faibles émissions

doivent être utilisés afin de réduire la pollution engendrée par la combustion et le gouvernement offre un support financier à l'achat de poêles certifiés. Cette mesure encourage une meilleure utilisation de cette source d'énergie.

### **3.6 L'énergie des marées et des vagues**

La grande majorité des collectivités nordiques au Canada sont situées en bordure de l'eau, avec un accès rapide à différentes formes d'énergie que peut procurer l'océan. Des turbines sous l'eau sont activées par l'énergie cinétique des marées et d'autres technologies peuvent tirer avantage des vagues. L'un des principaux avantages de l'énergie des marées est que celle-ci est prévisible des années à l'avance.

Au Canada, on retrouve une turbine fonctionnant avec l'énergie des marées en Nouvelle-Écosse près de la Baie de Fundy (*The Pembina Institute*, s. d.). L'énergie des vagues peut aussi être utilisée grâce à la mise en place d'infrastructures capables de transformer cette énergie en électricité via des convertisseurs. Toutefois, l'énergie des vagues et des marées est peu développée. Un projet d'énergie des vagues au Portugal a été arrêté après seulement deux mois d'opération suite à des problèmes techniques (Pham, 2009). Dans les conditions arctiques, avec la présence de glace, le potentiel actuel de l'énergie des vagues et des marées peut paraître incertain, voire nul. L'Alaska a cartographié son potentiel énergétique en provenance des marées et des vagues, mais aucun projet ne fait actuellement l'objet d'étude de préfaisabilité (AEA, 2009a).

### **3.7 L'efficacité énergétique**

Tel que vu précédemment, les projets d'énergie renouvelable commencent à s'installer dans le paysage énergétique au Canada. Toutefois, les difficultés persistent dont celles liées à l'investissement et à la durabilité de telles infrastructures. Pour ces raisons, il est de plus en plus question de conservation de l'énergie et de programmes d'efficacité énergétique.

Dans sa stratégie énergétique, le Yukon examine l'efficacité énergétique et la conservation comme les premières options à considérer car elles sont aussi les moins chères à mettre en place (*Government of Yukon*, 2009). L'énergie la moins dispendieuse est encore celle qui

n'est pas consommée. Toutefois, étant donné la croissance démographique soutenue dans le nord, les besoins sont grandissants. Les changements qui doivent s'opérer prennent du temps, comme le démontre le projet d'éoliennes de Tuktoyaktuk dans les Territoires du Nord-Ouest ou celui d'un barrage hydroélectrique à Inukjuak au Nunavik. Quelques actions concrètes peuvent être entreprises afin de réduire de façon significative la consommation de diesel. Les vieilles génératrices au diesel peuvent être remplacées par des unités plus récentes et performantes. La production de chauffage peut être réalisée via l'utilisation de chaudières, en tenant compte que celles-ci ont un rendement deux fois supérieur à celui d'une génératrice (Saint-Pierre *et al.*, 2010).

Des systèmes fonctionnant à la récupération de chaleur commencent aussi à être utilisés. Il s'agit d'options souvent moins coûteuses et plus faciles à mettre en place. En effet, les communautés de Rankin Inlet et d'Iqaluit au Nunavut ont installé des systèmes de récupération de la chaleur dégagée lors de la production d'électricité par les génératrices (Government of Nunavut, 2007b). La chaleur capturée peut circuler dans des tuyaux isolés et être distribuée dans les bâtiments avoisinants. Plusieurs projets du genre sont en attente de financement et cette méthode pourrait être davantage répandue dans les collectivités du Grand Nord.

Pour conclure, il est clair que l'approvisionnement énergétique fait partie des priorités des institutions publiques de ces territoires. Les frais grandissants des produits pétroliers ainsi que l'accroissement de la demande énergétique imposent des changements dans la façon de produire de l'énergie. Le présent chapitre a permis d'étudier différents projets d'implantation d'énergie renouvelable dont certains continuent de fonctionner à travers les années malgré plusieurs difficultés et obstacles qu'ils ont surmontés. Les difficultés sont grandes et nombreuses et le prochain chapitre permettra de souligner davantage les obstacles qui se mettent au travers de ces projets, affectant par le fait même leur efficacité et longévité.

## **4 LES BARRIÈRES AU DÉVELOPPEMENT DES PROJETS D'ÉNERGIE RENOUELABLE**

Bien que de nombreux projets d'implantation d'énergie renouvelable aient pris place dans le paysage nordique canadien, ils ne sont qu'une poignée à véritablement connaître le succès. Les différents cas présentés au chapitre 3 illustrent la complexité de tels projets et expliquent l'importance des démarches à entreprendre.

L'utilisation de génératrices fonctionnant au diesel est répandue dans ces régions depuis plusieurs années, et malgré des coûts d'opération importants et la pollution engendrée par ces installations, cette méthode relativement simple à mettre en œuvre est efficace et perdure. Au fil des ans, des réseaux de distribution de diesel ont été créés et un savoir-faire local s'est développé afin de s'occuper de la gestion courante des installations et des bris occasionnels (Weis *et al.*, 2008). Inversement, les technologies liées aux énergies renouvelables sont relativement récentes et peu maîtrisées. Pour ces communautés, il serait pertinent que les technologies liées aux énergies renouvelables deviennent l'option la moins coûteuse et la moins polluante. Le précédent chapitre a dressé un portrait des projets d'énergies renouvelables qui se sont implantées dans le nord. Plusieurs autres projets sont en attente de financement ou des accords entre les différentes parties prenantes. D'autres projets n'ont pas eu la longévité espérée suite à différents problèmes techniques, à des lacunes au niveau de l'opération et de la maintenance et au manque de financement. Néanmoins, certains projets sont de véritables succès et tracent la voie vers l'avenir. Malgré les réussites et les échecs, plusieurs difficultés freinent le développement de tels projets. La section suivante présente les principales barrières, qu'elles soient environnementales, économiques, logistiques et sociales liées à l'implantation de ces nouvelles technologies en milieu nordique.

### **4.1 La réalité du nord**

Les régions nordiques possèdent des caractéristiques communes et d'autres propres à chaque communauté. Dans le cadre d'implantation de projets d'énergie renouvelable, certains aspects récurrents dans le nord du Canada constituent de véritables barrières (Maissan, 2005).

Tout d'abord, les communautés sont petites, variant de quelques centaines d'habitants à quelques milliers et sont dispersées sur de vastes territoires. Cette situation n'encourage pas le développement de grands projets puisque les besoins énergétiques à combler sont relativement faibles et les difficultés à surmonter, nombreuses. Une faible proportion de ces collectivités est connectée à un réseau routier opérationnel tout au long de l'année. Le transport de marchandises se fait par voie maritime ou par voie aérienne, options praticables parfois seulement quelques mois par année, entraînant une hausse du coût des matières ou matériaux transportés (Nepetaypo *et al.*, 2010). L'éloignement joue un rôle important sur la hausse des frais de transport. Les grandes distances à couvrir entre chaque établissement humain engendrent des coûts supplémentaires. Alors que beaucoup d'habitants du nord menaient une vie de nomade au cours des siècles passés, leur établissement permanent et leur sédentarité sont relativement récents. Bien que cet essai ne veuille pas à débattre sur la durabilité de l'aménagement du territoire en régions nordiques, il est possible de constater que l'organisation territoriale ne facilite en rien l'adoption de certaines mesures de développement durable. Inversement, cette situation peut aussi encourager les communautés à prendre en charge leur approvisionnement énergétique et diminuer leur dépendance envers des sources extérieures et importées.

Les conditions climatiques, souvent extrêmes, s'ajoutent au lot des difficultés. Les besoins en chauffage et en électricité sont importants en période de grand froid. La conception des infrastructures doit prendre en compte les particularités météorologiques afin d'utiliser des matériaux capables de résister aux températures glaciales, à la neige et au vent. De plus, l'installation d'infrastructures durant l'hiver s'avère presque impossible, alors que la saison estivale laisse peu de temps pour assurer l'acheminement des matériaux et la réalisation des différentes phases de construction. Les extrêmes climatiques nécessitent l'adaptation des activités d'opération et de maintenance afin d'assurer la durabilité des infrastructures.

Le diesel, malgré son coût élevé et fluctuant ainsi que la pollution engendrée par son utilisation, est largement subventionné par les gouvernements territoriaux et provinciaux (Bailie *et al.*, 2007). Les subventions, bien qu'essentielles pour ces communautés ne favorisent pas la compétitivité des énergies renouvelables sur le marché nordique. Les

coûts, le manque de financement et un faible retour sur l'investissement qui peut s'échelonner sur plusieurs années désavantagent l'implantation des énergies renouvelables face à l'utilisation des produits pétroliers. Développer un projet dans une région nordique coûte très cher et les retombées économiques peuvent prendre un certain temps à se concrétiser (*Canadian Wind Energy Association (CanWEA), 2006*).

En raison de l'absence de lignes de transmission déjà existantes et du coût élevé d'implantation que celles-ci représentent, tout nouveau projet ne peut être situé très loin des villes et villages, pouvant ainsi jouer sur l'acceptabilité du projet ou interférer avec des lieux à vocation culturelle ou des milieux propices pour les activités de chasse et de pêche (*ibid*). Finalement, au fil des ans, une expertise technique s'est développée autour de l'utilisation de génératrices fonctionnant au diesel alors que ce n'est pas toujours le cas pour les nouvelles technologies reliées aux énergies vertes. La nécessité de former des gens capables de faire face aux bris est vitale, mais demande temps et argent. De cette réalité nordique découlent de nombreuses difficultés et barrières à surmonter. Les promoteurs, les gestionnaires de projets doivent tenir compte de cette réalité afin d'ajuster et de proposer des plans qui sauront s'adapter aux spécificités du terrain.

## **4.2 Les barrières environnementales**

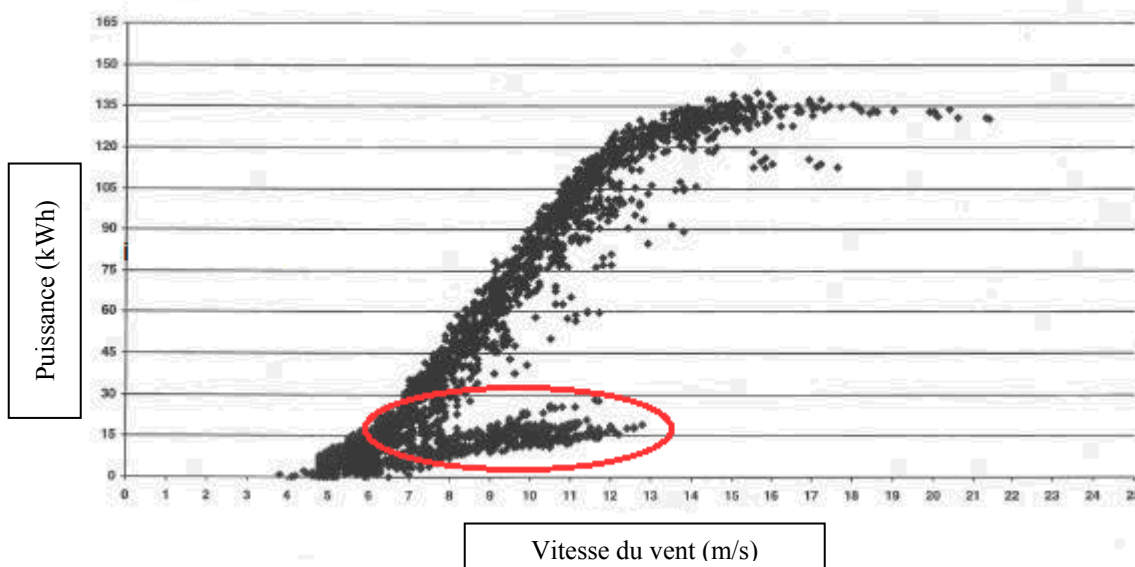
L'environnement hostile des régions nordiques canadiennes a façonné les paysages et le mode de vie de ses habitants. Les spécificités de ces milieux imposent de nombreuses contraintes et rendent techniquement plus difficiles tous les projets d'implantation d'énergies renouvelables. La section suivante présente celles qui constituent les plus grands défis à résoudre.

### **4.2.1 Les conditions climatiques extrêmes**

Le froid, la glace, la neige et la noirceur pendant plusieurs mois de l'hiver ne facilitent en rien l'implantation de projets énergétiques durables. La présence d'un climat extrême notamment durant la saison hivernale affecte les infrastructures de maintes façons (*Maissan, 2001; Martel et al., 1998*).

De toutes les étapes d'implantation d'un projet d'énergie renouvelable, la construction est celle où la dureté du climat aura le plus d'impacts. L'été court ne permet pas toujours de réaliser toutes les phases prévues de la construction et par manque de temps et d'argent, cette étape doit souvent se poursuivre au courant de l'automne et du printemps suivants. Les conditions sont dures pour les ouvriers, de même que pour les divers matériaux qui doivent être manipulés sous certaines conditions spécifiques. Cette situation entraîne de nombreux délais ainsi qu'une augmentation des coûts. Lors de la conception, les particularités climatiques imposent de revoir les concepts établis dans l'industrie et de considérer l'usage de matériaux plus résistants (Maissan, 2011).

Un des grands défis, notamment au Yukon pendant l'hiver est la formation de givre. Ce phénomène se produit davantage en altitude et peut durer pendant plusieurs semaines en début d'hiver, soit de la mi-octobre à la fin du mois de décembre (Maissan, 2001). Des ajustements techniques doivent alors être faits pour permettre le fonctionnement des éoliennes dans le nord. Les pales recouvertes de givre perdent de leur efficacité, ce qui peut réduire de 10 fois la puissance générée, comme l'illustre la figure 4.1, où la couleur rouge représente les périodes de givre qui diminuent la puissance de l'éolienne étudiée.



**Figure 4.1 Effet du givre sur la puissance d'une éolienne**

(Tirée de Maissan, s. d.)

La situation illustrée dans la figure précédente démontre bien les effets négatifs du givre et de la nécessité de trouver des moyens d’y pallier afin d’assurer l’efficacité des éoliennes. Le givre affecte aussi les équipements de mesurage du vent ainsi que les lignes de transmission en augmentant les charges sur les structures, créant une situation propice aux ruptures. Dans le cas des éoliennes d’Haeckel Hill, la présence de givre sur les lignes de transmission provoqua plusieurs bris et força l’enfouissement de ces infrastructures, occasionnant des frais supplémentaires. Malgré ces contretemps, le projet est toujours considéré comme un franc succès. Toutefois, les extrêmes climatiques ont eu raison des éoliennes installées au Nunavut au courant des années 90 où la foudre et les bris ont mis un terme au projet (QEC, 2002). Bien que le froid ne soit pas l’unique raison de ces échecs, les éoliennes sont hors service depuis plusieurs années (Ascher, 2002).

Le givre peut aussi influencer l’efficacité des panneaux solaires, dans l’éventualité où ceux-ci s’en retrouvent recouverts, perdant ainsi de leur efficacité. Dans le cas des systèmes de stockage utilisant des batteries, celles-ci subissent une perte de capacité notable par temps froid (Martel *et al.*, 1998). Dans le cas des barrages hydroélectriques, les infrastructures doivent affronter la présence de glace et de neige qui peut causer des dommages ou limiter le fonctionnement des ouvrages. De plus, les niveaux des rivières sont bas en hiver, alors que la demande est à son maximum. L’étude de l’évolution des glaces doit être réalisée afin d’éviter les débordements ou bris des installations. Les températures extrêmes doivent être considérées lors de la conception des installations pour qu’elles puissent résister à un tel climat. Les activités de construction, d’opération et de maintenance deviennent difficiles dans de telles conditions (Turner *et al.*, 1988).

Un autre aspect environnemental à considérer est la présence du pergélisol et de son comportement en période de réchauffement climatique. Dernièrement, de nombreuses études concluent que les changements climatiques ont des impacts sur les sols de ces régions (*Arctic Council and the International Arctic Science Committee*, 2005). Le dégel des sols engendre déjà des problèmes au niveau des infrastructures routières et terrestres à de nombreux endroits dans les territoires nordiques du Canada (Prowse *et al.*, 2009a). Le pergélisol joue aussi un rôle important sur l’hydrologie de surface et souterraine, pouvant

affecter le régime des eaux. Cette fonte accélérée affecte aussi les fondations de différents ouvrages, notamment celles d'une éolienne. Ces fondations ont à l'origine été conçues pour tirer avantage du pergélisol. Tous les changements qui s'opèrent influencent la capacité portante de ces sols et la stabilisation des ouvrages devient un enjeu. Il est primordial de suivre l'évolution des modifications subies par le pergélisol afin de déceler et de prévoir les impacts négatifs sur les différentes structures.

#### **4.2.2 La disponibilité de la ressource renouvelable**

Le succès d'un projet dépend aussi de l'accessibilité de la ressource pour une communauté. Étant donné les coûts liés à la mise en place d'infrastructures de transport et de transmission d'électricité, le projet doit être implanté à proximité de la communauté afin de faciliter sa rentabilité (Weis and Maissan, 2007; QEC, 2008c). Malgré la pollution engendrée et la charge économique que représente l'utilisation de produits pétroliers pour la production d'électricité et de chauffage, cette méthode permet de répondre rapidement aux fluctuations de la demande, situation qui peut s'avérer plus complexe dans le cas de certaines énergies renouvelables.

Toutefois, tous les projets de développement doivent préalablement passer par une étude des ressources disponibles, une étude environnementale sur les impacts potentiels, l'approbation des autorités, un design tenant compte des particularités du territoire et la construction des infrastructures nécessaires telles que des routes, des lignes de transport et autres (*Commission for Environmental Cooperation (CEC), 2010*).

Certains projets ne sont pas économiquement rentables en deçà d'une certaine disponibilité de la ressource en vent, en eau et autre. En prenant l'exemple de l'éolien, la hauteur des tours dépasse rarement les 30 mètres étant donné l'accès limité à des grues géantes ou autres machineries aptes à ériger ces structures. Pourtant, les régimes de vents ont tendance à augmenter avec l'altitude, mais par manque d'équipements, les projets doivent trouver les meilleurs régimes de vent à une hauteur limitée près des régions côtières, des terrains plats et ouverts et des vallées (Ressources naturelles Canada, s. d.). De plus, les vents sont généralement plus forts l'hiver plutôt que l'été et plus puissants le jour que la nuit.

Certaines études parlent d'un minimum de puissance de vent de 6 m/s, afin d'implanter des éoliennes, mais les chiffres peuvent varier selon la situation de chaque collectivité (Weis and Ilinca, 2008). De plus, sans option de stockage, il serait inutile d'avoir plus de 5 éoliennes dans une petite communauté, où la demande maximale ne dépasse pas les 500 kW. Les surplus et les pertes seraient trop grands et impossibles à utiliser à d'autres fins, ce qui diminuerait la rentabilité financière du projet. La nécessité de faire des études de préfaisabilité prend ici tout son sens.

Depuis 2005, les régimes de vent sont étudiés près de Tuktoyaktuk aux Territoires du Nord-Ouest. Un des avantages de la région provient de la présence d'un accès routier, facilitant le transport de la machinerie nécessaire au développement d'un projet éolien. Toutefois, la ressource en vent, jugée trop modeste met en péril la réalisation du projet (Maissan, 2007). En effet, aucun développement dans le cadre de ce projet ne s'est produit au cours des dernières années. L'étude des vents est primordiale afin de choisir un site approprié, avec de bonnes ressources en vent tout en tenant compte des interférences avec les activités aéroportuaires. Au Nunavut, une des éoliennes installées en 2000 a dû être déplacée à deux reprises puisque l'infrastructure nuisait au transport aérien avoisinant (QEC, 2002). Finalement, trouver la ressource en vent ne garantit pas le succès du projet. Il faut s'assurer que le lieu choisi soit exempt de tout conflit d'usage avec le territoire à proximité.

Dans le cas des centrales hydroélectriques, selon le débit en place, plusieurs types d'infrastructures peuvent servir à harnacher la puissance de l'eau. Les recherches du potentiel hydroélectrique à proximité d'Iqaluit au Nunavut prennent en considération des projets ayant une puissance allant de 4 MW à 30 MW (QEC, 2008b). La communauté de Wemindji au Québec s'est dotée d'une centrale de 1,1 MW en 1985 (Turner *et al.*, 1988). Les possibilités sont variées et il demeure important de bien étudier la ressource en place et les besoins de la collectivité qu'il faut combler. Généralement, le débit des rivières est plus important au printemps suite à la fonte des neiges et des pluies printanières abondantes (QEC, 2008b). Par contre, la consommation est plus grande en hiver et par temps froids alors que les débits sont plus faibles. Certains proposent de fermer les barrages hydroélectriques durant l'été afin de permettre l'accumulation d'eau (QEC, 2008c). Les

projets considérés à Iqaluit font mention de la présence d'un réservoir afin de pourvoir aux besoins hivernaux, mais les coûts requis sont si importants que la faisabilité d'un tel projet demeure incertaine pour l'instant. La construction d'un réservoir peut représenter à elle seule 50 % des coûts du projet. Toutefois, un projet au fil de l'eau ne pourrait pas satisfaire les besoins de la population durant la période froide, mais offre l'avantage de faciliter la construction et la mise en opération. Alors que l'hydroélectricité est une technologie bien adaptée au Yukon et aux Territoires du Nord-Ouest, celle-ci est limitée dans l'extrême arctique. Les conditions climatiques et les coûts importants limitent grandement l'utilisation d'une telle technologie (Weis, 2011).

De par leur localisation géographique, les régions nordiques imposent plusieurs contraintes environnementales. Non seulement le froid affecte toutes les étapes de réalisation du projet, mais l'absence de la ressource énergétique renouvelable rend quasi impossible l'implantation d'un tel projet. Il suffit de penser aux panneaux photovoltaïques qui sont non opérationnels lors des périodes de noirceur en hiver, caractéristiques des hautes latitudes. Une technologie fiable et une meilleure planification ne pourraient venir à bout des barrières causées par le manque d'ensoleillement et autres contraintes environnementales.

#### **4.3 Les barrières économiques**

À bien des égards, les difficultés économiques représentent de véritables freins à l'implantation de projets d'énergie renouvelable dans les régions nordiques canadiennes. La technologie reposant sur le diesel est maîtrisée dans les systèmes hors réseau, mais celle-ci peut coûter jusqu'à 10 fois plus cher que des systèmes conventionnels reliés aux réseaux nationaux d'électricité (Ah-You and Leng, 1999). Les frais encourus actuellement ne peuvent qu'augmenter suite au coût croissant du diesel et de la vétusté de plusieurs systèmes qui demandent plus de carburant par unité de puissance produite. Bien souvent, le manque d'investissement combiné aux coûts de fonctionnement des technologies d'énergie renouvelable ne soutient pas la comparaison avec les options traditionnelles et freine ainsi les investissements.

#### 4.3.1 L'absence d'économie d'échelle

Le manque de projets d'énergie renouvelable porte un préjudice à tous les autres projets qui pourraient voir le jour en régions nordiques. Le manque d'exemples de réussite et de cas concrets sur lesquels se baser pour démontrer la faisabilité de tels projets n'aide pas à la promotion des énergies renouvelables dans le nord (Maissan, 2011).

Un des freins majeurs au développement est l'absence d'économie d'échelle notamment dans le cas de petites éoliennes, mais aussi pour toutes sortes de projets de petite taille (*ibid*). Les promoteurs ne peuvent pas bénéficier des revenus économiques engendrés dans de tels développements comme il se fait au sud. Le capital d'investissement s'en voit grandement affecté. Ainsi, il est plus avantageux d'installer des parcs d'éoliennes plutôt qu'une seule éolienne puisque les coûts reliés à l'étude de faisabilité, au développement, aux études d'ingénierie sont répartis sur tous les revenus engendrés par la productivité des turbines. Par contre, sans moyen de stockage, l'énergie produite en surplus sera perdue et le projet perd de sa rentabilité (Weis and Ilinca, 2008). Au fil des années, le marché des grandes éoliennes s'est développé beaucoup plus rapidement que celui des moyennes et petites turbines, limitant les efforts et les investissements dans la recherche et le développement. Peu de fabricants font des éoliennes ayant une capacité de moins de 300 kW et le développement restreint du marché limite parfois les améliorations technologiques (CanWEA, 2006).

Dans le cas des barrages hydroélectriques, bien que cette technologie soit grandement utilisée au Canada et notamment au Yukon et aux Territoires du Nord-Ouest, celle-ci est absente du paysage de l'extrême nord du Canada. Le projet d'Iqaluit est toujours en cours d'étude alors que celui d'Inukjuak au Nunavik attend de sceller certains accords avec Hydro-Québec (Atagotaaluk, 2011). Le projet d'Iqaluit pourrait répondre aux besoins de la communauté de plusieurs milliers d'habitants, mais dans le cadre d'une collectivité isolée de quelques centaines d'habitants, est-ce que l'option d'un barrage hydroélectrique est viable? L'absence de ce genre de projet dans une petite communauté nordique canadienne ne permet pas de déterminer la faisabilité de telles infrastructures pour les communautés désireuses de se lancer dans un projet d'hydroélectricité.

### **4.3.2 L'absence d'investissement**

Le capital d'investissement au départ peut être très important. Peu importe la technologie, le projet doit être suffisamment important pour permettre des économies subséquentes et ainsi intéresser les investisseurs. Il est vital de former des partenariats entre les gouvernements, les producteurs d'électricité, les autorités provinciales et territoriales. La communauté ne peut à elle seule fournir les ressources financières nécessaires à la réalisation d'un tel projet.

Les coûts liés à la conception et à la maintenance des installations sont élevés pour de multiples raisons. Les conditions climatiques imposent certains ajustements techniques durant les phases préparatoires ainsi que les phases de construction et une main-d'œuvre qualifiée doit être disponible sur place en cas de bris afin d'éviter de faire venir des techniciens de l'extérieur (Maissan, 2006a). À cause du climat extrême en hiver et du manque d'employés d'entretien qualifiés, les équipements peuvent être sujets à de nombreux bris récurrents. En fait, ce qui entrave l'adoption des énergies renouvelables à une plus grande échelle sont les coûts, généralement élevés, la lenteur des approbations et des permis et le manque de connaissance du sujet à une échelle locale.

Au Nunavut, bien que l'implantation des éoliennes au courant des années 90 ait fait l'objet de financement, le manque récurrent d'investissement afin de soutenir l'opération et la maintenance des infrastructures a mené à l'arrêt des projets et au non-remplacement des appareils brisés (Ascher, 2002). Dans le cas de grandes infrastructures, le capital initial est très important et sans ce financement, le projet ne peut prendre forme. Le projet d'hydroélectricité à Iqaluit est reporté tant que les promoteurs n'auront pas obtenu le financement nécessaire (Veevee, 2011). L'investissement doit être soutenu tout au long des différentes phases d'un projet afin de pallier les difficultés rencontrées et de permettre au projet de perdurer.

### **4.3.3 L'engagement des gouvernements**

Le gouvernement fédéral se doit d'être un acteur plus sérieux dans le développement des énergies renouvelables puisque la question du bien-être des communautés autochtones

isolées concerne l'ensemble du pays. Même si le gouvernement fédéral n'est pas impliqué dans le contrôle des politiques sur l'électricité, il est engagé dans plusieurs projets de développement énergétique durable au pays. Plusieurs programmes incitatifs portant notamment sur l'éolien furent mis de l'avant afin de favoriser l'implantation des énergies renouvelables dans les régions nordiques. De 2003 à 2007, le gouvernement fédéral, via le ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada, a misé sur des actions en vue de réduire la consommation de diesel. En 2007, le programme ÉcoÉNERGIE a été lancé. Malgré les efforts, aucun de ces programmes n'a mené au développement de projets de couplage éolien-diesel. Plusieurs auteurs notent le manque de stabilité et de durabilité dans les politiques gouvernementales et suggèrent que les incitatifs financiers devraient être plus importants (Weis and Ilinca, 2010).

Des études ont démontré que des incitatifs de l'ordre de 0,15\$/kWh permettraient d'assurer la viabilité de plusieurs projets éoliens. Les projets impossibles à réaliser sont ceux qui demeurent toujours plus chers que le diesel, même tout au long de la durée de vie des installations. La mise en place d'incitatifs monétaires aide à réduire le risque financier afin d'encourager le développement de tels projets. La planification à long terme devrait être aussi grandement encouragée (CanWEA, 2006).

Une étude menée par Timothy Weis, scientifique travaillant à développer l'éolien en régions nordiques a démontré que si les incitatifs financiers se mesuraient à 0,15\$/kWh, 62 communautés nordiques pourraient être des candidates offrant un potentiel viable pour l'implantation de projets couplage éolien-diesel (Weis and Ilinca, 2010). L'exemple tend à démontrer que le financement de la moitié des 62 communautés coûterait annuellement 4,7 millions de dollars et permettrait des économies de l'ordre de 11,5 millions de dollars en terme de diesel non consommé en plus d'éviter le déplacement de près de 9,6 millions de litres de diesel sur une période de 10 ans.

Via les différentes agences responsables de la production et de la distribution d'électricité, des accords doivent être rapidement signés afin de permettre la vente de l'électricité produite. En prenant le cas du projet de barrage hydroélectrique à Inukjuak, malgré l'appui

de la population et la réalisation de toutes les études de faisabilité requises, le projet est au point mort puisque les gestionnaires attendent de régler les accords portant sur la vente de l'électricité à Hydro-Québec (Atagotaaluk, 2011). Ces accords sont nécessaires puisque la communauté gère le projet, mais l'approvisionnement énergétique demeure une responsabilité de la société d'État. Les différentes sociétés responsables de la production, de la transmission et de la distribution d'électricité doivent être impliquées dans le projet dès le départ afin de planifier et de régler les différents accords en temps voulu.

Un engagement des gouvernements à long terme permettrait la réduction de certaines barrières, dont celle reliée aux coûts (*ibid.*). Actuellement, une réglementation déficiente n'encourage pas l'implantation de tels projets. Le gouvernement doit mettre en place une réglementation favorable aux énergies renouvelables afin d'encourager et de faciliter leur développement (Bailie *et al.*, 2007). Malheureusement, les questions politiques et budgétaires étant sensibles aux aléas dans l'exécutif de notre gouvernement, certains changements peuvent compromettre la nature des programmes et les montants accordés.

#### **4.4 Les barrières logistiques**

Malgré l'existence de projets qui perdurent à certains endroits, notamment en Alaska et au Yukon, les entraves et freins logistiques à ce type de développement sont grands. Une meilleure approche et compréhension des défis logistiques et technologiques permettra d'augmenter la faisabilité de tels projets. Afin d'éviter les échecs récurrents, des études de préfaisabilité et de faisabilité sont nécessaires. Ces études permettent d'analyser en profondeur le terrain ciblé et les possibilités de succès d'un projet, mais nécessitent argent, implication et planification de la part des promoteurs.

##### **4.4.1 L'éloignement**

Premièrement, la situation géographique des communautés isolées des régions nordiques canadiennes ne facilite en rien l'implantation des énergies renouvelables. Les distances à couvrir sont importantes et le transport est limité par l'absence de routes praticables en hiver. Il en va de même pour les voies maritimes bloquées par les glaces durant la saison hivernale. Le transport aérien reste coûteux et vulnérable aux aléas du climat (Nepetaypo *et*

*al.*, 2010). L'éloignement impose une hausse des coûts sur tous les aspects d'un projet. Les matériaux utilisés lors de la construction coûteront plus cher et une main-d'œuvre spécialisée devra aussi se déplacer. En cas d'absence de machinerie lourde déjà sur place, celle-ci devra être transportée par voies terrestre et maritime, au courant de la saison estivale.

Dans le cas des éoliennes, une grue peut s'avérer nécessaire pour le montage de la tour. La figure suivante présente l'installation de la deuxième turbine à Haeckel Hill. La proximité de la route a grandement facilité le déplacement de la machinerie et la mise en place d'une éolienne plus puissante. Dans le cas de Kotzebue en Alaska, la taille des éoliennes était limitée par la présence d'une grue et tout le matériel nécessaire à la phase de construction a dû être envoyé sur les lieux (KEA, s. d.a).



**Figure 4.2 Installation de la deuxième éolienne à Haeckel Hill, Yukon**

(Tirée de Maissan, 2001)

#### 4.4.2 Les défis technologiques

La survie et la longévité de tels projets dépendent de l'adaptabilité des technologies à l'environnement hostile du nord. Le choix de la technologie la mieux adaptée pour un plan particulier dépend de plusieurs facteurs qui doivent être étudiés lors de l'examen de préfaisabilité, tels que les buts énergétiques recherchés, qui est responsable du projet et de la distribution, quel est le budget impliqué et toute autre question auquel il faut répondre (CEC, 2010).

Dans le cas de l'éolien, des instruments de chauffage doivent être installés près des instruments de mesure du vent ainsi qu'à proximité des composantes internes de l'appareil, tels la boîte de vitesses et les circuits électroniques. Le givre sur les pales pourra être réduit à l'aide de bandes chauffantes et de matériaux de recouvrement noirs. Un parc de petites éoliennes offre l'avantage de réduire les fluctuations du courant électrique et d'améliorer le rendement en plus d'assurer une meilleure efficacité du réseau. Les plus petites turbines peuvent aussi offrir l'avantage d'être plus facilement réparables en cas de bris. Le design des tours comporte aussi plusieurs difficultés à surmonter, notamment lors de l'installation. Les tours en treillis nécessitent moins de fondation, de points d'ancrage et s'avèrent moins cher. Par contre, leur surface est vulnérable au givre dans les régions où ce phénomène météorologique est fréquent (Maissan, 2006b).

Un système dit à faible pénétration fournira entre 10 % et 15 % des besoins en électricité de la communauté, sans imposer de changement majeur dans le réseau déjà existant (Weis and Ilinca, 2008). Les génératrices fonctionnant au diesel doivent être en mesure de répondre aux fluctuations sur le réseau en provenance des éoliennes. L'un des désavantages d'une pénétration faible est que le coût par kWh va être plus élevé parce qu'il n'y aura pas d'économie d'échelle (Maissan, 2006b).

Dans les régions où les éoliennes peuvent fonctionner sur une base régulière, la consommation de diesel chute lorsque les vents sont favorables. Des économies de diesel à hauteur de 25 % sont à prévoir, mais cette situation engendre des fluctuations de puissance sur le réseau et demande un meilleur contrôle des génératrices. De grandes quantités

d'énergie peuvent ainsi être perdues, afin d'éviter les surcharges. L'installation de batteries peut être utile à long terme et le diesel économisé peut rentabiliser ce type de projets.

Dans le cas d'une forte pénétration d'éoliennes, le système peut fournir de 25 % à 50 % de l'énergie. La génératrice au diesel peut être fermée complètement en temps très venteux. L'équipement nécessaire doit être plus sophistiqué et le surplus d'énergie fourni par le vent pourrait être transformé en chauffage. Dans le cas des systèmes à très forte pénétration, l'énergie fournie par l'éolien peut combler tous les besoins de la communauté. Les génératrices sont utilisées seulement dans le cas où le vent est faible ou lorsque la demande excède ce que le vent peut fournir. Ce type de système permet d'effectuer de véritables économies de diesel entraînant une réduction significative des coûts liés au système des génératrices. Toutefois, il faut trouver des systèmes de stockage lors de surplus de production et opter pour la perte de cette énergie via des soupapes afin de maintenir la fréquence et le voltage dans le système (Weis and Ilinca, 2008).

Le solaire est une technologie bien adaptée aux grandes installations et pourrait être de plus en plus utilisé en raison des améliorations technologiques et la diminution des coûts (Nepetaypo *et al.*, 2010). L'efficacité des panneaux solaires dépend aussi de leur capacité à être entretenus de façon régulière en cas de chute de neige afin de faciliter l'absorption de l'énergie en provenance du soleil. L'hydroélectricité est aussi confrontée à des difficultés d'ordre technologique. La construction peut s'échelonner sur plusieurs mois, entraînant certaines contraintes en période hivernale. De plus, la santé et la sécurité des employés doivent être assurées. Selon les types d'infrastructures, les besoins pour la maintenance peuvent être importants, sans toutefois être créateurs de beaucoup d'emplois.

Deux facteurs peuvent grandement encourager de tels développements. L'augmentation continue du prix du diesel qui ne cesse d'être une charge économique de plus en plus lourde pour les communautés en est un, de même que les organismes gouvernementaux qui subventionnent grandement l'électricité et le chauffage. De plus, la réduction des coûts d'opération et de maintenance au fur et à mesure que de tels projets seront déployés dans les communautés nordiques éloignées pourra favoriser ces nouvelles mesures énergétiques.

L'étude des projets existants a démontré que malgré les échecs au Nunavut, l'énergie éolienne demeure relativement bien adaptée aux conditions nordiques. De nombreuses entreprises canadiennes se sont spécialisées dans la conception de petites éoliennes de faible puissance et le fait de stimuler le marché ne pourra qu'encourager davantage la recherche et le développement de technologies adaptées aux régions nordiques (CanWEA, 2006). Le succès de l'implantation à Kotzebue en Alaska démontre la faisabilité de tels projets, mais illustre aussi la nécessité de préparer rigoureusement le projet et d'impliquer les institutions locales. La KEA, responsable de la production et de la distribution d'électricité s'est engagée à promouvoir les énergies renouvelables tout en continuant à offrir une électricité à un prix raisonnable. La réussite de tels projets dépend grandement de l'engagement, à tous les niveaux de la communauté (KEA, s. d.b).

Les connaissances maîtrisées sur les barrages hydroélectriques pourraient permettre le développement de cette technologie dans les régions de l'extrême nord, mais l'absence de projets dans cette région n'encourage pas son implantation. Les investissements sont importants et les infrastructures à construire restent imposantes et peuvent repousser les investisseurs. La nécessité d'étudier les différentes options et de prendre connaissance du terrain permet de choisir la technologie la mieux adaptée à chaque situation.

#### **4.5 Les barrières sociales**

La plupart des grands projets énergétiques, notamment dans les régions en présence d'un réseau de transmission électrique déjà établi, sont gérés par de grandes sociétés d'État en dehors du contrôle des communautés et des citoyens. Selon certains spécialistes de la gestion participative, une approche centrée et implantée au sein de la communauté pourrait permettre de favoriser une vision de développement énergétique à plus long terme. En prenant l'exemple du barrage hydroélectrique à Inukjuak, celui-ci reçoit un très grand appui de la communauté, en plus d'être géré par celle-ci (PLC, 2010). Toutefois, la gestion par la communauté ne permet pas de pallier tous les défis sociaux présents dans la réalisation d'un tel projet.

#### **4.5.1 L'acceptabilité du projet**

Les grands projets énergétiques peuvent rencontrer de la résistance venant de la communauté. Afin de limiter de tels impacts négatifs, les infrastructures doivent être implantées à une certaine distance du village afin de limiter les impacts visuels et sonores. De plus, il est primordial d'éviter les endroits ayant une forte signification culturelle pour la communauté. Néanmoins, il faut trouver le lieu parfait ayant un bon accès aux ressources renouvelables, ni trop près, ni trop loin de la collectivité. Des études d'impacts doivent être réalisées afin de déterminer les risques encourus pour la faune et les activités de chasse et de pêche. Afin de favoriser l'acceptation de la communauté, celle-ci doit être impliquée à tous les niveaux, allant de la planification à la maintenance (Nepetaypo *et al.*, 2010).

Toutefois, la participation citoyenne peut se heurter à plusieurs problèmes. Le manque d'infrastructure régionale, le manque de pratique de management, la faible population, la faible capacité de prise en charge des projets par de petites communautés sont autant de facteurs qui limitent la faisabilité des projets dans les collectivités hors réseau (Thompson and Duggirala, 2009). De plus, le capital d'investissement de départ peut être énorme et les communautés ne disposent généralement pas des fonds nécessaires.

#### **4.5.2 La formation**

L'opération et la maintenance des installations doivent souvent être réalisées par des spécialistes venant de l'extérieur ou par des personnes formées dans le domaine, habitant la communauté. Peu importe la situation, celle-ci entraîne une augmentation des coûts. La formation prend du temps à se faire et nécessite l'apport d'experts et de professionnels en la matière. Inversement, faire venir des opérateurs pour assurer la maintenance ou pour réparer les bris peut s'avérer coûteux (Weis and Ilinca, 2010). Les coûts vont varier d'une communauté à une autre, selon notamment son éloignement, son degré d'isolation et la disponibilité de la ressource à proximité (St. Denis and Parker, 2009). Certains concepteurs préfèrent offrir le service d'opération et de maintenance, mais cette situation engendre des coûts supplémentaires et ne met pas à l'abri la communauté des bris et des difficultés liées à l'éloignement de la communauté. Au Nunavut, le contrat d'entretien des éoliennes

ne couvrait qu'une période limitée et suite à des bris, la communauté n'a pas été en mesure d'effectuer les réparations nécessaires, menant à l'arrêt des opérations (Ascher, 2002).

La compréhension de la technologie et l'accès à une main-d'œuvre formée à proximité peuvent constituer un gage de réussite du projet (Bailie *et al.*, 2007). Les personnes actuellement impliquées dans l'opération des génératrices pourraient acquérir les connaissances et les compétences nécessaires à la maintenance des nouvelles technologies renouvelables. Toutefois, le développement de filières énergétiques récentes ne constitue pas une panacée en termes de création d'emplois (Maissan, 2006a). Les étapes de construction vont créer des emplois temporaires, mais les activités de maintenance régulières ne génèrent pas de nombreux emplois. Néanmoins, les difficultés rencontrées lorsqu'il faut faire venir des travailleurs de l'extérieur et les coûts engendrés ne peuvent qu'encourager la formation et la sensibilisation du personnel résidant sur place.

#### **4.5.3 La croissance démographique**

Tel que mentionné précédemment, la population des communautés nordiques est grandissante et jeune. En effet, 35 % de la population inuit est âgée de moins de 15 ans (*Inuit Tapiriit Kanatami*, 2008). Cette situation illustre l'importance de la croissance démographique et de l'influence de celle-ci sur les besoins énergétiques présents et futurs. Il est nécessaire de faire le suivi de l'évolution démographique afin de développer des projets qui seront en mesure de répondre à l'augmentation des besoins des habitants. Cette contrainte impose de réaliser des études statistiques sur la population, mais présente l'avantage de proposer un projet réaliste, adapté aux spécificités des communautés.

#### **4.5.4 Les subventions**

L'énergie au nord est grandement subventionnée par l'État à cause notamment de son coût exorbitant et de la grande proportion de logements sociaux, subventionnés par ce dernier. En fait, bien que le coût de l'électricité puisse être de 5 à 10 fois plus élevé que celui observé au sud de plusieurs provinces canadiennes, les résidents ne défraient qu'une fraction du coût total de leur facture d'électricité et de chauffage (Weis and Maissan, 2007; Cloutier, 2011). Étant donné l'importance de la charge économique que cela représente

pour les résidents, il est normal qu'une grande proportion des frais soit à la charge de l'État, mais cette situation présente aussi un effet pervers. Les habitants ne sont pas conscients de la valeur monétaire réelle de leur consommation énergétique, ni de l'importance de prendre des mesures pour réduire l'usage de l'énergie. Payer une proportion plus importante de la facture énergétique pourrait permettre de considérer la valeur de l'énergie et de mettre en pratique davantage de moyens pour la conserver. Néanmoins, les revenus familiaux étant généralement faibles, les autorités publiques ne peuvent surcharger les résidents et devraient plutôt se tourner vers des mesures de réduction par la sensibilisation et trouver des moyens de production alternatifs.

Finalement, trop de barrières se mettent au travers des projets d'énergies renouvelables et imposent aux gestionnaires et aux promoteurs de présenter des solutions qui seront en mesure de contrer les difficultés rencontrées. Malgré les défis préalablement présentés, quelques projets établis dans l'extrême nord sont couronnés de succès et constituent de véritables exemples à suivre. L'avenir des énergies renouvelables dans les régions nordiques canadiennes est prometteur si les obstacles peuvent être surmontés. Le prochain chapitre présente une discussion ainsi que quelques recommandations qui pourraient aider les gestionnaires à réfléchir sur la façon dont ils entrevoient le développement énergétique des régions nordiques canadiennes.

## **5 DISCUSSION SUR LE PAYSAGE ÉNERGÉTIQUE DES RÉGIONS NORDIQUES**

L'implantation des énergies renouvelables en milieu arctique fait face à de nombreuses barrières qui ne facilitent en rien leur développement. Tel que vu précédemment, les défis se manifestent sous plusieurs formes, tant environnementales, sociales, économiques et technologiques et freinent la mise en œuvre de projets énergétiques durables. Certaines barrières peuvent être contournées et des solutions peuvent être apportées, mais la réalité du nord demeure. Les communautés sont isolées et éloignées les unes par rapport aux autres, la demande énergétique demeure faible et les habitants ne sont pas formés de façon à assurer l'opération et la maintenance d'un projet hautement technologique.

Le troisième chapitre de cet essai fait malheureusement état de nombreux cas où le projet n'a pu être réalisé pour de multiples raisons. Les projets sont complexes et peuvent s'avérer dispendieux. Ce ne sont pas toutes les technologies d'énergie renouvelable qui s'appliquent à un contexte nordique et les autorités en place préfèrent encore se fier à la production d'électricité via l'utilisation de produits pétroliers, car bien que polluante, cette technologie est maîtrisée. Le manque de réussite peut être pallié par la mise en place de mesures incitant la recherche et le développement de façon à rendre réaliste l'installation des énergies renouvelables dans le nord.

Toutefois, dans la mesure où des recommandations peuvent être émises dans le cadre de cet essai, celles-ci se veulent plutôt l'occasion de partager idées sur des pistes de réflexion en vue de repenser le développement des énergies renouvelables. D'innombrables spécificités propres aux communautés des régions nordiques n'ont pu être considérées dans le présent texte. Les recommandations qui vont suivre sont faites dans le but d'assurer une meilleure stratégie énergétique qui pourrait être employée pour les années à venir. Il s'agit de voir si l'implantation de projets basés sur certaines énergies renouvelables est la meilleure option pour ces régions ou si d'autres mesures d'efficacité énergétique pourraient permettre une réduction de la consommation de produits pétroliers et des coûts liés à l'utilisation des génératrices.

## 5.1 Retour sur les barrières à l'implantation de projets

Le tableau suivant présente un résumé des principales barrières freinant la mise en œuvre de projets, telles que mentionnées au chapitre précédent. Selon la situation géographique des communautés et le choix de la technologie en énergie renouvelable pouvant être utilisée, certains défis d'implantation s'avèrent plus importants que d'autres.

**Tableau 5.1 Barrières à l'implantation des énergies renouvelables**

<b>Barrières à l'implantation des énergies renouvelables en régions nordiques</b>			
<b>Barrières environnementales</b>	<b>Barrières économiques</b>	<b>Barrières logistiques</b>	<b>Barrières sociales</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Conditions climatiques</li><li>▪ Disponibilité de la ressource</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Absence d'économie d'échelle</li><li>▪ Investissement</li><li>▪ Engagement des gouvernements</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Éloignement</li><li>▪ Technologie adaptée au milieu nordique</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Acceptation du projet par la communauté</li><li>▪ Formation</li><li>▪ Croissance démographique</li><li>▪ Subventions</li></ul>

Ces barrières, sans ordre d'importance particulier participent toutes à rendre complexe l'implantation des énergies renouvelables dans le nord. La réalité nordique impose des contraintes que l'on ne retrouve pas nécessairement ailleurs dans les régions méridionales du Canada. Les habitants des régions nordiques doivent composer avec des conditions de vie extrêmes. Leur établissement dans un paysage hostile et éloigné fait craindre qu'aucun projet de développement ne puisse être envisageable en raison de l'éloignement, des hauts risques technologiques, de manque de financement et de support technique au sein de la population. Toutefois, des actions peuvent être menées de front de façon à encourager les développements d'énergie renouvelable dont la communauté pourra bénéficier.

Cependant, les barrières préalablement mentionnées ne doivent pas être étudiées et évaluées de façon séparée, mais doivent faire partie d'un tout. Les gouvernements, les instances municipales et les communautés doivent se doter d'une stratégie énergétique à long terme qui met les énergies renouvelables et les mesures de conservation de l'énergie au centre du développement socio-économique de ces milieux. Il ne suffit pas d'essayer de contrer chaque difficulté par un moyen particulier, mais il est nécessaire d'emboîter le pas en

direction du changement et de mener plusieurs actions de front en matière de développement énergétique durable.

## 5.2 Les recommandations générales

En vue de repenser les modèles énergétiques existants, certaines approches peuvent être utilisées de façon générale afin de faciliter la mise en place de nouvelles mesures énergétiques. Si certaines communautés nordiques souhaitent se tourner vers des moyens de production d'énergie alternatifs, plusieurs raisons peuvent motiver ce choix. Les coûts trop élevés, la pollution engendrée par l'utilisation de produits pétroliers, une vulnérabilité grandissante face à des combustibles fossiles de plus en plus chers. Néanmoins, avant de se lancer rapidement dans tel un projet, il s'avère pertinent de pousser la réflexion plus loin et de voir comment la collectivité peut modifier son paysage énergétique.

Premièrement, il est primordial que chaque communauté élabore un plan énergétique détaillant l'utilisation actuelle, les coûts et les prévisions futures. Cette étape assure que les objectifs du futur plan énergétique correspondent à ceux de la communauté. Les gestionnaires peuvent suivre un plan d'action afin de guider leur réflexion dont voici un exemple.

**Tableau 5.2 Exemple d'actions pour un plan énergétique**

Étapes	Actions
1	Augmenter l'efficacité des génératrices en place. Mettre en place des machines plus récentes, utiliser des produits pétroliers plus propres et intégrer des meilleurs systèmes de contrôle
2	Utiliser la chaleur produite par les génératrices comme chaleur résiduelle
3	Utiliser des équipements à faible consommation en vue de réduire la quantité de produits consommés
4	Envisager la création de chaleur et d'électricité par d'autres moyens (énergie éolienne, énergie solaire, hydroélectricité)

(Inspiré de QEC, s. d.).

Pour une communauté, il est plus économique de trouver des moyens de réduire sa consommation que de construire de nouvelles infrastructures. Le plan énergétique pourrait

donc présenter les mesures pour réduire ou minimiser l'utilisation quotidienne d'énergie et améliorer le rendement des équipements installés. Il faut toujours se demander qu'est-ce qui peut être réalisé à coût moindre tout en permettant des économies substantielles de diesel. Chaque nouveau projet doit faire l'objet d'études de préfaisabilité afin de connaître les besoins économiques ainsi que la disponibilité de la ressource locale. Il faut vérifier que la ressource renouvelable et la main d'œuvre soient disponibles à long terme dans la gestion du projet. Il est nécessaire d'évaluer et de comprendre la nature des ressources locales. Il faut que celles-ci soient à proximité de la collectivité. La présence d'une ressource minimale en vent ou en débit d'eau permet d'assurer la réalisation d'un projet. La ressource peut varier aussi en fonction du moment de la journée et de l'année. Il est primordial de tenir compte de ces spécificités afin de proposer un projet qui sera bien adapté à la réalité locale

Par la suite, il faut s'assurer que les projets proposés pourront facilement s'insérer dans le réseau électrique local afin d'éviter toute surcharge économique due à la construction de nouvelles infrastructures de transmission ou de distribution qui n'avait pas été planifiée au début du projet. Il est important d'obtenir tous les permis et certifications d'autorisation nécessaires. L'évaluation des impacts environnementaux est vitale et nécessaire à l'acceptation du projet par la communauté. Étant donné que certains lieux sont des territoires de pêche et de chasse importants pour la communauté et que ceux-ci peuvent avoir une forte connotation culturelle. De plus, ces études permettent de définir l'usage du territoire et d'éviter les interférences avec les activités aéroportuaires, notamment dans le cas des éoliennes. Lors de l'étude de la faisabilité économique, l'analyse des coûts doit tenir compte des frais encourus à toutes les étapes, de la planification jusqu'à la maintenance. Il faut limiter les surprises dues à des coûts non calculés afin de proposer un budget réaliste (Weis and Cobb, 2008).

L'implication de la communauté est essentielle pour assurer la durabilité des projets sur le long terme et leur développement doit se faire à une échelle locale avec la participation de la communauté à toutes les étapes. Cette situation crée de la richesse et des bénéfices tant environnementaux que sociaux pour la communauté. Le projet peut aussi favoriser la

création de quelques emplois à court et à long terme et l'accès à des sources d'énergie variées peut aussi favoriser l'implantation de nouvelles activités économiques dans la région (St. Denis and Parker, 2009).

De plus, il faut assister les communautés dans leurs moyens de diversifier leur production d'électricité et ainsi stabiliser la charge économique que l'approvisionnement énergétique représente. Par le fait même, ceci encourage l'industrie canadienne à développer de nouveaux types d'infrastructures d'énergies renouvelables adaptées aux conditions nordiques et aux besoins de petites communautés, tout en aidant les communautés à bâtir leur capacité à gérer la mise en place d'un projet ainsi que les opérations de maintenance appropriées.

### **5.3 Les mesures d'efficacité énergétique**

Tout d'abord, la première étape que la communauté peut entreprendre est d'étudier les mesures d'efficacité énergétique et voir comment les infrastructures en place peuvent être optimisées. Des études coûts-bénéfices doivent être réalisées afin de faire le choix de mesures ayant le maximum d'impacts positifs à peu de frais.

Par exemple, au Nunavut, les systèmes pour le chauffage des espaces et de l'eau sont relativement vieux et ne répondent plus aux standards d'efficacité moderne. L'achat de nouveaux équipements pourrait permettre une économie de carburants de l'ordre de 15 à 30 % (*Government of Nunavut, 2007b*). De plus, certaines communautés se sont tournées vers la récupération de chaleur résiduelle dégagée lors de la production d'électricité par les génératrices. Certains projets attendent du financement afin de poursuivre le développement de telles installations. Dans le cas où les équipements en place sont vétustes, les génératrices peuvent être en partie remplacées par des chaudières, beaucoup plus performantes pour la production de chauffage et d'eau chaude (Cloutier, 2011). Au Nunavik, Hydro-Québec offre un soutien financier pour ses clients qui font le choix des chaudières au mazout et impose même des frais supplémentaires à ceux qui souhaitent quand même installer un système de chauffage électrique. Il est avantageux de faire le changement, surtout lorsque l'on considère que la portion de l'utilisation de l'énergie

attribuable au chauffage de l'eau et de l'espace représente plus de 50 % de la consommation (*ibid*).

Les stratégies énergétiques adoptées au Yukon, aux Territoires du Nord-Ouest et au Nunavut comportent toutes une section sur l'efficacité et la conservation énergétique. Elles mettent de l'avant une plus grande sensibilisation des habitants, la mise en place de programmes et de partenariats afin d'assurer une réduction de la consommation. L'efficacité énergétique fait définitivement partie des plans de développement durable et pourrait s'avérer dans plusieurs cas une option réaliste et faisable pour plusieurs communautés (*Government of Yukon, 2009; Government of the Northwest Territories, 2006a; Government of Nunavut, 2007a*).

Actuellement et en fonction des informations recueillies tout au long de cet essai, les mesures d'efficacité énergétique sont l'une des premières options que les gouvernements souhaitent adopter. Ils font la promotion d'articles moins énergivores et de bâtiments plus écoénergétiques. Même si ce choix ne constitue pas une énergie renouvelable à proprement parler, il ouvre la porte à une meilleure gestion de l'énergie au sein des collectivités nordiques.

#### **5.4 Les énergies renouvelables**

Le développement des énergies renouvelables présente de nombreux avantages, en dépit des difficultés d'implantation. Une communauté qui fait ce choix pourra profiter de plusieurs bénéfices environnementaux, économiques et sociaux. Néanmoins, l'utilisation des génératrices fonctionnant aux produits pétroliers présente l'avantage d'être fiable et de répondre rapidement aux fluctuations de la demande. Les communautés doivent se demander si elles sont prêtes à faire le choix des énergies moins polluantes et d'opter pour le changement et la nouveauté (CEC, 2010). Toutefois, en raison de la forte croissance démographique observée dans le nord, l'industrie des énergies renouvelables peut devenir un important partenaire dans le développement durable de ces régions.

L'utilisation des énergies renouvelables possède de nombreux avantages. La réduction de la consommation de produits pétroliers permet de réduire les émissions de GES engendrées par les génératrices, tout comme le bruit. Le fait d'impliquer la communauté dans un projet énergétique alternatif pourrait avoir comme bénéfice d'aider les gens à prendre conscience des coûts environnementaux associés à la production d'électricité et de la nécessité d'adopter des gestes de réduction de leur consommation. Étant donné l'importance des infrastructures liées au transport et à la distribution de produits pétroliers, toute réduction de la consommation aura des impacts positifs sur la qualité de l'environnement et sur le budget alloué à l'achat de cette énergie importée. Le développement des énergies renouvelables offre l'opportunité pour la communauté de s'impliquer et de développer ses habiletés de gestion en vue d'implanter des projets dans l'avenir. En impliquant la communauté, le projet pourra être plus facilement accepté. Par la suite, le projet peut permettre la création de quelques emplois à long terme offrant une formation sur place afin de bénéficier de support technique au sein même des communautés pour assurer le bon fonctionnement et les réparations nécessaires pour de tels matériaux.

Les avantages sont nombreux, mais toute démarche vers les énergies renouvelables doit être précédée par des études, des analyses qui permettront de déterminer les avantages et les coûts d'un projet. Il est fort probable que certains développements ne s'avéreront pas économiquement rentables et viables. Le troisième chapitre fait état de nombreux échecs lors de l'implantation de nouvelles technologies en énergies renouvelables. Plusieurs raisons peuvent expliquer ces insuccès, mais les réussites du passé démontrent la faisabilité de tels projets.

#### **5.4.1 Choisir la meilleure ressource renouvelable**

En fonction des projets étudiés, certains constats peuvent être dégagés. Premièrement, une des énergies renouvelables les plus couvertes dans la littérature scientifique et celle qui semble la mieux adaptée aux conditions arctiques est sans contredit l'éolien. Plusieurs experts tels que John Maissan et Timothy Weis se penchent sur la question et travaillent à faire tomber les barrières qui limitent l'implantation de tels projets en terrains nordiques canadiens. Étant donné le succès de Kotzebue en Alaska, les éoliennes couplées aux

systèmes fonctionnant au diesel s'avèrent être une option intéressante. De plus, près de la moitié des fabricants de petites éoliennes sont canadiens, ce qui peut ainsi encourager la recherche et le développement au sein de ces entreprises (Maissan, 2006b). Des projets comme celui de Haeckel Hill au Yukon ont misé sur l'implantation d'une seule éolienne au départ afin d'apporter les ajustements nécessaires en vue d'encourager l'implantation d'autres infrastructures. Toutefois, tous les projets éoliens développés au Nunavut ont pris fin, mais il s'avère extrêmement pertinent d'étudier les raisons qui ont mené à ces échecs afin d'en tirer des leçons et d'éviter de refaire les mêmes erreurs.

Du côté de l'hydroélectricité, il ne fait aucun doute qu'il s'agit d'une technologie grandement utilisée et maîtrisée au Canada. Néanmoins, elle est absente du paysage arctique canadien. Les deux projets en cours, soient celui d'Iqaluit et celui d'Inukjuak sont arrêtés par manque de financement et de partenariat avec les sociétés responsables de la distribution de l'électricité. De plus, les coûts extrêmement élevés des projets étudiés ne facilitent en rien ce genre de développement. Étant donné l'importance des infrastructures à mettre en place afin de pourvoir au faible débit des rivières en hiver, la présence d'un barrage s'impose souvent dans les plans, entraînant une augmentation des coûts et des impacts sur le milieu naturel. Pour les différentes raisons mentionnées dans les chapitres précédents l'hydroélectricité, malgré la longévité des infrastructures et la capacité de fournir de grandes quantités d'énergie semble rencontrer de nombreuses barrières difficilement surmontables.

Le solaire, tant passif qu'actif peut être aussi une solution intéressante à envisager. La longévité du panneau solaire photovoltaïque installé à Iqaluit depuis plus de 15 ans laisse présager que cette technologie peut être bien adaptée aux régions nordiques (*Government of Nunavut*, 2007b). Les nouvelles constructions devraient adapter des méthodes en lien avec le solaire passif, mais il est clair que ces technologies ne possèdent pas un potentiel énorme étant donné le faible ensoleillement qui caractérise l'hiver arctique. Néanmoins, il s'agit d'une technologie qui possède un potentiel intéressant particulièrement lors de la construction de nouveaux bâtiments.

Certaines autres technologies semblent posséder un potentiel intéressant. Des projets comme celui utilisant la géothermie à Ft. Liard, devront être suivis de près afin de mesurer leur efficacité et leur pertinence. Si le projet s'avère concluant, la géothermie pourrait posséder un avenir intéressant dans les régions nordiques. Seul le temps pourra nous dire si les bénéfices et les avantages valent l'investissement. Néanmoins, il ne faut pas oublier que la disponibilité de la ressource et de la machinerie capable de mettre en place de telles infrastructures influence la possibilité de rendre réel un tel projet.

Concernant l'énergie des vagues et des marées, l'Alaska a cartographié son potentiel énergétique, mais rien ne semble avoir été entrepris en ce sens dans le nord du Canada. Par contre, il est clair que la présence de glaces une bonne partie de l'année pourrait entraîner des bris majeurs et rendre l'opération et la maintenance des installations très complexes. Il est normal de douter de la pertinence de cette technologie renouvelable dans le nord alors qu'elle possède un potentiel intéressant dans d'autres régions du globe.

La gestion des déchets présente un enjeu important pour les autorités municipales et les récentes progressions en matière de biométhanisation et de gazéification pourraient dans un avenir rapproché aider à développer des modèles adaptés au nord. Ces technologies possèdent un potentiel très intéressant et des compagnies canadiennes, comme Enerkem, pourraient, dans un avenir prochain, développer des infrastructures de plus petite taille. La production de carburants de synthèse permettrait de faire d'une pierre deux coups en gérant les déchets tout en générant de l'énergie.

En conclusion, lorsqu'il est question de revoir le paysage énergétique du Grand Nord, même les spécialistes des différentes technologies s'entendent pour dire que les mesures d'efficacité énergétique et de conservation sont prioritaires au développement des énergies renouvelables. En fait, les communautés devraient entreprendre de réduire leur consommation en premier lieu. Néanmoins, tel que mentionné précédemment, les énergies renouvelables ont un avenir dans le nord et les sections suivantes présentent quelques recommandations pouvant aider à faciliter leur implantation et leur développement.

## 5.5 S'adapter au milieu physique

Le chapitre précédent mentionnait les spécificités environnementales des régions nordiques canadiennes qui rendent difficile l'implantation de projets d'énergie renouvelable. Le froid extrême, le faible ensoleillement, les changements et la fonte du pergélisol, la saison estivale très courte et bien d'autres particularités du climat arctique qui imposent d'autres types de contraintes.

Il est nécessaire, voire inévitable de prendre en considération ces aspects météorologiques et de modifier en conséquence les caractéristiques d'un projet afin de proposer des plans adaptés à la réalité nordique. Une bonne connaissance du terrain est gage de réussite. Une préparation étalée sur plusieurs mois et une collaboration avec les habitants des communautés ciblées permettent de prendre conscience du terrain. Par contre, aucune action ne peut contrer le froid, la glace et l'éloignement de ces collectivités. Il faut faire avec la réalité du terrain, mais la réussite de différents projets au Yukon, au nord de l'Alaska et au Nunavut démontre la faisabilité et l'existence de technologies adaptées à de telles conditions météorologiques extrêmes.

Les études sur le potentiel d'utilisation de la ressource sont nécessaires afin de proposer un projet qui tienne compte de leur disponibilité. Néanmoins, il faut considérer de nombreux éléments. Même si la ressource est présente, il faut trouver des moyens de l'utiliser avec les méthodes en place dans les communautés. Tel que mentionné au chapitre précédent, l'absence de grues et de machinerie aptes à ériger certains types de tours d'éoliennes peut limiter l'accès aux bons régimes de vents, surtout quand il a été démontré que la puissance du vent augmente avec l'altitude (Pinard, 2007). Il en est de même pour l'hydroélectricité. Les faibles débits de rivière en hiver ne peuvent répondre aux besoins des communautés concernées. La construction de barrages s'avère dans bien des cas nécessaire, mais les coûts augmentent, de même que l'ampleur des infrastructures à construire, alors que le temps de construction reste limité par la courte période estivale.

Il n'existe pas mille solutions pour pallier le manque ou la non-disponibilité d'une ressource énergétique renouvelable à un endroit précis. Il ne faut pas oublier que celle-ci

doit être située à proximité des communautés concernées afin d'éviter la construction de nouvelles lignes de transmission. L'analyse des coûts versus les bénéfices doit démontrer le réalisme des projets. Il est très probable que dans certains cas, les bénéfices ne pourront jamais couvrir les coûts. Dans ce cas, d'autres options énergétiques peuvent être envisagées de façon à réduire la consommation de produits pétroliers.

## **5.6 L'investissement**

Les barrières économiques sont probablement celles qui mettent les plus nombreux obstacles sur la route des énergies renouvelables. Plusieurs acteurs du domaine déplorent le manque de financement et s'entendent pour dire que davantage d'argent doit être investi via différents programmes afin de supporter le développement énergétique durable (Maissan, 2011; Veevee, 2011).

Néanmoins, une des plus grandes problématiques vécues dans le nord pouvant être difficilement résolues est le manque d'économie d'échelle en milieux nordiques. Cette situation affecte tout type de développement puisque les promoteurs ne peuvent bénéficier de la baisse du coût unitaire des produits en augmentant leur quantité. Bien que les régions assistent à un accroissement de la population, la réalité de celles-ci ne pourra probablement jamais se comparer à celle des collectivités du sud. Il s'agit d'une barrière difficilement surmontable. La réalité du nord est telle qu'il faut faire avec et trouver des solutions qui sont bien adaptées. Le développement de parcs éoliens de grande envergure comme dans le sud du Canada ne pourra probablement pas voir le jour dans le nord. La demande ne peut supporter de telles infrastructures et le manque de machinerie lourde ne pourra permettre la construction de telles structures. Néanmoins, des entreprises ont développé une expertise dans la conception des petites éoliennes et constituent des partenaires de choix pour les communautés nordiques.

### **5.6.1 Impliquer les grands joueurs**

Puisque les petites communautés ne représentent pas un grand marché, d'autres acteurs économiques pourraient participer au développement des énergies renouvelables. Les territoires du nord du Canada misent grandement sur le développement minier, gazier et

pétrolier comme contribution majeure à leur croissance économique. Ces grandes industries, très énergivores, dépendent pour certaines uniquement sur le diesel pour opérer leurs infrastructures, comme c'est le cas pour les mines de diamant de Diavik et Ekati dans les Territoires du Nord-Ouest. L'industrie minière consomme annuellement près de 100 millions de litres de diesel, alors que cette consommation se chiffre à environ 15 millions de litres pour les communautés hors réseau de ce territoire (*Government of the Northwest Territories*, 2006b). Une idée serait d'organiser des partenariats avec des grands industriels de façon à encourager l'utilisation des énergies renouvelables afin de stimuler le marché nordique (*Energy Evolution*, 2008). Les industries ont les moyens et le besoin d'encourager l'implantation de barrages hydroélectriques et de favoriser le couplage éolien-diesel. Elles possèdent aussi un accès à de la machinerie lourde spécialisée et sont souvent accessibles par route ou par voie aérienne ou maritime.

Malheureusement, la durée des activités d'extraction minière, gazière et pétrolière dépend grandement de la disponibilité de la ressource et n'est pas, à travers le temps, considérée comme durable. Il est fort probable que les industriels ne voudront pas investir dans les énergies renouvelables, parce que cela représente un investissement trop important et que la durée de leurs opérations n'est pas déterminée. Dans les années passées, la construction de barrages hydroélectriques dans les Territoires du Nord-Ouest a été favorisée par l'implantation d'industries minières et ces barrages alimentent encore aujourd'hui quelques villes (*Government of Northwest Territories*, 2008b).

### **5.6.2 La place des gouvernements**

Au fil des lectures sur les projets énergétiques qui ont été réalisés lors de la réalisation de cet essai, un fil directeur est ressorti à maintes reprises. Le manque de financement semble freiner de nombreux projets, et ce, malgré la présence de programmes fédéraux créés pour favoriser l'utilisation durable de l'énergie au sein des communautés autochtones. Le financement étant limité, les autorités doivent se concentrer sur des projets ayant le plus de potentiel et prioriser leurs actions.

Le programme ÉcoÉNERGIE pour les communautés autochtones et nordiques est en opération depuis 2007 et ce jusqu'en 2011. Échelonné sur quatre ans, le programme supporté par le gouvernement fédéral investit 15 millions de dollars pour encourager la mise en place de mesures d'efficacité énergétique et le développement de sources d'énergie durables pour les collectivités autochtones et nordiques. En considérant un projet comme celui d'un barrage hydroélectrique à Inukjuak où le coût est estimé à près de 68 millions de dollars, le montant du programme ÉcoÉNERGIE est faible comparativement aux coûts réels des projets (Rogers, 2010). En tenant compte des coûts supplémentaires engendrés par l'éloignement et le manque d'appareils et de machinerie capables d'accomplir le travail sur place, il est normal que les projets soient plus coûteux. Le gouvernement du Canada détient aussi un Programme du Fonds pour l'énergie propre avec un budget de 795 millions de dollars échelonnés sur 5 ans afin de faire la démonstration de technologies plus propres (Ressources naturelles Canada, 2010). Les promoteurs pourraient profiter de ces fonds afin d'obtenir un plus grand financement. Néanmoins, dans une optique de réduction des GES, le gouvernement fédéral doit proposer un support financier sérieux et réaliste à long terme.

### **5.6.3 Des coûts réalistes**

Kotzebue en Alaska représente un des meilleurs exemples sur lequel les communautés canadiennes nordiques peuvent étudier afin de mesurer la faisabilité économique de certains projets. Kotzebue s'est dotée de 17 éoliennes qui fournissent près de 7 % de l'énergie nécessaire à la communauté de 3 000 habitants, avec comme prévision d'atteindre 20 % d'ici quelques années (AEA, 2009b). En considérant certains chiffres qui ressortent de l'étude du projet à Kotzebue, on peut procéder à l'étude des coûts, notamment dans le cas de l'utilisation d'éoliennes de taille intermédiaire avec une pénétration de vents de type faible, où l'on peut espérer le déplacement de 10 % à 15 % des combustibles fossiles (Weis and Ilinca, 2008). Le coût de l'installation d'une seule éolienne peut coûter près de 4 000 \$ par kW, alors que le coût tombe à 2 500 \$ par kW dans le cas de l'installation de 12 turbines et plus (CADDET - *Centre for renewable energy*, 2001). De plus, les coûts diminuent à mesure que le parc grossit étant donné la présence du matériel requis et l'expertise technique présente sur place. La capacité du parc éolien installé à Kotzebue est répartie comme suit : 15 turbines d'une capacité de 66 kW, une de 100 kW et une autre de

65 kW (*U.S. Department of Energy*, 2009). En utilisant le coût unitaire par kW mentionné préalablement, l'installation de 17 éoliennes d'une capacité de 65 kW coûterait environ 2 763 000 \$.

À ce jour, le projet a permis de sauver près de 1,2 million de litres de diesel. Par exemple, en 2007, ce sont plus de 375 000 litres qui ont été sauvés, entraînant une économie de près de 450 000 dollars américains (AEA, 2009b). De plus, les coûts d'opération et de maintenance ont été estimés à 2 600 \$ par turbine. Un ingénieur en énergie et un technicien sont sur place afin d'effectuer les travaux rapidement (AEA, 2004). Le système en place s'avère performant et fiable. Le gouvernement fédéral et les gouvernements des territoires et des provinces pourraient grandement subventionner et encourager le développement des énergies renouvelables puisque des projets tels que celui de Kotzebue démontrent la faisabilité technique et économique des énergies renouvelables.

Enfin, bien que complexe et difficile, l'implantation des énergies renouvelables et des programmes d'efficacité énergétique demeure possible. Bien que l'aménagement de ce territoire représente des défis de taille et que plusieurs autres barrières freinent de tels développements, des projets ont eu du succès et prouvent la pertinence d'utiliser des énergies renouvelables dans les régions nordiques. Néanmoins, il est impossible de passer sous silence le rôle que les programmes d'efficacité énergétique doivent jouer dans l'évolution du paysage énergétique nordique. Ceux-ci sont priorisés par les gouvernements territoriaux et aident grandement les instances publiques à réduire leur vulnérabilité face aux prix instables des produits pétroliers tout en améliorant la qualité de l'environnement des milieux nordiques canadiens.

## CONCLUSION

Les modes d'approvisionnement énergétique actuels sont confrontés à la demande croissante, en provenance notamment des pays émergents et à la hausse des prix des produits pétroliers. Cette situation bouleverse les modes de production et de distribution d'électricité et de chauffage au sein des communautés nordiques canadiennes hors réseau étudiées dans le cadre de cet essai.

Alors que l'approvisionnement énergétique mondial contribue à plus du quart des émissions de gaz à effet de serre mondiales et que les changements climatiques préoccupent de plus en plus, il s'avère primordial de revoir nos modes de production énergétiques. Il ne fait aucun doute qu'à l'avenir, les énergies renouvelables auront à jouer un rôle grandissant dans le paysage énergétique nordique. Les stratégies énergétiques présentées par les gouvernements du Yukon, des Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut prennent en compte la nécessité de trouver des alternatives à l'usage d'une source d'énergie importée, le diesel utilisé dans les génératrices comme étant la seule source d'électricité et de chauffage pour de nombreuses communautés nordiques. Dans certains cas, l'importation et la distribution de millions de litres de diesel représentent une part importante du budget de l'État, pouvant aller jusqu'à 20 % des dépenses totales, comme c'est le cas au Nunavut.

L'objectif général de cet essai était d'émettre des recommandations afin de discuter sur les façons de diversifier le paysage énergétique, grâce notamment aux énergies renouvelables. Afin d'émettre des idées qui tiennent compte de la réalité nordique canadienne, il était primordial de dresser un portrait général de ces milieux. Isolées et distancées les unes par rapport aux autres, les communautés nordiques sont confrontées à un climat extrême qui affecte leur consommation énergétique. Étant donné la forte croissance démographique dans ces collectivités et la nécessité de trouver des alternatives aux modes de production d'électricité traditionnels, de nombreux cas d'implantation et de développement des énergies renouvelables ont vu le jour dans le Grand Nord canadien au courant des dernières années. L'étude de nombreux cas a permis de cerner les principales barrières et difficultés à l'implantation de ce type de projets en plus de souligner les technologies ayant un potentiel intéressant au sein des régions nordiques.

L'éloignement, la faible demande en provenance de ces communautés, l'absence d'économie d'échelle et le manque d'investissement sont autant de raisons qui expliquent les difficultés auxquelles sont confrontés les promoteurs et les gestionnaires de projet en énergies renouvelables. De plus, le manque de personnel qualifié au sein des collectivités affecte grandement l'opération et la maintenance des infrastructures. Les hivers très longs et la difficulté de trouver une ressource d'énergie renouvelable à proximité d'une communauté sont des barrières complexes à solutionner. Les études de préfaisabilité qui permettent de mieux connaître une région ainsi que son potentiel énergétique sont nécessaires à la réussite d'un projet. De plus, il est ressort un constat général sur l'importance d'un financement soutenu. L'analyse des barrières démontre que le manque d'investissement dans le domaine des énergies vertes en milieu nordique est une des principales raisons qui limitent le développement des projets. Nombre de projets sont en attente de financement et le manque de support durant les phases d'opération et de maintenance peut mener à l'arrêt de certains projets.

Il en ressort que de nombreuses barrières et difficultés ne peuvent être contrées par des moyens spécifiques. Les barrières sont récurrentes et le paysage énergétique des communautés nordiques canadiennes doit être vu dans son ensemble. Travailler à trouver des solutions sur de nombreux fronts aidera à faire tomber de nombreuses barrières. Au fil des lectures et de l'analyse des cas soulevés dans cet essai, il ressort que d'autres moyens que les énergies renouvelables permettent de réduire les dépenses associées à l'achat et la distribution des produits pétroliers. En effet, les mesures et programmes reposant sur une meilleure efficacité énergétique peuvent engendrer des économies substantielles pour les autorités locales. Les communautés sont grandement encouragées à améliorer l'efficacité énergétique des équipements en place étant donné que de tels moyens ne nécessitent pas d'investissements importants et sont plus facilement réalisables. Néanmoins, l'analyse des cas a permis de cerner des technologies d'énergie renouvelable qui fonctionnent bien en milieu nordique et qui s'avèrent généralement peu coûteuses tout en offrant la possibilité de réaliser de véritables économies de diesel. Des techniques utilisant l'énergie du vent sont de loin les méthodes les mieux adaptées au nord et les réussites en Alaska ainsi qu'au Yukon démontrent bien le plein potentiel de cette technologie.

Enfin, chaque communauté intéressée à faire le choix des énergies renouvelables ou de l'efficacité énergétique doit connaître les spécificités de son milieu afin de proposer des solutions réalistes. L'implication de la communauté à toutes les étapes constitue aussi un gage de réussite. Malgré toutes les barrières pouvant empêcher la réalisation de projets verts, telles que mentionnées dans le cadre de cet essai, les énergies renouvelables possèdent un avenir intéressant dans le nord du Canada. De tels projets deviendront réalité au fur et à mesure que le prix des produits pétroliers augmentera et que les énergies renouvelables deviendront compétitives sur le marché. Ce sont de véritables occasions d'encourager le développement socio-économique de ces collectivités de façon durable tout en assurant le maintien de la qualité de leur environnement.

## RÉFÉRENCES

- Affaires indiennes et du Nord Canada (2010a). *Grandes lignes du programme écoÉNERGIE pour les collectivités autochtones et du Nord*, [En ligne]. <http://www.ainc-inac.gc.ca/enr/clc/pr/ovr-fra.asp> (Page consultée le 28 janvier 2011).
- Affaires indiennes et du Nord Canada (2010b). *Collectivités hors réseau autochtones et nordiques*, [En ligne]. <http://www.ainc-inac.gc.ca/enr/clc/cen/ogc-fra.asp> (Page consultée le 8 février 2011).
- Ah-You, K. and Leng, G. (1999). Renewable energy in Canada's remote communities. *In Renewable energy for remote communities program – Ressources naturelles Canada*, [En ligne]. <http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-nrcan.gc.ca/fichier.php/codectec/En/1999-26-27/1999-27e.pdf> (Page consultée le 17 janvier 2011).
- Alaska Energy Authority (2004). Alaska rural energy plan – Initiatives for improving energy efficiency and reliability. *In Alaska Energy Authority*, [En ligne]. <http://www.akenergyauthority.org/publicationAREP.html> (Page consultée le 2 mai 2011).
- Alaska Energy Authority (2009a). Renewable energy Atlas of Alaska. *In Alaska Energy Authority*, [En ligne]. <http://www.akenergyauthority.org/Reports%20and%20Presentations/EnergyAtlas2009.pdf> (Page consultée le 16 mars 2011).
- Alaska Energy Authority (2009b). Alaska Energy – A first step toward energy independence. *In Alaska Energy Authority*, [En ligne]. <http://www.akenergyauthority.org/PDF%20files/AK%20Energy%20Final.pdf> (Page consultée le 2 mai 2011).
- Arctic Council and the International Arctic Science Committee (2005). Arctic Climate Impact Assessment. *In Arctic Climate Impact Assessment*, [En ligne]. <http://www.acia.uaf.edu/default.html> (Page consultée le 3 février 2011).
- Ascher, A. (2002). North wind : Nunavut and Yukon are hoping wind turbines will reduce dependency on diesel plants. *In Alternatives Journal*, [En ligne], [http://findarticles.com/p/articles/mi\\_hb6685/is\\_4\\_28/ai\\_n28957700/pg\\_2/?tag=mantle\\_skin;content](http://findarticles.com/p/articles/mi_hb6685/is_4_28/ai_n28957700/pg_2/?tag=mantle_skin;content) (Page consultée le 15 mars 2011).
- Atagotaaluk, E. (3 mars 2011). *Innavik hydro plant*. Courrier électronique à Éric Atagotaaluk, adresse destinataire: [eric.atagotaaluk@mess.gouv.qc.ca](mailto:eric.atagotaaluk@mess.gouv.qc.ca)

- Bailie, A., Horne, M., Peters R., Taylor, A., Weis, T., Cobb, P. and Zarowny, K. (2007). Economic instruments for on-site renewable energy applications in the residential/farm sector. *In* The Pembina Institute, [En ligne]. [http://pubs.pembina.org/reports/Econ\\_Instru\\_Res\\_RE\\_03-07.pdf](http://pubs.pembina.org/reports/Econ_Instru_Res_RE_03-07.pdf) (Page consultée le 26 mars 2011).
- Birol, F. et Malyshev, T. (2002). Énergie mondiale: Nouvelles réalités, nouveaux défis. *In* l'Observateur OCDE, [En ligne]. [http://www.observateurocde.org/news/fullstory.php/aid/433/\\_C9nergie\\_mondiale\\_.html](http://www.observateurocde.org/news/fullstory.php/aid/433/_C9nergie_mondiale_.html) (Page consultée le 22 janvier 2011).
- Borealis Geopower (2011). *Geothermal Energy for Remote Communities*, [En ligne]. <http://www.borealisgeopower.com/expertise/details/geothermal-energy-for-remote-communities/> (Page consultée le 2 mai 2011).
- CADDET - Centre for renewable energy (2000). An arctic wind turbine in northern Sweden. *In* CADDET - Centre for renewable energy, [En ligne]. <http://www.caddetre.org/assets/no135.pdf> (Page consultée le 15 mars 2011)
- CADDET – Centre for renewable energy (2001). Wind turbine provides electricity for arctic town. *In* CADDET – Centre for renewable energy, [En ligne]. [http://www.aidea.org/aea/Reports%20and%20Presentations/Wind-Turbine-Provides\\_Electricity-for-Arctic-Town\\_CADDET-Kotzebue-Article.pdf](http://www.aidea.org/aea/Reports%20and%20Presentations/Wind-Turbine-Provides_Electricity-for-Arctic-Town_CADDET-Kotzebue-Article.pdf) (Page consultée le 15 mars 2011).
- Canadian Wind Energy Association (2006). Remote community wind incentive program (ReCWIP). *In* Canadian Wind Energy Association, [En ligne]. [http://www.canwea.ca/images/uploads/File/Wind\\_Energy\\_Policy/Federal/Budget\\_06\\_ReCWIP.pdf](http://www.canwea.ca/images/uploads/File/Wind_Energy_Policy/Federal/Budget_06_ReCWIP.pdf) (Page consultée le 24 mars 2011).
- Canadian Geographic – The Canadian Atlas Online (2007). *Goals of International Polar Year 2007-2008*, [En ligne]. [http://www.geochallenge.ca/atlas/themes.aspx?id=ipy&sub=ipy\\_basics\\_goals&lang=En](http://www.geochallenge.ca/atlas/themes.aspx?id=ipy&sub=ipy_basics_goals&lang=En) (Page consultée le 6 février 2011).
- City of Yellowknife (2011). *Con mine energy project*, [En ligne]. [http://www.yellowknife.ca/City\\_Hall/Departments/Public\\_Works\\_Engineering/YellowknifeCommunityEnergyPlan/ConMineEnergyProject/ProjectBackground.html](http://www.yellowknife.ca/City_Hall/Departments/Public_Works_Engineering/YellowknifeCommunityEnergyPlan/ConMineEnergyProject/ProjectBackground.html) (Page consultée le 2 mai 2011).
- Cloutier, G. (16 avril 2011). *Électricité et chauffage au Nunavik*. Courrier électronique à Geneviève Cloutier, adresse destinataire : [cloutier.genevieve@hydro.qc.ca](mailto:cloutier.genevieve@hydro.qc.ca)

- Commission for Environmental Cooperation (2010). Guide to developing a community renewable energy project in North America. *In* Commission for Environmental Cooperation, [En ligne].  
[http://www.cec.org/Storage/88/8461\\_Guide\\_to\\_a\\_Developing\\_a\\_RE\\_Project\\_en.pdf](http://www.cec.org/Storage/88/8461_Guide_to_a_Developing_a_RE_Project_en.pdf)  
 (Page consultée le 12 mars 2011).
- Energy Evolution (2008). *CanWEA calls for federal funds for northern wind development*, [En ligne]. <http://www.airwaterland.ca/article.asp?id=2106> (Page consultée le 2 mai 2011).
- Environnement Canada (2005). Atlas canadien d'énergie éolienne. *In* Environnement Canada, [En ligne]. [http://www.atlaseolien.ca/en/EU\\_50m\\_national.pdf](http://www.atlaseolien.ca/en/EU_50m_national.pdf) (Page consultée le 6 février 2011).
- Fournier, W. (9 mai 2011). *Approvisionnement énergétique Nunavik*. Courriel électronique à Watson Fournier, adresse destinataire: [wfournier@omhkativikmhb.qc.ca](mailto:wfournier@omhkativikmhb.qc.ca)
- George, J. (2006). Inukjuak aims to be diesel-free by 2012. *In* Nunatsiaq News, [En ligne].  
[http://www.nunatsiaqonline.ca/archives/60310/news/nunavik/60310\\_01.html](http://www.nunatsiaqonline.ca/archives/60310/news/nunavik/60310_01.html) (Page consultée le 16 mars 2011).
- Government of the Northwest Territories (2006a). Energy for the Future – Energy planning for the Northwest Territories. *In* Government of the Northwest Territories, [En ligne].  
<http://www.iti.gov.nt.ca/publications/2007/Energy/EnergyBrochure.pdf> (Page consultée le 12 février 2011).
- Government of the Northwest Territories (2006b). Energy for the future – A discussion paper on energy policy and planning for the Government of the Northwest Territories. *In* Government of the Northwest Territories, [En ligne].  
<http://www.iti.gov.nt.ca/publications/2007/Energy/Whitepaper.pdf> (Page consultée le 2 mai 2011).
- Government of the Northwest Territories (2008a). A review of electricity regulation, rates and subsidy programs in the Northwest Territories. *In* Government of the Northwest Territories, [En ligne].  
<http://www.iti.gov.nt.ca/publications/2008/energy/DECEMBER02%20FINAL.pdf>  
 (Page consultée le 12 février 2011).
- Government of the Northwest Territories (2008b). Draft NWT Hydro Strategy – The foundation for a sustainable energy future. *In* Government of the Northwest Territories, [En ligne].  
<http://www.iti.gov.nt.ca/publications/2008/Energy/HYDROSTRATEGY.pdf> (Page consultée le 16 mars 2011).
- Government of Nunavut (2006). Energy for our Future : Approaching Ikummatiit – Developing a Nunavut Energy Strategy. *In* Government of Nunavut, [En ligne].  
<http://www.gov.nu.ca/files/ges.pdf> (Page consultée le 13 février 2011)

- Government of Nunavut (2007a). *Ikummatiit – The Government of Nunavut Energy Strategy*. In Government of Nunavut, [En ligne].  
[http://www.gov.nu.ca/files/Ikummatiit%20Energy%20strategy\\_sept%202007\\_eng.pdf](http://www.gov.nu.ca/files/Ikummatiit%20Energy%20strategy_sept%202007_eng.pdf) (Page consultée le 8 février 2011).
- Government of Nunavut (2007b). A discussion paper for Ikummatiit – an energy strategy for Nunavut. In Government of Nunavut, [En ligne].  
[http://www.gov.nu.ca/files/discussion%20paper\\_Mar%202007\\_eng.pdf](http://www.gov.nu.ca/files/discussion%20paper_Mar%202007_eng.pdf) (Page consultée le 16 février 2011).
- Government of Yukon (2007). *Energy, mines and resources – biomass*, [En ligne].  
<http://www.energy.gov.yk.ca/biomass.html> (Page consultée le 12 mars 2011).
- Government of Yukon (2008a). *Energy, mines and resources - water*, [En ligne].  
<http://www.energy.gov.yk.ca/water.html> (Page consultée le 3 mars 2011).
- Government of Yukon (2008b). *Energy, mines and resources – geothermal energy*, [En ligne]. <http://www.energy.gov.yk.ca/geothermal.html> (Page consultée le 12 mars 2011).
- Government of Yukon (2009). Energy strategy for Yukon. In Government of Yukon, [En ligne]. [http://www.energy.gov.yk.ca/pdf/energy\\_strategy.pdf](http://www.energy.gov.yk.ca/pdf/energy_strategy.pdf) (Page consultée le 12 février 2011).
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (s. d.). *Qui sommes-nous - Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, [En ligne]. [http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_french.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml) (Page consultée le 2 février 2011).
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2007). *Changements climatiques 2007 – Rapport de synthèse*. In Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, [En ligne].  
[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf) (Page consultée le 2 février 2011).
- Hofman, K. and Li, X. (2009). Canada's energy perspectives and policies for sustainable development. *Applied Energy*, vol. 86, n° 4, p. 407-415.
- International Energy Agency (IEA) (2010a). *Energy Outlook 2010 – Résumé*. In International Energy Agency, [En ligne].  
[http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/weo2010\\_es\\_french.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/weo2010_es_french.pdf) (Page consultée le 28 janvier 2011).

- International Energy Agency (IEA) (2010b). Key World Energy Statistics. *In* International Energy Agency, [En ligne].  
[http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key\\_stats\\_2010.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf) (Page consultée le 28 janvier 2011).
- International Energy Agency (IEA) (2010c). Energy Technology Perspectives – Scenarios & Strategies to 2050. *In* International Energy Agency, [En ligne].  
<http://www.iea.org/techno/etp/etp10/English.pdf> (Page consultée le 14 février 2011).
- Inuit Tapiriit Kanatami (2008). Inuit Statistical Profile. *In* Inuit Tapiriit Kanatami, [en ligne]. [http://www.itk.ca/sites/default/files/InuitStatisticalProfile2008\\_0.pdf](http://www.itk.ca/sites/default/files/InuitStatisticalProfile2008_0.pdf) (Page consultée le 10 février 2011).
- Islam, M., Fartai, A. and Ting, D. (2004). Current utilization and future prospects of emerging renewable energy applications in Canada. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 8, p. 493-519.
- Jones, G. (2010). Wind-Hydrogen-Diesel energy project. *In* Icelandic New Energy, [En ligne].  
[http://www.newenergy.is/newenergy/upload/files/naha/presentations/whd\\_energy\\_project\\_gj\\_for\\_naha\\_amea\\_tour\\_sept\\_8.pdf](http://www.newenergy.is/newenergy/upload/files/naha/presentations/whd_energy_project_gj_for_naha_amea_tour_sept_8.pdf) (Page consultée le 7 mars 2011).
- Kativik Environmental Quality Commission (2009). Nunavik : A homeland in transition – An environmental and social evaluation for northern development. *In* Kativik Environmental Quality Commission, [En ligne]. <http://www.keqc-cqek.ca/KEQC-AR09-e-F-lo.pdf> (Page consultée le 17 mars 2011).
- Kitous, A., Criqui, P., Belleprat, E. and Château, B. (2010). Transformation patterns of the worldwide energy system – Scenarios for the century with the POLES model. *The Energy Journal*, vol. 31, p. 49-82.
- Kotzebue Electric Association (2007). Final technical report – Kotzebue wind power project volume 1. *In* U.S. Department of Energy – Office of scientific and technical information, [En ligne]. <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/918467-rF3jsh/918467.pdf> (Page consultée le 12 mars 2011).
- Kotzebue Electric Association (s. d.a). *Raising a turbine*, [En ligne].  
<http://www.kea.coop/articles/raising-a-turbine/> (Page consultée le 16 mars 2011).
- Kotzebue Electric Association (s. d.b). *Bringing light to Kotzebue : The history of Kotzebue Electric Association*, [En ligne]. <http://www.kea.coop/articles/bringing-light-to-kotzebue/> (Page consultée le 5 avril 2011).
- Maissan, J. (s. d.) Overcoming icing effects on wind turbines. *In* Government of Yukon, [En ligne].  
[http://www.energy.gov.yk.ca/pdf/overcoming\\_icing\\_effects\\_wind\\_turbines.pdf](http://www.energy.gov.yk.ca/pdf/overcoming_icing_effects_wind_turbines.pdf) (Page consultée le 26 mars 2011).

- Maissan, J. (2001). Wind power development in sub-arctic conditions with severe rime icing. *In* Yukon Energy Corporation, [En ligne]. [http://www.yukonenergy.ca/downloads/db/45\\_final\\_wind\\_paper.pdf](http://www.yukonenergy.ca/downloads/db/45_final_wind_paper.pdf) (Page consultée le 2 mars 2011).
- Maissan, J. (2005). Policies to promote wind energy development in northern communities and activities of CanWEA small wind committee. *In* Government of Yukon, [En ligne]. [http://www.energy.gov.yk.ca/pdf/policies\\_promote\\_wind\\_energy\\_nc\\_canwea2005.pdf](http://www.energy.gov.yk.ca/pdf/policies_promote_wind_energy_nc_canwea2005.pdf) (Page consultée le 18 mars 2011).
- Maissan, J. (2006a). Wind energy for small communities. *In* Government of Yukon, [En ligne], [http://www.energy.gov.yk.ca/pdf/wind\\_energy\\_small\\_communities.pdf](http://www.energy.gov.yk.ca/pdf/wind_energy_small_communities.pdf) (Page consultée le 12 mars 2011).
- Maissan, J. (2006b). Report on wind energy for small communities – Prepared for Inuit Tapiriit Kanatami. *In* Government of Yukon, [En ligne]. [http://www.energy.gov.yk.ca/pdf/wind\\_energy\\_for\\_small\\_communities\\_april\\_2006.pdf](http://www.energy.gov.yk.ca/pdf/wind_energy_for_small_communities_april_2006.pdf) (Page consultée le 6 mars 2011).
- Maissan, J. (2007). A prefeasibility report on a potential wind energy project in Tuktoyaktuk, Northwest Territories. *In* Aurora Research Institute - Aurora College, [En ligne]. <http://www.nwtresearch.com/resources/publications/wind.aspx> (Page consultée le 26 mars 2011).
- Maissan, J. (4 mars 2011). *Wind project in Tuktoyaktuk, NWT*. Courrier électronique à John Maissan, adresse destinataire : [john@leprojects.com](mailto:john@leprojects.com)
- Martel, S., Malcolm, D., Kutny, L. and Troke, S. (1998). Photovoltaics for the North: Five years of breaking down barriers in the Northwest Territories. *In* Ressources naturelles Canada, [En ligne]. <http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fichier.php/codectec/Fr/1998-18-54/1998-18-54e.pdf> (Page consultée le 15 mars 2011).
- Munson, J. (2009). Wind power not a priority for Yukon Energy. *In* Yukon News, [En ligne]. <http://www.yukon-news.com/news/14832/> (Page consultée le 1 mars 2011).
- Nepetaypo, T., Gendzelevich, W. and Groeneveld, J. (2010). Alternative energy sources to offset diesel generation in first nation communities of Canada. *In* World Energy Council, [En ligne]. <http://worldenergy.org/documents/congresspapers/381.pdf> (Page consultée le 12 février 2011).
- Newfoundland Labrador Hydro (2007). *News releases - Hydro developing wind-hydrogen-diesel system for isolated communities*, [En ligne]. <http://www.nlh.nl.ca/HydroWeb/NLHydroWeb.nsf/DisplayArchivedNews/23946457DDAC583AA325754D0058A4E7?OpenDocument> (Page consultée le 8 mars 2011).

- Nunatsiaq News (2011). *In 2010, Nunavik spins its wheels – Many big projects delayed, postponed*, [En ligne].  
[http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/98789\\_in\\_2010\\_nunavik\\_spins\\_its\\_wheels](http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/98789_in_2010_nunavik_spins_its_wheels) (Page consultée le 16 mars 2011).
- Oprisan, M. (2007). Introduction of hydrogen technologies to Ramea Island. *In International Energy Agency*, [En ligne].  
[http://www.ieawind.org/wnd\\_info/KWEA\\_pdf/Oprisan\\_KWEA\\_.pdf](http://www.ieawind.org/wnd_info/KWEA_pdf/Oprisan_KWEA_.pdf) (Page consultée le 7 mars 2011).
- Pearson, F. (2011). Yukon's Hydroelectric Resources. *In Yukon Energy Corporation*, [En ligne].  
[http://www.yukonenergy.ca/letstalk/docs/presentations/Forest\\_Pearson\\_hydro.pdf](http://www.yukonenergy.ca/letstalk/docs/presentations/Forest_Pearson_hydro.pdf) (Page consultée le 23 avril 2011).
- Pham, L. (2009). Waves start to make ripples in renewable energy world. *In The New York Times*, [En ligne]. <http://www.nytimes.com/2009/10/21/business/global/21iht-renwave.html> (Page consultée le 2 mai 2011).
- Pinard, JP. (2007). Executive progress report for wind energy monitoring in six communities in the NWT. *In Aurora Research Institute – Aurora College*, [En ligne].  
<http://www.nwtresearch.com/docs/wind-energy-reports/2010/12/14/wind-energy-monitoring-in-six-communities-in-the-nwt.pdf> (Page consultée le 3 mars 2011).
- Pituvik Landholding Corporation (2010). *Frequently asked questions (FAQ's). The "top 20"*, [En ligne]. <http://www.innavik.com/faq.html> (Page consultée le 16 mars 2011).
- Poissant, Y., Thevenard, D. and Turcotte, D. (2004). Performance monitoring of the Nunavut Arctic College PV systems: 9 years of reliable electricity generation. *In Ressources naturelles Canada*, [En ligne]. <http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-ncan.gc.ca/fichier.php/codectec/En/2004-114/2004-114e.pdf> (Page consultée le 12 mars 2011).
- Prowse, TD., Furgal, C., Melling, H. and Smith, S. (2009a). Implications of climate change for northern Canada: The physical environment. *AMBIO: A journal of the Human Environment*, vol. 38, n° 5, p. 266-271.
- Prowse, TD., Furgal, C., Bonsal, B. and Peters, D. (2009b). Climate impacts on northern Canada: Regional Background. *AMBIO: A journal of the Human Environment*, vol. 38, n° 5, p. 248-256.
- Qulliq Energy Corporation (QEC) (s. d.). *Electricity in Nunavut*, [En ligne].  
[http://www.nunavutpower.com/home/index.php?option=com\\_content&task=view&id=83](http://www.nunavutpower.com/home/index.php?option=com_content&task=view&id=83) (Page consultée le 18 avril 2011).
- Qulliq Energy Corporation (QEC) (2002). *Wind power generation*, [En ligne].  
[http://www.nunavutpower.com/home/index.php?option=com\\_content&task=view&id=82](http://www.nunavutpower.com/home/index.php?option=com_content&task=view&id=82) (Page consultée le 15 mars 2011).

- Qulliq Energy Corporation (QEC) (2008a) *Qulliq Energy Corporation Powering Nunavummiut Into The Future... Today*, [En ligne].  
[http://www.nunavutpower.com/home/index.php?option=com\\_content&task=view&id=17&Itemid=32](http://www.nunavutpower.com/home/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=32) (Page consultée le 14 février 2011).
- Qulliq Energy Corporation (QEC) (2008b). *Iqaluit hydro-electricity project*, [En ligne].  
[http://www.nunavutpower.com/home/index.php?option=com\\_content&task=view&id=83](http://www.nunavutpower.com/home/index.php?option=com_content&task=view&id=83) (Page consultée le 15 mars 2011).
- Qulliq Energy Corporation (QEC) (2008c). *Hydroelectricity power for Iqaluit – Considerations for run of river projects*, [En ligne].  
[http://www.nunavutpower.com/home/index.php?option=com\\_content&task=view&id=83](http://www.nunavutpower.com/home/index.php?option=com_content&task=view&id=83) (Page consultée le 25 mars 2011).
- Regional Council of Lapland (2007). Lapland's energy strategy. *In* Regional Council of Lapland, [En ligne].  
[http://www.lapinliitto.fi/c/document\\_library/get\\_file?folderId=26224&name=DLFE-3310.pdf](http://www.lapinliitto.fi/c/document_library/get_file?folderId=26224&name=DLFE-3310.pdf) (Page consultée le 13 mars 2011).
- Renewable Energy Alaska Project (2011). *Alaska's resources*, [En ligne].  
<http://alaskarenewableenergy.org/alaskas-resources/types-renewable-energy/wind/> (Page consultée le 12 mars 2011).
- Ressources naturelles Canada (s. d.). Wind Energy Project Analysis. *In* Ressources naturelles Canada, [En ligne]. [http://www.retscreen.net/ang/g\\_win.php](http://www.retscreen.net/ang/g_win.php) (Page consultée le 24 mars 2011).
- Ressources naturelles Canada (2007a). Vivre avec les changements climatiques au Canada: édition 2007. *In* Ressources naturelles Canada, [En ligne].  
[http://adaptation.nrcan.gc.ca/assess/2007/toc\\_f.php#ch3](http://adaptation.nrcan.gc.ca/assess/2007/toc_f.php#ch3) (Page consultée le 3 février 2011).
- Ressources naturelles Canada (2007b). *Commission géologique du Canada – Pergélisol*, [En ligne]. [http://gsc.nrcan.gc.ca/permafrost/whatis\\_f.php](http://gsc.nrcan.gc.ca/permafrost/whatis_f.php) (Page consultée le 6 février 2011).
- Ressources naturelles Canada (2007c). *Commission géologique du Canada- Pergélisol Recueil de données géothermiques du Canada - Puits d'exploration dans le Grand-nord*, [En ligne]. [http://gsc.nrcan.gc.ca/permafrost/geothermal\\_f.php](http://gsc.nrcan.gc.ca/permafrost/geothermal_f.php) (Page consultée le 2 mai 2011).
- Ressources naturelles Canada (2009a). *Sources d'énergie – À propos de l'électricité*, [En ligne]. <http://nrcan.gc.ca/eneene/sources/elele/abofai-fra.php> (Page consultée le 2 février 2011).

- Ressources naturelles Canada (2009b). *CanmetÉNERGIE – Énergies renouvelables, Énergie éolienne*, [En ligne]. [http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fra/energies\\_renouvelables/energie\\_eolienne.html](http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fra/energies_renouvelables/energie_eolienne.html) (Page consultée le 23 février 2011).
- Ressources naturelles Canada (2009c). *CanmetÉnergie – Énergies renouvelables, Énergie éolienne Île de Ramea*, [En ligne]. [http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fra/energies\\_renouvelables/energie\\_eolienne/ile\\_ramea.html](http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fra/energies_renouvelables/energie_eolienne/ile_ramea.html) (Page consultée le 5 mars 2011).
- Ressources naturelles Canada (2010). *Sciences et technologies – Programmes fédéraux et financement*, [En ligne]. <http://www.nrcan.gc.ca/eneene/science/propro-fra.php> (Page consultée le 2 mai 2011).
- Ressources naturelles Canada (2011). *Sources d'énergie – Prix moyens du diesel au détail au Canada*, [En ligne]. [http://www2.nrcan.gc.ca/eneene/sources/pripri/prices\\_byyear\\_f.cfm?ProductID=5](http://www2.nrcan.gc.ca/eneene/sources/pripri/prices_byyear_f.cfm?ProductID=5) (Page consultée le 2 mai 2011).
- Richardson, J. (2008). Production of biomass for energy from sustainable forestry systems: Canada and Europe. *In* Center for Integrated Natural Resources & Agricultural Management, University of Minnesota, [En ligne]. [http://www.cinram.umn.edu/srwc/docs/Powerpoints/J.Richardson\\_Production%20of%20Biomass%20fore%20Energy....pdf](http://www.cinram.umn.edu/srwc/docs/Powerpoints/J.Richardson_Production%20of%20Biomass%20fore%20Energy....pdf) (Page consultée le 12 mars 2011).
- Rogers, S. (2010). Inukjuak residents vote overwhelmingly for hydro plant. *In* Nunatsiaq Online, [En ligne]. [http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/9876\\_inukjuak\\_residents\\_vote\\_overwhelmingly\\_for\\_hydro\\_plant](http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/9876_inukjuak_residents_vote_overwhelmingly_for_hydro_plant) (Page consultée le 5 mars 2011).
- Saint-Pierre, S., Bui-Quang, H., Atagotaaluk, E. and Benedetti, B. (2010). Bâtir un meilleur avenir énergétique pour les communautés éloignées – Stratégie d’approvisionnement en énergie renouvelable pour le village d’Inukjuak. *In* World Energy Council, [En ligne]. <http://www.worldenergy.org/documents/congresspapers/461.pdf> (Page consultée le 16 février 2011).
- Secrétariat aux affaires autochtones (SAA). (9 février 2011). *Production et distribution de l'électricité dans les communautés du Nunavik*. Courrier électronique au Secrétariat aux affaires autochtones, adresse destinataire : [SAA@mce.gouv.qc.ca](mailto:SAA@mce.gouv.qc.ca)
- Senécal, S., Penney, C. and O’Sullivan, E. (2008). Measuring Inuit community well-being: The Canadian Inuit community well-being index. *In* Northern Research Forum Assembly, [En ligne]. [http://www.nrf.is/Open%20Meetings/Anchorage/Position%20Papers/Sen%E9cal\\_Penney\\_and\\_Sullivan\\_5thNRF\\_position\\_paper\\_session2%20\(2\).pdf](http://www.nrf.is/Open%20Meetings/Anchorage/Position%20Papers/Sen%E9cal_Penney_and_Sullivan_5thNRF_position_paper_session2%20(2).pdf) (Page consultée le 12 février 2011).

- Statistique Canada (2006a). *Profil de la population autochtone de 2006*, [En ligne].  
<http://www12.statcan.ca/census-recensement/2006/dp-pd/prof/92-594/details/page.cfm?Lang=F&Geo1=CSD&Code1=6107036&Geo2=PR&Code2=61&Data=Count&SearchText=Tuktoyaktuk&SearchType=Begins&SearchPR=01&B1=All&Custom=> (Page consultée le 3 mars 2011).
- Statistique Canada (2006b). *Profils des communautés de 2006*, [En ligne].  
<http://www12.statcan.ca/census-recensement/2006/dp-pd/prof/92-591/details/page.cfm?Lang=F&Geo1=CSD&Code1=6204003&Geo2=PR&Code2=62&Data=Count&SearchText=Iqaluit&SearchType=Begins&SearchPR=01&B1=All&GeoLevel=PR&GeoCode=6204003> (Page consultée le 16 mars 2011).
- St.Denis, G. and Parker, P. (2009). Community energy planning in Canada: The role of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, n° 8, p. 2088-2095.
- The Pembina Institute (s. d.). *Energy source: Tidal power. Capturing and using tidal power*, [En ligne]. <http://www.pembina.org/re/sources/tidal> (Page consultée le 12 mars 2011).
- Thompson, S. and Duggirala, B. (2009). The feasibility of renewable energies at an off-grid community in Canada. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, n° 9, p. 2740-2745.
- Turner, A.B., Simpson, R.J. and Guillaud, C. (1988). Developing a mini-hydro plant in the remote Canadian North. *Energy Conversion*, vol. 3, n° 1, p.18-25.
- U.S. Department of Energy (2009). Systems performance analyses of Alaska wind-diesel projects. *In Wind powering America*, [En ligne].  
[http://www.windpoweringamerica.gov/pdfs/wpa/2009/wind\\_diesel\\_ak\\_kotzebue.pdf](http://www.windpoweringamerica.gov/pdfs/wpa/2009/wind_diesel_ak_kotzebue.pdf)  
 (Page consultée le 12 mars 2011).
- Veerman, N. (2011). Residents vote « no » - Voters reject city's bid to borrow up to \$49 million for district energy. *In Northern News Services Online*, [En ligne].  
[http://www.nnsl.com/northern-news-services/stories/papers/mar15\\_11con-yk.html](http://www.nnsl.com/northern-news-services/stories/papers/mar15_11con-yk.html)  
 (Page consultée le 2 mai 2011).
- Veevee, D. (14 avril 2011). *Hydro plant development in Iqaluit*. Courrier électronique à David Veevee, adresse destinataire : [dveevee@npc.nu.ca](mailto:dveevee@npc.nu.ca)
- Weis, T. and Cobb, P. (2008). Aboriginal energy alternatives – Summary report. *In The Pembina Institute*, [En ligne]. <http://pubs.pembina.org/reports/aboriginal-alt-full.pdf>  
 (Page consultée le 2 mai 2011).
- Weis, T. and Ilinca, A. (2008). The utility of energy storage to improve the economics of wind-diesel power plants in Canada. *Renewable Energy*, vol. 33, n° 7, p. 1544-1557.

- Weis, T., Ilinca, A., and Pinard, JP. (2008). Stakeholder's perspectives on barriers to remote wind-diesel power plants in Canada. *Energy Policy*, vol. 36, n° 5, p. 1611-1621.
- Weis, T., and Ilinca, A. (2010). Assessing the potential for a wind power incentive for remote villages in Canada. *Energy Policy*, vol. 38, n° 10, p. 5504-5511.
- Weis, T. and Maissan, J. (2007). Assessing the potential uptake for a remote community wind incentive program in Canada. *In* The Pembina Institute, [En ligne]. <http://pubs.pembina.org/reports/remote-community-wind-uptake.pdf> (Page consultée le 12 février 2011).
- Weis, T. (2011). (25 mars 2011). *Renewable energy project northern Canada*. Courrier électronique à Timothy Weis, adresse destinataire : [timw@pembina.org](mailto:timw@pembina.org)
- Wolff, J., Lundsager, P., Tallhaug, L., Ronsten, G. and Baring-Gould, I. (2000). Cold climate wind energy co-operation under the IEA. *In* Kjeller Vindteknikk AS, [En ligne]. [http://www.vindteknikk.no/upload/bruker/dokumenter/cold\\_climate\\_wind\\_energy\\_co-operation\\_under\\_the\\_iea\\_48.pdf](http://www.vindteknikk.no/upload/bruker/dokumenter/cold_climate_wind_energy_co-operation_under_the_iea_48.pdf) (Page consultée le 13 mars 2011).
- Yukon Energy Corporation (2001). The winds of change – The story of wind generation in the Yukon. *In* Yukon Energy Corporation, [En ligne]. [http://www.yukonenergy.ca/downloads/db/74\\_winds\\_of\\_change.pdf](http://www.yukonenergy.ca/downloads/db/74_winds_of_change.pdf) (Page consultée le 25 février 2011).
- Yukon Energy Corporation (2011). *Renewable energy- wind power*, [En ligne]. <http://www.yukonenergy.ca/services/renewable/wind/> (Page consultée le 25 février 2011).