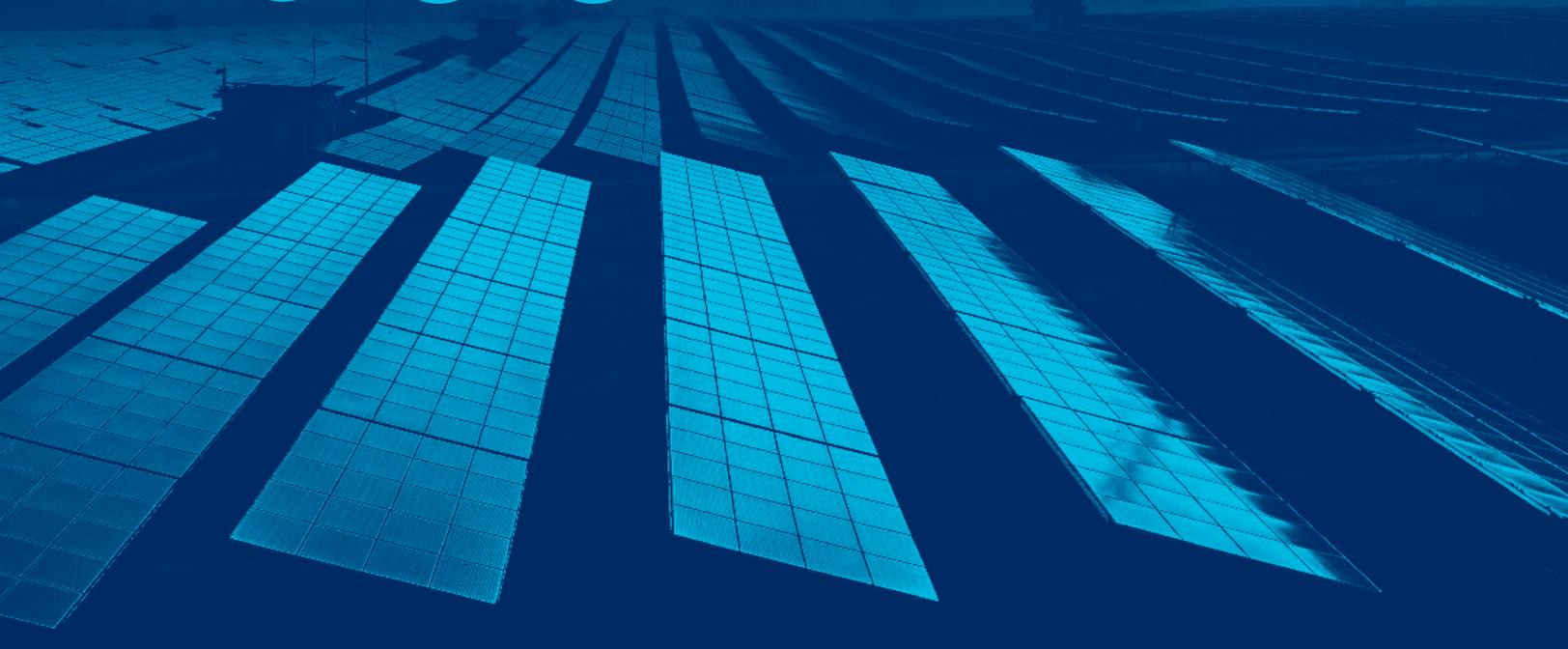


opten^{MC}

INNOVATION EXCELLENCE COLLABORATION

Les microréseaux autonomes
Un atout majeur pour l'électrification des
sites hors réseaux





Contenus techniques

Karim Belmokhtar, ing. jr., Ph. D.
Cédric Arbez, ing.
Kossivi Tete, M. Sc.
Marilys Clément, M. Sc.

Rédaction

Lucie Fauteux, réd. a.
Karim Belmokhtar, ing. jr., Ph. D.

Révision

Karim Belmokhtar, ing. jr., Ph. D.
Marilys Clément, M. Sc.
Caroline Farley



RÉSUMÉ

Malgré les importants investissements qui ont été consentis ces dernières années, la grande majorité des communautés nordiques et isolées comptent encore aujourd'hui sur des génératrices diesel pour répondre à leurs besoins énergétiques. L'électrification par des génératrices diesel de ces sites hors réseaux pose toutefois d'immenses défis, tant techniques que financiers, environnementaux et sociaux.

L'exploitation des centrales thermiques pour la production d'électricité pour les sites hors réseaux engendre notamment, au Canada comme ailleurs, des coûts énergétiques élevés ainsi que des émissions de gaz à effet de serre qui préoccupent la communauté internationale.

Le recours, dans ce contexte, à des microréseaux autonomes intégrant différentes sources d'énergie renouvelable apparaît comme une solution prometteuse pour assurer à la fois la sécurité énergétique des communautés hors réseaux et l'atteinte des ambitieux objectifs de réduction de gaz à effet de serre auxquels de nombreux États participent.

Bien que les défis soient nombreux, les efforts concertés de la communauté scientifique et de la recherche appliquée ont permis, au cours des dernières années, quelques intéressantes avancées dans le domaine des microréseaux autonomes intégrant les énergies renouvelables. Figurant parmi les chefs de file dans ce domaine, le TechnoCentre éolien mène, en partenariat avec de nombreux acteurs de l'industrie et de la recherche, un ambitieux programme de recherche qui réunit

des industriels et des chercheurs autour d'un objectif commun : développer des solutions technologiques novatrices pour optimiser l'approvisionnement énergétique dans les communautés hors réseaux tout en favorisant une meilleure intégration des énergies renouvelables.

Ce programme de recherche novateur que le TechnoCentre éolien présente sous le nom de Opten, pour Optimisation des énergies nouvelles, mise sur la collaboration, l'innovation et l'excellence pour proposer des solutions techniques, scientifiques et sociales qui, souhaitons-le, participeront à l'incontournable transition énergétique qui marquera sans aucun doute le XXI^e siècle.



TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	III
GLOSSAIRE.....	V
APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE : CHANGER LE PARADIGME.....	1
LES MICRORÉSEAUX : UNE OPTION ÉNERGÉTIQUE D'AVENIR	4
Un marché en plein essor	4
Des politiques énergétiques résolument tournées vers les énergies renouvelables.....	6
LE POINT SUR LES MICRORÉSEAUX	8
MICRORÉSEAUX : POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT ET DÉFIS	10
Défis techniques : assurer la fiabilité des réseaux électriques.....	11
Défis économiques : assurer la viabilité et la rentabilité des microréseaux.....	12
Défis sociaux : assurer l'acceptabilité sociale au sein des collectivités.....	13
OPTEN : ALLIER L'INDUSTRIE ET LA RECHERCHE VERS UNE SOLUTION DURABLE	16
Un programme de recherche novateur.....	17
Un cadre de référence en acceptabilité sociale	19
LE TECHNOCENTRE ÉOLIEN.....	20
Des expertises de pointe	20
Des infrastructures uniques.....	21
CONCLUSION : OPTER POUR UNE SOLUTION GAGNANTE.....	23
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	24



GLOSSAIRE

Fiabilité des microréseaux : Capacité à continuer d'alimenter des charges selon les normes requises, indépendamment des contraintes opérationnelles de leurs différents dispositifs (sources de production, dispositifs de protection, etc.).

Mode îloté : Condition dans laquelle la production décentralisée continue d'alimenter des charges locales, même si la puissance du réseau électrique intégré n'est plus présente. L'îlotage peut être dangereux pour les employés des services publics, qui pourraient ne pas se rendre compte qu'un réseau est toujours alimenté, et cela peut empêcher la reconnexion automatique des périphériques.

Production décentralisée : Type de production d'énergie électrique générée par des installations de petite taille connectées au réseau électrique intégré à des niveaux de tension peu élevée (basse ou moyenne tension).

Réseau électrique intégré : Ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant de transporter l'électricité des centrales de production vers les consommateurs sur des distances qui peuvent être très importantes. Le réseau est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension connectées entre elles dans des postes électriques.

Source d'énergie primaire : Forme d'énergie disponible dans la nature avant toute transformation, comme le charbon, le gaz naturel, l'huile, le soleil, le vent ou le bois.

Stabilité des microréseaux : Capacité du microréseau 1) à maintenir les génératrices électriques tournantes (comme les génératrices diesel) en opération en tout temps; 2) à garantir des valeurs de la tension et de la fréquence respectant les normes en vigueur, indépendamment des conditions opérationnelles.

Taux de pénétration des énergies renouvelables : Puissance produite à partir des énergies renouvelables par rapport à la puissance consommée à chaque instant. Le taux de pénétration a un impact direct sur la fiabilité et la stabilité des microréseaux.

Technologie de stockage d'énergie : Systèmes ou technologies ayant la capacité de stocker de l'énergie durant les périodes d'excès, et de la restituer aux réseaux électriques intégrés ou microréseaux en cas de déficit.



APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE : CHANGER LE PARADIGME

Ici, comme ailleurs dans le monde, des efforts considérables ont été consentis au cours des trente dernières années pour raccorder un plus grand nombre de collectivités aux réseaux électriques intégrés. Malgré ces efforts, le nombre de personnes nouvellement raccordées comble à peine la croissance de la population mondiale.

Une écrasante majorité des personnes non raccordées aux réseaux électriques intégrés vivent loin des grandes lignes électriques, ce qui entraîne d'importants coûts pour les États qui souhaitent mener des projets d'électrification, et par extension, construire des réseaux

électriques. Dans certains cas, cette situation est aggravée par le fait que l'électrification de nouveaux secteurs exige une augmentation de la capacité installée des centrales électriques existantes qui ne peuvent fournir à une demande sans cesse croissante.

Au Canada seulement, les communautés hors réseaux, c'est-à-dire non connectées aux réseaux électriques intégrés, regroupent près de 200 000 personnes réparties dans 292 communautés isolées ou insulaires, majoritairement situées en région nordique [1].

Figure 1

Communautés isolées au Canada



Source : Ressources naturelles Canada [1]



De nouveaux concepts comme la production décentralisée sont certes apparus pour réduire les coûts et les délais inhérents à l'électrification des populations à partir de réseaux électriques intégrés. Toutefois, en dépit des importants progrès techniques et technologiques réalisés au cours des dernières décennies, environ un septième de la population mondiale, soit plus d'un milliard de personnes, n'avait toujours pas accès, en 2015, à l'électricité.

Mis à part les quelques collectivités qui ont recours à l'hydroélectricité comme source d'énergie primaire, la plupart des communautés nordiques et isolées comptent sur des génératrices diesel pour répondre

à leurs besoins énergétiques. La production de l'électricité à partir des seules génératrices diesel engendre toutefois d'importants coûts de production. Non seulement ces coûts sont plus élevés que ceux que doivent assumer les collectivités reliées aux réseaux électriques intégrés, mais ceux-ci varient considérablement en raison de plusieurs facteurs, dont le cours du pétrole et les conditions d'accès et d'approvisionnement.



Aujourd'hui encore, presque trois milliards de personnes dans le monde continuent d'utiliser des carburants polluants tels que le kérosène, le bois ou la biomasse pour cuisiner. Une pratique qui a des conséquences à la fois sur l'environnement et sur la santé des populations.

Le coût de l'électricité pour un site profitant d'un accès routier praticable toute l'année se situe approximativement à 0,45 \$/kWh, alors que le tarif pour un site comptant principalement sur des accès par barges ou par voie aérienne peut s'avérer plus onéreux et s'élever à 0,80 \$/kWh [2].

Pour les communautés de l'Arctique, les coûts d'électricité peuvent atteindre 1,50 \$/kWh à 2,50 \$/kWh, alors qu'ailleurs au Canada, les tarifs d'électricité varient entre 0,07 \$/kWh

et 0,17 \$/kWh, selon la province et les ressources énergétiques utilisées [2].

À titre d'exemple, à Kugaaruk, dans le territoire fédéral canadien du Nunavut, les tarifs résidentiels d'électricité non subventionnés sont plus de neuf fois plus élevés (1,14 \$/kWh) que la moyenne canadienne (0,12 \$/kWh) [3].



Outre les coûts élevés rattachés à l'exploitation des centrales thermiques, la production électrique des réseaux non connectés engendre, au Canada, d'importantes émissions de gaz à effet de serre. Au Québec seulement, celles-ci s'élevaient, en 2014, à 228 353 tonnes d'équivalent CO₂, soit 97 % de plus que les émissions découlant, pour la même période, de la production de l'électricité pour le réseau intégré d'Hydro-Québec [4], [5].

Le recours, dans ce contexte, à des microréseaux autonomes intégrant différentes sources d'énergie renouvelable (EnR) est impératif pour assurer à la fois la sécurité énergétique des communautés hors réseaux et l'atteinte des objectifs de réduction de gaz à effet de serre entérinés par de nombreux États, dont le Canada.

Les efforts concertés de la communauté scientifique internationale et de la recherche appliquée ont permis, au cours des dernières années, quelques intéressantes

avancées dans le domaine des microréseaux autonomes intégrant les énergies renouvelables.

Figurant parmi les chefs de file dans ce domaine, le TechnoCentre éolien a développé une expertise de pointe qui s'appuie sur des travaux de recherche et des projets techniques réalisés à l'aide des infrastructures installées en conditions réelles sur un site de recherche grandeur nature. Cette expertise de pointe lui permet aujourd'hui de mener, en partenariat avec de nombreux acteurs de l'industrie et de la recherche, un vaste programme qui contribuera, à terme, à poser les bases d'une véritable transition énergétique au sein des communautés hors réseaux du Canada.



Le programme de recherche Opten mené par le TechnoCentre éolien s'inscrit dans une démarche de recherche, de développement et d'innovation dont l'objectif principal consiste à développer une expertise unique et reconnue dans le domaine de l'intégration des énergies renouvelables et des technologies de stockage dans les microréseaux. Opten traite notamment des défis techniques, technologiques et sociaux dans le but d'améliorer l'approvisionnement énergétique de tout le territoire canadien dans une perspective de développement durable.



LES MICRORÉSEAUX : UNE OPTION ÉNERGÉTIQUE D'AVENIR

L'électrification par des génératrices diesel des sites hors réseaux pose toujours d'immenses défis techniques et financiers, notamment au Canada où les territoires sont particulièrement vastes. Une étude de KPMG-SECOR révèle en effet que si aucune politique énergétique ambitieuse n'est mise en place, la consommation au Canada des carburants fossiles, tel que le diesel, augmentera vraisemblablement de 65 % pour atteindre 1,5 milliard de litres par an d'ici 2035.

Devant une telle augmentation, la substitution de la consommation de diesel par l'implantation d'énergies renouvelables devient pressante, d'abord pour les communautés où le développement humain et économique est tributaire de la sécurité énergétique, mais également pour certaines industries minières et forestières pour qui la réduction des coûts d'énergie assurerait la pérennité des investissements [6].

Un marché en plein essor

Les microréseaux constituent un marché intéressant en matière de production énergétique qui était estimé, en 2015, à 7 milliards de dollars US, avec une puissance installée de 1,2 GW. Selon les prévisions, le marché des microréseaux devrait par ailleurs connaître une augmentation importante au cours des prochaines années.

Qui plus est, les citoyens vivant dans des collectivités isolées approvisionnées par des réseaux non reliés aux réseaux électriques intégrés nord-américains doivent faire face à des tarifs d'électricité beaucoup plus élevés que leurs concitoyens raccordés aux réseaux.

Cette situation force souvent les gouvernements à subventionner les approvisionnements pour veiller à ce qu'ils demeurent accessibles. Dans ce contexte, les microréseaux jumelant éolien-diesel et solaire photovoltaïque constituent une formidable occasion de diversifier et de sécuriser l'approvisionnement énergétique des réseaux autonomes tout en réduisant l'utilisation des combustibles fossiles, comme le diesel.

Selon une étude menée par Asmus [7], la puissance totale estimée des microréseaux qui devrait être installée entre 2015 et 2024 serait supérieure à 37,8 GW. L'Asie-Pacifique détiendrait 39,8 % de cette capacité totale, suivie de près par l'Amérique du Nord dont la part de marché de capacité s'élèverait à 36 %.



Photo : TechnoCentre éolien

En Amérique du Nord, les microréseaux autonomes desservant des bases militaires non connectées forment un segment du marché très dynamique. La puissance installée de ce type de microréseau devrait d'ailleurs croître, passant de 76,4 MW en 2015 à 686,6 MW en 2024. Quant aux revenus qui seront générés, ils devraient atteindre, selon les estimations, 2,9 milliards de dollars US en 2024 [7].



Photo : TechnoCentre éolien



Des politiques énergétiques résolument tournées vers l'intégration des énergies renouvelables

Bien que le Programme écoÉNERGIE pour les collectivités autochtones et nordiques (PECAN) mis de l'avant par le ministère des Affaires autochtones et du Nord Canada ait pris fin en mars 2016, le gouvernement du Canada a annoncé, dans son budget 2016, des investissements historiques de 4,5 milliards de dollars sur cinq ans pour appuyer l'infrastructure dans les collectivités autochtones [8]. Ces sommes s'inscrivent dans le cadre d'investissements plus généraux pour l'infrastructure verte et l'infrastructure sociale qui comptent, entre autres, des investissements en matière d'approvisionnement énergétique.

Le gouvernement souhaite ainsi investir dans l'approvisionnement énergétique des collectivités isolées pour contribuer à réduire la dépendance au diesel dans les communautés

autochtones et du Grand Nord. Un budget qui s'élève à plus de 640 millions de dollars a été planifié afin de : 1) appuyer le déploiement de projets d'énergie renouvelable dans les communautés qui dépendent du diesel pour l'électricité et le chauffage; 2) réduire la dépendance au carburant diesel des communautés rurales et éloignées au sud du 60^e parallèle; et 3) appuyer l'utilisation de solutions durables pour améliorer la sécurité énergétique pour les communautés situées au nord du 60^e parallèle, y compris les communautés autochtones [9].

Membre du comité directeur de Mission Innovation, le Canada s'est récemment engagé, aux côtés de 22 autres États membres, à favoriser les énergies propres en doublant à ce sujet les investissements fédéraux destinés à la recherche et au développement, en encourageant les investissements privés et en intensifiant la collaboration nationale et internationale [10].

Le Canada a déjà réalisé des progrès considérables quant à ses objectifs d'investissements associés aux énergies propres. Outre une augmentation, au cours de 2015-2016, de 24 % des investissements de recherche, de développement et de démonstration dans le secteur de l'énergie,

le budget de 2017 prévoit de nouveaux investissements de l'ordre de 900 M\$ destinés au développement, à la démonstration technologique et à la poursuite de la recherche [10].



Plus près de nous, au Québec, la politique énergétique 2030 poursuit elle aussi de nombreux objectifs en matière d'énergie propre et d'accès aux énergies renouvelables pour tous les Québécois [11]. L'orientation 3 du plan d'action de la nouvelle politique énergétique stipule d'ailleurs, en ce qui a trait aux infrastructures, qu'il conviendrait de : « convertir l'alimentation de réseaux autonomes à des sources d'énergie plus propres et plus concurrentielles. » [12].

Le Plan d'approvisionnement 2014-2023 d'Hydro-Québec confirme de son côté que certains réseaux autonomes seront en déficit de puissance au cours des prochaines années.

C'est pourquoi la société d'État est également d'avis que de nouvelles solutions devront être considérées pour répondre à la demande tout en assurant un approvisionnement stable en électricité aux communautés

non reliées au réseau principal [11]. Dans l'optique de réduire à la fois les coûts d'approvisionnement et son empreinte environnementale, Hydro-Québec Distribution (HQD) souhaite convertir, totalement ou partiellement, l'ensemble des réseaux à d'autres sources d'énergie. Pour y parvenir, HQD a récemment mis en place un nouveau processus d'affaires dans lequel s'inscrivent des appels de propositions dont l'objectif est de solliciter le marché privé afin que des solutions plus économiques que le mode de production actuel soient proposées. Ce nouveau processus ainsi qu'un calendrier préliminaire ont été présentés dans le cadre du plan stratégique 2016-2020 d'Hydro-Québec (Tableau I) [13].

L'objectif de la nouvelle politique énergétique 2030 du gouvernement du Québec est d'atteindre, dans les réseaux autonomes de six communautés sélectionnées, un taux d'intégration des énergies renouvelables de 20 % d'ici 2020 [12].

Tableau I
Calendrier de lancement des appels de propositions [13]

Réseau visé	Objet	Date	Réseau visé	Objet	Date
Îles-de-la-Madeleine	Conversion éolien	23 octobre 2015 Début 2018	NUNAVIK	Conversion ouvert	Automne 2017
<i>Phase 1</i> <i>Phase 2</i>	raccord./ouvert		<i>Phase 1 - Est</i> Aupaluk Kangiqsualujjuaq Kangiqsujuaq Kangirsuk Kuujjuaq Quaqtaq		
Obedjiwan	Conversion biomasse	Novembre 2016			
La Romaine	Raccordement				
Tasiujaq	Pérennité thermique/ renouvelable?	Automne 2016/ Printemps 2017	<i>Phase 2 - Ouest</i> Aukulivik Inukjuak Ivujivik Kuujjuarapik Puvimutuq Salluit Umiujaq	Conversion ouvert	Automne 2018
Clova	Conversion ouvert	Printemps 2019			
Île-d'Entrée					
Port-Menier					



LE POINT SUR LES MICRORÉSEAUX

Un microréseau se définit comme un ensemble de charges et de sources de production d'énergie interconnectées pouvant fonctionner d'une manière autonome en cas d'absence de réseau électrique intégré. Il se classe en deux catégories : le microréseau autonome, et le microréseau décentralisé.

Les microréseaux autonomes sont des applications qui n'ont aucune possibilité de se connecter à un réseau électrique intégré. Parmi ces applications, on peut citer les sites miniers nordiques et les collectivités isolées.

Les microréseaux décentralisés sont des applications qui ont la capacité de se connecter/déconnecter d'un réseau électrique intégré. Ainsi, ils peuvent, quand c'est nécessaire, se déconnecter d'une manière harmonieuse d'un réseau électrique intégré, tout en assurant la continuité de l'alimentation des charges locales. De plus, lorsque le réseau électrique intégré redevient disponible, le microréseau se reconnecte sans altérer son fonctionnement.

Figure 2
Constitution d'un microréseau décentralisé [14]



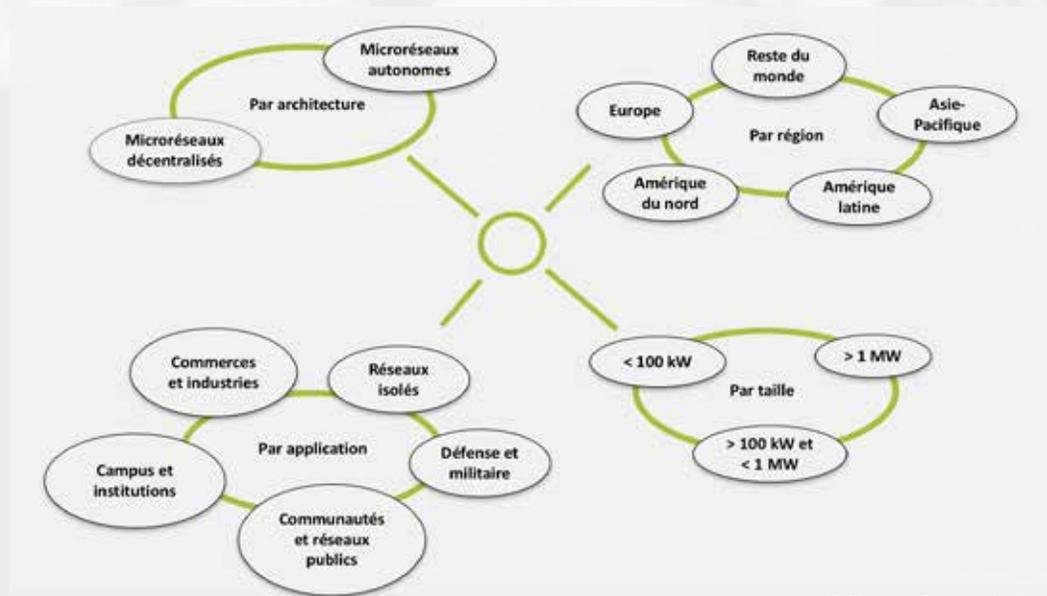
Ainsi, un microréseau, qu'il soit autonome ou décentralisé, est constitué principalement de quatre catégories de composants qui peuvent être décrites comme suit :

- Sources de production d'énergie
- Systèmes de stockage d'énergie
- Charges électriques
- Dispositifs de contrôle et de protection



Les microréseaux peuvent être classifiés selon différents critères allant du type de production à la taille, en passant par le type d'application qu'ils desservent (Figure 3).

Figure 3
Classification des microréseaux



© TechnoCentre éolien



Photos : TechnoCentre éolien



MICRORÉSEAUX : POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT ET DÉFIS

Les récents développements technologiques entourant les microréseaux et l'utilisation des énergies renouvelables (EnR), dont l'éolien et le solaire photovoltaïque, et des technologies de stockage d'énergie font en sorte que les microréseaux jumelant EnR-diesel pourraient améliorer la sécurité de l'approvisionnement énergétique des sites hors réseaux. En effet, l'exploitation de sources d'énergies renouvelables, propres et disponibles localement est une alternative sérieuse à l'importation de combustibles fossiles, comme le diesel. L'intégration des énergies renouvelables à ces microréseaux autonomes présente toutefois plusieurs défis d'ordre technique, économique et social.

Bon nombre de projets de microréseaux intégrant des énergies renouvelables ont d'ailleurs été lancés dans des sites hors

réseaux au Canada. Plusieurs de ces projets n'ont toutefois pas eu le succès escompté. Une analyse approfondie a démontré l'existence de plusieurs facteurs qui ont été tenus pour responsables de ces échecs. Il s'agit principalement de points techniques, ou technologiques, économiques et sociaux.

Loin d'être considérés comme des échecs, ces projets ont permis aux différents acteurs de mieux appréhender les problématiques et les solutions à privilégier. Le TechnoCentre éolien s'appuie d'ailleurs sur les leçons apprises pour travailler avec ses partenaires au développement de solutions novatrices.



Photo : TechnoCentre éolien



■ Défis techniques : assurer la fiabilité des réseaux électriques

L'intégration des énergies renouvelables aux microréseaux autonomes pose certains défis techniques. Leur intégration massive pourrait en effet mettre en cause la fiabilité des microréseaux, principalement en raison de leur faible capacité de production. Dans ce contexte, une adaptation des différents systèmes énergétiques et le développement de contrôleurs robustes sont indispensables pour pouvoir intégrer les énergies renouvelables aux microréseaux et absorber les fluctuations rapides de fréquence des sources renouvelables.

Les questions de gestion de la connexion/déconnexion des microréseaux aux réseaux électriques intégrés sont elles aussi complexes. Comment en effet assurer le maintien de la stabilité et la fiabilité du microréseau au moment où celui-ci se déconnecte du réseau électrique intégré de façon à ce qu'il puisse

assurer la continuité de l'alimentation de ses charges locales tout en opérant en mode îloté?

Plusieurs questions se posent également en ce qui a trait aux différentes technologies utilisées pour adapter les microréseaux autonomes aux réalités environnementales locales. Les technologies doivent en effet assurer le fonctionnement des microréseaux à des régimes optimaux, et ce, même dans des conditions extrêmes comme celles qui prévalent dans le Grand Nord canadien, par exemple. Enfin, certains aspects liés aux dispositifs de protection destinés à mieux protéger les opérateurs de microréseaux et les différents systèmes énergétiques qui y sont connectés posent toujours des défis techniques.



Technologies de stockage

Bien qu'elles soient nécessaires pour assurer la stabilité d'un microréseau et permettre un taux de pénétration élevé des énergies renouvelables, les technologies de stockage actuelles ont encore des capacités relativement faibles pour un coût très élevé. Outre les coûts et le rendement, des défis non négligeables se posent toujours en ce qui a trait à l'adaptation technologique et à l'opération dans le contexte particulier des régions isolées. Pensons notamment aux écarts de température importants qui nécessitent des installations appropriées et des modes d'opération spécifiques. En somme, la recherche à réaliser dans le domaine du stockage et de son adaptation aux climats nordiques demeure vaste.



■ Défis économiques : assurer la viabilité et la rentabilité des microréseaux

Les microréseaux ont été a priori développés pour répondre principalement à différentes questions liées à l'intégration des énergies renouvelables à petite échelle et pour faire face à une demande accrue d'approvisionnement en électricité fiable. Bien que l'intérêt envers les microréseaux soit grandissant et plus que jamais à propos, les entreprises ont et auront encore besoin de soutien technologique et

financier pour adapter et expérimenter leurs solutions, notamment aux conditions nordiques. En effet, l'adaptation technologique aux réalités de la production et des environnements complexes comme le Grand Nord a un coût qui engendre inévitablement d'importants besoins financiers.

Le potentiel de recherche en ce qui a trait aux microréseaux est immense et représente une formidable occasion de favoriser le développement durable du territoire.

Des efforts d'investissement et de développement demeurent alors nécessaires, non seulement pour rendre les applications de microréseaux technologiquement réalisables et fiables, mais aussi pour les rendre commercialement viables et attrayantes. Une analyse des différentes études liées aux diverses questions économiques, réglementaires et commerciales auxquelles est confronté le développement des microréseaux fait ressortir plusieurs facteurs. Parmi ceux-ci, soulignons les défis logistiques, le manque d'outils permettant de réaliser des analyses de rentabilité économique fiables et précises quant aux projets de microréseaux et les fluctuations

du prix des carburants fossiles qui rendent les investissements incertains. Ces facteurs d'incertitude risquent, à terme, de freiner le déploiement de tels projets. Les questions réglementaires concernant les différents services que les microréseaux peuvent fournir aux réseaux électriques (écrêtement des pointes de la charge, régulation de la fréquence, etc.) peuvent aussi avoir un impact sur le développement des microréseaux.



■ Défis sociaux : assurer l'acceptabilité sociale au sein des collectivités

Comme nous l'avons mentionné précédemment, plusieurs projets de microréseaux intégrant des énergies renouvelables lancés dans des sites hors réseaux au Canada n'ont pas eu le succès escompté. Outre les aspects techniques et économiques, certains aspects sociaux figurent parmi les raisons qui expliquent ce phénomène. Dans un tel contexte, on peut se demander ce qu'il en est de l'acceptabilité sociale de ce type de projets pour lesquels une résistance sociale apparaît, et ce, en dépit de l'appui des gouvernements et des groupes environnementaux.

La réussite à long terme des pratiques, des politiques et des projets dépend entre autres de leur acceptabilité. Déjà, en 1960, certains chercheurs affirmaient, sans nommer l'acceptabilité sociale, que trois conditions doivent être réunies pour qu'une politique ou un projet soit durable : sa faisabilité économique, sa faisabilité technique et sa faisabilité culturelle [15].

Autrefois marginalisées, les communautés autochtones demandent maintenant d'être consultées et de participer à tout projet se déroulant sur leur territoire ou ayant un impact possible sur leurs intérêts [16]. Ces changements introduisent de nouvelles dynamiques pour les intervenants souhaitant effectuer des projets sur les territoires revendiqués ou gérés par les autochtones. Plus précisément, cela implique que le niveau de mobilisation des communautés autochtones auprès des promoteurs doit passer de simples séances d'information ou de consultation à un processus d'implication soutenu à chaque étape de réalisation des projets.



Acceptabilité sociale

Il existe peu de définitions du concept de l'acceptabilité sociale. Pour certains spécialistes, la notion d'acceptabilité sociale est directement liée à la perception d'une menace qu'un projet peut laisser planer sur la vie ou la qualité de vie d'un milieu, donc sur l'utilisation des biens et des activités humaines de ce milieu. L'acceptabilité sociale est alors définie comme « l'acceptation anticipée d'un risque à court et à long terme qui accompagne, soit un projet, soit une situation. » [17]



Une étude réalisée par Weis, Ilinca et Pinard [18] a permis de mieux appréhender les différents facteurs ayant une incidence sur la réussite des projets de jumelage éolien-diesel dans les communautés éloignées. Les auteurs de cette étude ont interrogé différents acteurs, manufacturiers, chercheurs, opérateurs publics, développeurs ou employés gouvernementaux impliqués dans des projets de

ce type dont plusieurs n'ont pas connu les résultats escomptés. Au terme de nombreuses entrevues, le bilan de l'étude a permis de définir neuf obstacles et de les classer selon leur niveau de risque pour le projet (Tableau II) [19].

Tableau II
Facteurs d'incidence sur la réussite des projets de jumelage

	Manufacturiers (17 %)	Chercheurs (26 %)	Opérateurs publics (17 %)	Développeurs (21 %)	Employés gouvernementaux (19 %)	Moyenne (100 %)
Coûts d'investissement	2	1	3	1	1	1
Coûts d'exploitation	5	2	2	2	3	2
Risques techniques perçus	1	4	5	2	2	3
Accès à l'équipement/ travailler localement	5	3	3	5	4	4
Maturité technologique	8	7	1	6	5	5
Défaillance du marché	7	5	6	6	6	6
Sensibilisation des services publics	2	6	10	8	7	7
Sensibilisation des communautés	4	9	8	9	7	8
Barrières réglementaires	10	8	9	4	11	9

Notes : Total de 42 répondants
1 représentant les obstacles les plus importants et 11, l'obstacle le moins important



L'acceptabilité sociale figure donc aujourd'hui parmi les éléments incontournables de la réussite des projets et du développement durable. Bien plus qu'une affaire de sondages ou de mémoires favorables, l'acceptabilité sociale exige un réel effort de concertation ou de négociation qui suggère :

- Que le citoyen soit au cœur du développement
- Qu'il y ait un large consensus autour du projet
- Que l'information soit accessible, juste et complète
- Que le modèle de développement des projets soit révisé
- Qu'il y ait une réelle compréhension des motifs et des besoins des citoyens ou des collectivités touchés par le projet [17].





OPTEN : ALLIER L'INDUSTRIE ET LA RECHERCHE VERS UNE SOLUTION DURABLE

Fort de ses acquis et de l'expertise développée au cours de la dernière décennie, le TechnoCentre éolien mène actuellement un important programme de recherche portant

sur l'optimisation de l'intégration des énergies renouvelables et des technologies de stockage dans les microréseaux.

Optimisation des énergies nouvelles

Opten est un ambitieux programme de recherche qui réunit des industriels et des chercheurs autour d'un objectif commun : développer des solutions technologiques novatrices pour optimiser l'approvisionnement énergétique dans les communautés hors réseaux tout en favorisant une meilleure intégration des énergies renouvelables.

Opten s'appuie sur des valeurs d'engagement, d'excellence, de collaboration et d'audace.



Un programme de recherche novateur

Mené en partenariat avec de nombreuses entreprises et plusieurs établissements d'enseignement, ce programme, financé par le Conseil de recherche en science naturelle et génie du Canada (CRSNG), compte sept projets regroupés sous les trois axes que sont (Figure 4) :

- l'optimisation de la conception et du design des microréseaux;
- le développement de solutions de contrôle avancé pour une régulation optimale des flux de puissance (active et réactive);
- l'amélioration des performances opérationnelles des microréseaux à travers des solutions innovantes touchant la supervision et le suivi à distance de leurs performances.



Plus précisément, le programme de recherche traitera des aspects suivants :

- l'intégration de la production éolienne dans des microréseaux autonomes (îles, mines, villages nordiques, etc.);
- l'intégration de la production de l'énergie solaire photovoltaïque (PV) dans des microréseaux autonomes;
- l'hybridation entre les sources d'énergie renouvelables (éolien/solaire PV) et les centrales thermiques (diesel) – systèmes énergétiques multisources;
- la modélisation et la simulation des systèmes énergétiques en temps réel;
- le développement de solutions avancées de contrôle du flux de puissance.



Un projet intégrateur

Le programme Opten mise sur la collaboration, l'innovation et l'excellence pour apporter des réponses aux défis énergétiques du XXI^e siècle.

L'objectif principal du programme Opten consiste à développer une expertise unique et reconnue dans le domaine de l'intégration des énergies renouvelables et des technologies de stockage dans les microréseaux.



Photo : TechnoCentre éolien

Les différentes facettes du programme de recherche Opten s'inscrivent dans un projet intégrateur qui prévoit la mise en service d'une plateforme expérimentale permettant notamment des simulations numériques et des validations expérimentales, la création d'outils d'analyse destinés aux communautés et finalement, la mise sur pied d'un centre de formation spécialisé.



■ Un cadre de référence en acceptabilité sociale

La réalisation du programme de recherche s'appuie sur une étroite collaboration entre les chercheurs et les communautés nordiques. Pour se déployer avec succès, le programme doit donc compter sur la volonté de ces dernières de participer au développement et à l'implantation des innovations technologiques. Pour qu'elle soit constructive, cette collaboration exigera une approche concertée afin que les communautés nordiques prennent entièrement part au déroulement des différents projets.

Dans ce contexte, le TechnoCentre éolien prévoit travailler, en collaboration avec le Centre d'initiation à la recherche et aide

au développement durable (CIRADD), au développement d'un modèle d'intervention destiné aux chercheurs associés au programme de recherche Opten. Le TechnoCentre éolien compte ainsi fournir à l'ensemble des partenaires un cadre de référence leur permettant de réaliser le programme de recherche tout en s'assurant que celui-ci se déroule au profit des communautés concernées.

La philosophie qui sous-tend le développement d'un modèle d'intervention faisant état des meilleures pratiques est de maximiser l'implication des collectivités à chaque phase de réalisation du projet, et ce, en accordant une importance particulière aux phases de réalisation initiales.



LE TECHNOCENTRE ÉOLIEN

Des expertises de pointe

Le TechnoCentre éolien œuvre avec ses partenaires industriels, institutionnels et des établissements d'enseignement pour réunir, dans le cadre du programme Opten, toutes les solutions gagnantes permettant le déploiement de projets de microréseaux destinés à l'électrification des sites hors réseaux. L'objectif commun consiste à travailler de front sur plusieurs points, selon l'état des avancées technologiques des différentes solutions énergétiques.

Outre son équipe de recherche multidisciplinaire, le TechnoCentre éolien met à la disposition de ses partenaires des bancs d'essai uniques qui leur permettent de valider, en conditions réelles, les différentes solutions énergétiques qu'ils proposent.

Maturité technologique | Du développement à la commercialisation des innovations

Développement technique lorsque les solutions industrielles existantes sont à des niveaux de maturité bas.

Développement des solutions sous forme de preuves de concept et validation sur les plateformes expérimentales dont dispose le TechnoCentre éolien.

Validation et adaptation des solutions technologiques au climat rigoureux du Grand Nord afin d'assurer une meilleure implantation dans les sites hors réseaux.

Démonstration des performances de solutions énergétiques ayant des niveaux de maturité plutôt élevés, mais qui n'ont pas été testées sur des microréseaux réels.



Des infrastructures uniques

Le TechnoCentre éolien a déployé, au cours des dernières années, un important programme d'acquisition d'infrastructures de recherche. Il dispose aujourd'hui d'un parc éolien de 4 MW¹ connecté au réseau de distribution d'Hydro-Québec, d'un microréseau hybride multisources (éolien-solaire photovoltaïque et diesel) avec stockage d'énergie et d'un ensemble d'équipements permettant l'étude et la caractérisation des ressources renouvelables (ex. : deux mâts de mesure, un lidar à balayage 3D, etc.). Regroupées sur un même

site de recherche situé à Rivière-au-Renard, au Québec, ces infrastructures constituent un laboratoire grandeur nature unique en Amérique du Nord.

Il va sans dire que ces infrastructures de recherche permettent au TechnoCentre éolien et à ses partenaires de développer et de valider, sur bancs d'essai, des solutions énergétiques novatrices qui participeront sans contredit à la transition énergétique dans laquelle se sont engagés de nombreux États.



Photo : TechnoCentre éolien

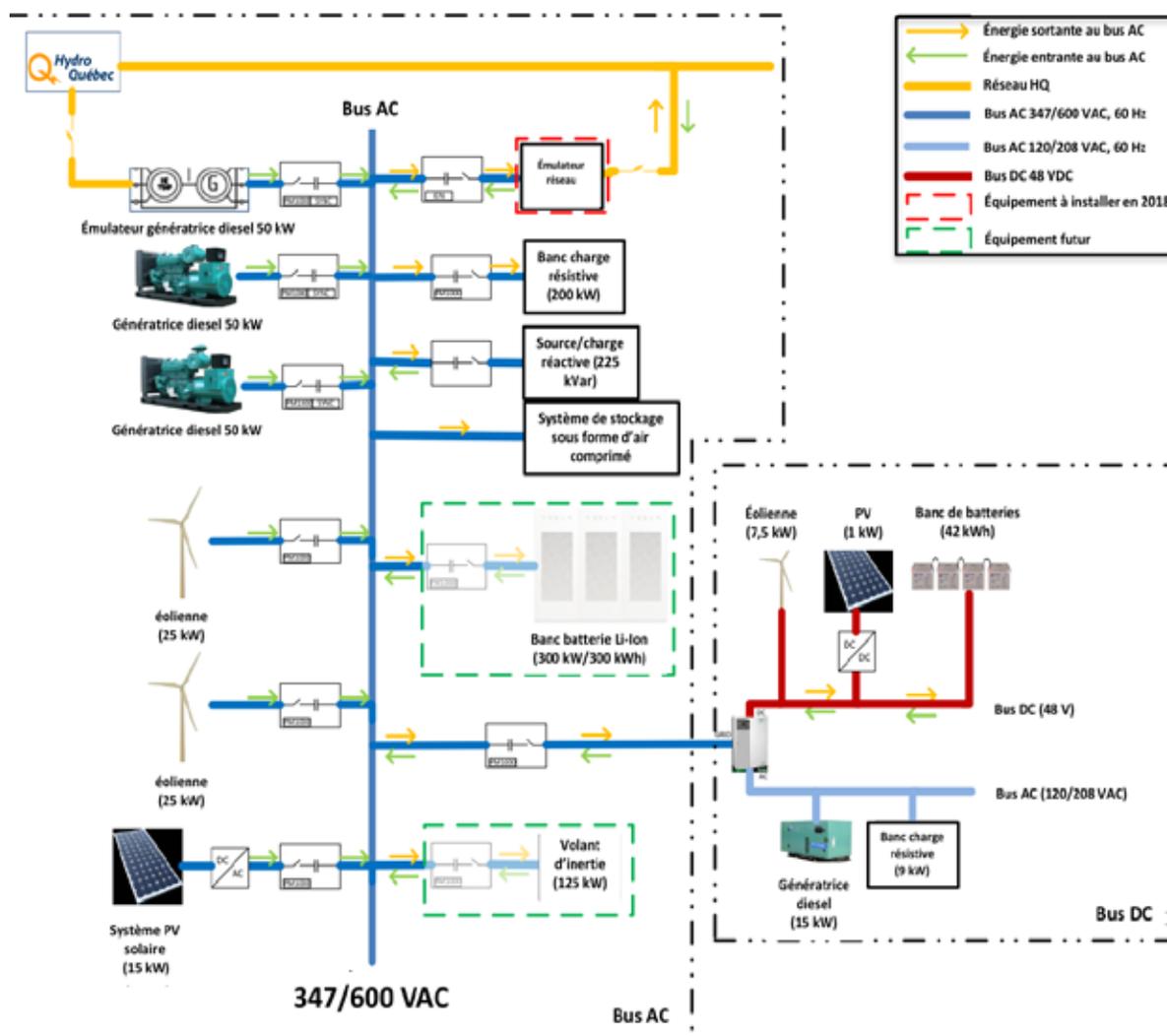
Outre ces infrastructures, le TechnoCentre éolien est sur le point d'acquiescer une plateforme de simulation en mode semi-réel (OPAL-RT) qui permettra le développement de solutions énergétiques avant-gardistes.

Ce faisant, il agira comme un acteur de premier ordre pouvant mener les innovations vers des degrés de maturité technologiques plus élevés en vue de leur commercialisation.

1. Le parc éolien de 4,1 MW a été mis en service en 2011.



Figure 5
Schéma des installations expérimentales
du TechnoCentre éolien





CONCLUSION : OPTER POUR UNE SOLUTION GAGNANTE

Les solutions proposées par le programme de recherche Opten mis de l'avant par le TechnoCentre éolien auront incontestablement un impact positif sur l'environnement, le développement socioéconomique et la mise en valeur du territoire. Qui plus est, ces solutions cadrent parfaitement avec les stratégies d'approvisionnement en énergie des régions isolées et de développement durable prônées par le Québec, le Canada et de nombreux pays.

Les négociations sur le climat qui se sont tenues en 2015 à Paris ont en effet dépassé la plupart des attentes dans la mesure où elles ont mené à un ambitieux accord portant sur la limitation des émissions de carbone afin d'atténuer les répercussions des changements climatiques. Cet accord comporte plusieurs aspects importants, dont l'engagement des pays développés à contribuer à un fonds commun à la hauteur de 100 milliards de dollars US annuellement.

Cet important investissement destiné à soutenir la transition des pays en voie de développement vers une trajectoire de développement à faible émission de carbone favorisera sans contredit la recherche et la mise en place des mesures d'adaptation destinées à modérer les conséquences des changements climatiques, dont l'intégration des énergies renouvelables, notamment dans les réseaux décentralisés ou autonomes.

Le projet de recherche et les solutions proposées par le TechnoCentre éolien s'inscrivent dans la foulée de ce contexte favorable. Par l'intermédiaire du projet de recherche Opten, le TechnoCentre éolien et ses partenaires travaillent conjointement au développement de solutions novatrices permettant de réduire sensiblement la consommation de diesel des communautés isolées et des sites hors réseaux.

Dans le contexte de la 4^e révolution industrielle qui projette de modifier la manière de produire et de consommer l'énergie, le TechnoCentre éolien travaille en étroite collaboration avec l'industrie pour proposer des solutions à même d'accompagner efficacement cette mutation placée sous le sceau de la décarbonisation, de la décentralisation et de la numérisation.

Un objectif ambitieux qui pourra être atteint par une intégration fiable et compétitive des énergies renouvelables dans les microréseaux. Les avancées technologiques que permettent des programmes de recherche poussés, comme Opten, représentent, dans un contexte socioéconomique, énergétique et environnemental en pleine mutation, une occasion inespérée de changer le paradigme et d'encourager l'innovation pour repenser la production et la sécurité énergétique des nations.



RÉFÉRENCES

1. Gouvernement du Canada, Ressources naturelles Canada. « Status of Remote/Off-Grid Communities in Canada », août 2011, [En ligne]. [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/2013-118_en.pdf].
2. Mariano A., Claudio A. Cañizares and Mehrdad Kazerani. « Northern lights: access to electricity in Canada's northern and remote communities », *IEEE Power & Energy Magazine*, vol. 12, no. 4, pp. 50-59, 2014.
3. Martinez P. « Des collectivités éloignées au Canada n'ont pas accès à de l'électricité fiable et abordable », *Radio-Canada international*, 28 septembre 2016, [En ligne]. [<http://www.rcinet.ca/fr/2016/09/28/des-collectivites-eloignees-au-canada-nont-pas-acces-a-de-lelectricite-fiable-et-abordable/>].
4. Hydro-Québec. *Rapport sur le développement durable*, 2013.
5. MDDELCC. *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2013 et leur évolution depuis 1990*, p. 24, 2016.
6. TUGLIQ. *Le jumelage éolien-micro-GNL : une solution énergétique pour desservir les sites éloignés et les réseaux autonomes*, Québec, 2013.
7. Asmus P. « Market Data: Microgrids », Navigant Research, Colorado, 2016.
8. Gouvernement du Canada. Affaires autochtones et du Nord Canada. *Faits saillants du budget de 2017 – Investissements pour les Autochtones et le Nord*, 30 novembre 2017, [En ligne]. [<https://www.aadnc-aandc.gc.ca/fra/1490379083439/1490379208921?=&wbdisable=true>].
9. Gouvernement du Canada. « Des communautés conçues pour l'avenir », dans *Le budget 2017 : Plan budgétaire*, 22 mars 2017, [En ligne]. [<https://www.budget.gc.ca/2017/docs/plan/chap-02-fr.html>].
10. Gouvernement du Canada. Ressources naturelles Canada. *Mission Innovation*, 6 juillet 2017, [En ligne]. [<http://www.nrcan.gc.ca/energie/ressources/mission-innovation/18613>].
11. Gouvernement du Québec. *Politique énergétique 2030*, 2016, page 49, [En ligne]. [<https://politiqueenergetique.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/politique-energetique-2030.pdf>].
12. Gouvernement du Québec. *Plan d'action de la Politique énergétique 2030*, 27 juillet 2017, [En ligne]. [http://politiqueenergetique.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/Tableau-PA-PE2030_FR.pdf].
13. Hydro-Québec Distribution. *Plan d'approvisionnement 2017-2026 – Réseaux autonomes*, 1^{er} novembre 2016, page 10, [En ligne]. [http://publicsde.regie-energie.qc.ca/projets/389/DocPrj/R-3986-2016-B-0010-Demande-Piece-2016_11_01.pdf].



RÉFÉRENCES

14. Clean Technica. « Remote Microgrids Now Dominate Global Microgrid Market », 10 décembre 2015. [En ligne]. [<http://cleantechnica.com/2015/12/10/remote-microgrids-now-dominate-global-microgrid-market/>].
15. Yelle V. *L'acceptabilité sociale : définition du concept et aspects reliés au processus de jugement individuel*, Partie A, La Forêt à Cœur, [En ligne]. [<http://laforetacoer.ca/blog/acceptabilite-sociale-definition-concept-aspects-relies-processus-jugement-individuel-partie-a/>].
16. Gouvernement du Québec. *Amérindiens et Inuits du Québec. Guide intérimaire en matière de consultation des communautés autochtones*, 2008.
17. Bolivar J.-G. *L'acceptabilité sociale des projets est-elle un mythe ou une réalité?* [En ligne]. [<https://pmiquebec.qc.ca/index.php/articles-du-mois/150-l-acceptabilite-sociale-des-projets-est-elle-un-mythe-ou-une-realite>].
18. Weis T. M., Ilinca A. et Pinard J.-P. « Stakeholders' perspectives on barriers to remote wind–diesel power plants in Canada », *Energy Policy*, vol. 36, no. 5, p. 1611–1621, 2008.

TechnoCentre *éolien*

Wind Energy TechnoCentre

70, rue Bolduc
Gaspé (Québec) G4X 1G2
Canada
+1 418 368-6162 • www.eolien.qc.ca

Nos principaux partenaires

