Intégration des énergies renouvelables dans les collectivités éloignées

Résumé des considérations relatives à la fiabilité électrique

Conférence des ministres de l'Énergie et des Mines

Iqaluit, Nunavut

Août 2018

Intégration des énergies renouvelables dans les collectivités éloignées

Résumé des considérations relatives à la fiabilité électrique

Conférence des ministres de l'Énergie et des Mines

Iqaluit, Nunavut

Août 2018

Also available in English under the title: Towards Renewable Energy Integration in Remote Communities – A Summary of Electric Reliability Considerations

Cat No. xx-xxx/2018E-PDF (Online)
ISBN xxx-x-xxx-xxxxx-x

Table des matières

Introduction 2

Historique 2

Production d'électricité au diésel 3

Stockage d'énergie 6

Production d'électricité à l'énergie solaire 6

Production d'électricité à l'énergie éolienne 9

Systèmes de commande 10

Approbations et accords 10

Résumé 11

Annexe 12

- Centrale électrique hybride éolienne-diésel 13
- Projet de recherche sur l'énergie éolienne, l'hydrogène et le diésel 15
- Projet pilote — groupe électrogène diésel à vitesse variable et énergie solaire 17
- Projet de centrale solaire/diésel avec stockage 18
- Projet de production indépendante d'énergie solaire 20

Glossaire 21

Introduction

Le Canada compte environ 280 collectivités et sites commerciaux dans des régions éloignées et nordiques, qui ne sont pas raccordés au réseau électrique nord-américain et dont la majorité dépend du carburant diésel comme source d'énergie principale[1].

L'approvisionnement en électricité des collectivités éloignées provient principalement de groupes électrogènes diésel, en raison de leur fiabilité et du fait que les sociétés locales de services publics connaissent bien cette technologie. L'intégration de sources d'énergie renouvelable dans ces endroits offre l'opportunité de réduire la consommation de diésel, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de diminuer les coûts d'électricité. Bien qu'il soit techniquement possible d'utiliser les énergies éolienne et solaire pour réduire la dépendance d'une collectivité au diésel, la fiabilité de l'approvisionnement énergétique d'une collectivité demeure primordiale.

Le présent document donne un aperçu des considérations liées à la fiabilité de l'électricité que les services publics locaux et les collectivités hors réseau qu'ils desservent doivent prendre en compte lorsqu'ils cherchent à réduire la consommation de diésel par l'intégration de sources d'énergie renouvelable. La marge de manœuvre du réseau électrique existant, la variabilité à court terme et saisonnière de la disponibilité des ressources éoliennes et solaires, l'accessibilité du site et les conditions météorologiques extrêmes, ainsi que la capacité locale à construire, à exploiter et à entretenir des réseaux électriques hybrides sont autant de facteurs qui déterminent la quantité d'énergie renouvelable qu'une collectivité éloignée peut intégrer de façon fiable.

Historique

Les collectivités sont soit raccordées au réseau électrique nord-américain (réseau de production-transport d'électricité), soit alimentées par des microréseaux éloignés. Pour les collectivités raccordées au réseau, la fiabilité et la sécurité du réseau de production-transport d'électricité sont assurées par un ensemble de normes de fiabilité d'approvisionnement en électricité définies principalement par la North American Electric Reliability Corporation (NERC), adoptées par les services publics, et appliquées par les organismes de règlementation[2]. Les normes de la NERC ne s'appliquent pas aux microréseaux éloignés; cependant, les services publics qui fournissent l'électricité sont responsables de la fiabilité de l'approvisionnement et sont réglementés par les commissions de services publics pertinentes.

Qu'ils soient connectés au réseau ou éloignés, les **services essentiels de fiabilité** qui soutiennent le fonctionnement fiable de ces systèmes ont le même objectif : faire correspondre en permanence la production à la demande (charge) en temps réel, de façon à maintenir la fréquence et la tension dans des limites acceptables, et assurer le rétablissement de la fréquence à la normale après des

[1] http://atlas.gc.ca/rced-bdece/fr/index.html
[2] http://www.rncan.gc.ca/energie/electricite-infrastructure/18793

perturbations. Cela permet au réseau de répondre à la demande d'électricité de la collectivité, de protéger l'intégrité des charges interconnectées et des groupes électrogènes, et d'éviter les coupures d'alimentation non planifiées.

Les réseaux éloignés sont confrontés à des problèmes de fiabilité uniques par rapport aux installations reliées au réseau de production-transport d'électricité. Le microréseau éloigné dépend d'un nombre limité de groupes électrogènes et ne peut compter sur une province, un territoire ou un État voisin pour le soutien ou comme réserve. Pour cette raison, la défaillance de toute source de production d'électricité pourrait avoir une incidence disproportionnée sur le microréseau et sur sa capacité à continuer de répondre à la demande. L'intégration de sources d'énergie renouvelable, comme l'énergie éolienne et solaire, dont la production est variable, peut permettre d'approfondir la mise à l'essai de ces sources.

Les services essentiels de fiabilité comportent une série de capacités conçues pour maintenir le réseau électrique dans les limites normales de fréquence et de tension de fonctionnement. Lorsque les valeurs de fréquence et de tension dépassent les seuils de tolérance, les composants du réseau électrique doivent réagir pour rétablir les conditions de fonctionnement, au risque d'une rupture d'alimentation. Ces services sont classés en trois grands domaines, décrits ci-dessous et illustrés dans de courtes vidéos :

1) **Maintien de la fréquence** : Ces ressources visent à prévenir les hausses et les chutes de fréquence à la suite de conditions inhabituelles et à ramener la fréquence à la normale.

2) **Modulation et équilibrage** : Ces ressources visent à assurer une correspondance étroite entre l'offre et la demande en tout temps. Bien que cela puisse ressembler à une forme de contrôle de la fréquence, la modulation et l'équilibrage interviennent pendant le fonctionnement normal du réseau, comparativement aux ressources de support, qui visent à rétablir la fréquence suite à une perturbation.

3) **Maintien de la tension** : Ces ressources visent à assurer localement une tension suffisante pour que l'électricité puisse être acheminée là où elle est nécessaire. Des sources de puissance active et réactive sont utilisées pour fournir ce service.

Comme nous le verrons dans les sections suivantes, bien qu'il soit possible d'intégrer de manière fiable les plus faibles quantités d'énergie provenant de sources renouvelables variables, à des quantités plus élevées, la pénétration peut nécessiter la prise de mesures supplémentaires pour s'assurer que leur exploitation n'entraîne pas d'autres problèmes de fiabilité.

Production d'électricité au diésel

Les groupes électrogènes au diésel conventionnels permettent de moduler la production à la hausse et à la baisse en fonction des variations de la demande ou de la production d'énergie renouvelable, et ce afin que la production corresponde à la demande en temps réel. Cette modulation a cependant des limites. Tous les groupes électrogènes ont des plages de fonctionnement et des vitesses d'augmentation ou de réduction de la production sécuritaires et efficaces. Lorsque la pénétration des sources d'énergie

renouvelables pousse le système diésel existant au-delà de sa plage de fonctionnement permise, il peut y avoir des répercussions sur la fiabilité de l'apport d'énergie électrique si des mesures supplémentaires ne sont pas prises.

Les groupes électrogènes au diésel conventionnels ne peuvent pas fonctionner en dessous de 30 à 50 % de leur point de charge maximal (modulation à la baisse) pendant de longues périodes sans provoquer d'accumulation de carbone, ou « glaçage ». Pour cette raison, la contrainte de charge minimale d'un groupe électrogène diésel est normalement fixée entre 30 et 50 %, afin de prévenir l'usure prématurée de l'appareil et de limiter tout risque de défaillance du moteur.

L'utilisation de groupes électrogènes au diésel conventionnels à des charges inférieures à la normale réduira également le rendement énergétique de l'appareil. Lorsque la production du groupe électrogène est réduite pour s'adapter aux apports accrus d'énergie renouvelable, son efficacité peut chuter de 25 % (p. ex. de 4 à 3 kWh/litre), comme l'illustre la figure 1.

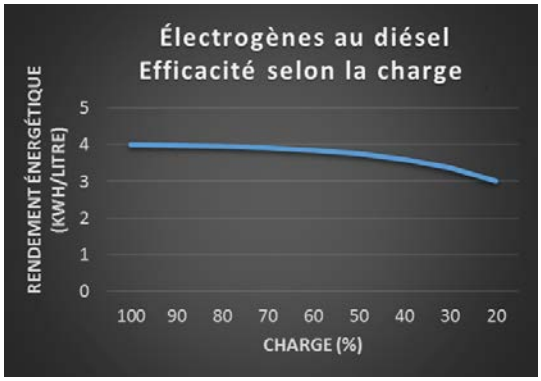

Figure 1 : Efficacité selon la charge.

Les groupes électrogènes au diésel dont la capacité nominale dépasse largement la charge (appareils surdimensionnés) fonctionnent peut-être déjà à leur charge minimale ou presque. Cela limite l'efficacité de l'apport d'énergie provenant du vent et du soleil, tel qu'il est illustré au tableau 1 pour une charge de 100 kW.

Tableau 1 : Illustration de l'effet de la puissance du groupe électrogène sur la pénétration de l'énergie solaire pour une charge de 100 kW[3]

Capacité nominale du groupe électrogène	Charge minimale (Facteur de charge de 40 %)	Charge nette pouvant provenir de l'énergie solaire (1)	Pénétration de l'énergie solaire (instantanée)
kW	kW	kW	%
150	60	40	40
200	80	20	20
250	100	0	0

(1) Charge de 100 kW moins la charge minimale requise pour le groupe électrogène.

Le nombre et la puissance des groupes électrogènes au diésel en service, ainsi que l'utilisation de stratégies appropriées liées au cyclage, peuvent toutefois aider à optimiser le degré de contribution de l'énergie éolienne et solaire[4].

[3] http://acep.uaf.edu/media/87693/SolarDieselGridHandbook.pdf
[4] Diesel Plant Sizing and Performance Analysis of a Remote Wind-Diesel Microgrid

- En 2004, Ramea, une collectivité insulaire de Terre-Neuve-et-Labrador, a intégré une pénétration moyenne d'énergie éolienne dans un système desservi par une centrale diésel composée de trois groupes électrogènes de capacité égale (925 kW). Un aperçu de ce projet est fourni en annexe.

Les systèmes de commande comprenant des charges résistives et une capacité de stockage appropriée peuvent également servir à optimiser l'efficacité et la fiabilité globales d'un système de production d'énergie utilisant des groupes électrogènes au diésel conventionnels, en conciliant l'efficacité du diésel et la production solaire ou éolienne.

La puissance de sortie des panneaux photovoltaïques peut varier en des temps de l'ordre de quelques secondes à quelques minutes, tandis que les turbines d'éolienne réagissent en quelques minutes. Les groupes électrogènes au diésel peuvent être mis à contribution pour compléter en temps opportun la production provenant de l'énergie solaire ou éolienne, c'est-à-dire produire de l'électricité pour répondre à la demande locale non comblée par la ou les sources variables d'énergie renouvelable. Des moyens technologiques existent pour atténuer ces variations et réduire l'apport des groupes électrogènes au diésel. Il s'agit notamment de simples bancs résistifs qui peuvent limiter la quantité d'énergie produite par la source d'énergie renouvelable. Les onduleurs de systèmes solaires photovoltaïques perfectionnés permettent de fixer un objectif de production qui limite la puissance de sortie, ou comportent des paramètres qui ralentissent la vitesse d'augmentation ou de réduction de la production d'énergie. Les grandes éoliennes (1 MW et plus) ont une capacité similaire d'ajustement de leur production d'énergie de façon à respecter des seuils préétablis et peuvent aussi limiter la vitesse d'augmentation de leur production d'énergie. Quant aux systèmes permettant de stocker l'énergie, le stockage permet aussi d'amortir les cycles de production des systèmes solaires et éoliens, comme il est indiqué ci-dessous.

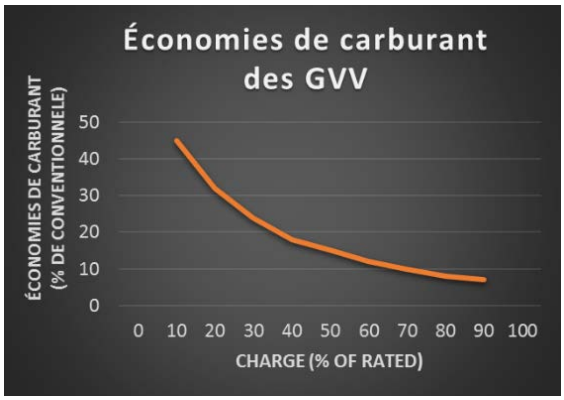

Figure 2 : Économies de carburant des GVV selon la charge.

Les technologies diésel novatrices, comme les groupes électrogènes à vitesse variable (GVV), bien que plus complexes, offrent une plus grande marge de manœuvre, car on peut moduler rapidement et efficacement leur production d'énergie et elles peuvent mieux fonctionner à une charge plus basse que les groupes électrogènes conventionnels.

La figure 2 montre les économies de carburant que les GVV permettent d'obtenir grâce aux charges variables par rapport aux groupes électrogènes diésel conventionnels. Cela permet une meilleure intégration et une pénétration accrue des énergies renouvelables dans les réseaux éloignés.

- La Northwest Territories Power Corporation (NTPC) a entrepris un projet pilote utilisant la technologie GVV à Aklavik. En février 2018, la NTPC a annoncé la mise en service de l'appareil à

l'essai, qui marque le début d'une période d'essai d'un an visant à évaluer son rendement. Un aperçu de ce projet est fourni en annexe.

Les limites opérationnelles d'un groupe électrogène diésel, couplées à la variabilité des sources d'énergie éolienne et solaire, peuvent limiter la pénétration efficace de ces sources d'énergie renouvelable. Les systèmes hybrides éolien-diésel sans stockage d'énergie, par exemple, fonctionnant avec l'apport continu d'un ou plusieurs groupes électrogènes diésel peuvent devoir imposer des limites à l'énergie qui peut être importée. Cela peut avoir pour effet secondaire de devoir détourner ou perdre l'énergie renouvelable si le groupe électrogène fonctionne à sa charge minimale, et que son apport ne peut pas être réduit davantage.

Stockage d'énergie

Le stockage d'énergie gagne actuellement en importance dans l'exploitation fiable des microréseaux, et le deviendra de plus en plus à mesure qu'augmentera la part des énergies renouvelables. Des technologies comme les volants d'inertie, le stockage thermique et les batteries peuvent répondre très rapidement aux variations de demande et peuvent fournir des services essentiels de fiabilité (SEF), tels que le soutien en matière de fréquence et la capacité de réserve, que les groupes électrogènes diésel conventionnels ne sont pas en mesure de fournir. Selon les besoins, les systèmes de stockage d'énergie peuvent servir de source de production ou de source de demande (selon qu'ils sont en mode de décharge ou de charge) et peuvent ajuster leur production très rapidement, de sorte que le stockage d'énergie apporte une grande marge de manœuvre au réseau.

- Un système utilisant des batteries a été installé à la centrale électrique hybride diésel/solaire de Colville Lake afin d'augmenter la pénétration de l'énergie solaire et l'efficacité de la centrale. Un aperçu de ce projet est fourni en annexe.

Les systèmes de stockage des microréseaux éloignés permettent de maintenir un équilibre en ce qui a trait à l'apport d'énergie et peuvent servir à moduler ou à atténuer les variations à court terme des sources éoliennes et solaires, comme il a été mentionné précédemment. L'énergie variable est acheminée au circuit de stockage d'énergie, qui fournit l'électricité de manière contrôlée. Cependant, ces systèmes ne peuvent pas composer avec les variations saisonnières d'ensoleillement, comme nous le verrons dans la section suivante.

On s'attend à ce que l'avancement des technologies de stockage et leur utilisation dans les réseaux éloignés favorisent une plus grande pénétration et fiabilité de l'énergie renouvelable à l'avenir. Il faut également tenir compte des caractéristiques propres à la collectivité et des contraintes connexes, ainsi que de la complexité de l'exploitation et de l'entretien du système.

Production d'électricité à l'énergie solaire

Le potentiel annuel d'énergie solaire dans les collectivités nordiques comme Clyde River, au Nunavut, correspond à 70 à 90 % de celui des collectivités du Sud, comme Ottawa. Cependant, dans les latitudes plus élevées, la disponibilité de cette énergie est concentrée en été, et beaucoup plus éparse pendant les mois d'hiver, comme le montrent le tableau 2 et la figure 3.

Tableau 2 : Potentiel d'énergie solaire selon l'endroit.

Emplacement	Latitude	Ensoleillement moyen annuel/mensuel [kWh/m^2-jour]		
	[◦]	Annuel	Décembre	Juin
Ottawa (Ontario)	45°25'	4,38	2,66	5,24
Labrador City (T.-N.-L.)	52°57'	3,93	2,61	4,40
Inukjuak (Québec)	58°45'	3,95	1,39	5,07
Whitehorse (Yn)	60°43'	3,51	0,70	5,15
Inuvik (T.N.-O.)	68°21'	3,27	0,02	5,69
Resolute (Nunavut)	74°41'	3,08	0,00	5,97

- Les panneaux solaires de Colville Lake[5] ont produit régulièrement plus de 300 kWh d'énergie par jour en mai 2016, ce qui correspond en moyenne à 54 % de la production totale. En juin 2017, la production moyenne a dépassé 340 kWh/jour. En revanche, la baisse de l'ensoleillement fait passer la production journalière moyenne en dessous de 1 kWh en décembre et en janvier.

La fluctuation saisonnière de l'énergie solaire donne lieu à des périodes de dépendance prolongée au diésel, pendant des semaines et des mois, auxquelles les technologies de stockage existantes n'apportent pas de solution.

En raison de cette variabilité annuelle, les collectivités du Nord canadien qui cherchent à obtenir une pénétration élevée de l'énergie solaire se heurtent à des obstacles propres à cette région de l'Arctique. Les besoins en chaleur et en électricité d'une collectivité éloignée culminent en hiver (c.-à-d. que la demande de chaleur et d'électricité est la plus forte en hiver), et sont souvent comblés presque entièrement avec du diésel. Ainsi, les investissements dans l'énergie solaire ne permettront pas nécessairement de réduire les investissements requis pour la production d'énergie au diésel, mais le volume global de diésel consommé pour produire de l'énergie tout au long de l'année diminuera (l'énergie solaire photovoltaïque offre un grand potentiel pour remplacer la consommation de diésel). De plus, l'énergie solaire et l'énergie éolienne peuvent être complémentaires, car les périodes de production optimale de chacune peuvent être décalées (p. ex., le vent souffle souvent la nuit en hiver et en automne, des périodes/saisons marquées par un faible ensoleillement).

La production d'énergie des systèmes solaires à panneaux photovoltaïques peut varier très rapidement, durant quelques secondes ou quelques minutes, sous l'effet de l'ombre des nuages passant au-dessus des panneaux. Dans les grands systèmes photovoltaïques, l'énergie accumulée à la suite de la production par les nombreux panneaux répartis sur une grande étendue peut atténuer ces variations. Toutefois, dans la plupart des collectivités éloignées, la production d'énergie solaire peut être de l'ordre de plusieurs centaines de kW, ce qui veut dire moins de panneaux sur une plus petite surface, et une moindre capacité inhérente à maintenir la production d'énergie, qui est variable. Comme il est indiqué ci-dessus, les groupes électrogènes diésel conventionnels répondent souvent mal à ces variations, mais les onduleurs

La page [5] https://enlighten.enphaseenergy.com/pv/public_systems/xrDs481206/overview affiche les valeurs de production journalières.

perfectionnés des systèmes solaires photovoltaïques peuvent être utilisés pour établir une puissance de sortie ou comporter des paramètres qui ralentissent la vitesse d'augmentation ou de réduction de la production d'énergie.

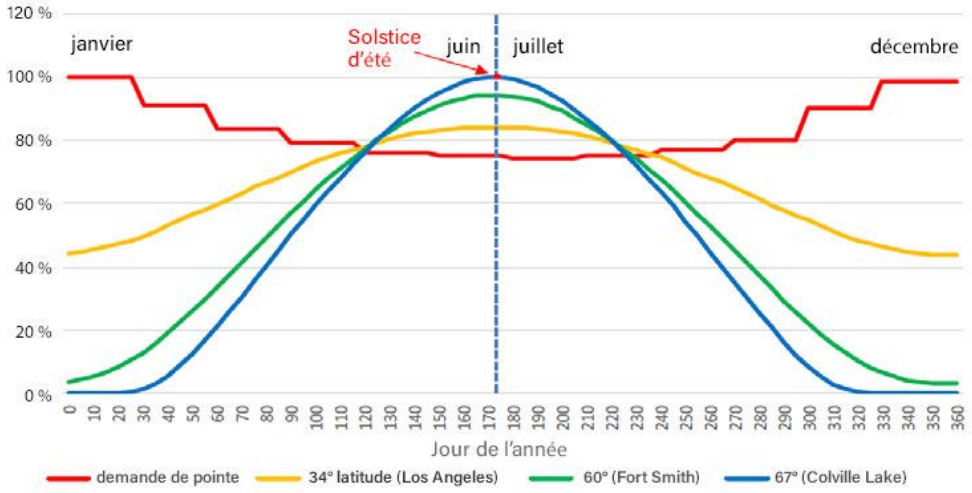

Figure 3 : Demande de pointe et ensoleillement — Fourni par la NTPC.

La technologie solaire photovoltaïque présente l'avantage d'utiliser peu de pièces mécaniques, en particulier dans le cas des panneaux fixes. Les parcs solaires perfectionnés possèdent des mécanismes permettant aux panneaux de suivre la course du soleil dans le ciel de l'aube au crépuscule; les systèmes les plus avancés permettent aussi d'orienter les panneaux selon la hauteur du soleil dans le ciel au rythme des saisons. Ces systèmes de suivi du soleil utilisent des mécanismes nécessitant de l'entretien. Les dépenses additionnelles peuvent toutefois être justifiées par la hausse de production d'électricité du parc solaire. Il est peu probable que les systèmes de suivi du soleil seront adoptés dans les collectivités nordiques et éloignés, car le gain de production d'électricité ne justifierait pas les coûts supplémentaires, les besoins d'entretien accrus et les facteurs de fiabilité connexes.

Les systèmes solaires photovoltaïques nécessitent peu d'entretien, mais il faut quand même les entretenir. Les principales préoccupations en matière de fiabilité sont de garder les panneaux solaires intacts et propres, et de s'assurer que les composants du système d'alimentation électrique sont durables. Des inspections régulières et le nettoyage des panneaux solaires répondent aux préoccupations d'ordre physique. Les composants électroniques de régulation de la puissance sont régis par des normes internationales et les normes CSA qui définissent leur capacité; un projet bien conçu sur le plan de l'ingénierie prescrit les composants du système qui répondent aux conditions de puissance et d'environnement prévues.

Les panneaux photovoltaïques peuvent constituer une technologie importante pour susciter l'intérêt des collectivités éloignées et nordiques dans les énergies renouvelables. Des projets de faible envergure peuvent être intégrés au système de production d'énergie au diésel existant, à des niveaux d'appoint jugés acceptables par les services publics locaux. Une fois que le service public et la collectivité se sont familiarisés avec le rendement et la fiabilité des panneaux solaires, la part de cette technologie peut être augmentée afin de réduire davantage la consommation de diésel.

Production d'électricité à l'énergie éolienne

Bien que l'énergie tirée du vent soit variable, les éoliennes peuvent capter de l'énergie toute l'année et, par conséquent, atténuer les variations saisonnières de l'énergie solaire dans les latitudes plus nordiques. Pour une turbine donnée, la puissance de sortie dépend de la vitesse du vent, comme illustré sur la figure 4, avec des points marche-arrêt basés sur la force éolienne minimale et maximale.

Les éoliennes comportent des dispositifs mécaniques; il importe donc que le projet comprenne un plan complet d'exploitation et d'entretien (E et E) prévoyant un entretien régulier afin que l'équipement puisse produire en tout temps.[6] Les grands fabricants d'éoliennes offrent généralement des garanties de disponibilité, certaines prévoyant un taux de disponibilité de 99 % et plus.

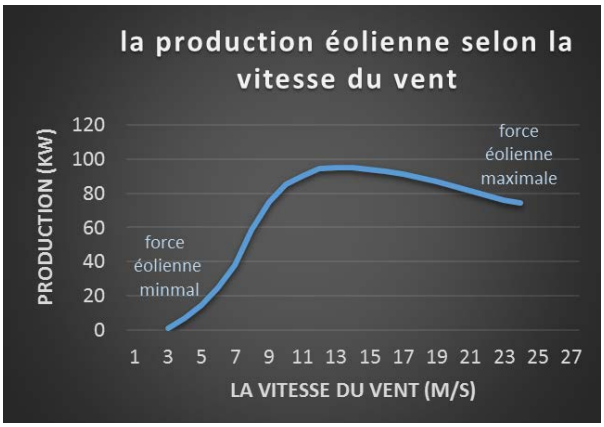

Figure 4 : Illustration de la production éolienne selon la vitesse du vent.

Il est essentiel de tenir compte de la capacité locale, de l'équipement spécialisé (qui pourrait comprendre des grues) et des pièces de rechange pour assurer le fonctionnement fiable des éoliennes et maximiser leur disponibilité. La plupart des fabricants d'éoliennes bien établis peuvent proposer des « contrats de service à long terme », qui tiennent compte des besoins et des capacités de leurs clients afin d'assurer la fiabilité des opérations. Un tel plan pourrait prévoir de faire appel à la main-d'œuvre et aux capacités locales, ainsi qu'à la main-d'œuvre professionnelle et à l'équipement fournis par le fabricant.

Les grandes éoliennes vendues au Canada sont généralement assorties d'un ensemble d'options pour climat froid qui leur permettent de fonctionner à des températures aussi basses que -40 degrés Celsius et à l'air dense qui accompagne ces températures. C'est le cas des éoliennes Enercon installées à la mine Diavik, dans les Territoires du Nord-Ouest. Les pales des éoliennes ainsi équipées peuvent être chauffées pour empêcher l'accumulation de glace, et les huiles et lubrifiants peuvent être conçus pour les basses températures. Les nacelles de ces éoliennes peuvent aussi comporter des éléments chauffants pour empêcher que les composants ne gèlent. Les autres considérations liées à l'usage d'éoliennes dans un climat froid comprennent la sécurité des travailleurs et l'accès au site.

Les grandes éoliennes (1 MW et plus) peuvent aussi avoir la capacité d'ajuster leur production d'énergie à l'intérieur de seuils préétablis et de limiter leur taux de gain de puissance compte tenu des contraintes de modulation mentionnées plus haut.

La précision des prévisions météorologiques devient nécessaire lorsque la pénétration de l'énergie éolienne augmente au point de menacer la fiabilité de l'alimentation. À mesure que la pénétration des

[6]La disponibilité est le pourcentage de temps pendant lequel l'éolienne est prête à fournir de l'électricité au réseau, à l'intérieur des seuils minimaux et maximaux de vitesse du vent.

énergies renouvelables augmente, d'autres mesures peuvent également s'imposer pour assurer le fonctionnement fiable du microréseau éloigné. Ces mesures peuvent inclure, en plus d'obtenir des prévisions météo précises, le stockage d'énergie, la répartition de la charge (gestion de la demande) et des dispositifs de contrôle complexes pour gérer les différents composants du système intégré du microréseau éloigné.

Systèmes de commande

L'intégration fiable et efficace de multiples composants (p. ex. diésel, stockage, solaire et/ou éolien) dans un système hybride nécessite des systèmes de commande ou de gestion de l'énergie (SGE) afin de répartir les éléments de production et d'optimiser le fonctionnement général du réseau.

- Lorsqu'ils sont couplés à la technologie de stockage, les systèmes de commande peuvent stabiliser la production d'un réseau en absorbant rapidement les pics d'énergie renouvelable, ou au contraire en intégrant de l'énergie conventionnelle pour compenser les brèves périodes creuses, et ce afin de maintenir la tension et la fréquence dans des plages acceptables.

Ces systèmes peuvent devenir plus complexes à mesure que d'autres composants sont intégrés aux microréseaux éloignés; cependant, les systèmes intelligents permettent aussi d'optimiser la production d'énergie, ce qui permet une meilleure utilisation globale des sources d'énergie renouvelable.

Les réseaux sans fil fiables et la capacité locale requise pour exploiter et entretenir ces systèmes favorisent l'intégration fiable des énergies propres dans les collectivités éloignées. En fin de compte, il faut bien comprendre le système pour le gérer correctement.

Approbations et accords

L'intégration des sources d'énergie renouvelable dans le réseau électrique d'une collectivité doit répondre à certaines exigences afin d'assurer la sécurité et la fiabilité de l'ensemble du réseau. Chaque province et territoire maintient son propre régime de règlementation, assorti des approbations et des exigences techniques applicables aux réseaux nord-américains interconnectés, ainsi qu'aux microréseaux éloignés, selon le cas. Ces exigences peuvent comprendre des inspections périodiques ainsi que la nécessité de dispositifs de protection pour répondre aux exigences en matière de fréquence, de tension et d'autres dispositifs de contrôle de la puissance du système, ainsi que des exigences en matière de sécurité.

- Aux termes du programme de microgénération du gouvernement du Yukon, les systèmes reliés au réseau régional doivent respecter les approbations de programme requises, tandis que les microréseaux éloignés doivent être soumis à une inspection de conformité électrique.
- Dans le cadre du programme Net Metering des Territoires du Nord-Ouest, les installations de production d'énergie renouvelable doivent satisfaire aux exigences énoncées dans les lignes directrices sur l'interconnexion technique (Technical Interconnection Guideline), et doivent être conformes au Code canadien de l'électricité, aux normes de sécurité et aux exigences de contrôle de la tension et de la puissance réactive.

Tous les projets d'énergie renouvelable raccordés à des réseaux électriques locaux sont également soumis aux accords d'interconnexion et d'exploitation conclus avec les services publics locaux ou les propriétaires de réseaux de distribution. Ces ententes définissent les responsabilités et assurent le maintien de la sécurité et de la fiabilité de l'ensemble du réseau. Les administrations ou les exploitants de réseaux locaux peuvent devoir définir les limites de la capacité du projet pour pouvoir assurer un équilibre entre la production et la demande d'électricité.

- Le gouvernement des T.N.-O. définit la capacité de production d'énergie solaire qui peut être installée dans une collectivité donnée afin d'assurer la fiabilité de l'apport d'électricité[7].
- Le programme Net Metering[8] du Nunavut permet d'installer une capacité d'énergie renouvelable pouvant atteindre 10 kW par client admissible; le programme Net Metering de la NTPC, dans les Territoires du Nord-Ouest, n'autorise généralement pas une capacité supérieure à 15 kW[9], et le programme de mesurage net d'Hydro Québec pour les collectivités éloignées tributaires d'un microréseau permet généralement d'installer jusqu'à 50 kW[10].

Les services publics qui desservent les collectivités éloignées peuvent fixer une limite à la capacité variable de production d'énergie renouvelable afin de protéger l'ensemble du réseau et ses clients. Toutefois, à mesure que de nouvelles technologies s'ajoutent aux réseaux électriques existants et que leur fiabilité est prouvée, on peut s'attendre à ce que les limites de capacité soient augmentées ou que la contrainte soit complètement supprimée.

Résumé

L'intégration des ressources énergétiques renouvelables dans les collectivités éloignées qui dépendent du diésel est un objectif primordial des gouvernements, des collectivités et des services publics. En même temps, pour les collectivités qui ne sont pas raccordées au réseau nord-américain de production-transport d'électricité, la fiabilité de leur réseau électrique est primordiale.

L'intégration à faible niveau des sources d'énergie renouvelable variable, principalement les panneaux solaires photovoltaïques, peut être réalisée de manière fiable moyennant des modifications mineures aux réseaux d'alimentation existants. L'augmentation des niveaux d'intégration de l'énergie renouvelable, qu'il s'agisse de systèmes solaires, éoliens ou hybrides, incluant ou non une capacité de stockage, peut réduire davantage la consommation de carburant. Toutefois, elle exige également des systèmes offrant une plus grande marge de manœuvre, des contrôles, des ressources connexes et de la capacité locale nécessaires pour maintenir une exploitation fiable et efficace.

L'ajout de ressources éoliennes et solaires aux microréseaux éloignés réduira la consommation annuelle de diésel, mais ne remplacera pas la capacité de production. Pour assurer la fiabilité, la capacité de production d'électricité au diésel requise pour répondre à la demande d'un système d'alimentation

[7] https://www.inf.gov.nt.ca/sites/inf/files/resources/solar_energy_in_the_nwt.pdf
[8] https://www.qec.nu.ca/customer-care/net-metering-program
[9] https://www.ntpc.com/customer-service/net-billing
[10] http://www.hydroquebec.com/data/documents-donnees/pdf/tarifs-electricite.pdf (Option III, DN)

éloigné demeure nécessaire et doit également être exploitée et entretenue. Ce sera probablement le cas pendant de nombreuses années encore. Le stockage de l'électricité et les autres technologies devront évoluer au point de permettre la gestion économique de la variation saisonnière des énergies renouvelables dans les collectivités isolées.

Les services publics et les fournisseurs d'électricité soumis à la règlementation demeurent responsables de fournir de l'électricité à leurs clients et de veiller à ce que la fiabilité ne soit pas compromise. Ainsi, tous les projets d'énergie propre doivent respecter les critères établis par les services publics afin d'être raccordés au réseau éloigné ou au réseau électrique local. Des accords passés avec les services publics locaux clarifieront également les exigences d'exploitation nécessaires au maintien de la stabilité du réseau.

Les possibilités d'intégration des ressources énergétiques renouvelables dans les collectivités éloignées et nordiques non raccordées au réseau électrique nord-américain doivent être explorées avec prudence et en surmontant les difficultés liées à l'assurance au maintien de la fiabilité de l'approvisionnement en électricité.

Annexe

Une série de cinq fiches de projets d'énergie propre situés en région éloignée au Canada est présentée pour mettre en lumière les considérations relatives à la fiabilité électrique dans le cadre de l'intégration de diverses énergies renouvelables dans les collectivités nordiques et éloignées.

Centrale électrique hybride éolienne-diésel

Emplacement : Mine Diavik, Territoires du Nord-Ouest, à environ 300 km au nord-est de Yellowknife
Accès : Exploitation commerciale accessible par avion. La route de glace d'hiver construite chaque année est la plus longue route de glace conçue pour le transport lourd.

La plus grande centrale électrique hybride éolienne-diésel au monde dans une région isolée, leader dans les énergies renouvelables en climat froid

Propriétaire/exploitant : Le projet a été développé et est détenu et exploité par Diavik Diamond Mines Inc. Diavik est une coentreprise liant le groupe Rio Tinto (60 %) et Dominion Diamond Corporation (40 %).

Système : Quatre turbines Enercon de 2,3 MW de 100 mètres de haut, avec un diamètre de rotor de 71 mètres, fournissent une capacité totale de 9,2 MW. La production d'énergie, environ 17 GWh par année, est intégrée au système diésel de la mine, l'objectif étant de réduire la consommation de carburant diésel d'environ 10 %. Le fonctionnement des éoliennes à entraînement direct sans engrenage est garanti jusqu'à -40 degrés Celsius.

Situation actuelle[11] :

- La centrale a été mise en service en 2012 moyennant un coût total de 31 millions de dollars.
- 90,8 GWh d'énergie produite et une économie de 22,1 millions de litres de diésel (d'octobre 2012 à décembre 2017).[12]
- Pour 2017, 17,2 GWh produits, 3,9 millions de litres de diésel économisés, pénétration énergétique de 9,2 %.

Principales considérations relatives à la fiabilité :

- La centrale hybride éolienne-diésel réduit le risque d'exposition aux conditions climatiques changeantes, en réduisant la dépendance au carburant diésel qui doit être transporté par avion si l'accès aux routes de glace en hiver est limité.
- Les pannes de courant sont une préoccupation majeure, car elles provoquent un risque d'inondation des tunnels souterrains et nécessitent le redémarrage des instruments à basse température.
- Turbines spécifiquement conçues pour étendre la plage d'exploitation de -30 à -40 degrés Celsius.
- Amélioration de la technologie de dégivrage et de prise en charge des lubrifiants afin d'atténuer les effets du climat froid.
- Système de mise à la terre spécifique nécessaire pour protéger les turbines contre la foudre dans le pergélisol.
- Le recours à des employés et à des gens de la région, dans la mesure du possible, pour planifier, construire et mettre en service les appareils fournit l'expertise requise pour le dépannage, l'exploitation continue et l'entretien de la centrale.

[11] http://www.riotinto.com/ourcommitment/spotlight-18130_19357.aspx
[12] Rio Tinto Diavik Diamond Mine 2017 sustainable development report

Autres avantages :

- Une étude de faisabilité de trois ans sur les énergies renouvelables a confirmé les ressources d’énergie éolienne disponibles.
- La tour météorologique utilisée pour l’étude de faisabilité a été donnée à la mine géante de Det'on Cho Earth Energy aux fins de son étude du vent.
- À la fermeture de la mine, les turbines ayant une durée de vie utile restante seront données à une collectivité locale.

Projet de recherche sur l'énergie éolienne, l'hydrogène et le diésel

Emplacement : Ramea, île Northwest, au large de la côte sud de Terre-Neuve
Accès : Par traversier
Besoins[13] : Environ 450 habitants, demande de pointe d'environ 1,1 MW, consommation annuelle d'environ 4 200 MWh

Une des premières installations d'énergie éolienne avec stockage à l'hydrogène, à pénétration moyenne, intégrée à une centrale diésel en région isolée

Propriétaire/exploitant : Newfoundland Labrador Hydro (NLH) dessert la collectivité en électricité, tandis que Nalcor Energy dirige le projet Ramea. Frontier Power Systems (Frontier) a installé un parc éolien de 390 kW en 2004. Frontier a un contrat d'achat d'électricité en vigueur jusqu'en 2019.

Le système : des éoliennes produisant 390 kW d'énergie (6 x 65 kW) ont été intégrées à la centrale diésel existante (3 x 925 kW) et fonctionnent depuis 2004. En 2010, l'exploitant a installé un système hybride comprenant des éoliennes (3 x 100 kW), une capacité de stockage assurée par un électrolyseur à hydrogène, un groupe électrogène alimenté à l'hydrogène et un système de gestion de l'énergie.

Situation actuelle :

- Le système éolien-diésel de 390 kW comble environ 10 % des besoins en électricité du réseau aux termes d'un accord d'achat d'énergie conclu entre Newfoundland Labrador Hydro et Frontier.
- Le système éolien/hydrogène/diésel a été mis en service en 2010-2011 au coût total de 11,8 millions de dollars.
- De 2010 à 2015, le système a produit environ 680 MWh d'énergie renouvelable[14].
- Des plans sont en cours pour ajouter des piles à hydrogène, ce qui devrait permettre de relever les défis techniques actuels, d'accroître la fiabilité et d'améliorer l'efficacité globale du système.[15][16]

Principales considérations relatives à la fiabilité :

- Les éoliennes ont été conçues pour les environnements nordiques et extrêmes.
- Sans le stockage, moins de 50 % de l'énergie produite par le vent peut être absorbée; il est donc peu probable qu'elle ne comble plus de 15 % des besoins en électricité de la collectivité.
- Grâce au stockage, l'énergie éolienne excédentaire sert à produire de l'hydrogène en vue de combler les besoins énergétiques futurs.
- Le système de stockage actuel peut répondre à la demande moyenne de la collectivité pour une durée de deux heures.
- Le défi selon Nalcor Energy consiste à assurer l'intégration efficace de différentes sources d'énergie.

[13] Présentation de Greg Jones sur le projet d'énergie éolienne-hydrogène-diésel 2010 de Nalcor Energy.
[14] NL Energy Plan Progress Report 2015.
[15] NL Hydro Dec 31, 2016 Q Report.
[16] Nalcor NLHydro 2014 Annual Performance Report, juin 2015.

Autres leçons apprises :

- Il faut utiliser les technologies disponibles dans le commerce plutôt que des produits conçus sur mesure, pour plus de fiabilité.
- Il faut former et employer du personnel local pour l'entretien et la réparation de l'équipement, afin de réduire les temps d'arrêt dus au temps de déplacement des travailleurs de l'extérieur vers les endroits éloignés.
- Il faut s'assurer de disposer sur place des pièces de rechange et des matériaux appropriés, afin de réduire les temps d'arrêt dus aux problèmes de logistique liés à la livraison de pièces dans des endroits éloignés.

Projet pilote — groupe électrogène diésel à vitesse variable et énergie solaire

Emplacement : Aklavik (Territoires du Nord-Ouest), 1,6 degré au-dessus du cercle polaire arctique.
Accès : Collectivité accessible par avion. Par barge ou via une route de glace pour les gros équipements uniquement.
Besoins : Environ 590 habitants (2016), demande de pointe d'environ 560 kW (2017).

Le groupe électrogène à vitesse variable améliore l'efficacité et l'intégration des énergies renouvelables

Propriétaire/exploitant : La Northwest Territories Power Corporation (NTPC), un service public appartenant au gouvernement, possède et exploite la centrale électrique d'Aklavik. L'objectif de la NTPC est d'évaluer le rendement du groupe électrogène à vitesse variable (GVV). Le rendement sera évalué pendant un an, après quoi les résultats seront pris en compte dans les décisions concernant l'expansion des investissements dans le groupe électrogène à vitesse variable et les systèmes de production d'énergie renouvelable variable dans les Territoires du Nord-Ouest.

Le système : Une série de panneaux solaires photovoltaïques de 55 kW alimente directement le réseau de distribution de la collectivité, tandis qu'un groupe électrogène à vitesse variable de 590 kW attachée à un convertisseur offre la possibilité d'intégrer à l'avenir une plus grande quantité d'énergie renouvelable variable sans recours à un système de stockage. La plateforme Innovus comprend un logiciel de commande de propriété exclusive.

Situation actuelle[17] :

- Le projet a été lancé avec succès en février 2018 au coût total d'environ 2,1 millions de dollars, y compris le groupe électrogène et la plateforme, les services d'ingénierie de conception et de gestion du projet, et les coûts d'installation et de mise en service engagés par l'entrepreneur.
- Une période d'essai d'un an est en cours pour évaluer le rendement de la plateforme Innovus.

Principales considérations relatives à la fiabilité :

- On rapporte que la plateforme Innovus[18] peut fonctionner à des conditions de charge très basses (environ 10 % de sa capacité nominale), ce qui offre une capacité de démarrage rapide ainsi qu'une capacité de détournement de la charge excédante, ce qui facilitera l'intégration d'autres énergies renouvelables (solaire, éolienne) sans recours au stockage[19].
- Ces caractéristiques pourraient se traduire par :
    - le prolongement de la vie utile des moteurs de groupes électrogènes;
    - l'augmentation de la pénétration fiable de l'énergie renouvelable variable;
    - la réduction des coûts d'exploitation et d'entretien et des coûts liés au maintien d'un système moins complexe.

[17] https://ntpc.com/about-ntpc/news-releases/2018/02/16/variable-speed-generator-in-aklavik-successfully-commissioned
[18] http://www.ppdiuc.com/presentations/The%20Future%20Backbone%20of%20Distributed%20Generation_Innovus%20Power.pdf
[19] http://www.innovus-power.com/wp-content/uploads/2017/09/WISE-Innovus-Feasibility-Release.pdf

Projet de centrale solaire/diésel avec stockage

Emplacement : Colville Lake (Territoires du Nord-Ouest), à environ 50 km au nord du cercle polaire arctique.
Accès : Collectivité accessible par avion et par la route de glace en hiver pour les gros équipements uniquement.
Besoins : Environ 150 habitants, demande de pointe d'environ 160 kW (2014).

Utilise des batteries chargées à l'énergie solaire pour combler les besoins de la collectivité

Propriétaire/exploitant : La Northwest Territories Power Corporation (NTPC), une société d'État, possède et exploite la centrale. L'objectif de la NTPC était de remplacer les groupes électrogènes diésel en fin de vie, d'intégrer l'énergie renouvelable, d'améliorer l'efficacité des groupes électrogènes et de répondre de manière fiable aux besoins croissants de la collectivité.

Le système : Installée en deux phases, la centrale comprend 132,5 kW de panneaux solaires au sol (330 panneaux fixes et 212 panneaux inclinables), 200 kWh de stockage en batteries, trois groupes électrogènes diésel à vitesse constante (2 x 100 kW, 1 x 150 kW) et un système de gestion du flux d'énergie. Des systèmes de commande par intranet et internet permettent de surveiller les composants à distance.

Situation actuelle[20] :

- Mise en service de la centrale hybride en décembre 2015, au coût total de 7,97 millions de dollars.
- En 2017-2018, la production totale se répartissait comme suit : 20 % de photovoltaïque, 80 % de diésel; 38 337 litres de carburant diésel ont été économisés, et en juillet 2017, 53 % de la production d'électricité de la collectivité était assurée par l'énergie solaire et l'énergie stockée dans des batteries[21].
- La production d'électricité solaire est suivie et peut être consultée ici.
- Efficacité préliminaire de consommation diésel de la centrale : de 2,91 kWh/L (2014-2015) à 3,76 kWh/L (2016-2017).

Principales considérations relatives à la fiabilité :

- Selon les calculs, l'intégration photovoltaïque maximale possible s'établit à 136,5 kW, afin d'équilibrer l'efficacité, la fiabilité et l'empreinte globale du système.
- Les batteries et le système de commande fournissent une flexibilité et une efficacité accrues à la centrale, ce qui permet de gérer les énergies renouvelables variables d'un système alimenté par des groupes électrogènes diésel à vitesse constante.
- La capacité totale de production d'énergie au diésel doit être dimensionnée pour répondre à la pleine charge de base de la collectivité, mais le nombre et la puissance des groupes électrogènes offrent la marge de manœuvre nécessaire pour composer avec la grande variabilité saisonnière de la production d'énergie solaire.

[20] http://www.nwtpublicutilitiesboard.ca/supporting-documents/ntpc-colville-lake-post-construction-report-exhibit-1619-phi-ntpc-x053
[21] Correspondance de la NTPC à RNCan, 25 avril 2018.

- La commande à distance permet d'effectuer le dépannage et les mises à jour hors site; cette fonctionnalité est un impératif.
- L'accès au site est restreint, pour limiter ou éviter les dégâts involontaires et le risque de vandalisme.
- Les coûts d'inspection et d'entretien estimatifs sont inclus dans la planification et le financement du projet.
- L'exploitant a la capacité et les ressources nécessaires pour exploiter et entretenir la centrale à longue échéance.

Projet de production indépendante d'énergie solaire

Emplacement : Lutsel K'e (Territoires du Nord-Ouest), dans le bras est du Grand lac des Esclaves.
Accès : Collectivité accessible par avion. Par barge ou via une route de glace pour les gros équipements uniquement.
Besoins : Environ 350 habitants (2016); demande annuelle d'environ 1 460 MWh (2012).

Premier producteur indépendant d'énergie solaire dans les territoires du Nord canadien

Propriétaire/exploitant : Lutsel K'e possède et exploite le système à panneaux solaires en tant que producteur d'électricité indépendant, et a conclu un contrat d'achat d'électricité avec la Northwest Territories Power Corporation (NTPC). Le statut de propriété permet à la collectivité de bénéficier des revenus de la vente de l'électricité.

Le système : Un parc de panneaux photovoltaïques de 35 kW montés au sol et reliés à la compagnie d'électricité locale. Les 144 panneaux, répartis en 24 modules, ont une inclinaison fixe de 60 degrés. Chaque rangée de panneaux a son propre onduleur à débit mesuré qui alimente le réseau. La capacité de la centrale au diésel de la collectivité est évaluée à 820 kW (2012).

Situation actuelle[22,23] :

- Projet lancé avec succès en 2016, à un coût de construction estimé à 350 000 $.
- La production annuelle prévue d'électricité provenant du parc de panneaux photovoltaïques est de 39 MWh/an.
- Le réseau a été dimensionné pour combler 20 % de la demande d'énergie de la collectivité; cependant, compte tenu de l'incertitude des conditions météorologiques, la production réelle est probablement plus proche de 10 à 15 %.

Principales considérations relatives à la fiabilité :

- Le système fonctionnera toute l'année, mais on prévoit que la production sera très faible de novembre à janvier.
- La communauté a établi des relations avec divers partenaires pour assurer la réussite du projet.
- La communauté a travaillé avec l'Arctic Energy Alliance pour lancer des appels de propositions; la soumission retenue comprenait une formation sur l'énergie solaire pour les membres de la localité, et de la sensibilisation auprès des élèves de l'école locale au sujet de l'énergie renouvelable et du nouveau système.
- L'offre de formation à un grand nombre de membres de la localité contribue à assurer une bonne base de connaissances à l'échelle locale.
- L'appartenance locale du système, les avantages économiques et le renforcement des capacités favorisent la protection et l'entretien continu du système et réduisent le risque de vandalisme.

[22] Étude de cas sur l'énergie solaire photovoltaïque de l'Institut Pembina, Première Nation de Lutsel K'e Dene (Territoires du Nord-Ouest).
[23] http://www.cbc.ca/news/canada/north/lutsel-ke-power-business-1.3602415

Glossaire

Stockage dans des batteries : Catégorie de stockage dans laquelle l'électricité est emmagasinée dans un support chimique tel que le plomb-acide, le lithium-ion, le Na-Ni, etc. Chaque type de support présente des avantages et des inconvénients au chapitre du coût, du volume, de la capacité, du taux de décharge, etc.

Réseau de production-transport d'électricité : Ce terme désigne le réseau électrique nord-américain interconnecté, et inclut généralement les réseaux électriques qui relèvent de la North American Electric Reliability Corporation ou de la NERC. En Amérique du Nord, la fréquence de ce réseau est maintenue à environ 60 Hz, bien qu'en pratique, on observe de légers écarts par rapport à cette fréquence, dans des limites acceptables.

Force éolienne minimale/maximale : Ces termes désignent la vitesse minimale du vent à laquelle les pales d'une éolienne surmontent la force de friction et commencent à tourner (mise en service) et la vitesse maximale à laquelle les pales d'éolienne cessent de poser une résistance pour éviter les dommages causés par les vents violents (mise hors service).

Réponse à la demande : La réponse à la demande fait référence à la capacité d'ajuster la demande en électricité d'une charge interconnectée dans un réseau électrique. La réponse à la demande peut être déclenchée par le client en réponse à des signaux de prix, ou par le répartiteur central ou la compagnie de service public en réaction à des contraintes de sécurité (p. ex. lorsque la demande de pointe dépasse la capacité combinée des options d'alimentation sollicitées pour combler cette demande).

Répartition : Terme utilisé pour décrire les signaux de déclenchement envoyés aux groupes électrogènes reliés aux réseaux de production-transport d'électricité, grâce auxquels l'exploitant du réseau demande des modifications à la production des groupes électrogènes en fonction des besoins fluctuants du réseau (p. ex. charge, pannes, etc.). Les groupes électrogènes sont généralement sollicités par le répartiteur en fonction du prix de l'électricité qu'ils fournissent et de leur tarif de modulation. L'exploitant du réseau répartira les groupes électrogènes en temps réel à l'aide d'un modèle de répartition économique, mais il peut « réserver » des groupes électrogènes un jour à l'avance en fonction des besoins prévus.

Flexibilité : Terme qui décrit qualitativement la capacité d'une ressource à ajuster sa production, et la rapidité avec laquelle la ressource peut être mobilisée. Par définition, les centrales nucléaires ne sont pas conçues pour ajuster leur production très rapidement, mais les sources (modernes) de production à onduleur, comme l'énergie éolienne ou solaire, peuvent ajuster leur production rapidement. Les autres facteurs de flexibilité comprennent l'ajustement de la réponse à la demande, certaines technologies de stockage et certaines centrales hydroélectriques conventionnelles.

Volant d'inertie : Désigne un type précis de stockage d'électricité sous forme d'énergie mécanique. L'électricité est stockée dans la fonte des volants d'inertie, dont la masse tournante renferme une importante force d'inertie.

Fréquence : L'énergie électrique est fournie par le courant alternatif (CA), qui change de polarité 60 fois par seconde (60 Hz) en Amérique du Nord et 50 fois (50 Hz) en Europe. Autrement dit, la fréquence représente le nombre d'oscillations par seconde du courant alternatif.

Inertie : Dans le contexte d'un système électrique, ce terme sert à décrire comment un réseau particulier peut répondre aux écarts de fréquence. Les réseaux à forte inertie peuvent généralement réagir aux variations de fréquence beaucoup plus rapidement que les réseaux à faible inertie.

Intégration : Terme utilisé pour désigner le processus technique et opérationnel d'ajout de sources d'énergie telles que l'énergie éolienne ou solaire à un réseau électrique existant. Les installations éoliennes et solaires sont intégrées dans les réseaux électriques au moyen de divers outils permettant de faire des prévisions, d'utiliser la capacité de stockage, de renforcer la flexibilité (de l'offre ou de la demande), de moderniser les structures de marché, etc.

Charge : Désigne tout ce qui consomme de l'énergie électrique et la transforme en d'autres formes d'énergie, comme de la lumière, de la chaleur, de l'effort, etc.

Microréseaux : Les microréseaux désignent un ensemble de charges fournies par de plus petits réseaux non connectés au réseau de production-transport d'électricité. Les microréseaux sont généralement situés loin des grands centres de demande d'énergie, des réseaux de transmission et des grandes sources de production d'électricité, et doivent donc répondre à tous leurs besoins en électricité à partir des ressources locales. Historiquement, la plupart des microréseaux au Canada dépendaient presque exclusivement du carburant diésel pour la production d'électricité et de chauffage; de plus en plus, on étudie les sources d'énergie renouvelable, comme le vent et le soleil, comme moyen de réduire la dépendance au carburant diésel.

Réduction de débit (éoliennes et parcs solaires) : Désigne une commande centralisée conçue pour réduire temporairement la production d'énergie d'une éolienne ou d'un parc solaire en réponse à un événement, comme une capacité excédentaire sur le réseau pendant une période de faible demande.

Pénétration : Désigne le pourcentage de la charge qui est comblée par une ressource particulière, généralement exprimé comme étant la relation entre la production d'énergie (p. ex., GWh) et la demande d'énergie (p. ex., GWh). Au Canada, le taux approximatif de pénétration de l'énergie éolienne est d'environ 6 à 7 %, mais dans certaines régions, comme sur l'Île-du-Prince-Édouard, les taux de pénétration de l'énergie éolienne se situent autour de 25 %. Le Danemark a le taux de pénétration le plus élevé au monde en ce qui concerne l'énergie éolienne, à près de 50 %.

Taux de modulation : Terme utilisé pour décrire l'augmentation ou la diminution de la production d'électricité d'une installation de production d'électricité. Le taux est généralement mesuré en MW/seconde ou en MW/minute. Un taux de modulation rapide indique une source d'énergie plus flexible. La production d'énergie des éoliennes et des panneaux solaires varie généralement très rapidement, et la plupart du temps, et il est plus facile d'en moduler la puissance à la baisse. Afin de fournir des capacités d'augmentation du taux de modulation, ces installations doivent maintenir leur

puissance en dessous de leur seuil maximal afin d'avoir la marge de manœuvre requise pour augmenter leur production d'énergie.

Variation saisonnière : Terme utilisé pour décrire comment la production d'une source d'énergie renouvelable varie selon les saisons. Le terme « diurne » s'applique à la variation quotidienne (généralement entre le jour et la nuit) d'une source d'énergie renouvelable.

Stockage thermique : Catégorie de stockage dans laquelle l'électricité excédentaire (généralement) provenant de sources d'énergie renouvelable sert à chauffer un milieu (p. ex., air, eau, eau/glycol, briques thermiques) en vue d'une utilisation ultérieure. Dans certains cas, le stockage thermique peut offrir une grande souplesse aux exploitants de microréseaux qui souhaitent compenser une importante part de leur production.

Énergie renouvelable variable : Les sources d'énergie telles que les éoliennes et les panneaux solaires photovoltaïques sont considérées comme renouvelables, car elles sont illimitées; cependant, comme la disponibilité de l'énergie (éolienne et solaire) peut varier, l'énergie produite à partir des éoliennes et des panneaux solaires photovoltaïques variera également. L'utilisation du terme « intermittent » est inappropriée, car elle implique que l'énergie est soit présente ou absente, alors que le niveau d'énergie produit par de telles sources se situe généralement entre ces deux points.

Tension : La tension est une mesure de la différence de potentiel électrique entre deux points terminaux. Cette tension représente la quantité d'effort qu'il faudrait faire pour déplacer la charge d'un point à l'autre. La tension entre les deux points terminaux représente donc l'énergie totale nécessaire pour déplacer une petite charge électrique le long de ce trajet, divisée par l'amplitude de la charge.

Éolienne FEO : L'acronyme FEO signifie « fabricant d'équipement d'origine» et s'applique aux produits provenant d'entreprises qui vendent des éoliennes prêtes à utiliser. Les six principaux constructeurs d'éoliennes à grande échelle sur le marché canadien sont (sans ordre particulier), Acciona, General Electric (GE), Siemens, Vestas, Enercon et Senvion.