

Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation GC 128296 – **Rapport d'achèvement de projet**
Projet-pilote de démonstration de réseau intelligent d'électricité renouvelable à la mine RAGLAN Glencore

L'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation Composante de démonstration **Rapport public**

Projet : GC 128296

**Projet pilote de démonstration de réseau intelligent
d'électricité renouvelable à la mine RAGLAN Glencore**



Table des matières

1	Sommaire	4
2	Introduction	6
3	Renseignements généraux.....	7
4	Objectifs	10
5	Résultats.....	11
5.1	Réalisations du projet.....	11
5.2	Avantages	22
5.3	Objectifs relatifs au développement de la technologie.....	25
6	Conclusion et suivi	26
6.1	Potentiel de reproduction.....	26
6.2	Suivi du projet	27
6.3	Prochaines étapes	28



Figures

Figure 1 – Aménagement des installations de stockage d'énergie renouvelable à la mine RAGLAN	6
Figure 2 – Carte des principaux points de consommation du diesel dans le nord-est du Canada	8
Figure 3 – Stockage de l'énergie dans l'environnement arctique à la mine RAGLAN	11
Figure 4 – Le local électrique, le volant d'inertie et le conteneur de stockage de batteries	12
Figure 5 – Diagramme conceptuel de la démonstration	13
Figure 6 – La fonction du stockage de l'énergie dans le lissage	14
Figure 7 – La fonction du stockage d'énergie dans la composition avec des fluctuations	15
Figure 8 – La fonction des réserves tournantes dans le stockage d'énergie.....	16
Figure 9 – Installation de l'appareillage de connexion et de l'électronique de puissance	18
Figure 10 – Les données issues des algorithmes de prédiction aux fins des activités de la mine RAGLAN	20
Figure 11 – Le stockage d'énergie dans le paysage arctique à la mine RAGLAN	29



1 Sommaire

Le projet avait pour objectif d'établir un nouveau repère dans la pénétration de l'énergie renouvelable dans les réseaux autonomes alimentés au diesel par le jumelage de technologies de stockage à la fine pointe et d'un automate avancé à une éolienne conçue pour résister au froid intense sur le site d'une mine dans l'Arctique canadien. Le projet a réussi à faire la démonstration d'une voie à fort impact vers la diversification énergétique complète au nord du 60^e parallèle.

Une trop grande dépendance à un seul combustible fossile expose les mines et les collectivités du Nord à une importante volatilité des prix de l'énergie et nuit aux investissements ainsi qu'à l'emploi, tout en présentant des risques plus élevés pour l'environnement, minant l'acceptation sociale des activités minières, exposant davantage à des taxes réglementaires sur les émissions carboniques et réduisant la qualité de vie dans les collectivités. Tragiquement, la surdépendance au diesel dans le Nord laisse inexploitée l'une des meilleures ressources éoliennes, à proximité d'une activité industrielle considérable et dans l'un des écosystèmes les plus fragiles au monde où le rythme du réchauffement de la planète est deux fois plus rapide que dans le Sud.

Dans le cadre du projet, un réseau intelligent éolienne-hydrogène a été mis sur pied et exploité à la mine RAGLAN de Glencore, démontrant ainsi que dans les conditions climatiques rigoureuses de l'Arctique, l'exploitation d'énergie renouvelable et le stockage de cette énergie à l'échelle industrielle et communautaire peut réduire de façon importante les coûts de l'énergie et la consommation du diesel par rapport à la production au diesel seulement ou à d'autres options de production éolienne-diesel. En particulier, le projet a démontré le caractère essentiel du stockage de l'énergie aux fins d'une plus grande pénétration de l'énergie renouvelable.

En date du présent rapport, nous avons réussi à déployer et à exploiter l'éolienne et à atteindre un taux de disponibilité de 97,3 % au cours de la période initiale, déplaçant ainsi 3,4 millions de litres de diesel et 9 110 tonnes de gaz à effet de serre (GES), soit l'équivalent du retrait de 2 400 voitures des routes du Canada. La technologie de chaque système de stockage a été mise en service et activée avec commande intégrale de l'automate HµGRID de Hatch. Des expériences sont en cours en vue de l'optimisation de la pénétration supérieure à 40 % de l'énergie de sources renouvelables dans l'îlot du sous-ensemble que représentent les mines 2 et 3 dans le microréseau élargi de la mine RAGLAN.

L'importance du système réside dans la voie qu'il ouvre au déploiement d'autres systèmes régionaux, à l'énergie communautaire, à l'électrification des transports dans les mines et à la



réduction des émissions souterraines au site de phare de la mine RAGLAN. Les fonds du projet permettront justement de poursuivre l'exploitation à la mine RAGLAN pendant les cinq prochaines années, mais d'autres projets régionaux font face à un défi économique sans le soutien continu du gouvernement étant donné qu'au cours de ce projet, le prix du nickel a dégringolé pour atteindre le niveau le plus faible depuis 12 ans et que le prix du pétrole a chuté, passant de 120 \$ à moins de 30 \$ le baril, dans l'espace de dix mois.



2 Introduction

Le projet a permis de démontrer entre autres la manière dont un système hybride peut intégrer une forte pénétration d'énergie renouvelable à la production d'énergie à partir de combustibles fossiles de façon à maintenir la stabilité du réseau (la tension et la fréquence) malgré le caractère intermittent de l'énergie éolienne.

Le projet a permis de réduire au minimum la perte d'énergie éolienne dans les installations hybrides éolienne-diesel classiques en raison de la réduction du régime (mise en drapeau des pales, délestage des charges, accumulation de glace sur les pales) afin de maintenir la stabilité du réseau et alors que la production d'énergie éolienne est supérieure à la charge. Fait important, il a permis d'éliminer le besoin de réserves tournantes alimentées au diesel fonctionnant à des charges partielles et de manière rentable de capturer l'énergie éolienne perdu en raison de la réduction du régime lors de conditions de vent excédentaire.

Le projet pilote a permis de démontrer la manière de répondre aux exigences quant au stockage hors sol, de fournir un système aussi complexe dans un lieu éloigné (les coordonnées de la mine RAGLAN de Glencore sont les suivantes : 61.66 ° de latitude N; 73.62 ° de longitude O) et d'exploiter ce système sans heurt dans le cadre d'activités minières complexes dans des conditions climatiques rigoureuses.

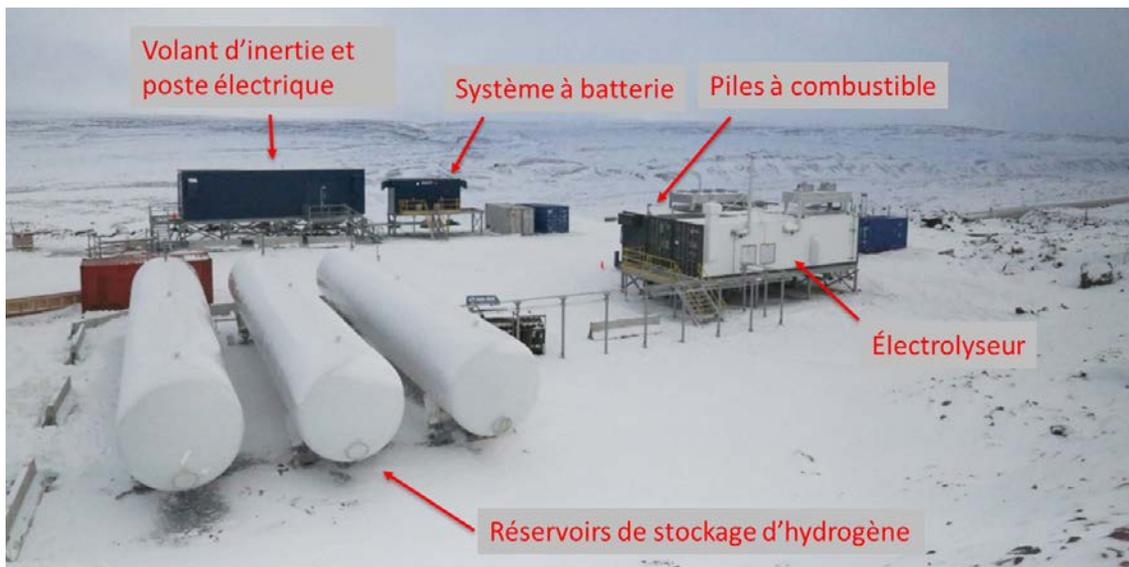


Figure 1 – Aménagement des installations de stockage d'énergie renouvelable à la mine RAGLAN



Lors de l'étude d'ingénierie préliminaire FEED (Front End Engineering and Design), le site retenu à l'origine pour le déploiement (c.-à-d. le port à la baie Deception) a été abandonné par la suite en faveur de celui de la mine 2, à l'est du complexe principal (Katinniq) de la mine RAGLAN, en raison des préoccupations dont les Inuits ont fait part concernant le site à la baie Deception (les conséquences de l'effet stroboscopique sur la pêche et la faune et la proximité au site de nidification de rapaces). La mine 2 s'est avérée un meilleur lieu où démontrer l'exploitation du réseau autonome îloté puisque le groupe électrogène diesel de 1,6 mégawatt (MW) du site dont la charge locale moyenne était de 1,4 MW correspondait bien au facteur de charge de 32 % de l'éolienne de 3 MW et à la production de 600 kW des systèmes de stockage.

Tous les éléments à long délai d'approvisionnement ont été commandés en décembre 2013 et en janvier 2014, puis expédiés au site dans les délais prévus. Les travaux sur la base de l'éolienne ont commencé au printemps et à l'été 2014 et la base était prête pour la pose de l'éolienne en août 2014. Les travaux sur la centrale à réservoir et la grille collectrice ont pris fin en septembre 2015 et le démarrage complet du projet a eu lieu le 17 décembre 2015, le jour au cours duquel les premiers 16 kilowattheures (kWh) d'énergie électrique à hydrogène produite.

La collaboration était excellente avec la mine RAGLAN de Glencore, tout comme avec de multiples partenaires stratégiques : Hatch Ltd., BBA Inc., Enercon G.m.b.H., Hydrogenics Corp., KTSI Kinetics Traction Systems Inc., Groupe Ohmega Inc., Gas Metro Renewable Energies, Morneau Construction Inc., NEAS Shipping Co. et Katinniq Transport Ltd. ainsi que des fournisseurs et des partenaires divers participant aux efforts ci-dessus, d'une valeur de 20 M\$.

3 Renseignements généraux

À ce jour, le diesel répond à pratiquement tous les besoins en énergie (électricité, transports et chauffage) dans le Nord et avant tout récemment (Diavik 2012; RAGLAN 2014), aucun des principaux producteurs d'énergie dans le Nord ne déployait de façon importante l'énergie renouvelable, malgré des ressources éoliennes parmi les meilleures et la volatilité des prix du pétrole au cours des années récentes.

Par conséquent, le Canada continue de consommer **un milliard de litres de diesel** annuellement au nord du 48^e parallèle¹ (le 60^e parallèle à l'ouest de l'Ontario) et en l'absence de mesures d'atténuation, il est attendu que cette consommation s'accroît à **1,5 milliard de**

¹ Source : KPMG-SECOR. *Assessment of Potential Diesel Demand in Mines and Remote Communities in Northern Canada*, rapport commandé et commandité par TransCanada, TUGLIQ Énergie Co., RNCAN, et le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, Montréal, 4 avril 2013.



litres annuellement d'ici 2035 dans l'un des écosystèmes les plus fragiles au monde (où le rythme du réchauffement de la planète est deux fois plus rapide que dans le Sud).

Le défi pour les sociétés minières poursuivant des activités dans le Nord est semblable à celui des collectivités nordiques poursuivant le développement économique – avoir accès à une source adéquate et fiable d'électricité et d'énergie à faible coût. Puisqu'elles se trouvent dans le Grand Nord et étant donné la faible population répartie sur de grandes distances, l'approvisionnement en hydroélectricité ou le raccordement au réseau national n'est pas faisable sans d'importantes subventions du gouvernement. Par conséquent, les sociétés minières ont dû se fier à leurs propres ressources pour produire de l'énergie à l'aide de génératrices diesel.

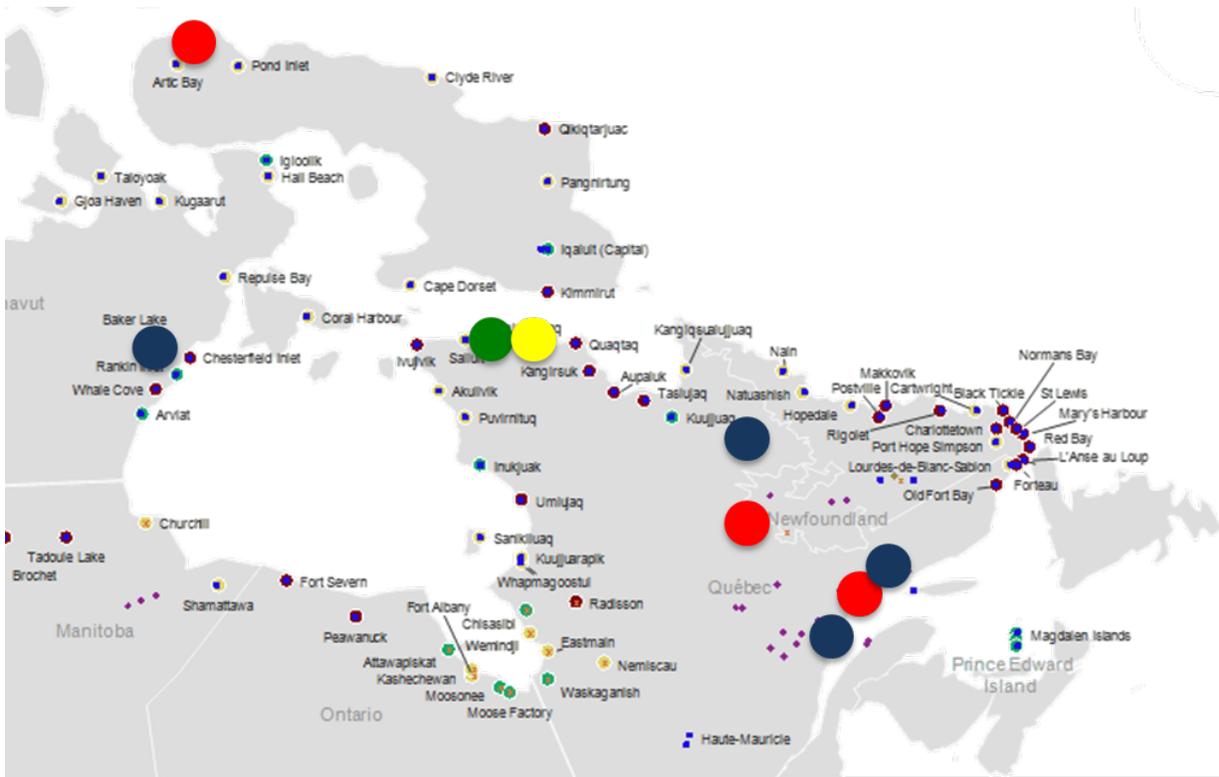


Figure 2 – Carte des principaux points de consommation du diesel dans le nord-est du Canada

L'utilisation exclusive de diesel pour la production d'électricité a exposé les sociétés minières à une volatilité ayant fait en sorte que les prix du pétrole ont plus que doublé au cours d'une période de cinq ans et ont triplé au cours d'une période de dix ans, avant de fléchir jusqu'à 25 % de sa valeur maximale dans l'espace de dix mois. Les tarifs d'électricité dans le Nord



varient entre 1,20 \$ le kWh au maximum à 0,20 \$ le kWh au minimum; les autoproducteurs industriels moyens paient entre 0,25 et 0,60 \$ le kWh malgré un pouvoir d'achat groupé.

La surdépendance au diesel dans le Nord découle en grande partie du fait que selon les exploitants nordiques, l'énergie renouvelable est trop variable pour être fiable à une forte pénétration à l'échelle industrielle et que de telles conditions peuvent donner lieu à l'effondrement du microréseau, ce qui aurait de graves conséquences sur les activités et sur la vie humaine (défaillance du système de ventilation souterraine et évacuation d'urgence avec exposition prolongée des mineurs à -40 °C). De plus, après des déploiements échoués dans la région au cours des 30 dernières années, de nombreuses personnes jugent impossible l'énergie éolienne dans l'Arctique.

Pour cette raison, le projet avait pour but de démontrer que la forte pénétration de l'énergie renouvelable à l'échelle industrielle et communautaire dans l'Arctique est non seulement possible, mais également fiable, et que les risques associés à une surdépendance aux combustibles fossiles peuvent être réduits et à la longue, éliminés.

À cette fin, le projet a procédé à l'installation d'une éolienne de 3 MW et d'un système de stockage à base d'hydrogène sur le microréseau diesel d'une exploitation minière dans le nord du Québec afin de réduire la dépendance à l'électricité à partir du diesel et de préparer la voie vers l'électrification des transports (grâce à des prolongateurs d'autonomie à hydrogène à bord). D'autres technologies complémentaires de stockage comprennent un volant d'inertie et un système à batterie au lithium-ion.

Comme il a été démontré lors de l'étude d'ingénierie préliminaire FEED (Front End Engineering and Design) financée par l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation, l'énergie éolienne au site du projet était persistante, abondante et de qualité supérieure. L'exploitation des ressources d'énergie éolienne met en valeur la robustesse de l'industrie minière et du développement du Nord puisque l'énergie éolienne est possiblement la source d'énergie la moins coûteuse des sources existantes à l'échelle locale. De plus, l'énergie éolienne représente l'option la plus propre et la plus acceptable sur le plan social actuellement à l'échelle nécessaire.

Il a été prouvé que de pair avec un système efficient de stockage, l'énergie renouvelable réduit considérablement les coûts d'exploitation, les émissions de gaz à effet de serre et la dépendance au carburant diesel dans les exploitations minières et les communautés dans le Nord canadien. De plus, l'expérience suggère que le stockage d'énergie est un facteur habilitant nécessaire à une pénétration persistante supérieure à 40 % de la capacité de microréseaux diesel. Selon les documents faisant rapport sur les déploiements sur le terrain de réseaux hybrides au diesel de classe MW, de tels réseaux ont une pénétration persistante de moins de 20 % sans stockage et de 60 à 70 % avec stockage sporadique ou intermittent, mais aucune ne



réalise un déplacement persistant à long terme de 30 à 60 % du diesel d'une année à l'autre. Par conséquent, ce projet vise à franchir le seuil de pénétration des ressources renouvelables de 30 à 50 % au site du plus grand microréseau et du producteur le plus important dans l'Arctique, la mine RAGLAN de Glencore.

4 Objectifs

Le projet avait pour objectif d'installer et d'exploiter un réseau intelligent de production et de stockage d'énergie éolienne-hydrogène dans un site minier nordique éloigné aux fins de l'établissement d'une nouvelle technologie de pointe de production et de stockage d'énergie renouvelable à forte pénétration. Le système était à installer sur le site d'une mine éloignée dans les conditions climatiques rigoureuses de l'Arctique afin de démontrer le fonctionnement fiable d'une telle configuration à échelle industrielle et la réduction considérable des coûts énergétiques et de la consommation du diesel par rapport à la production au diesel seulement ou à d'autres options de production éolienne-diesel.

Afin d'atteindre une pénétration supérieure à 40 % de l'énergie renouvelable dans la centrale au diesel, le projet comprenait une architecture de stockage à trois volets comportant un volant d'inertie de stockage d'énergie à transitoires rapides afin de filtrer les variations importantes de l'énergie éolienne de courte durée, un système de stockage par batterie à court terme afin de démarrer les génératrices au diesel de secours ou les piles à combustible au besoin et un système de stockage à piles à hydrogène afin de réduire au minimum la perte d'énergie éolienne sur de plus longues périodes et de capter l'énergie qui serait autrement perdue. L'architecture à trois volets visait également à réduire au minimum l'usure des groupes électrogènes diesel de secours en raison de la commutation marche/arrêt fréquente en raison du faible stockage de l'énergie renouvelable aux fins de pontage, et à réduire considérablement les réserves tournantes nécessaires au diesel afin de maintenir la réactivité et la stabilité du microréseau.

À cette fin, le projet a déployé un générateur éolien E-82 E4 de 3 mégawatts (MW) conçu pour les conditions de l'Arctique du fabricant Enercon de pair avec des technologies de pointe de stockage configurées dans un réseau intelligent à trois volets : un volant d'inertie KTSI GTR-200 de 200 kilowatts (kW) et de 1,5 kilowattheure (kWh) pour transitoires rapides, une batterie au lithium-ion SuperPolymer 2.0™ de 200 kW et de 250 kWh du fabricant Electrovaya pour la transition de secours et un système de 200 kW/1 MWh du fabricant Hydrogenics (un électrolyseur HySTAT 60™ de 315 kW jumelé à une pile à combustible HyPM-XR™ à membrane échangeuse de protons [PEMI] de 198 kW).





Figure 3 – Stockage de l'énergie dans l'environnement arctique à la mine RAGLAN

Au cours du cycle de vie de 20 ans de l'éolienne, le projet vise des économies estimées à 41 M\$ en combustible et en coûts de fonctionnement et d'entretien, faisant en sorte que la mine RAGLAN soit plus robuste sur le plan économique au cours des cycles de prix du nickel. Le projet pilote a pour objectif de constituer un site régional phare et de référence pour d'autres déploiements de l'énergie renouvelable à l'échelle industrielle, préparant ainsi la voie vers l'installation de deux autres parcs éoliens à échelle industrielle ou davantage dans la région dans les trois ans suivant le lancement réussi d'un projet de démonstration. L'échelle du projet pilote est jugée facilement applicable à l'échelle dont ont besoin bon nombre de collectivités nordiques qui dépendent actuellement au diesel.

5 Résultats

5.1 Réalisations du projet

Le projet a permis de nombreuses réalisations phares et la démonstration de résultats



importants sur le plan stratégique, remplissant ainsi son mandat de constituer un site régional phare et de référence pour des déploiements à l'avenir.

En ce qui concerne les différences entre la description initiale du projet et le projet réalisé, il y avait l'installation de l'éolienne de 3 MW plutôt que de 2,3 MW comme prévu à l'origine ainsi que le volant d'inertie de KTSi plutôt que de Temporal Power (qui n'avait pas encore été commercialisé au moment du lancement du projet). Il n'y avait pas d'autre écart important de la description originale du projet.



Figure 4 – Le local électrique, le volant d'inertie et le conteneur de stockage de batteries

5.1.1 Intégration réussie du stockage de l'énergie au microréseau diesel

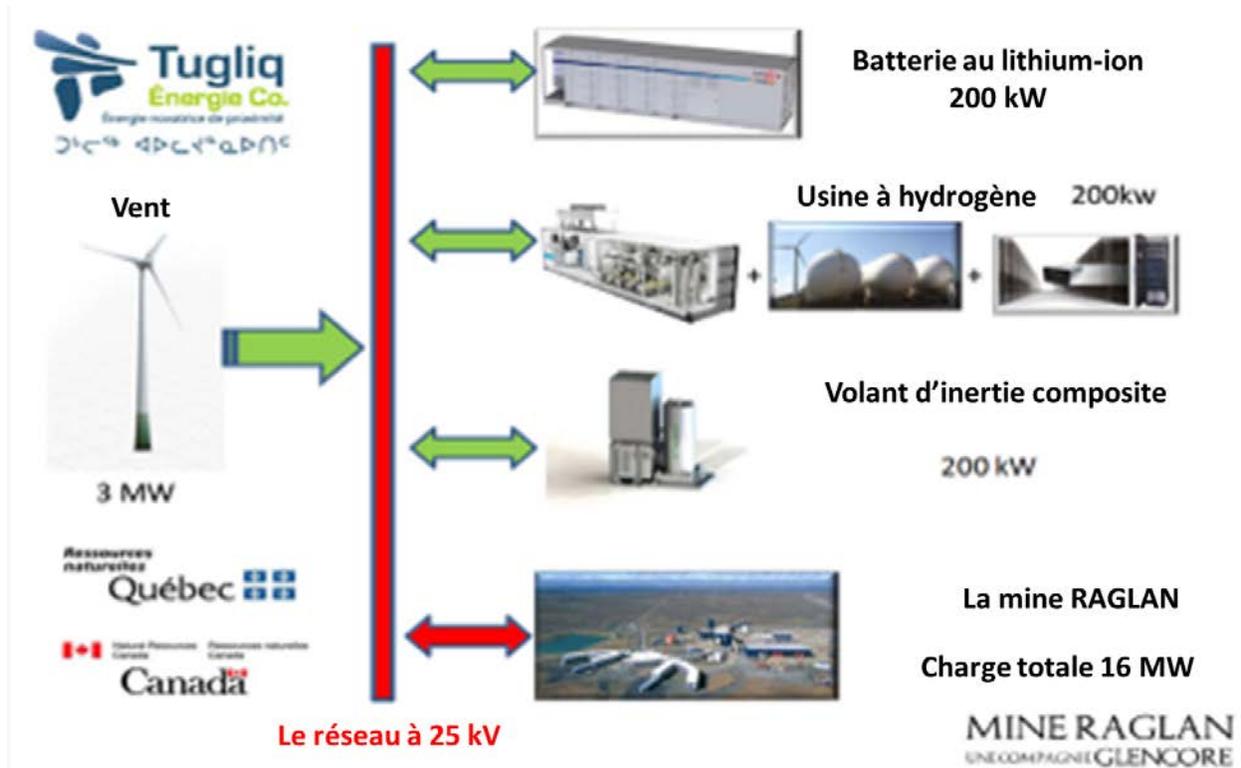


Figure 5 – Diagramme conceptuel de la démonstration

- Démonstration de la réciprocité entre de multiples technologies de stockage dans le lissage lors d'une perte soudaine de l'énergie éolienne et l'adaptation aux fluctuations :

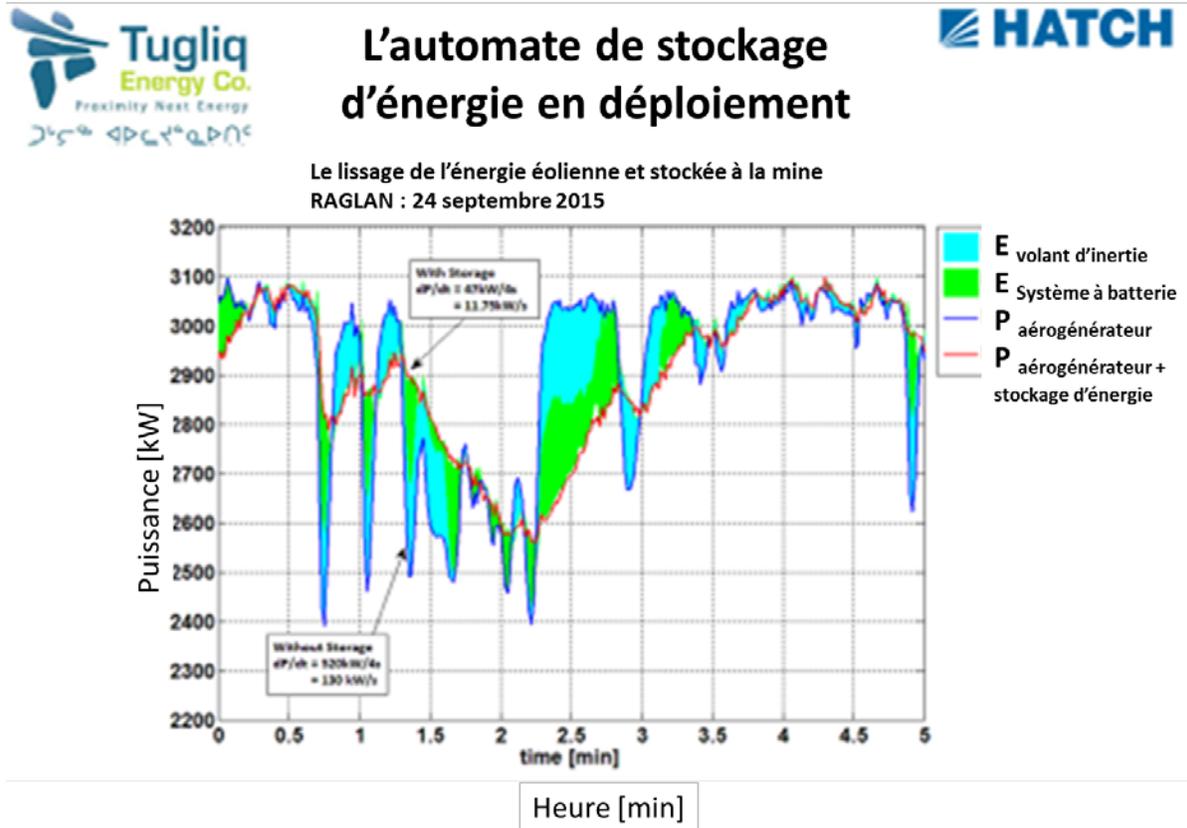


Figure 6 – La fonction du stockage de l'énergie dans le lissage

Par exemple, dans la Figure 6 – La fonction du stockage de l'énergie dans le lissage, comparer la ligne bleue (énergie éolienne uniquement) à la ligne rouge (énergie éolienne + stockage de l'énergie) dans un exemple de la production d'électricité sur cinq minutes : au repère chronologique 1,3, on voit que la chute de courant de l'énergie éolienne uniquement (ligne bleue) était de 130 kW la seconde (/s), mais que l'ensemble volant d'inertie-batterie a pu atténuer la chute et lisser le courant à 11 kW/s (ligne rouge).

En général, la ligne rouge (énergie éolienne + stockage de l'énergie) présente une charge moins difficile pour le microréseau à absorber que la ligne bleue (énergie éolienne uniquement), ce qui permet de maîtriser deux facteurs habilitants clés dans la pénétration de l'énergie de sources renouvelables dans les microréseaux diesel : assurer une meilleure stabilité et réduire le stress sur les composants du système au diesel. La zone verte sous la ligne bleue représente

la contribution au lissage du système de stockage d'énergie par batterie (SSEB) et la zone bleu clair représente la contribution du système de stockage d'énergie dans des volants d'inertie (SSEV).

- Démonstration de la capacité de composer avec des fluctuations passagères dans l'énergie éolienne :



Stockage – Qualité de lissage du courant (batterie et volant d'inertie)

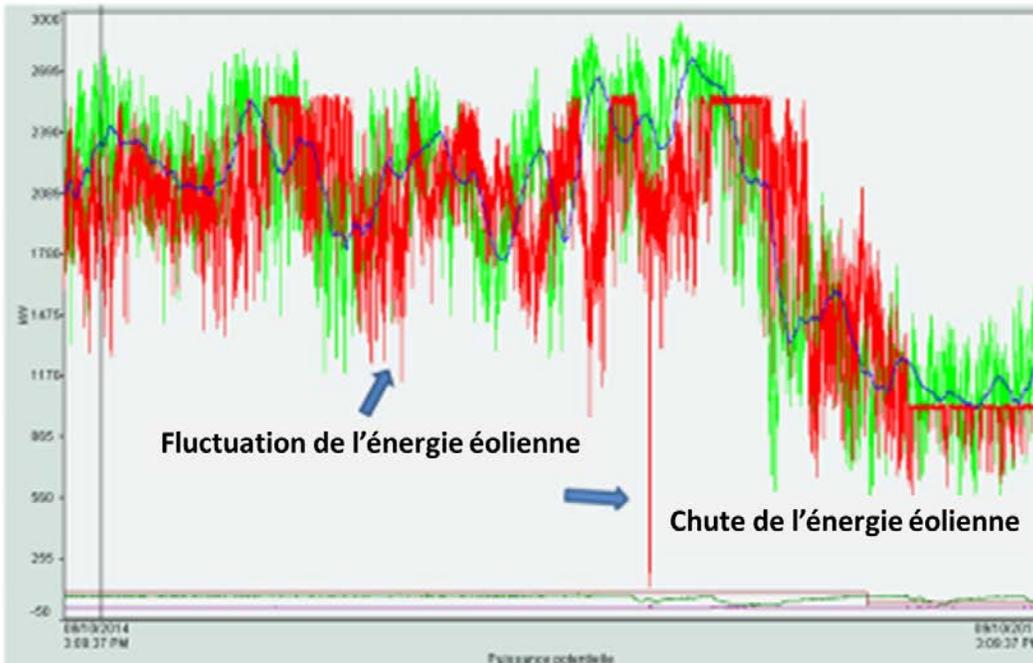


Figure 7 – La fonction du stockage d'énergie dans la composition avec des fluctuations

Dans la Figure 7 – La fonction du stockage d'énergie dans la composition avec des fluctuations, on voit que l'ensemble batterie-volant d'inertie peut composer avec les fluctuations de l'énergie éolienne sans compromettre le système. La ligne rouge dans le graphique représente l'énergie disponible de l'éolienne en tout temps (le vent) tandis que la ligne verte représente la charge réelle faisant appel à l'approvisionnement du réseau. La ligne bleue représente la production nette d'énergie éolienne + le stockage d'énergie. Par chute de l'énergie éolienne, on entend une perte soudaine de l'énergie éolienne produite jusqu'à 0 kW tandis que par fluctuation, on entend une perte soudaine à une valeur supérieure à 0 kW. Les fluctuations de l'énergie éolienne sont fréquentes tandis qu'une chute totale de l'énergie éolienne est rare. Il



est à souligner qu'une ligne rouge ayant atteint un plateau indique que l'éolienne est en réduction du régime (un plateau élevé s'il y a réduction du régime à cause de vents forts et un plateau bas s'il y a réduction du régime à cause de températures inférieures à -40 °C). Dans le graphique, la ligne bleue superposant la ligne rouge (énergie éolienne pure) et la ligne verte (charge pure) montre que la capacité du système de stockage de prendre en charge les fluctuations et les chutes sur une période d'observation d'une heure.

- Démonstration de la capacité d'arrêter une réserve tournante du groupe électrogène en ayant suffisamment de temps pour redémarrer en faisant appel à l'alimentation par batterie :



Stockage – Énergie de secours (Batterie)

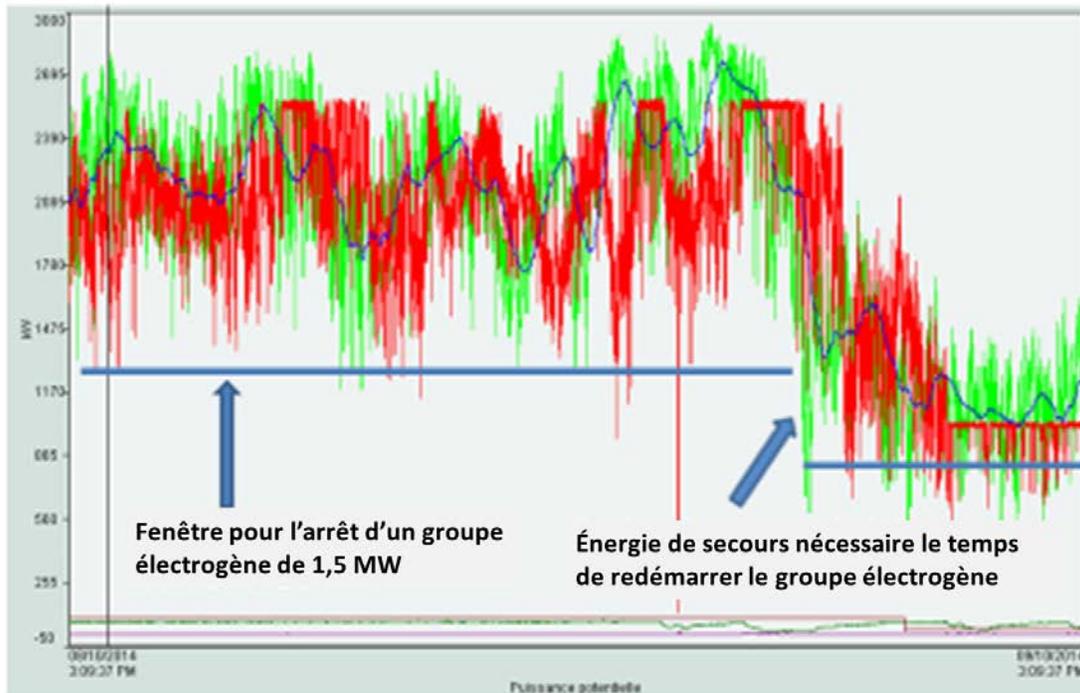


Figure 8 – La fonction des réserves tournantes dans le stockage d'énergie

La ligne rouge dans le graphique représente l'énergie disponible de l'éolienne en tout temps (le vent) tandis que la ligne verte représente la charge réelle faisant appel à l'approvisionnement du réseau. La ligne bleue représente la production nette d'énergie éolienne + le stockage



d'énergie.

Du côté gauche du graphique, on observe que la synchronisation de l'énergie éolienne est avec la charge dans la bande de 1,5 à 3 MW était suffisante pour que la réserve tournante complète d'un groupe électrogène de 1,5 MW soit mise hors service pendant la première moitié de la période observée sans incidence sur le microréseau – la ligne bleue (énergie éolienne + stockage d'énergie) n'a jamais fluctué au-dessous de 1,6 MW au cours de cette première moitié de la période.

À l'inverse, du côté droit du graphique, on observe que la bande correspondante entre la charge et l'énergie éolienne est toujours synchronisée, mais qu'il aurait fallu redémarrer la réserve tournante du groupe électrogène de 1,5 MW qui aurait été mise hors service pendant la première moitié de la période afin de prévenir la fluctuation de la ligne bleue trop loin au-dessus de la ligne verte de la charge. Lors de la transition critique de régime (au centre du graphique), le stockage aurait fourni un temps d'amortissement suffisant pour démarrer un groupe électrogène diesel et assurer l'alimentation supplémentaire du réseau (la ligne bleue ne va pas trop loin au-dessus de la ligne verte).

- La création d'un IHM² et de protocoles d'intervention ainsi que la programmation intégrée et la formation des techniciens afin de réduire au minimum l'incidence de la variabilité du vent et d'optimiser l'intervention ou l'adaptation à des conditions fluctuantes.
- À l'avenir : l'établissement des charges et des groupes électrogènes du sous-ensemble des mines 2 et 3 comme microréseau à forte pénétration au microréseau plus important de Glencore, optimisant ainsi le stockage d'énergie aux fins d'une pénétration fiable supérieure à 40 % de l'énergie renouvelable.

² IHM : interface homme-machine





Figure 9 – Installation de l'appareillage de connexion et de l'électronique de puissance

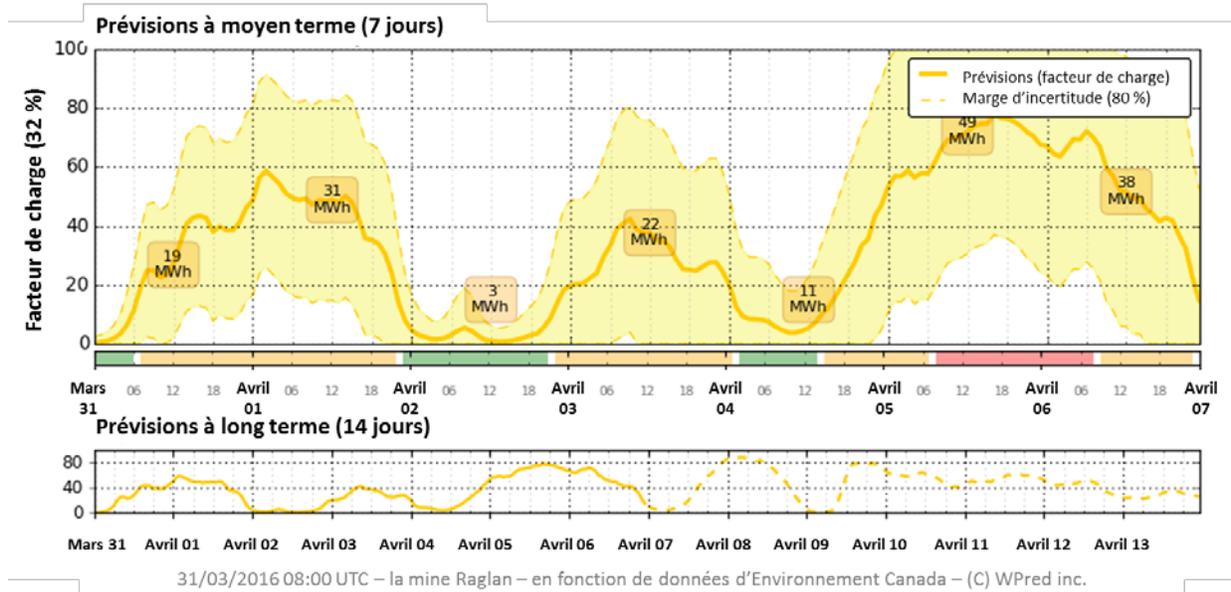
5.1.2 Algorithmes de prédiction de la variabilité du vent pour l'intégration aux microréseaux diesel

- Il s'agit d'un facteur habilitant essentiel à la forte pénétration de l'énergie renouvelable variable.
- Ils permettent la prise de décisions quant à la valeur seuil de l'état de charge pour chaque technologie de stockage d'énergie, lissant la variabilité du vent d'entrée dans la mesure maximale possible au moyen de l'architecture à trois volets et minimisant la perte de vent excédentaire.
- À cette fin, les promoteurs ont établi un partenariat avec une entreprise de prévision météorologique ([WPRED](http://www.wpred.com/) : <http://www.wpred.com/>) ayant travaillé avec TUGLIQ ÉNERGIE sur la création de l'IHM décrite ci-dessus et qui sert dorénavant aux opérateurs de la salle de commande de Glencore et à l'équipe d'exploitation de TUGLIQ au quotidien.

- TUGLIQ a créé d'autres algorithmes et méthodes en coopération avec les opérateurs de la salle de commande de la mine RAGLAN de Glencore, Hatch Ltd, Groupe Ohmega, BBA et [WPRED](#).
- TUGLIQ a automatisé l'envoi de courriels tous les jours à 8 h afin de fournir aux opérateurs et aux décideurs des prévisions détaillées à moyen (sept jours) et à long terme (14 jours) en format graphique et tabulaire (chromocodé) en fonction précisément de l'éolienne E-82 et de son emplacement (61.66 ° de latitude N; 73.62 ° de latitude O).
- Les retombées :
 - L'approfondissement considérable de l'intégration au réseau des ressources éoliennes existantes par les opérateurs de la salle de commandes de Glencore;
 - La réduction de la perte de vent excédentaire dans des conditions de forte pénétration;
 - La fiabilité accrue du réseau grâce à une meilleure anticipation des conditions de gel, des arrêts par inadvertance, des blizzards, des rafales et des accalmies ainsi que des besoins en réserves tournantes;
 - Une meilleure prévisibilité et la confiance accrue des opérateurs de la salle de commande de Glencore, permettant à ces derniers d'accepter des niveaux plus élevés de pénétration.



La figure suivante présente les données de prévision générées par le système et communiquées au quotidien à la salle de commande de Glencore :



La Figure 10 – Les données issues des algorithmes de prédiction aux fins des activités de la mine RAGLAN présente le facteur de capacité (pourcentage de la capacité de 3 MW) et l'énergie quotidienne anticipée (tendance centrale dans une marge d'incertitude de 80 %) pour les sept prochains jours en fonction précisément de l'éolienne E-82 exploitée à la mine RAGLAN. Ces données se sont avérées utiles pour l'établissement du calendrier du démarrage ou de l'arrêt de réserves tournantes individuelles au diesel.

D'autres graphiques (trop nombreux à traiter dans le cadre du présent rapport d'achèvement, mais qui présente par exemple les prévisions de la température par rapport à la précipitation) serviraient à prévoir la formation de glace sur les pales (et donc une réduction du facteur de capacité réelle) ou la perte d'énergie en raison de la réduction du régime à cause de températures inférieures à -40 °C.

5.1.3 Une base d'éolienne innovatrice adaptée à l'Arctique

- La base est hors sol et montée sur des pieux au moyen d'une structure de type « araignée » munie d'un anneau en acier.
- Ainsi, la base est imperméable et protégée de la fonte des lentilles de glace dans le pergélisol de l'Arctique (l'accélération du réchauffement de la planète dans l'Arctique)



au cours du cycle de vie de 20 ans de l'éolienne pourrait causer la fonte de lentilles de glace anciennes) :

- Des pattes d'araignée posées sur des pieux ancrés profondément protégeront contre l'inclinaison de l'éolienne à la longue;
- Elle rend l'éolienne plus résistante aux rafales de 160 km lors de blizzards dans l'Arctique.
- Elle réduit de 90 % la quantité de béton nécessaire.
 - Les coûts du béton sont prohibitifs dans l'Arctique (quatre fois plus élevées, soit 1 200 \$ le m³ par rapport à 300 \$ le m³ dans le Sud).
 - De plus, les cimenteries mobiles ont une capacité limitée empêchant la coulée continue nécessaire selon les spécifications relatives au génie civil aux fins d'un ancrage solide.
 - Les sources locales d'agrégats sont exploitées au maximum et l'importation d'agrégats est réduite au minimum, ce qui réduit les émissions de GES de véhicules de transport.
- Les retombées :
 - Un nouveau repère dans la construction des bases d'éoliennes à l'avenir dans l'Arctique et dans le Sud;
 - La réduction des GES et de l'empreinte carbone grâce à l'élimination du transport d'agrégats lourds;
 - Une conception plus robuste et plus universellement applicable, sans égard à la composition du sol.



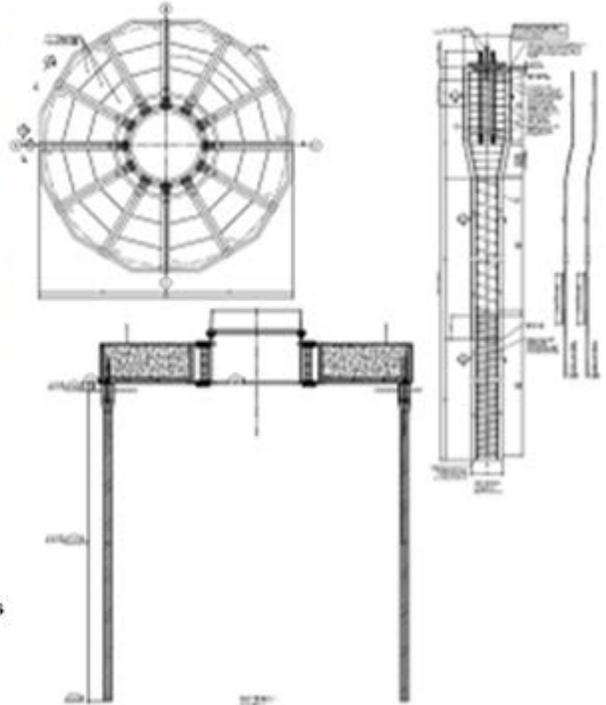


Base montée sur piloris



Faits en bref sur la structure à pattes d'araignée :

- 12 pieux de 16 po (406 mm) de diamètre et de 53 pi (16 m) de profondeur faisant l'objet d'un arpentage méthodique pour s'assurer du respect des tolérances
- Une structure en acier de type « LEGO » de 130 tonnes, munie de poutres en H de 2 m de hauteur (les pattes d'araignée) et d'un anneau central massif
- Plus de 60 000 câbles torsadés à la main pour le montage des cages des barres d'armature
- Une réduction d'environ 90 % du béton nécessaire par rapport à la base gravitaire
- Une conception adaptée au pergélisol dans une région éloignée



5.2 Avantages

5.2.1 Sur le plan financier

- La réduction des LCOE³ le kWh à la mine RAGLAN de Glencore d'un pourcentage à deux chiffres (*pour des raisons de concurrence, la valeur réelle est confidentielle aux représentants de Glencore et de TUGLIQ ÉNERGIE, mais les partenaires financiers peuvent la connaître sur demande*);
- Un modèle d'entreprise plus robuste pour la mine RAGLAN de Glencore, permettant d'atténuer le deuxième élément de coût en importance (après la main-d'œuvre), c'est-

³ Le coût moyen actualisé de l'énergie



à-dire l'énergie, au moins en partie au cours des 20 prochaines années, de diversifier davantage et d'être moins susceptible à la volatilité du prix des combustibles fossiles;

- Un partenariat avec la Banque TD, la banque canadienne la plus importante sur le plan des biens, et l'engagement de cette dernière à son premier investissement en énergie éolienne, apportant ainsi la contribution de sources bancaires classiques de plus grande échelle à la diversification des investissements énergétiques dans le Nord à l'avenir.

5.2.2 Validation

- L'atténuation des risques dans la prise de décisions importantes à l'avenir quant à l'approvisionnement en énergie dans les collectivités nordiques et les exploitations minières éloignées au Canada;
- L'établissement d'un site constituant un repère phare pour la validation de :
 - la faisabilité technique;
 - l'exploitation toute l'année dans des conditions extrêmes;
 - l'analyse de rentabilité et les questions économiques connexes;
 - la modularisation et la détermination de l'envergure appropriée d'applications à l'avenir en fonction d'une expérience réelle d'exploitation.

5.2.3 Sur le plan de l'environnement

- Le déplacement de 3,4 millions de litres de diesel et de 10 200 tonnes de GES dans les 18 premiers mois d'exploitation;
- Le déplacement de 2,2 millions de litres de diesel par an à la mine RAGLAN au cours des 20 prochaines années semble dorénavant réalisable et probable;
- Il s'agit de l'équivalent du retrait de 2 400 voitures des routes du Canada;
- L'atteinte de résultats à fort impact de l'un des producteurs les plus importants dans l'Arctique, dans un écosystème fragile où le rythme du réchauffement de la planète est deux fois plus élevé que dans le Sud;
- La mise en valeur plus complète de l'une des ressources les plus riches d'énergie éolienne du Canada (les vents froids et denses de l'Arctique) à proximité d'un site où on en a le plus besoin et où les retombées sont les plus importantes;
- Une meilleure harmonisation entre l'exploitation des ressources dans le Nord et les valeurs traditionnelles des propriétaires fonciers inuits;
- La réduction du risque et de la gravité de déversements de pétrole dans la glace ou le sol gelé de l'Arctique en ne transportant pas du diesel par camion ou par bateau.



5.2.4 Industrie

- La création de 11 emplois dans les activités continues et de 60 emplois dans la construction et l'ingénierie lors du déploiement dans des entreprises de haute technologie en démarrage et partenaires;
- L'approvisionnement canadien à 65 % du contenu technologique, conçu, développé et fourni au Canada;
- Le modèle et les partenariats peuvent être reproduits et déployés dans d'autres marchés d'exportation;
- La mise en œuvre d'améliorations considérables dans toutes les technologies utilisées, ce qui rend ces dernières plus concurrentielles dans les marchés mondiaux;
- Une réduction substantielle des coûts de l'énergie permettant au Canada de constituer l'une des régions minières les plus robustes et les plus productives au monde.

5.2.5 Réglementation

- L'atténuation des effets économiques du plafonnement et de l'échange et de la taxe sur le carbone pour la mine RAGLAN de Glencore permettant aux exploitants industriels de maintenir la compétitivité dans les compétences où de telles mesures sont appliquées;
- Le développement des connaissances au soutien de règlements assurant l'adoption de la technologie et la diversification énergétique;
- La validation d'options et la création d'autres dans l'établissement de politiques sur l'énergie pour le Nunavut, le Nunatsiavut, le Nunavik, les Territoires du Nord-Ouest et le Yukon (p. ex., faisant en sorte que le dépôt d'un plan de diversification énergétique fasse partie du processus de demande de certificat d'autorisation pour l'ouverture de mines à l'avenir en sachant que l'exploitation de l'énergie renouvelable peut être faisable dans de telles régions.

5.2.6 Économie canadienne

- La contribution considérable de transformation au paysage énergétique dans l'Arctique et au secteur minier du Canada;
- La création d'un site constituant un repère phare important pour le développement de l'exportation de la base industrielle du Canada dans les technologies propres dans un secteur canadien important (l'exploitation minière) à l'échelle nationale et internationale;
- La fourniture d'un mécanisme pour rendre le Canada plus robuste sur le plan économique afin de composer avec les cycles d'expansion et de contraction des produits de base;



- Le caractère de plus en plus acceptable des projets miniers dans le Grand Nord entraînant des occasions de développement économique pour certaines des collectivités les plus désavantagées.

5.2.7 Mise en garde

Mis à part les réalisations et les avantages présentés ci-dessus, le rythme d'adoption de projets de suivi dépendra de l'évolution des prix des produits de base et surtout, du pétrole. Par exemple, dans le cas de la mine RAGLAN de Glencore, les prix du nickel sont au niveau le plus faible depuis 12 ans et les prix du pétrole ont chuté, pour ne représenter que 30 % de la valeur il y a 10 mois.

La baisse dans les revenus des activités minières et des prix du diesel rend l'introduction de nouveaux projets d'énergie renouvelable plus problématique. Pour cette raison, le maintien de mesures gouvernementales d'incitation continuera d'être nécessaire au-delà de l'étape pilote si le Canada compte se fonder sur les réussites à ce jour dans la diversification énergétique dans le Nord.

5.3 Objectifs relatifs au développement de la technologie

La démonstration a créé des repères sans précédent dans les microréseaux d'énergie renouvelable-diesel :

- La pénétration à plus de 40 % de l'énergie renouvelable par rapport à la puissance installée alimentée au diesel et dont le résultat est soutenu par les deux autres repères ci-dessous;
- L'hybridation de trois systèmes de stockage d'énergie fonctionnant en même temps, mais chacun ayant son propre objectif et ses propres capacités;
- L'automate (HμGRID de Hatch), les logiciels, les algorithmes, l'IHM, les processus humains et organisationnels, la présence et l'attention techniques sur les lieux et les facteurs habilitants de l'optimisation des ressources énergétiques à un niveau jamais atteint auparavant;
- L'éolienne dont la disponibilité est la plus importante des centaines d'éoliennes E-82 d'Enercon au Canada;
- Une base hors sol montée sur piloris, réduisant ainsi le béton nécessaire de 90 % et éliminant l'empreinte ou l'incidence sur le pergélisol et l'exposition au pergélisol de 85 %.

Malgré le fait que le projet a été déployé sur le site de l'exploitant et le producteur de GES le plus important dans l'Arctique, l'échelle du projet pilote correspondait à celle d'une collectivité



nordique ou d'une petite mine afin de permettre la reproduction des avantages et de l'adoption de la technologie à l'avenir dans des sites multiples partout dans le nord du Canada, tout en réalisant le projet une échelle valable à la mine RAGLAN.

Pour les raisons énumérées à la section 6 « Résultats, réalisations et avantages », le projet contribuera de manière importante à la transformation du paysage énergétique dans l'Arctique et du secteur minier du Canada.

6 Conclusion et suivi

Le projet était couronné de succès et il est devenu un repère phare international pour la diversification énergétique dans des régions arctiques. Il a eu des résultats de premier plan dans la pénétration de l'énergie renouvelable aux microréseaux autonomes alimentés au diesel en mettant ensemble des technologies de pointe de stockage et un automate avancé aux fins d'une éolienne et une base conçues sur mesure au site d'une mine exploitée dans les conditions climatiques rigoureuses de l'Arctique canadien. Le projet était particulièrement réussi pour ce qui est de faire la démonstration d'une voie vers la diversification énergétique complète dans le Nord du Canada, où le diesel demeurait la source d'énergie unique et persistante jusqu'à maintenant.

Un certain nombre d'obstacles et de défis ont été surmontés et des améliorations considérables ont été réalisées dans les technologies utilisées. Dorénavant, l'une des meilleures ressources d'énergie éolienne peut contribuer à la réduction de l'intensité carbonique des activités d'exploitation dans le Nord et surtout, pour les mines et les communautés.

6.1 Potentiel de reproduction

Le potentiel de reproduction du projet pilote est excellent :

- L'échelle et la structure du projet pilote ont été conçues précisément pour la reproduction dans des collectivités locales ou des mines de moins d'envergure hors réseau;
- Les coûts élevés initiaux relatifs à l'ingénierie et la conception sont dorénavant engoutis et ne seront pas à engager lors de déploiements à l'avenir;
- Il y a un potentiel de reproduction auprès des gens sans électricité dans le monde dont le nombre dépasse un milliard.

Il est à souligner que TUGLIQ ÉNERGIE prévoit que le coût moyen actualisé de l'énergie du premier déploiement baissera de 20 % lors du deuxième et du troisième déploiement et de plus de 35 % lors du dixième déploiement. Les effets de la courbe d'apprentissage (ristournes)



expliqueraient la moitié de la chute du coût moyen actualisé de l'énergie et l'amélioration des technologies et des processus en expliquerait l'autre. Il est aussi à souligner que la moitié des dépenses du projet ne sont pas compressibles, dont celles pour la logistique dans l'Arctique, le transport, la location de grues, les équipements, la main-d'œuvre, etc.

Les éléments clés dont les coûts de la reproduction et les obstacles ont été réduits grâce à cette démonstration sont les suivants : l'amélioration du produit (p. ex., plus de 31 améliorations détaillées apportées à l'éolienne), les ensembles de compétences (particulièrement dans le domaine de la technologie de stockage d'énergie et de l'IHM ainsi que les algorithmes et les processus liés à cette dernière) et les coûts de financement (en raison de la réduction des risques perçus par suite d'une exécution réussie).

Le potentiel de reproduction dans les trois prochaines années est excellent pour ce qui est d'un ou deux déploiements, y compris une phase II du projet à la mine RAGLAN et à un site sœur de Canadian Royalties Inc. (à 30 km du parc éolien à la mine RAGLAN). Trois sites supplémentaires représentent le potentiel de reproduction au cours des trois à cinq prochaines années, selon l'intérêt exprimé par TUGLIQ ÉNERGIE et sa source de recettes. D'ici cinq à dix ans, TUGLIQ ÉNERGIE s'attend à une accélération de l'électrification des transports et à une réduction du prix de stockage, ce qui favorisera la reproduction de jusqu'à dix unités. Après dix ans, la reproduction pourrait être le double tous les cinq ans étant donné les marchés importants auxquels pourraient pénétrer des réseaux « pixellisés » fondés sur l'énergie renouvelable à l'échelle mondiale.

6.2 Suivi du projet

Les ressources financières et humaines du projet sont entièrement adéquates pour la réalisation de la période de suivi de cinq ans et des activités de suivi qui feront l'objet des rapports annuels qu'exige Ressources naturelles Canada (RNCan). TUGLIQ ÉNERGIE, Hatch, la mine RAGLAN de Glencore, Enercon et d'autres partenaires au projet souhaite approfondir le savoir-faire acquis au cours du projet et de la période de suivi et miser sur ce savoir-faire pour exporter la technologie à d'autres regroupements d'activités minières dans le Nord et le monde entier.

Les trois bases de données (le système PI de la mine de Glencore, HμGRID de Hatch et celle de TUGLIQ ÉNERGIE/Ohmega) produiront un ensemble riche, redondant et accessible de données dans lesquelles on puisera pour optimiser l'exploitation du stockage afin d'accroître la pénétration des sources d'énergie renouvelable dans les microréseaux hybrides diesel.



6.3 Prochaines étapes

Le projet lance de prochaines étapes multiples qui définiront l'industrie et dont l'électrification des transports à la mine RAGLAN ne sera pas la moindre, notamment le transport souterrain et l'intégration de véhicules électriques au microréseau (la technologie V2G ou « du véhicule au réseau ») comme encore un autre vecteur du stockage permettant la forte pénétration des ressources d'énergie renouvelable. De plus, l'offre d'hydrogène renouvelable produit localement permettra le déploiement de prolongateurs d'autonomie sans lesquels l'électrification de véhicules lourds de transport industriel ne peut s'établir dans l'Arctique.

Encore une autre prochaine étape importante pour la pénétration du marché sera une mise à échelle locale, soit une éolienne et un système de stockage supplémentaire à la mine RAGLAN, et une troisième livraison de ces équipements à Canadian Royalties Inc. (une autre mine de nickel à 30 km au sud-est de la mine RAGLAN). Les commandes renouvelées du marché national sont considérées comme critiques avant d'envisager des exportations. En plus des commandes renouvelées locales, TUGLIQ ÉNERGIE suit six autres pistes relatives à des systèmes semblables dans les territoires du Nunavut, du Nunatsiavut, du Nunavik, des Territoires du Nord-Ouest, du Yukon et de l'Alaska.

En ce qui concerne la recherche et le développement (R-D), Hatch, TUGLIQ ÉNERGIE et la salle de commandes de la mine RAGLAN de Glencore élaborent un protocole de mise à l'essai portant sur la période de suivi de cinq ans exigée par RNCAN et qui comprendra l'isolement prévu et intentionnel du ou des groupes électrogènes diesel aux mines 2 et 3 et la connexion directe à l'éolienne et au système de stockage qui y sont installés déjà pour que le système puisse être exploité comme un sous-ensemble autonome îloté (ou un sous-microréseau) du microréseau plus important à la mine RAGLAN.

Selon un tel protocole, une pénétration allant jusqu'à 100 % peut être mise à l'essai et exploitée pendant de longues périodes et toute énergie excédentaire ainsi produite peut être exportée au microréseau plus important. Si un fonctionnement continu peut être démontré sans problème, il se peut que tous les projets de réseau à l'avenir adoptent un paradigme de ressources progressives d'énergie renouvelable de pair avec un certain stockage d'énergie et l'équilibrage des charges entre nœuds avoisinants d'énergie d'exportation ou d'importation (un réseau « pixellisé »).

TUGLIQ ÉNERGIE souhaite que le gouvernement fédéral, à titre de multiplicateur de force auprès d'autres gouvernements provinciaux ou territoriaux de collaboration, continue d'agir comme catalyseur d'un tel développement en aidant les entreprises minières à surmonter les obstacles causés par la chute temporaire des prix du pétrole et des produits de base.





Figure 11 – Le stockage d'énergie dans le paysage arctique à la mine RAGLAN