

## Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque dans le Nord canadien

Un étonnant paradoxe

Sergio Gualteros, ing., M.Sc.A.  
20 février 2020

En partenariat avec  
**CanmetENERGY**  
*Leadership in ecoInnovation*





## Secteurs d'activité





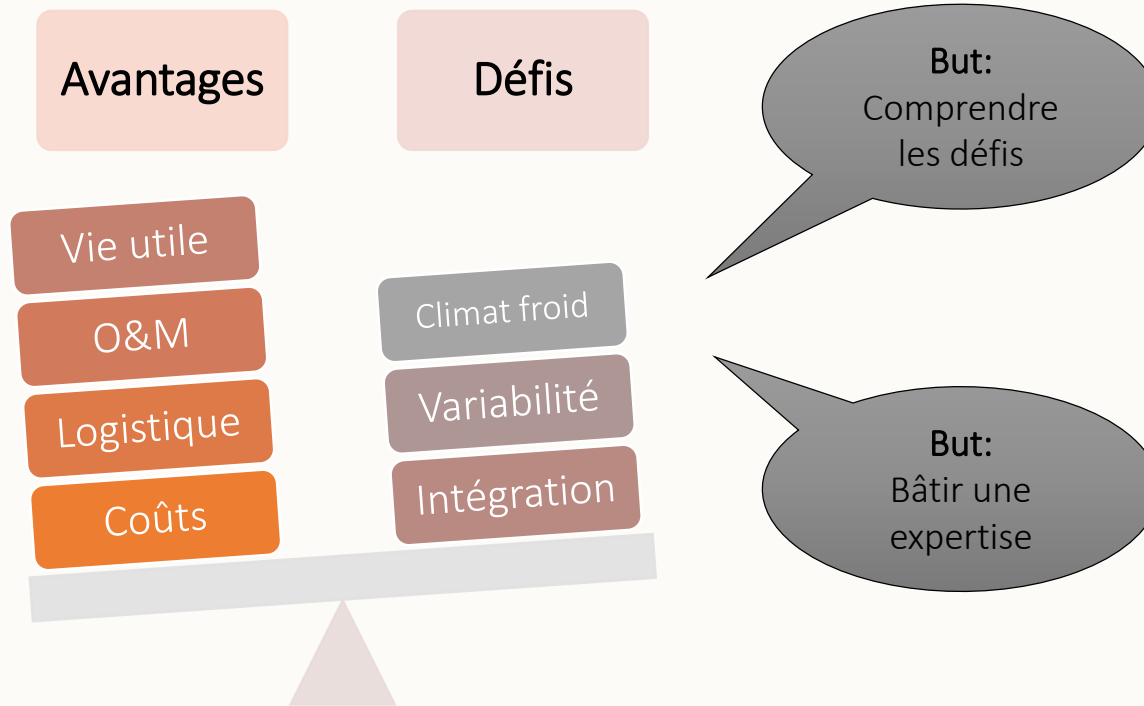
## Sommaire

- Contexte
- Méthodologie
- Résultats
- Des sujets potentiels de recherche





## Contexte





## Méthodologie

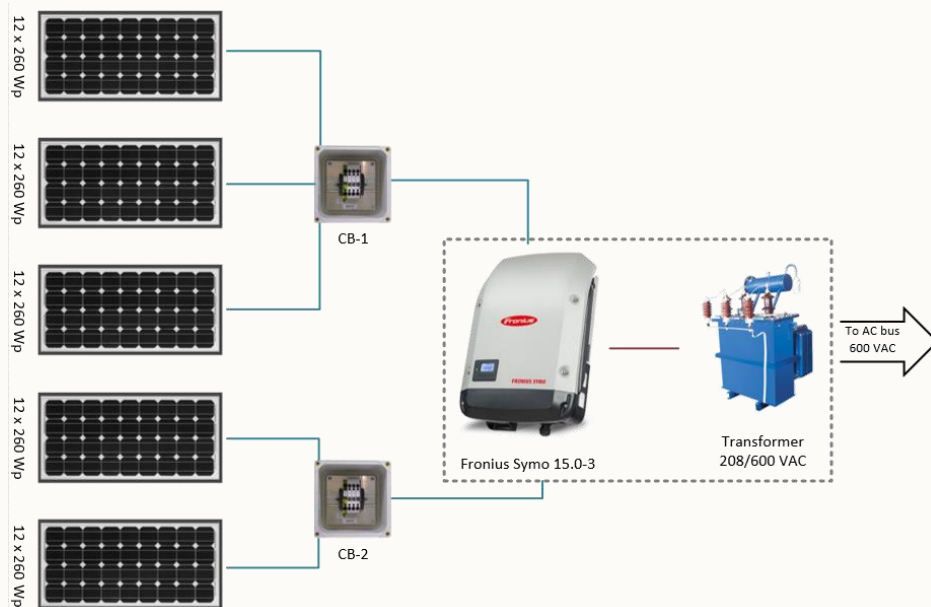
1. Données terrain
2. Paramètres météorologiques
3. Performance des sous-systèmes
4. D'autres sujets de recherche



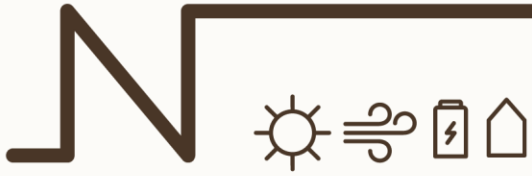


## Méthodologie – Données terrain

### Système PV de Nergica



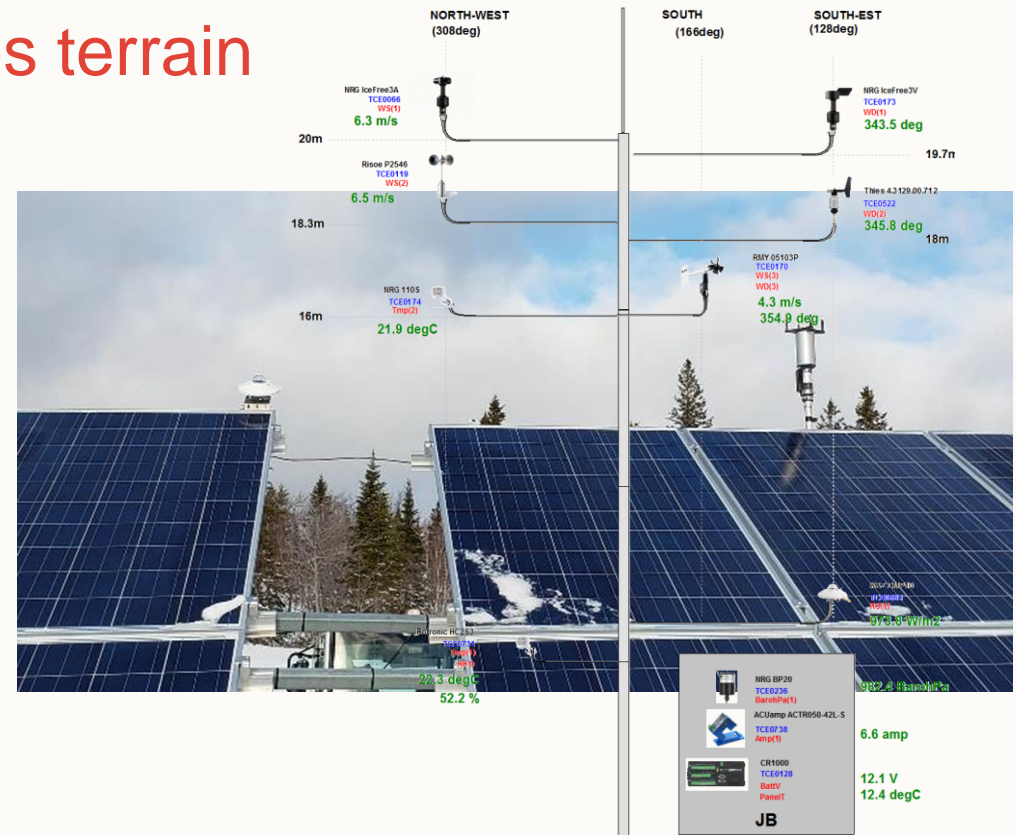
- 60 x 260 W<sub>c</sub> modules polycrystallines
- Inclinaison 30°
- Onduleur central 15 kW 3PH
- À Rivière-au-Renard (Qc)



# Méthodologie – Données terrain

## Instrumentation

- Anémomètres (chauffés / non chauffés)
- Girouettes (chauffées / non chauffées)
- Température et humidité relative
- Pyranomètres Classe A ISO 9060:2018 (GHI/POA)
- Température de surface des modules
- Capteur ultrasonique (vent)
- Capteurs de courant par série
- Caméra dôme





International Energy Agency  
Photovoltaic Power Systems Programme



## Méthodologie - Performance

### Références

#### Standards PV :

- IEC 61724-1: Photovoltaic system performance monitoring
- IEC 62446: Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance
- NREL O&M Best practices (manual)

#### Suivi des performances

- IEA PVPS Task 13 : Report IEA-PVPS T13-03:2014

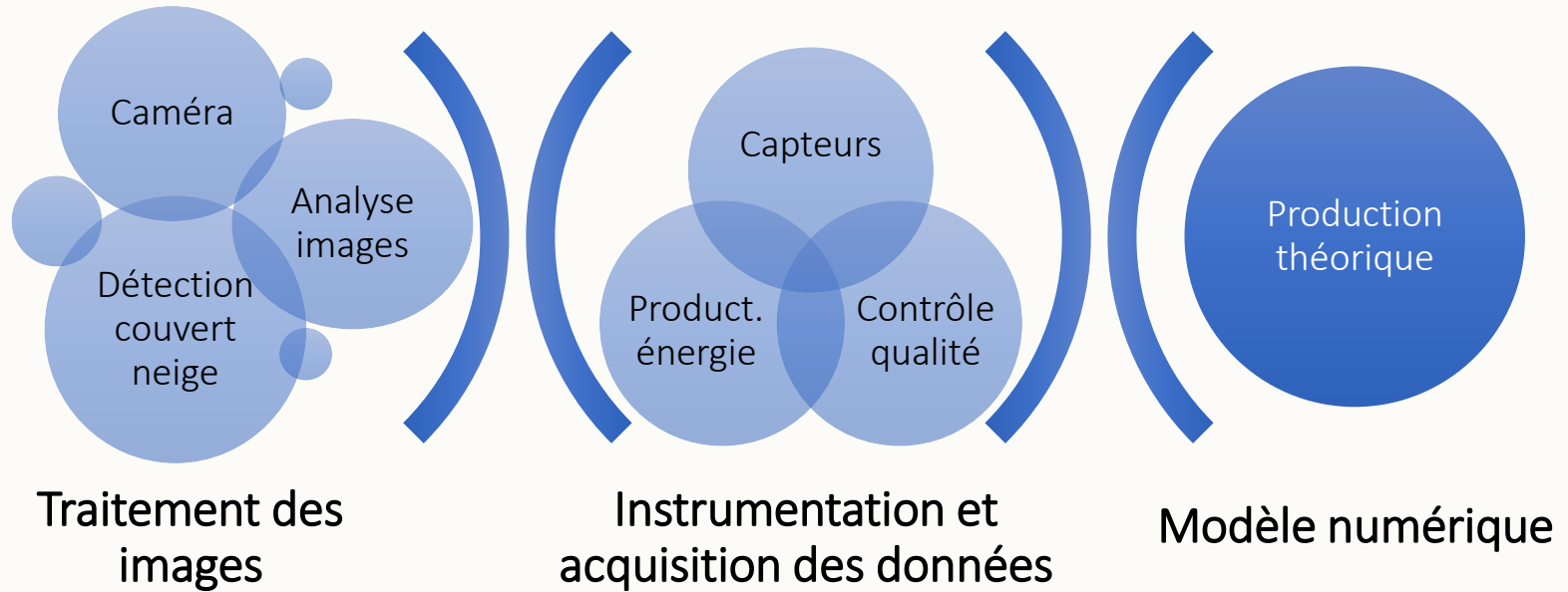
#### Modélisation:

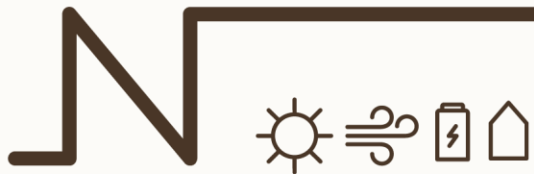
- PV Performance Modeling Collaborative Group (Sandia National Laboratories)



## Méthodologie – Couverture de neige

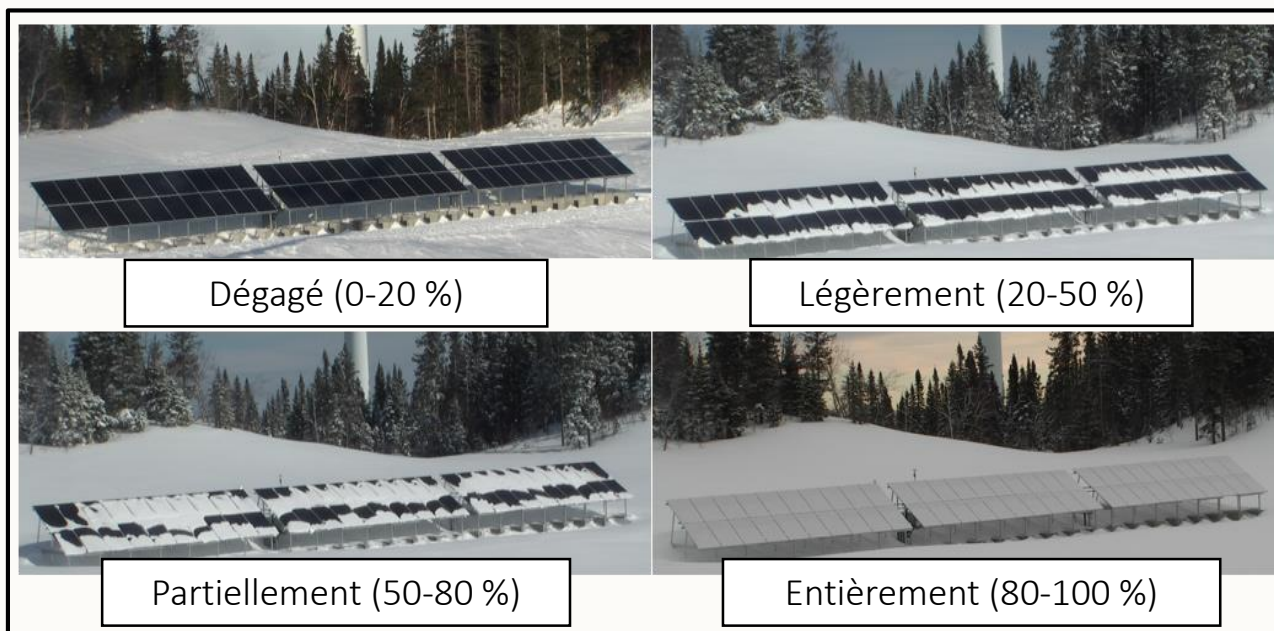
### Traitement des images





## Méthodologie – Couverture de neige

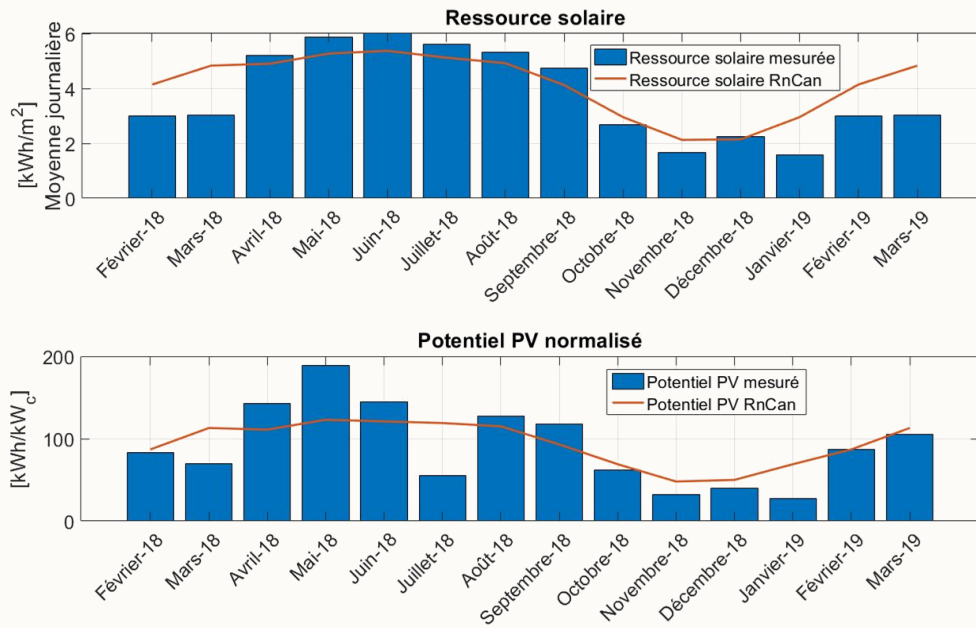
Traitement des images



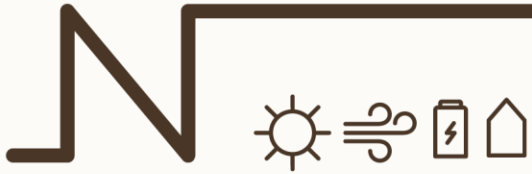


# Résultats

## Ressource et potentiel PV

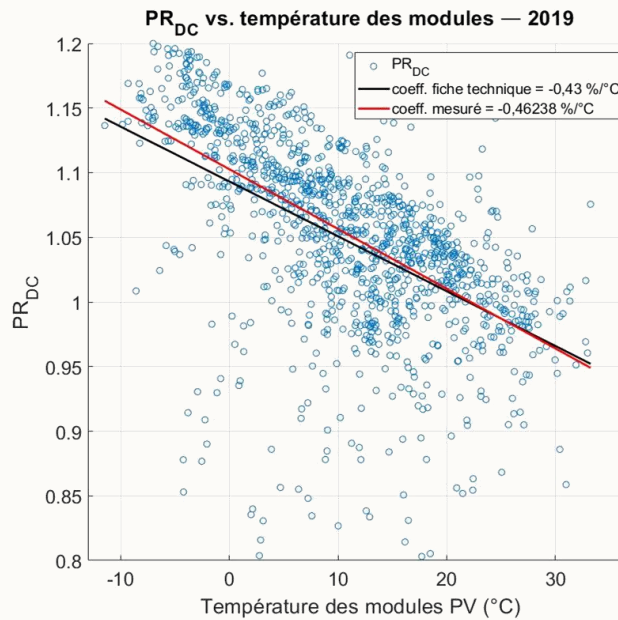
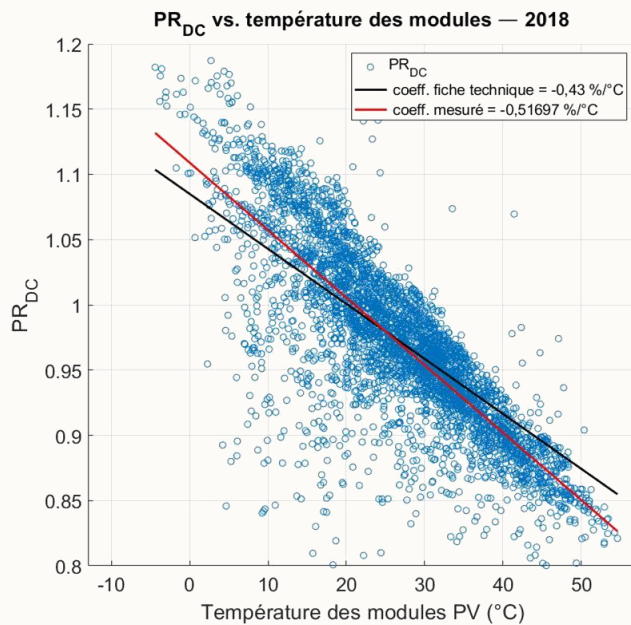


Source	Ressource solaire [kWh/m² moyenne journalière]	Potentiel PV [kWh/kW]
RNCan	3,92	1 122,00
Mesuré	4,08	1 132,91
Pourcentage	103,96 %	100,97 %



# Résultats

## Température

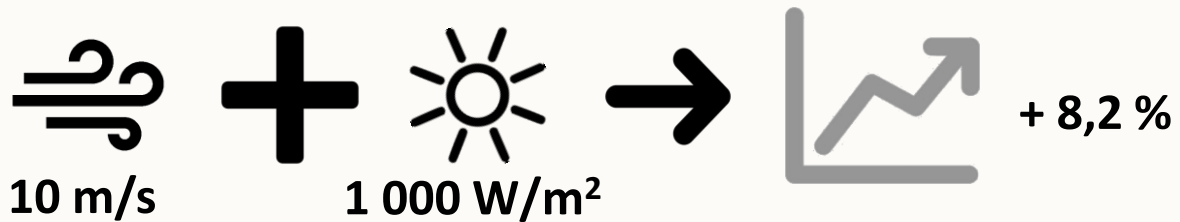
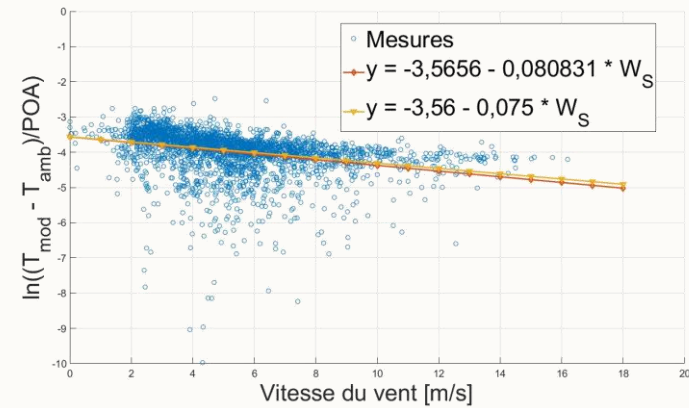
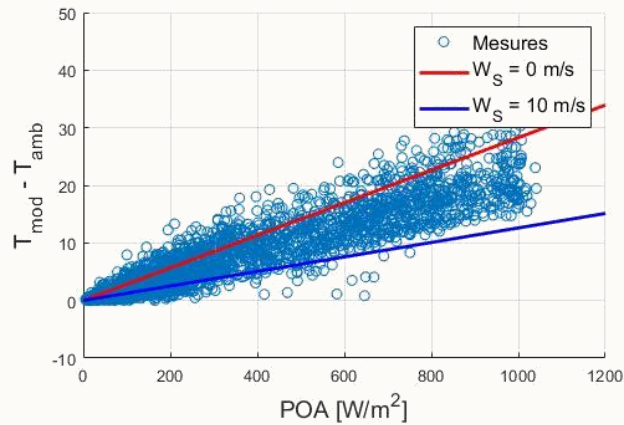


Paramètre	Fiche technique	Mesuré
V <sub>mp_STC</sub>	364,8 V <sub>DC</sub>	360,19 V <sub>DC</sub>
γ [%/°C]	-0,34	-0,42



# Résultats

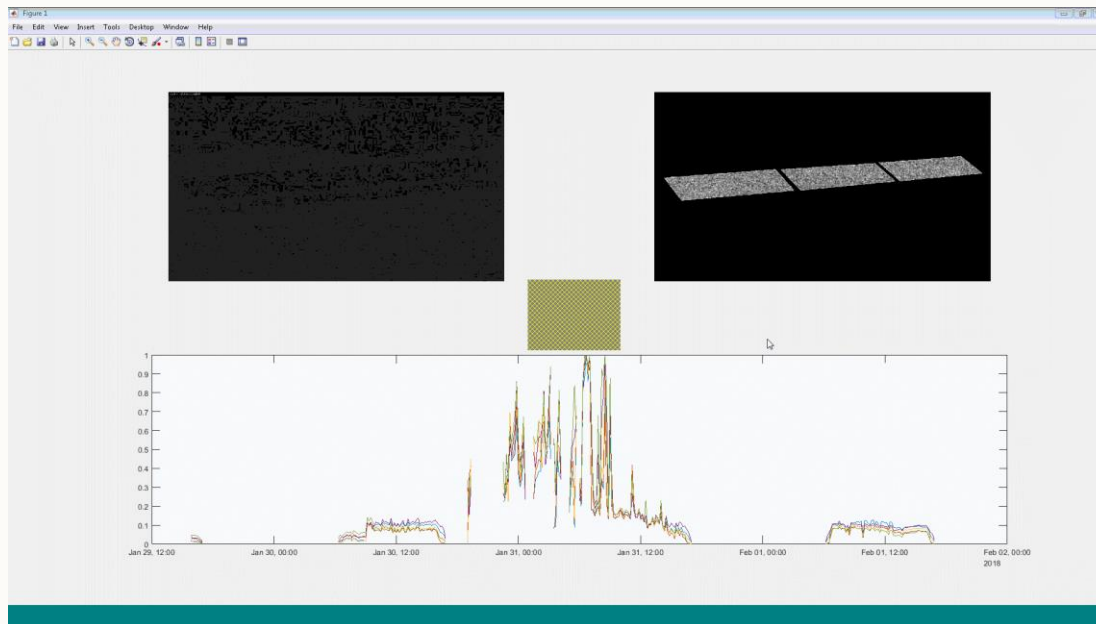
## Vitesse de vent





## Résultats

### Couverture de neige

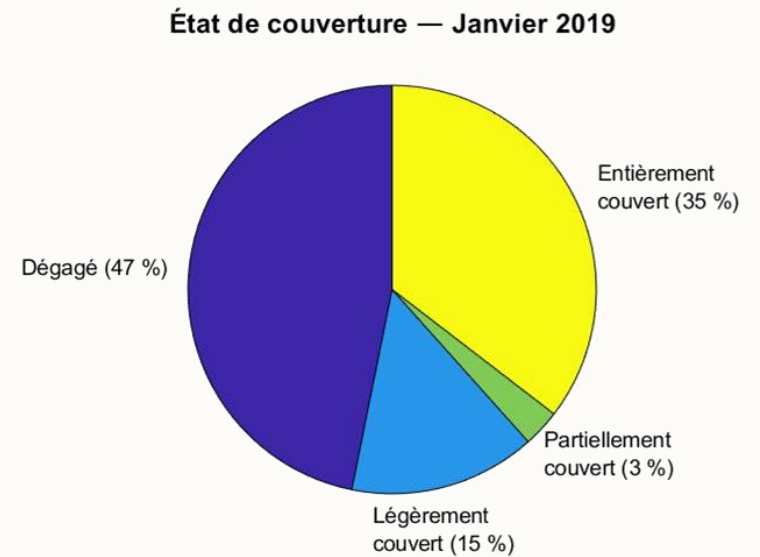
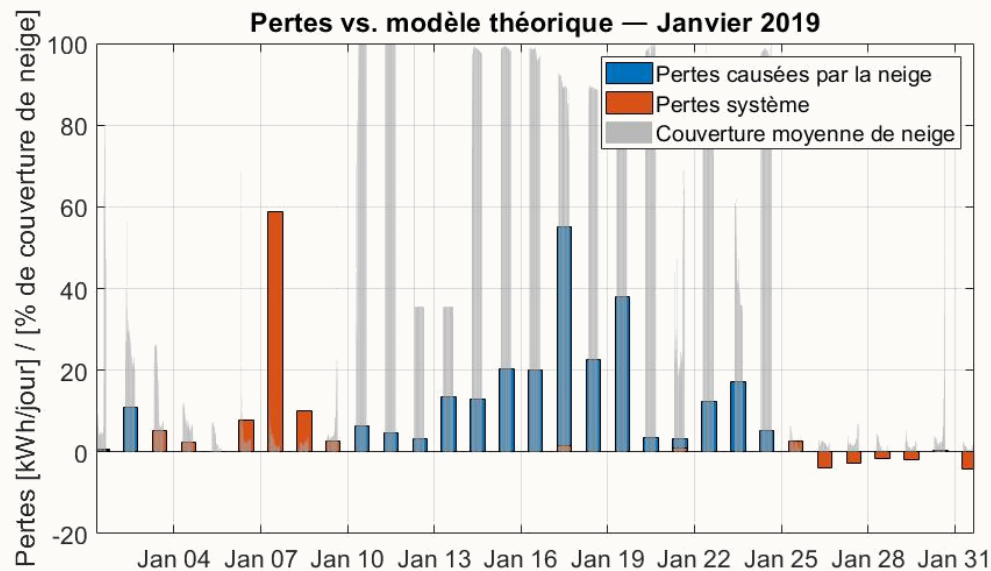


- Traitement des images pour détecter la couverture sur chaque série
- Des défis restent



# Résultats

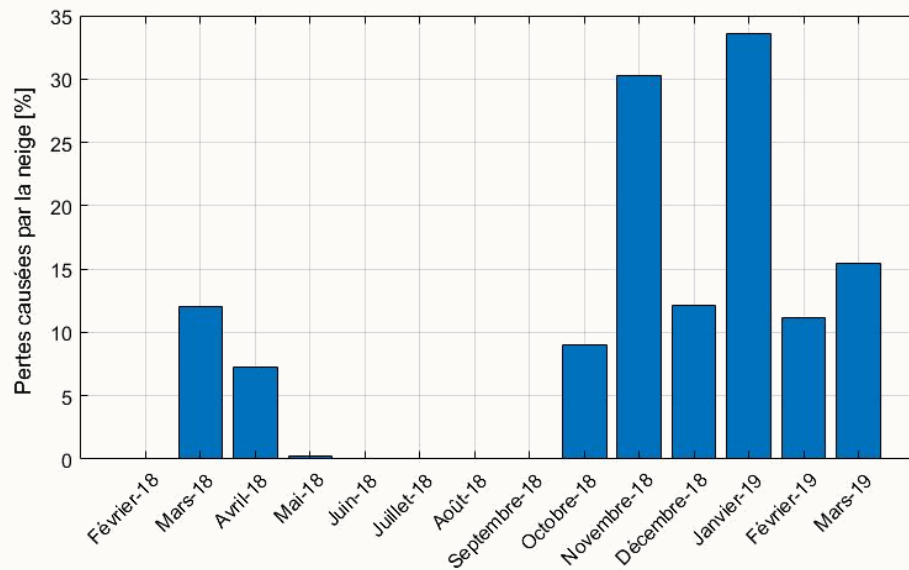
## Couverture de neige – analyse mensuelle





## Résultats

### Couverture de neige – analyse annuelle

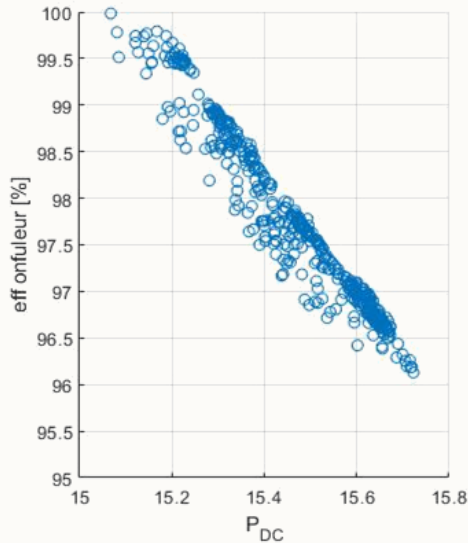


- Max: janvier 2019 (33,52 %)
- Min: avril 2018 (7,31 %)
- Pertes sur l'année: 5,93 %



## Résultats

### Écrêtage et efficacité de l'onduleur



- Identification de l'écrêtage à partir des données terrain
- Comparaison avec un onduleur plus grand

Taille onduleur	Énergie DC [kWh]	Énergie AC [kWh]	Écrêtage		POA<300 W/m <sup>2</sup>	
			[kWh]	[%]	Énergie AC [kWh]	PR <sub>AC</sub>
15 kW	20735	19924	64.83	0.31 %	3881.90	0.99
17,5 kW	20735	20019	-	0.00 %	3773.60	0.85



## Résultats

### Résumé

Ressource et  
potentiel PV

- Bonne correspondance annuelle
- Différences mensuelles notables

Température des  
modules

- Un effet plus important que prévu

Refroidissement  
éolien

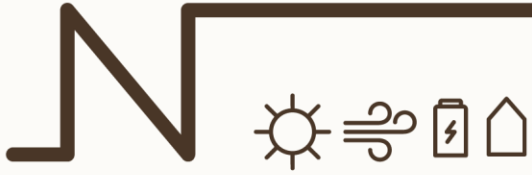
- Amélioration des performances  
énergétiques

Couverture de neige

- Des pertes énergétiques  
considérables

Écrêtage

- Des compromis à faire entre  
l'écrêtage et l'efficacité



## Sujets potentiels de recherche

### Analyse de performance:

- Améliorer les analyses de couverture de neige
  - Détection (zones d'intérêt et seuil adaptatif)
  - Détection du givre
  - Intégration des prévisions météorologiques et des données historiques
- Reproduire dans d'autres systèmes opérant dans des conditions similaires

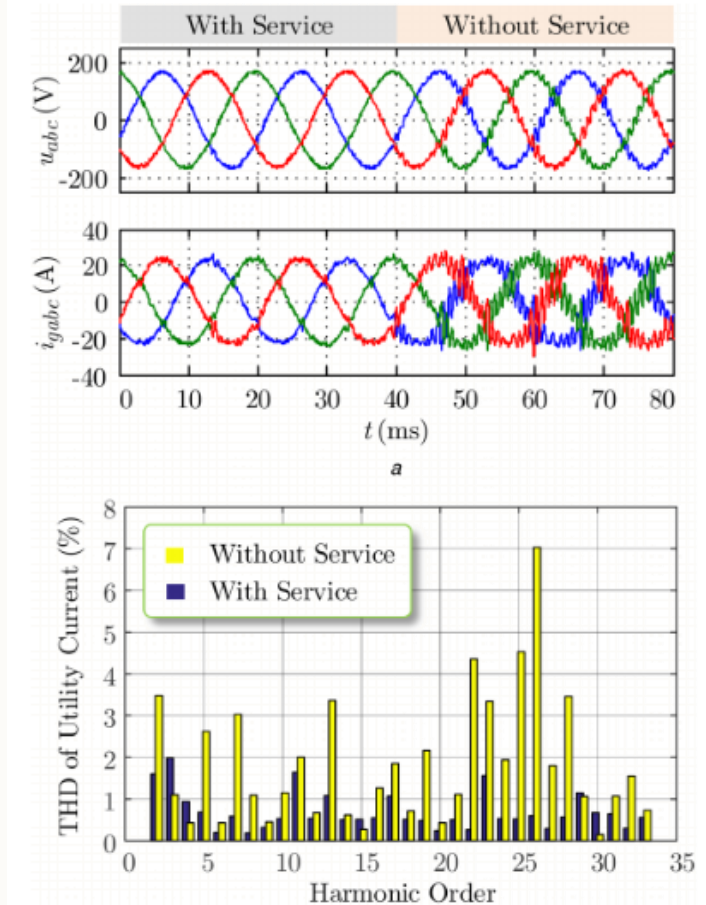




## Sujets potentiels de recherche

Services auxiliaires pouvant être fournis par des onduleurs à fonctions avancées (UL1741) dans le contexte des réseaux autonomes

- Compensation réactive
- Régulation de la tension
- Génératrice synchrone virtuelle
- Réduction des harmoniques



# NERGICA



Ce webinaire a été réalisé  
dans le cadre du programme  
de recherche Opten



70, rue Bolduc, Gaspé, QC G4X 1G2  
[nergica.com](http://nergica.com)

T +1 418 368-6162 | [info@nergica.com](mailto:info@nergica.com)

## Nos principaux partenaires financiers



Développement  
économique Canada  
pour les régions du Québec

Canada Economic  
Development  
for Québec Regions





Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

# Étude du potentiel solaire photovoltaïque dans le Nord québécois

Webinaire — 20 février 2020

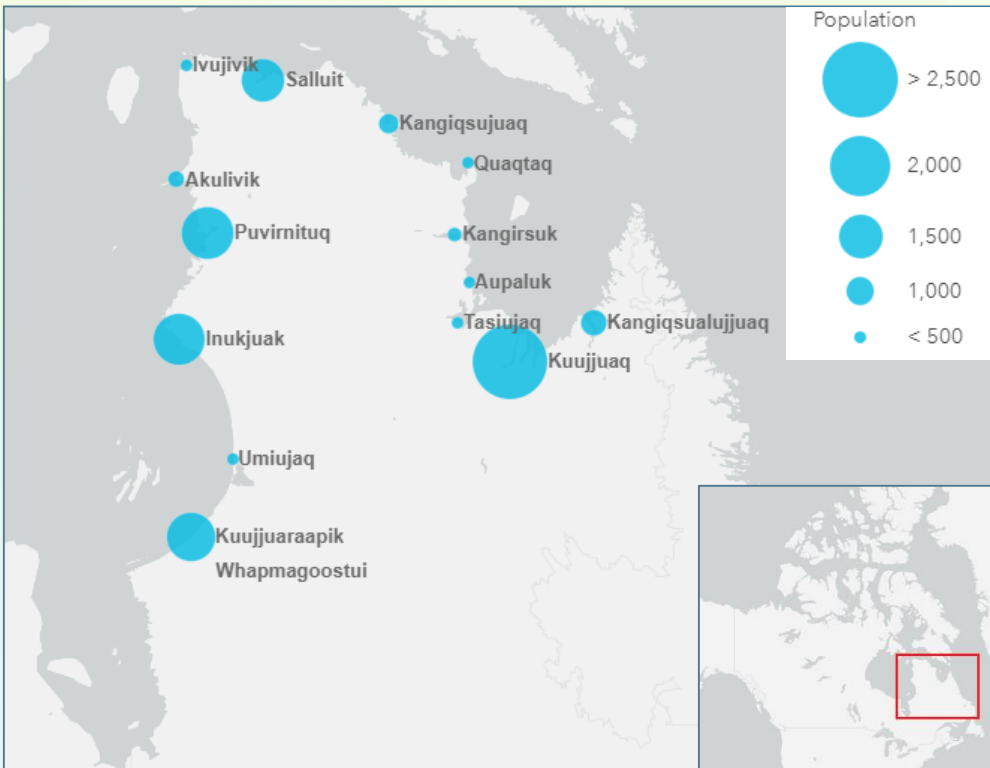
Marc Provost, ing. jr., M.Eng.

**CanmetÉNERGIE**

*Leadership en écoInnovation*

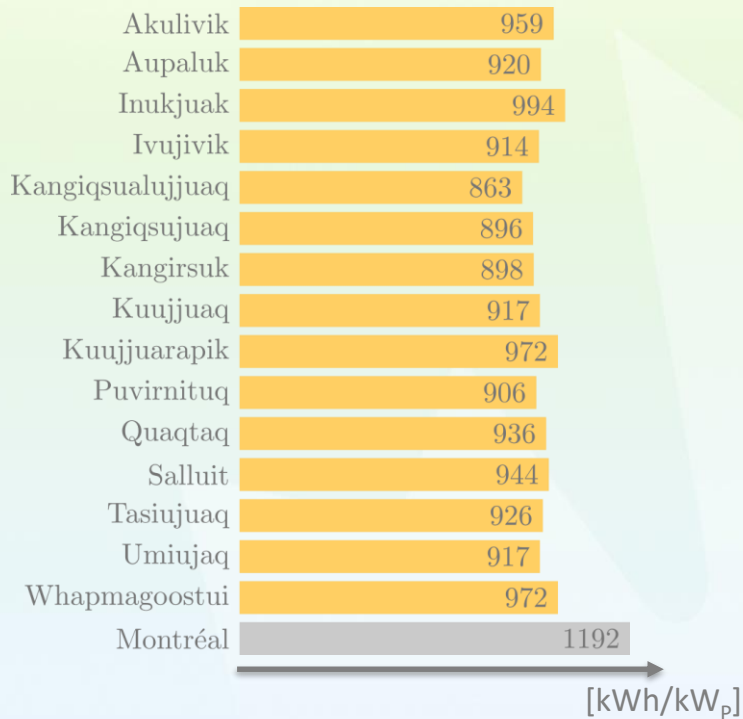


# Quinze communautés, quatorze réseaux



- Quinze communautés :
  - 14 Inuites (Nunavik)
  - 1 Crie (Eeyou Istchee)
- Tous les réseaux opèrent avec des génératrices au diesel :
  - 21 000 kL de diesel en 2012
  - Équivalent à environ 57 000 t de CO<sub>2</sub>
- Une revue de littérature sur le contexte nordique ainsi que les aspects socio-économiques et sociopolitiques a été effectuée. (v. rapport Juin 2018)

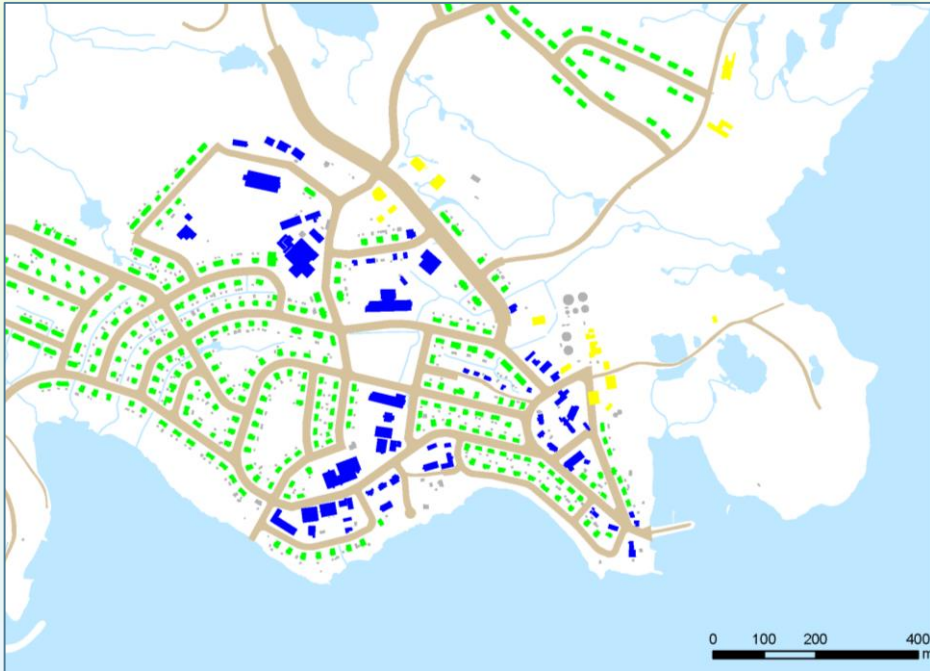
# Potentiel PV du Nord québécois



Source ensoleillement : NASA POWER, Rapport de performance : 0.8

- Les valeurs sont plus faibles que dans le Sud, mais comparables à celles retrouvées dans le Nord canadien
- La conséquence : le coût par kWh généré sera plus élevé que dans le Sud
- À retenir : le diésel, c'est cher — le coût du PV pourrait être compétitif même avec un potentiel plus faible

# Potentiel PV lié aux toits



- Calculé avec les cartes du Gouvernement régional de Kativik et la méthodologie IEA PVPS Task 7
- Il existe un énorme potentiel PV lié aux toits
- Contribution, en moyenne, à 43% des besoins énergétiques des communautés
- Ceci reste un calcul simple et ne tient compte ni des contraintes d'intégration ni de la distribution saisonnière de la ressource

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2019



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

# Intégration du PV au réseau

- Objectifs :
  - Fournir un ordre de grandeur quant à la capacité de PV pouvant être installée dans chaque communauté
  - Déterminer le potentiel d'épargne de diésel
  - Quantifier les réductions possibles de GES
  - Permettre aux décideurs de mieux connaître les limites d'intégration du PV dans le Nord québécois
- Méthodologie :
  - Étude selon trois scénarios avec des exigences de plus en plus contraignantes



## Scénario 1 :

- Aucune contrainte technique imposée
- La capacité PV de chaque communauté est fixée au maximum des toits

### RÉSULTATS RÉGIONAUX POUR LE NORD QUÉBÉCOIS

		Scénario 1 (toits)
Capacité PV maximale	[kW <sub>p</sub> ]	45 500
Énergie générée (par année)	[MWh]	39 400 (43%)
Réduction de diésel (par année)	[kL]	10 700



### Scénario 1 :

- Aucune contrainte technique imposée
- La capacité PV de chaque communauté est fixée au maximum des toits

### Scénario 2 :

- Contraintes opérationnelles imposées sur le réseau
- Deux contraintes :
  1. Au minimum 20% de réserve tournante afin d'assurer la fiabilité du réseau
  2. Les génératrices ne peuvent opérer en deçà de 30% de leur capacité afin de prévenir contre des bris et un faible rendement

#### RÉSULTATS RÉGIONAUX POUR LE NORD QUÉBÉCOIS

		Scénario 1 (toits)	Scénario 2* (op. réseau)
Capacité PV maximale	[kW <sub>p</sub> ]	45 500	1 774
Énergie générée (par année)	[MWh]	39 400 (43%)	1 640 (1.8%)
Réduction de diésel (par année)	[kL]	10 700	439

\* Les données de charge horaire pour trois réseaux étaient indisponibles pour le calcul du scénario 2. Par conséquent, les valeurs tabulées ne tiennent compte que des onze autres réseaux.



### Scénario 1 :

- Aucune contrainte technique imposée
- La capacité PV de chaque communauté est fixée au maximum des toits

### Scénario 2 :

- Contraintes opérationnelles imposées sur le réseau
- Deux contraintes :
  1. Au minimum 20% de réserve tournante afin d'assurer la fiabilité du réseau
  2. Les génératrices ne peuvent opérer en deçà de 30% de leur capacité afin de prévenir contre des bris et un faible rendement

### Scénario 3 :

- Contrainte d'ingénierie imposée sur le réseau
- Au-delà de 5% de la capacité de la plus petite génératrice :
  - La fiabilité du réseau doit rester assurée en tout temps
  - Une étude approfondie est exigée pour l'installation de PV supplémentaire

#### RÉSULTATS RÉGIONAUX POUR LE NORD QUÉBÉCOIS

		Scénario 1 (toits)	Scénario 2* (op. réseau)	Scénario 3 (étude req.)
Capacité PV maximale	[kW <sub>p</sub> ]	45 500	1 774	381
Énergie générée (par année)	[MWh]	39 400 (43%)	1 640 (1.8%)	351 (0.4%)
Réduction de diésel (par année)	[kL]	10 700	439	96

\* Les données de charge horaire pour trois réseaux étaient indisponibles pour le calcul du scénario 2. Par conséquent, les valeurs tabulées ne tiennent compte que des onze autres réseaux.



# Fiches techniques par communauté

## Aupaluk

59.3° N, 69.6° W  
Pop: 209

### Generation Infrastructure

No. of Gensets: 3  
Genset Capacities: 210, 250, 320 kW  
Installation Year: Before 1981  
Avg. Fuel Efficiency: 3.75 kWh/L  
Annual Fuel Use: 427 kL  
Ann. GHG Emissions: 1135 t

### Distribution Infrastructure

Feeder Voltage: 4.16 kV  
No. of Phases: 3  
Longest Feeder: 1000 m  
(Estimated)

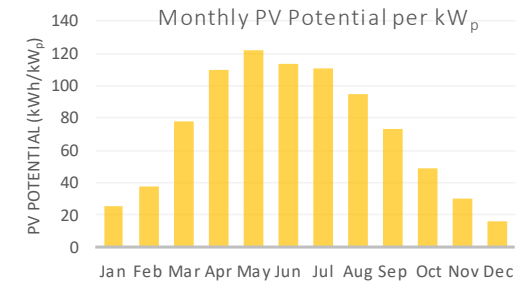
### Solar Resource & PV Potential

#### Tilted Surfaces (Tilt = Latitude)

Avg. Daily Insolation: 3.13 kWh/m<sup>2</sup>  
Annual PV Potential: 857 kWh/kW  
(Monthly: See Chart)

#### Rooftop PV Potential

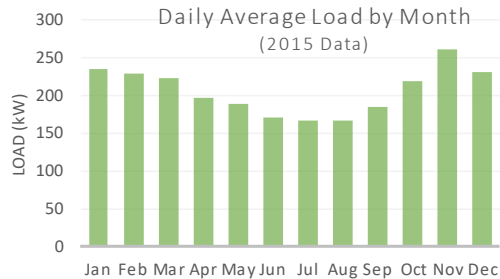
Est. Usable Roof Area: 7 x 10<sup>3</sup> m<sup>2</sup>  
Max. Rooftop PV: 0.9 MW  
Generation Potential: 853 MWh



### Electric Load

#### 2016 Data

Annual Energy Use: 1.89 GWh  
Peak Load: 375 kW  
Daily Avg. Load: 206 kW  
(Monthly: See Chart)



#### 2026 Forecast

Annual Energy Use: 2.5 GWh  
Load Growth: 2.8% per year  
(Comp. to 2016)

### Penetration Limits

	2015	2025
Max. PV Respecting All Criteria:	42 kW	42 kW
Spinning Reserve (20%)	42 kW	42 kW
Min. Genset Loading (30%)	59 kW	116 kW
Penetration Ratio (Peak Power):	11 %	8 %
Penetration Ratio (Energy):	1.9 %	1.4 %

### Diesel and CO<sub>2</sub> Savings Potential

	Diesel	CO <sub>2</sub>
2015 Penetration Limit (42 kW):	9.6 kL	26 t
2025 Penetration Limit (42 kW):	9.6 kL	26 t
Max. Rooftop PV (0.9 MW):	206 kL	548 t



# Conclusions de l'étude

- Le Nord québécois possède un bon potentiel pour l'intégration du PV
- Les toits existants offrent une très grande aire pour l'installation de systèmes PV (et potentiellement à plus faible coût par rapport à des installations au sol)
- Ce sont les contraintes techniques plutôt que le potentiel PV qui limitent l'intégration à plus grande échelle
- Il faudra se concentrer sur l'intégration plutôt qu'étudier la ressource (p.ex. stockage, onduleurs à fonctions avancées, gestion axée sur la demande, génératrices à vitesse variable)



**Marc Provost, ing. jr., M.Eng.**  
Ingénieur junior de projets  
CanmetÉNERGIE  
Secteur des technologies de l'énergie  
Ressources naturelles Canada  
[marc.provost@canada.ca](mailto:marc.provost@canada.ca)



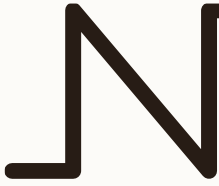
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2019



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada



# ÉNERGIES 2020

**10 au 12 juin 2020**  
**Gaspé/Percé**

**[energies.nergica.com](http://energies.nergica.com)**

# Annexes

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2019



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada 

# Annexe A

(Publications disponibles sur demande)

- Étude du potentiel de développement de l'énergie photovoltaïque dans le nord du Québec  
(juin 2018, disponible en anglais et en français)
- Rooftop PV Potential in Northern Quebec  
(janvier 2019, anglais seulement)
- Summary Report on the Solar Photovoltaics Integration Potential in Northern Québec  
(juin 2019, anglais seulement)

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2019



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada 