



ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LE DOMAINE DES BÂTIMENTS À CANMET ÉNERGIE À VARENNES

Réseau Énergie & Bâtiments – 5 de 5
23 mai 2024

RESSOURCES NATURELLES CANADA (RNCCan)

Ressources naturelles
Canada vise à améliorer
le développement et
l'exploitation responsables
des ressources naturelles
canadiennes et à accroître
la compétitivité des produits
dérivés de ces ressources.



NOS CENTRES DE RECHERCHE AU CANADA



VARENNES (QC)

- Bâtiments
- Procédés industriels
- Intégration des énergies renouvelables
- RETScreen International



OTTAWA (ON)

- Communautés et infrastructures
- Procédés industriels
- Électricité propre
- Bioénergie
- Énergies renouvelables
- Transports



HAMILTON (ON)

- Transports (matériaux)
- Production d'énergie propre
- Pipelines
- Secteur manufacturier



DEVON (AB)

- Décarbonisation, extraction, valorisation et raffinage des combustibles fossiles et biocarburants
- Études environnementales et assainissement
- Sciences du comportement du pétrole brut lors d'un déversement



CanmetÉNERGIE À VARENNES

LA SCIENCE
au service de tous
les Canadiens



GROUPE BÂTIMENTS

THÈMES DE RECHERCHE

- Systèmes de chauffage et de refroidissement renouvelables
- Bâtiments intelligents

PROJETS

- Systèmes de chauffage efficaces et abordables pour les climats froids
- Systèmes de pompes à chaleur à faible PRG
- Systèmes intégrés pour une flexibilité et une résilience accrues des bâtiments
- Exploitation optimale des bâtiments grâce à une gestion intelligente de l'énergie (p. ex. efficacité énergétique, contrôle prédictif, flexibilité énergétique)

ÉCOLOGISATION DES OPÉRATIONS GOUVERNEMENTALES

- Soutien technique aux ministères fédéraux
- Réduction des risques liés aux technologies propres
- Sensibilisation à la réduction des GES et renforcement des capacités
- Pratiques et outils de suivi continu du rendement

SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES POUR LES INFRASTRUCTURES ÉLOIGNÉES DU NORD

- Soutien au MDN en matière de politique de défense
- Soutien technique et d'ingénierie pour le programme de gestion de l'énergie
- Évaluation énergétique des plateformes navales de la Marine royale canadienne
- Expérience conjointe dans l'Arctique pour des systèmes d'énergie de remplacement et de refuges pour le Haut-Arctique

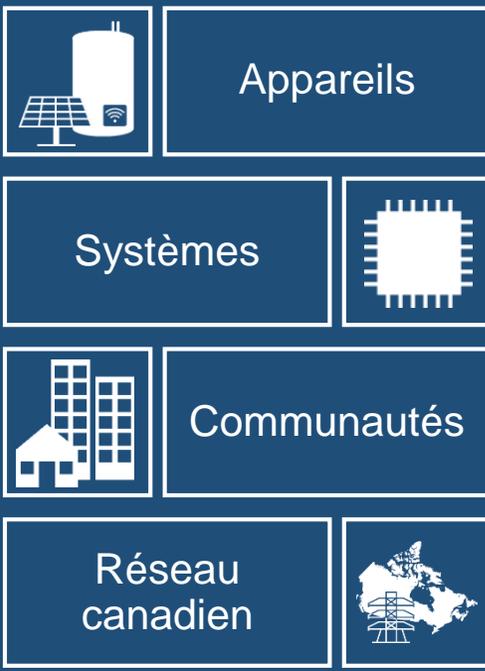


GROUPE INTÉGRATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

THÈMES DE RECHERCHE

- Évaluation des ressources énergétiques distribuées et développement des technologies
- Réseau intelligent et microréseaux pour les systèmes électriques résilients
- Villes et communautés intelligentes
- Transition vers une intégration élevée des énergies renouvelables au réseau

ÉCHELLE DES PROJETS



PLAN DE LA PRÉSENTATION



Systemes de chauffage et de refroidissement renouvelables



Activités principales

- Réseau thermique au CO₂
- Thermopompe géothermique au CO₂
- Thermopompe et stockage
- Thermopompe pour climat froid



Bâtiments intelligents



Activités principales et études de cas

- Compteurs d'énergie virtuels
- Contrôles basés sur des modèles
- Contrôle prédictif
- Flexibilité



Intégration des énergies renouvelables



Activités liées aux bâtiments

- Potentiel technique des systèmes PV intégrés aux bâtiments au Canada

Plus d'informations sur les activités de CanmetÉNERGIE [ici](#)



PLAN DE LA PRÉSENTATION



Systemes de chauffage et de refroidissement renouvelables



Activités principales

- Réseau thermique au CO₂
- Thermopompe géothermique au CO₂
- Thermopompe et stockage
- Thermopompe pour climat froid



Bâtiments intelligents



Activités principales et études de cas

- Compteurs d'énergie virtuels
- Contrôles basés sur des modèles
- Contrôle prédictif
- Flexibilité



Intégration des énergies renouvelables



Activités liées aux bâtiments

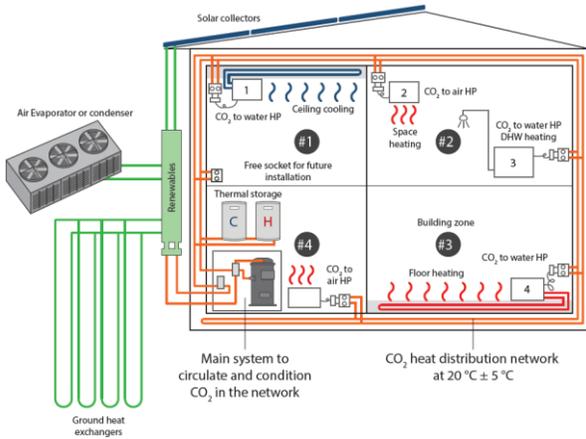
- Potentiel technique des systèmes PV intégrés aux bâtiments au Canada

Plus d'informations sur les activités de CanmetÉNERGIE [ici](#)

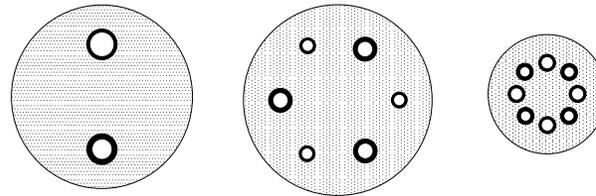


CHAUFFAGE ET REFROIDISSEMENT RENOUVELABLES : ACTIVITÉS PRINCIPALES

Réseau thermique au CO₂ pour les bâtiments C et I



Nouveaux types d'échangeurs souterrains (tuyauteries en U multiples; différents réfrigérants)

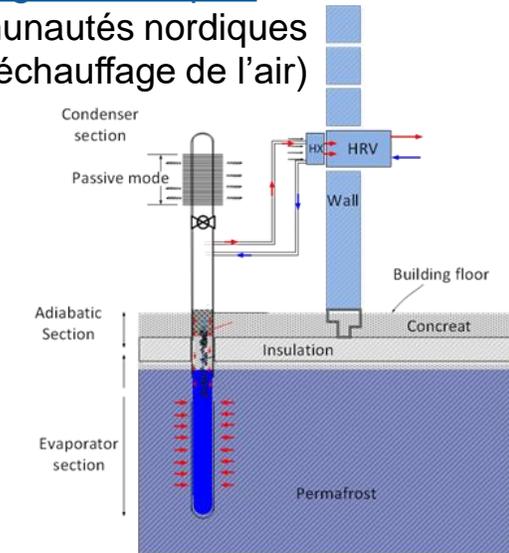


Thermopompes pour climat froid (essais; modélisation)

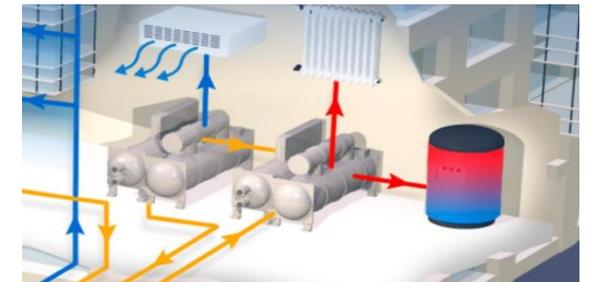


Thermopompes au CO₂ (géothermique à expansion directe; transcritique avec éjecteur)

Thermosiphons géothermiques au CO₂ pour les communautés nordiques (pergélisol; préchauffage de l'air)



Thermopompes et stockage (stockage interne; stockage externe; piles à combustibles)



Thermopompes à haute température et faible PRG (essais; projets démo; outil de sélection)



RÉSEAU THERMIQUE AU CO₂

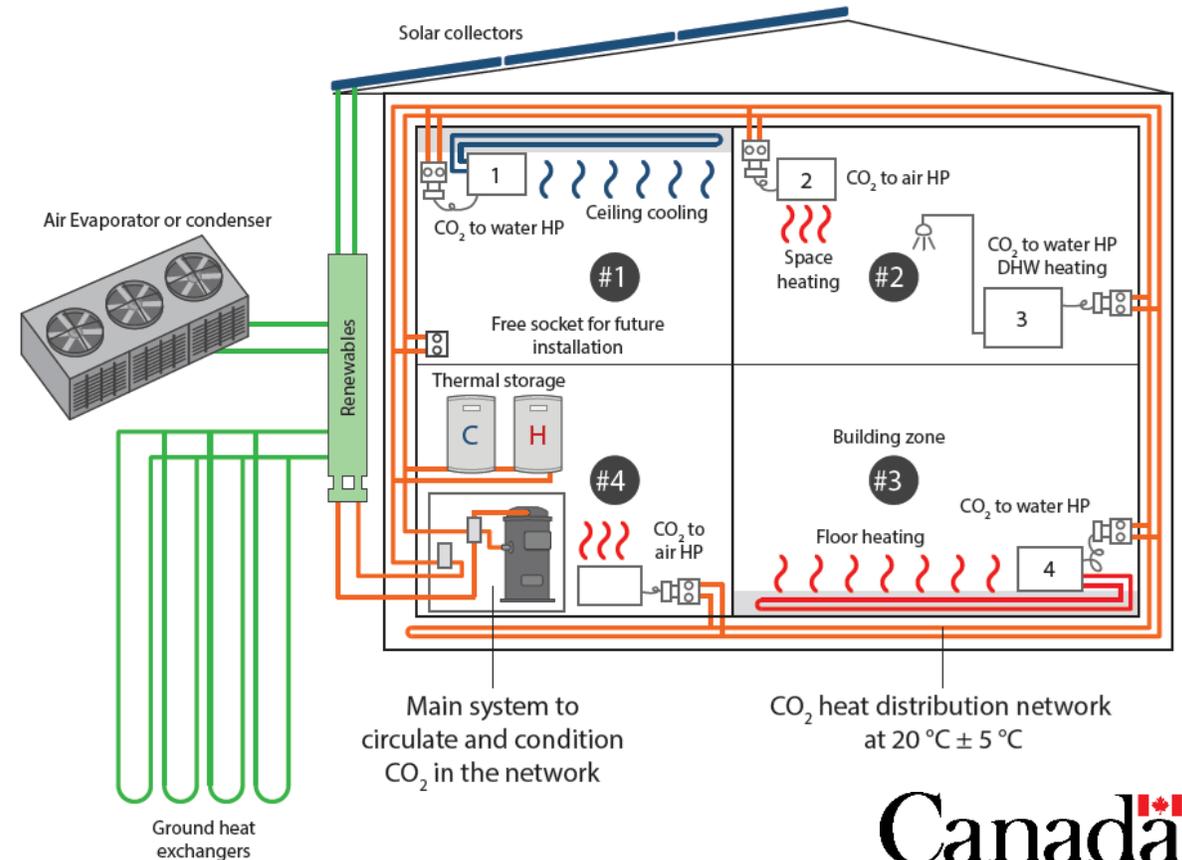
Réseau au CO₂ PAC géothermique PAC et stockage PAC pour climat froid Navire Compteurs virtuels Contrôle / modèles Contrôle prédictif Flexibilité Potentiel PV

- Cette technologie utilise une **boucle au CO₂** pour connecter les thermopompes décentralisées d'un bâtiment afin de maximiser la récupération de chaleur (p. ex. besoins simultanés en chauffage et clim.)
- Le réseau au CO₂ fonctionne à une température proche de celle de l'air intérieur, **minimisant les pertes thermiques** et **maximisant le rendement des thermopompes** tout en **réduisant la taille de la tuyauterie**
- Brevet accordé aux É.-U. et au Canada

Banc d'essai à CanmetÉNERGIE à Varennes



Plus d'informations [ici](#)



THERMOPOMPE AU CO₂

■ Démonstration d'une nouvelle technologie de thermopompe géothermique :

- Réfrigérant : **CO₂**
- Eau de l'aquifère : **puits à colonne permanente** (250 m principal, 100 m injection)
- Sol : par **expansion directe du CO₂** (puits 100 m x5)
- Intégrée au bâtiment de CanmetÉNERGIE (chauffage, climatisation)

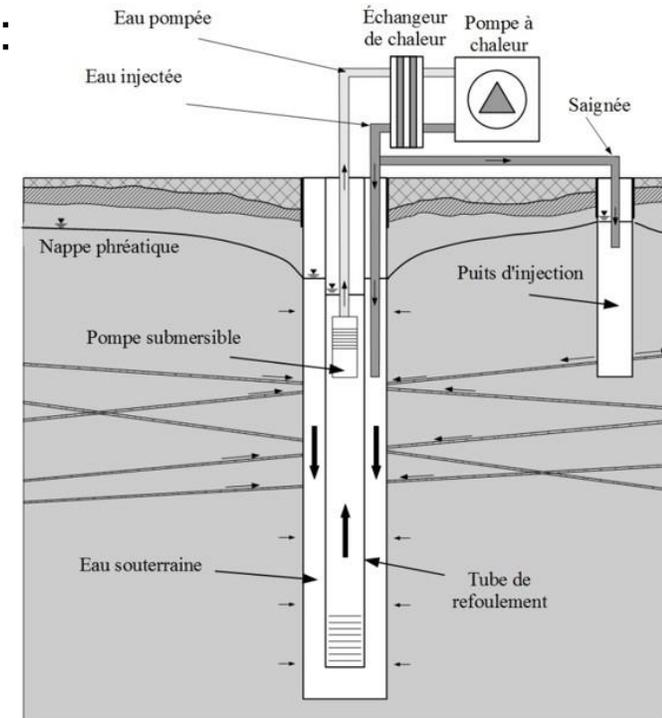
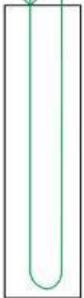
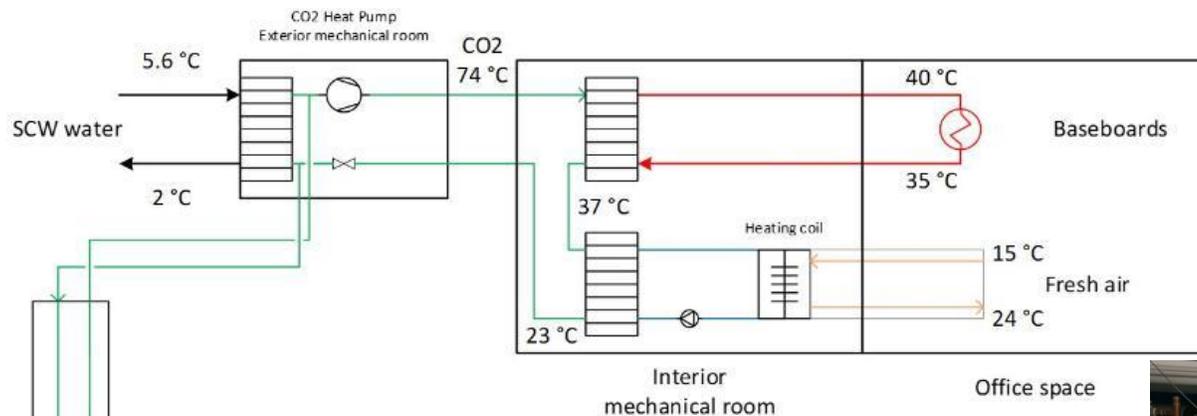
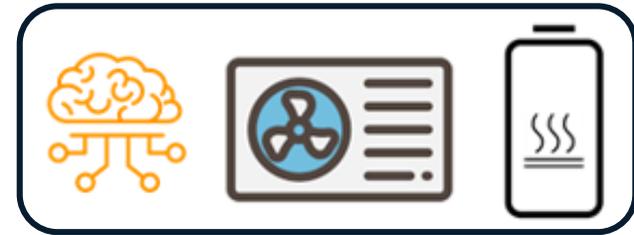
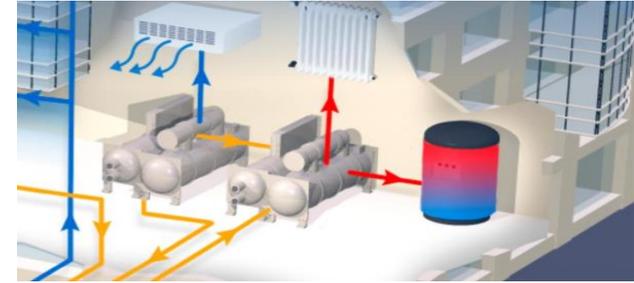


Schéma d'un puits à colonne permanente

THERMOPOMPE ET STOCKAGE

Réseau au CO₂ PAC géothermique **PAC et stockage** PAC pour climat froid Navire Compteurs virtuels Contrôle / modèles Contrôle prédictif Flexibilité Potentiel PV

- Thermopompes avec stockage externe (bâtiments C et I)
 - Technologies commercialement disponibles
 - Développement de connaissances, méthodologies pour le dimensionnement et l'opération (sélection des systèmes, nombre d'heures de stockage) pour une intégration optimale
- Thermopompes avec stockage interne pour le secteur résidentiel
 - Développement technologique et preuve de concept d'une **thermopompe avec matériaux à changement de phase**
- Thermopompes et piles à combustible pour une meilleure flexibilité et résilience des bâtiments
 - Intéressant dans les zones où l'électrification est difficile (p. ex. communautés nordiques et éloignées; zones où le réseau de distribution est proche de sa capacité maximale)
 - Explorer différentes combinaisons de **thermopompes et piles à combustible** pour les bâtiments (simulation, expérimental)



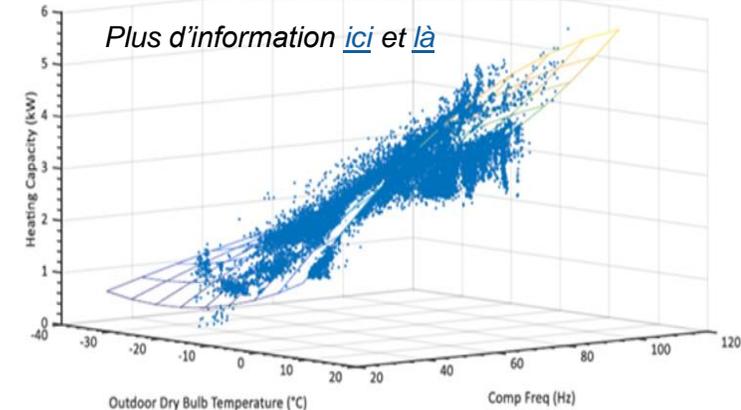
THERMOPOMPE POUR CLIMAT FROID

Réseau au CO₂ PAC géothermique PAC et stockage **PAC pour climat froid** Navire Compteurs virtuels Contrôle / modèles Contrôle prédictif Flexibilité Potentiel PV

- **Caractéristiques des thermopompes pour climat froid**
 - Pas de règle générale évidente pour le dimensionnement
 - Étude des paramètres (température limite de fonctionnement, maintien de la capacité) influençant le dimensionnement des PAC
 - Fonctionnement à un faible rapport de modulation (moins de cyclage, meilleure adaptabilité à divers profils de charge)
 - [Principes de base, produits disponibles, financement](#) et [outils et guide de conception](#)
- **Pointes de puissance suite à l'électrification par thermopompes**
 - ~ +10 % dans les régions chaudes au Canada (puissance dominée par les équip./éclairage)
 - ~ +200 % dans les régions froides avec chauffage au gaz naturel
 - Analyse étendue à une variété de profils de charge
- **Amélioration des modèles pour les thermopompes pour climat froid**
 - Évaluation du rendement dans des cabanons expérimentaux
 - Modélisation du cyclage et dégivrage (effet sur la puissance électrique)
 - Modélisation à charge partielle & différents rapports de modulation
- **Détermination des cibles de rendement pour le [défi thermopompe pour climat froid avec le DOE](#)**


High Elec. Baseboards (Aux. heating only when $T_{\text{Outdoor}} < \text{HP low cut-off temp.}$)

  
High Light/Equip. Demand HP at Max Power



MODÉLISATION DE PLATEFORME NAVALE



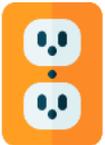
En collaboration avec le MDN pour réduire la consommation d'énergie et de diesel pour une efficacité opérationnelle améliorée (coûts, émissions de GES, entretien d'équipements, mais aussi autonomie opérationnelle, approvisionnements, accomplissement de la mission)



Rendement thermique

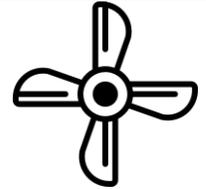
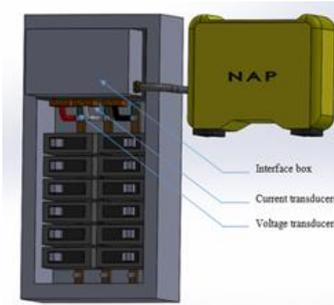


Systèmes CVC



Équip./éclairage

- Compteurs pour mieux comprendre l'utilisation de l'énergie
- Évaluation de différents scénarios opérationnels



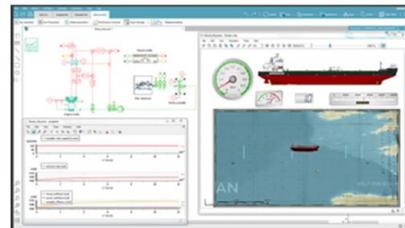
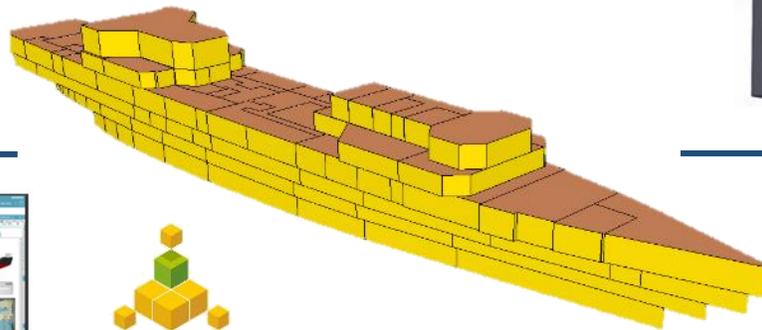
Propulsion



Hydrodynamique



État de la mer



 **Simcenter LMS Amesim**
(Propulsion)


TRNSYS 18
(Thermique)


fmi

- Prédire les besoins en énergie et puissance
- Outil d'aide à la décision pour optimiser l'utilisation de l'énergie et améliorer le rendement

PLAN DE LA PRÉSENTATION



Systemes de chauffage et de refroidissement renouvelables



Activités principales

- Réseau thermique au CO₂
- Thermopompe géothermique au CO₂
- Thermopompe et stockage
- Thermopompe pour climat froid



Bâtiments Intelligents



Activités principales et études de cas

- Compteurs d'énergie virtuels
- Contrôles basés sur des modèles
- Contrôle prédictif
- Flexibilité



Intégration des énergies renouvelables



Activités liées aux bâtiments

- Potentiel technique des systèmes PV intégrés aux bâtiments au Canada

Plus d'informations sur les activités de CanmetÉNERGIE [ici](#)



BÂTIMENTS INTELLIGENTS : ACTIVITÉS PRINCIPALES

Utiliser les données opérationnelles pour détecter et corriger les inefficacités, et développer et implanter des séquences de contrôle optimal dans les bâtiments commerciaux et institutionnels et les réseaux de chaleur



- **Suivi et amélioration du rendement** : détection et diagnostic de fautes (DDF); compteurs d'énergie virtuels (VEM); indicateurs de performances (KPI)
- **Contrôles de supervision** : modèles thermiques simplifiés de bâtiments (orientés pour le contrôle, archétypes); stratégies de contrôle basées sur des modèles et de contrôle prédictif (MPC)
- **Flexibilité énergétique** : optimisation des contrôles pour activer et évaluer la flexibilité énergétique dans les bâtiments individuels et les communautés de bâtiments

Plus d'informations sur les tendances actuelles de recherche dans l'opération des bâtiments [ici](#)



BÂTIMENTS INTELLIGENTS : ÉTUDES DE CAS



Centre de CanmetÉNERGIE, Varennes (QC)
[Stratégie MPC](#) pour système biénergie
-22 % émissions de GES sans augmentation des coûts



École primaire, région de Montréal (QC)
Utilisation accrue de la chaudière électrique
-14 % émissions de GES sans augmentation des coûts



École primaire, région de Montréal (QC)
Fonctionnement amélioré du [stockage thermique](#)
-10 % demande de pointe électrique du bâtiment



Laboratoire de recherche sur l'air intérieur, Ottawa (ON)
Stratégie MPC pour optimiser préchauffage du bâtiment,
PV et batteries; -10 % coûts d'énergie



Bâtiment commercial, Montréal (QC)
[Opération optimisée](#) de la centrale de froid
-12 % énergie de refroidissement, -33 % énergie électrique



Centre de l'Agence Spatiale Canadienne, St-Hubert (QC)
[Contrôles basés sur les données](#) pour système biénergie
-79 % émissions de GES, +0,25 % coûts d'énergie (bâtiment)



Réseau de chaleur, Ottawa (ON)
[Stratégie MPC](#) pour système à vapeur multichaudières
économies annuelles de 89 000 \$ et 342 t CO₂eq



Réseau de chaleur, Québec (QC)
[Stratégie MPC](#) pour système à vapeur multichaudières
économies annuelles de 33 000 \$ et 143 t CO₂eq



Communauté solaire de Drake Landing, Okotoks (AB)
[Stratégie MPC](#) pour capteurs solaires et stockage thermique
-32 % émissions de GES, -38 % coûts d'énergie



COMPTEURS D'ÉNERGIE VIRTUELS

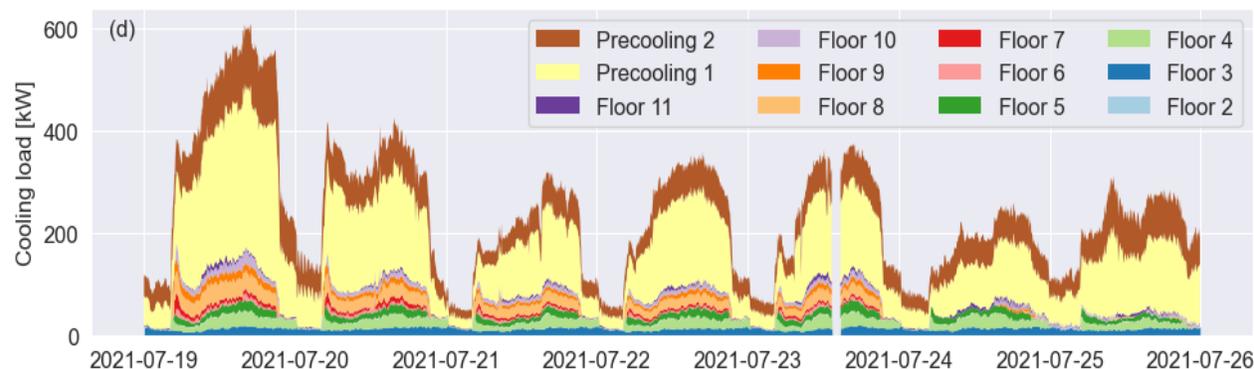
Réseau au CO₂ PAC géothermique PAC et stockage PAC pour climat froid Navire **Compteurs virtuels** Contrôle / modèles Contrôle prédictif Flexibilité Potentiel PV

- **Contexte** : on vise à améliorer la performance énergétique des bâtiments, mais on ne sait pas forcément où l'énergie est utilisée
- **Objectif** : calculer les variables d'énergie clés et non mesurées à l'aide des données disponibles des autres capteurs
- **Méthodologie** : estimer l'énergie de chauffage et de climatisation à différents niveaux et déterminer les possibilités d'amélioration
- **Applications** :
 - **Suivi de la performance** : au fil des années; utilisation dans le bâtiment; calcul des économies
 - **Cartographie de l'énergie** : associer l'énergie aux besoins des occupants; sensibiliser aux coûts réels
 - **Détection des inefficacités** : sync. des horaires; déshumidification excessive; principaux utilisateurs
 - **Optimisation de l'exploitation** : requis pour les stratégies de contrôle avancé (p. ex. prévision de la charge)



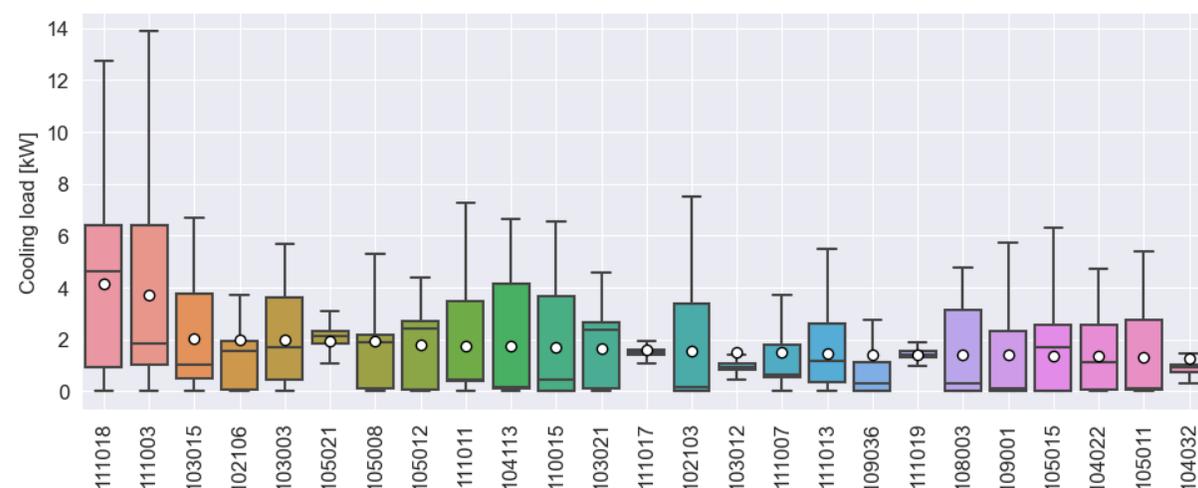
- Chaufferie
- Centrale de froid
- Stockage thermique
- CTA
- Boîtes VAV

Énergie des CTA pour une semaine typique



Plus d'informations [ici](#)

Boîtes VAV les plus énergivores sur une période donnée

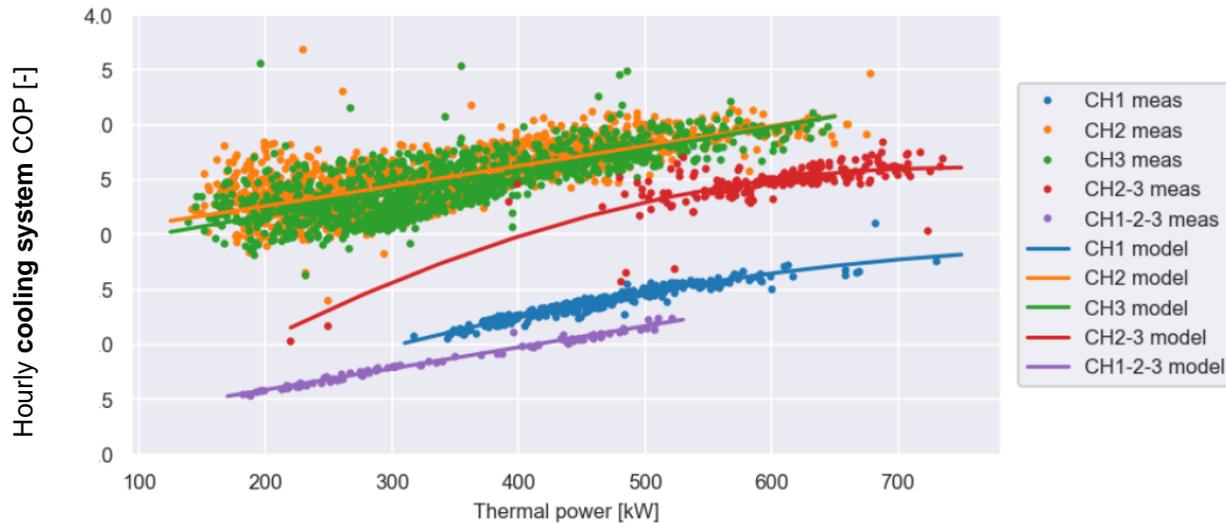


STRATÉGIE DE CONTRÔLE BASÉE SUR DES MODÈLES

Réseau au CO₂ PAC géothermique PAC et stockage PAC pour climat froid Navire Compteurs virtuels **Contrôle / modèles** Contrôle prédictif Flexibilité Potentiel PV

- **Contexte** : il y a une grande quantité de données opérationnelles disponibles, mais les systèmes CVC fonctionnent à l'aide de règles de contrôle simples et ne sont pas utilisés à leur plein potentiel tant que le confort thermique est assuré
- **Objectif** : élaborer des stratégies de contrôle génériques basées sur des données pour améliorer la performance
- **Étude de cas** : centrale de froid avec refroidisseurs (x3), condenseurs à l'air (x2) et tours d'eau (x1)

Courbes de performance basées sur les données de la centrale de froid



- **Idée générale** : exploiter les refroidisseurs les plus efficaces à une charge de refroidissement donnée
- **Méthodologie** :
 1. Récupérer et traiter les données du SAB
 2. Calculer la demande de refroidissement et la puissance électrique de la centrale (refroidisseurs, pompes, ventilateurs), et élaborer les courbes de performance
 3. Optimiser la combinaison de refroidisseurs à exploiter en fonction de la charge de refroidissement pour maximiser le COP
 4. Implanter la stratégie dans le SAB comme stratégie de supervision; les contrôles locaux restent identiques
- **Résultats** : -19 % énergie et coûts d'électricité pour le refroidissement

Plus d'informations [ici](#)



STRATÉGIE DE CONTRÔLE PRÉDICTIF

Réseau au CO₂ PAC géothermique PAC et stockage PAC pour climat froid Navire Compteurs virtuels Contrôle / modèles **Contrôle prédictif** Flexibilité Potentiel PV

- **Contexte** : il y a une grande quantité de données opérationnelles disponibles, mais les systèmes CVC fonctionnent à l'aide de règles de contrôle simples et ne sont pas utilisés à leur plein potentiel tant que le confort thermique est assuré
- **Objectif** : élaborer des stratégies de contrôle prédictif pour améliorer la performance



Bâtiment institutionnel

5 257 m²; système biénergie (élec./gaz)

- **Idee générale** : préchauffer le bâtiment la nuit pour maximiser l'usage de la chaudière électrique hors pointe et réduire l'usage du gaz
- **Méthodologie (pendant l'exploitation)** :
 1. Récupérer les prévisions météo et les données du SAB
 2. Calculer la charge de chauffage (apprentissage automatique) pour différents profils de points de consigne de température de l'air intérieur
 3. Calculer les consommations d'électricité et de gaz pour les différents profils; déterminer le profil minimisant l'usage du gaz
 4. Envoyer automatiquement le profil optimal au SAB, qui ajuste les contrôles locaux des zones
- **Résultats** : -22 % émissions de GES sans augmentation des coûts

Plus d'informations [ici](#)



Réseaux de chaleur (x2)

Réseaux à vapeur avec 3 chaudières au gaz (12-22 MW)

- **Idee générale** : prédire et opérer les chaudières les plus efficaces pour les prochaines 24 heures
- **Méthodologie (pendant l'exploitation)** :
 1. Récupérer les prévisions météo
 2. Calculer la charge de chauffage (apprentissage automatique)
 3. Calculer, pour les 24 prochaines heures, quelle chaudière opérer, à quelle capacité et pendant combien de temps pour minimiser la consommation de gaz
 4. Générer automatiquement un rapport MPC et l'envoyer aux opérateurs le matin pour aider à la prise de décision
- **Résultats** : économies annuelles de 122 000 \$ et 480 t CO₂eq (pour les deux sites)

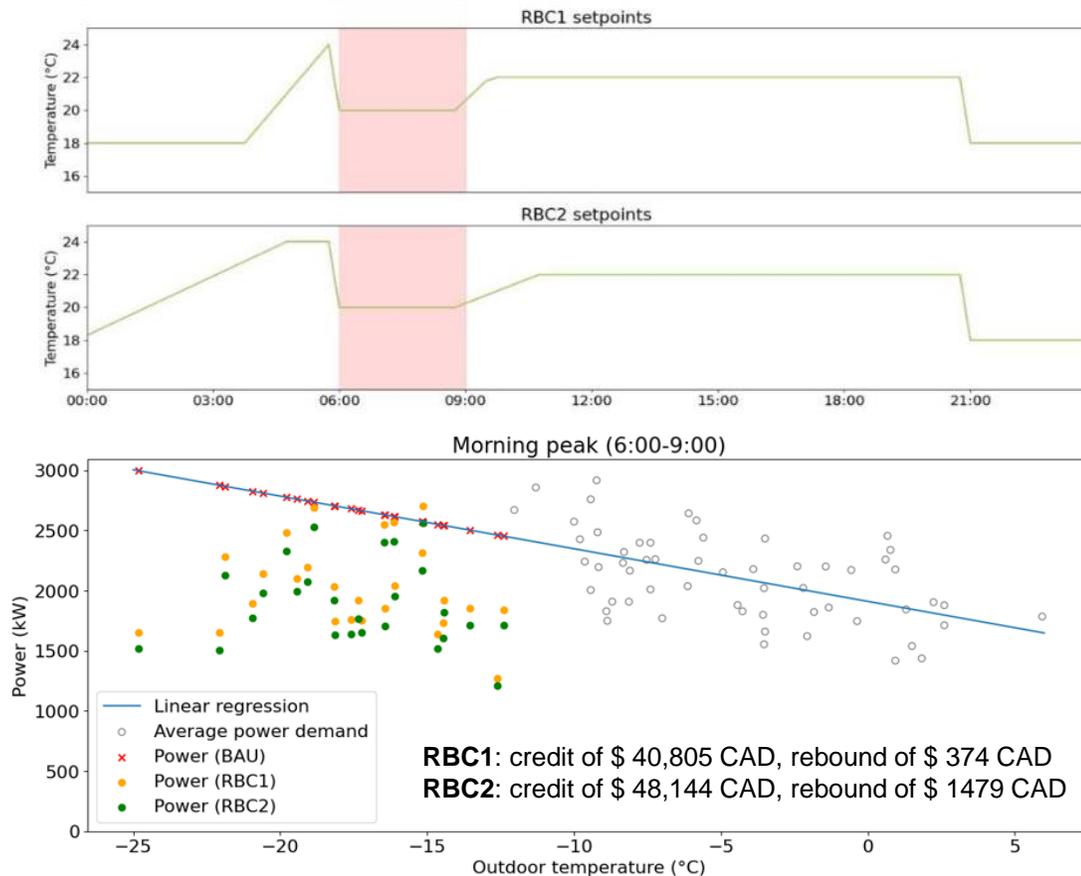
Plus d'informations [ici](#)



FLEXIBILITÉ ÉNERGÉTIQUE

Réseau au CO₂ PAC géothermique PAC et stockage PAC pour climat froid Navire Compteurs virtuels Contrôle / modèles Contrôle prédictif **Flexibilité** Potentiel PV

- **Contexte** : les bâtiments jouent un rôle clé pour aider le réseau électrique à gérer les pointes de puissance; les communautés de bâtiments (connectés électriquement) ont plus d'impact (puissance, flexibilité), mais nécessitent une opération coordonnée
- **Objectif** : élaborer des stratégies de contrôle pour activer la flexibilité des bâtiments



- **Idée générale** : préchauffer les bâtiments avant la période de pointe du réseau, réduire les points de consigne pendant l'évènement et revenir aux conditions normales après l'évènement
- **Méthodologie** :
 1. Création d'une communauté virtuelle basée sur les archétypes de bâtiments EnergyPlus du CNEB (54 bâtiments)
 2. Appliquer différentes stratégies (profils de température intérieure) pendant 26 évènements de pointe du réseau
 3. Évaluer la performance à l'aide de plusieurs KPI, incluant le rendement économique (programme GDP d'Hydro-Québec)
- **Résultats** : flexibilité moyenne de 572-702 kW, réduction moyenne de la puissance de 22-27 %, crédit de 40 000 à 48 000 \$ pour l'hiver

Plus d'informations [ici](#)



PLAN DE LA PRÉSENTATION



Systemes de chauffage et de refroidissement renouvelables



Activités principales

- Réseau thermique au CO₂
- Thermopompe géothermique au CO₂
- Thermopompe et stockage
- Thermopompe pour climat froid



Bâtiments Intelligents



Activités principales et études de cas

- Compteurs d'énergie virtuels
- Contrôles basés sur des modèles
- Contrôle prédictif
- Flexibilité



Intégration des énergies renouvelables



Activités reliées aux bâtiments

- Potentiel technique des systèmes PV intégrés aux bâtiments au Canada

Plus d'informations sur les activités de CanmetÉNERGIE [ici](#)



INTÉGRATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES : ACTIVITÉS RELIÉES AUX BÂTIMENTS

- **Systemes photovoltaïques intégrés aux bâtiments (PVIB)**
 - Soutien au développement de normes et de codes
 - Évaluation du rendement des systèmes PVIB
 - **Évaluation du potentiel technique PV dans l'environnement bâti**
- Caractérisation et développement de méthodes de contrôle pour exploiter la **flexibilité** des ressources énergétiques distribuées (RED) incluant les **chauffe-eaux** et les **plinthes électriques**
- **Exploitation** de réseaux de distribution à haute pénétration d'énergies renouvelables variables et de charges flexibles
- Évaluation de l'**impact de l'électrification** (p. ex. thermopompes) sur le réseau de distribution



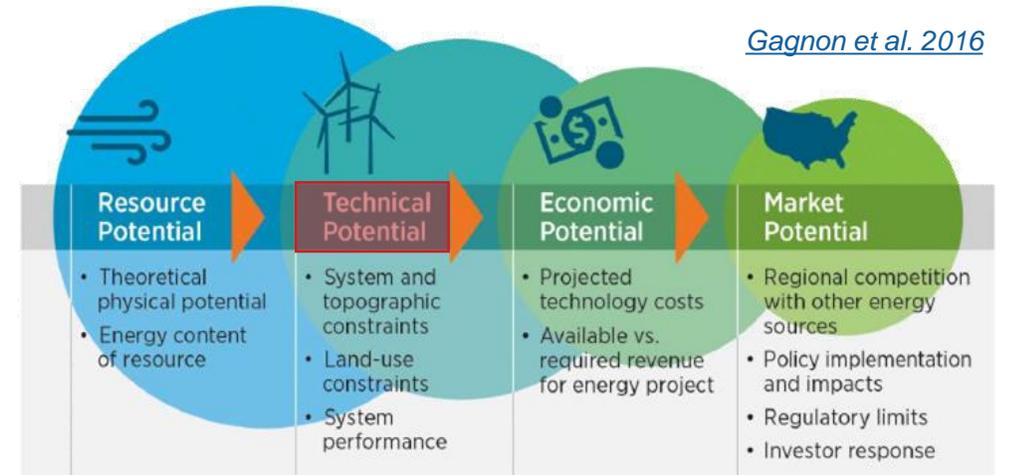
Systemes PVIB ayant différentes fonctionnalités

POTENTIEL TECHNIQUE SOLAIRE PV SUR LES TOITS

- **Objectif :**
Estimer le **potentiel technique** solaire photovoltaïque (PV) sur les toits pour informer les études portant sur les voies pour atteindre la carboneutralité au Canada

Lien vers le [rapport](#)

- **Méthodologie :**
 1. Élaboration d'une **nouvelle méthode statistique** avec une **analyse LiDAR** (Light Detection and Ranging) **détaillée**
 - Données requises : LiDAR, empreinte des bâtiments, données météo, caractéristiques PV
 - Appliquée à 11 municipalités au Canada (nombre limité par la disponibilité et la qualité des données LiDAR et le temps de calcul)
 2. Évaluation du **potentiel technique PV** par province et territoire
 - Utilisation de la méthode statistique et des résultats pour les 11 municipalités
 - Analyse pour le Canada basée sur l'empreinte des bâtiments du parc immobilier (résidentiel, commercial et institutionnel, pour 2019)



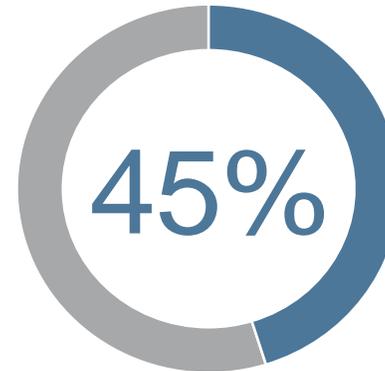
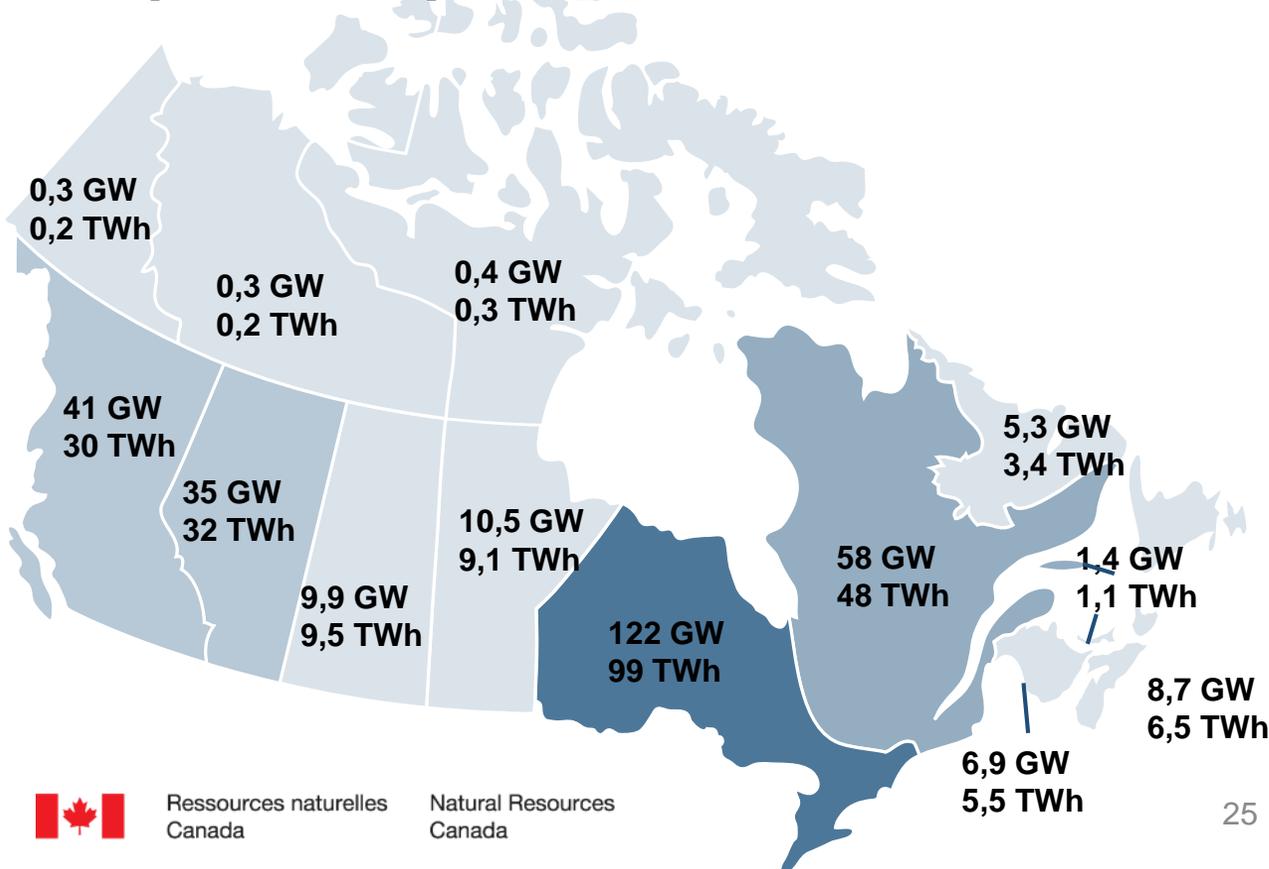
POTENTIEL TECHNIQUE SOLAIRE PV SUR LES TOITS

Réseau au CO₂ PAC géothermique PAC et stockage PAC pour climat froid Navire Compteurs virtuels Contrôle / modèles Contrôle prédictif Flexibilité **Potentiel PV**

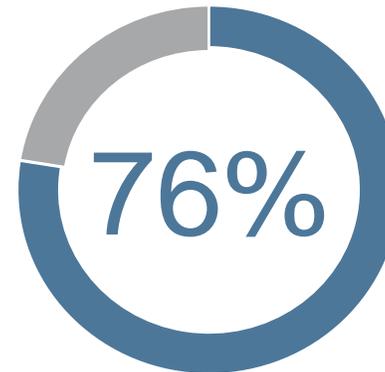
Le potentiel technique solaire PV sur les toits au Canada est de **300 GW***, correspondant à une production annuelle de **247 TWh**

* La capacité électrique totale au Canada est de 154 GW

Capacité et production d'électricité



Le potentiel technique solaire PV sur les toits au Canada correspond à 45 % de l'ensemble des besoins en électricité du Canada (données de 2019)



Installer des systèmes PV sur les toits des bâtiments pourrait combler 76 % de la demande en électricité (100 % résidentiel vs 49 % C et I)



CONCLUSIONS ET POINTS CLÉS À RETENIR

Réseau au CO₂

PAC géothermique

PAC et stockage

PAC pour climat froid

Navire

Compteurs virtuels

Contrôle / modèles

Contrôle prédictif

Flexibilité

Potentiel PV



Les **pompes à chaleur** sont des **éléments clés de la décarbonisation**; elles peuvent se retrouver sous de nombreuses formes et être intégrées d'une multitude de façons aux bâtiments (géothermie; climat froid; haute température; avec éjecteur; avec stockage thermique; etc.)



Les **données opérationnelles** sont essentielles à une meilleure compréhension de l'**opération des bâtiments** et servent à développer des modèles pour aider à la prise de décision et améliorer de façon importante la performance des bâtiments



Les **systèmes photovoltaïques sur les toits des bâtiments** montrent un **potentiel technique important** pour une transition vers une intégration élevée des énergies renouvelables au réseau



La **recherche** est nécessaire pour maximiser le potentiel de ces technologies et développer des **outils et guides** facilitant leur adoption, et doit être appuyée par des **projets de démonstration**

Communiquez avec nous si vous voulez en savoir plus !

(et un grand merci à mes collègues pour leur matériel, leur temps et leurs explications sur les différentes activités !)



MERCI - DES QUESTIONS?



Coordonnées :
Etienne Saloux
etienne.saloux@nrcan-rncan.gc.ca
Chercheur scientifique
Groupe Bâtiments
CanmetÉNERGIE à Varennes
Secteur des technologies de l'énergie
Ressources naturelles Canada |
Gouvernement du Canada



1615 boul. Lionel-Boulet
Varennes, QC J3X 1P7
Tél. : 450 652-4621
canmetenergy@nrcan.gc.ca



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Canada

Canada

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre des Ressources naturelles Canada, 2024



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada