



# Amélioration en continu et indicateurs de performance

## Optimisation des contrôles et de l'opération des bâtiments

12 février 2020



# PRÉSENTATEURS



Étienne Saloux

Chercheur scientifique

CanmetÉNERGIE à Varennes / Ressources naturelles Canada



Dominic Turgeon, ing.

Ingénieur de projet

CanmetÉNERGIE à Varennes / Ressources naturelles Canada

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



# OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Au terme de la session, les participants seront en mesure de :

- ❖ **Connaître les axes de R-D de CanmetÉNERGIE à Varennes portant sur les bâtiments intelligents**
- ❖ **Comprendre ce qu'est le Commissioning en continu (CxC)**
- ❖ **Mettre en application l'utilisation d'indicateurs de performance pour améliorer l'opération des bâtiments**

# STE – LABORATOIRES AU CANADA



## OTTAWA (ON)

- Bâtiments et collectivités
- Procédés industriels
- Électricité propre
- Bioénergie
- Énergies renouvelables
- Transports



## HAMILTON (ON)

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

## MISSION

- ❖ Mener des **activités de recherche** en tant que **chef de file** en matière de **S-T** au sein du gouvernement fédéral
- ❖ Réaliser des **activités scientifiques novatrices** pour fournir des solutions à valeur ajoutée et créer un **avenir énergétique durable** pour le Canada



## VARENNES (QC)

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

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



# CANMETÉNERGIE À VARENNES



**RESSOURCES  
FINANCIÈRES**

≈ 17 M\$



**RESSOURCES  
HUMAINES**

160 employés



**PLAN  
SCIENTIFIQUE**

11 projets de R-D



**BANCS  
D'ESSAI**

2 usines pilotes



technologie  
science  
**ÉNERGIE**  
rayonnement

R-D

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

# GROUPE BÂTIMENTS

## SYSTÈMES DE CHAUFFAGE ET DE CLIMATISATION RENOUVELABLES

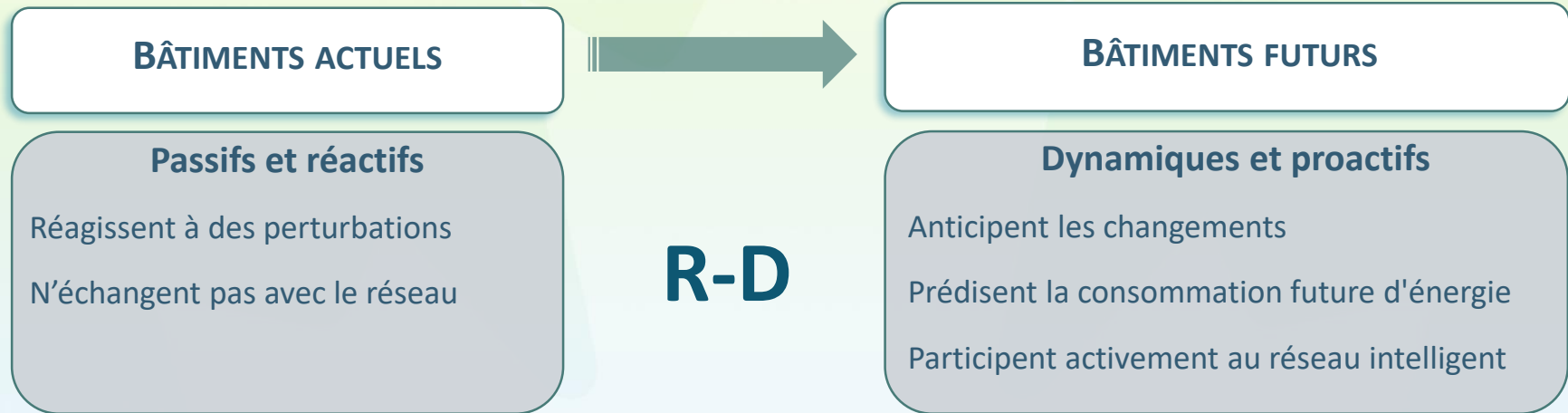
- Gestion de l'énergie thermique
- Thermopompes électriques
- Thermopompes thermiques

## BÂTIMENTS INTELLIGENTS

- Amélioration en continu de l'efficacité énergétique
- Stratégies de contrôle optimales
- Bâtiments flexibles écoénergétiques



# BÂTIMENTS INTELLIGENTS – VISION



© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



# AMÉLIORATION EN CONTINU DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

## ACTIVITÉS DE RECHERCHE

DÉVELOPPEMENT  
D'INDICATEURS DE  
PERFORMANCE

IDENTIFICATION DE  
L'OPÉRATION SOUS-OPTIMALE  
DES SYSTÈMES

GESTION OPTIMALE DE  
L'ÉNERGIE À L'AIDE DES  
TECHNIQUES D'INTELLIGENCE  
ARTIFICIELLE

## ACTIVITÉS DE DÉPLOIEMENT

COMMISSIONING EN CONTINU

MISE EN APPLICATION  
D'INDICATEURS DE  
PERFORMANCE

UTILISATION D'OUTILS  
LOGICIELS ANALYTIQUES



# ACTIVITÉS DE RECHERCHE

## AMÉLIORATION EN CONTINU DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

# ÉTAT DES DONNÉES DANS LES BÂTIMENTS

- **Données du BAS (source principale)**  
(températures, pressions, débits, niveaux de CO<sub>2</sub>, ouvertures de valves, modes d'opération, compteurs électriques, etc.)
- **Installation de capteurs additionnels**  
(coûteux, difficile à répliquer)
- **Autres sources de données**  
(factures, capteurs d'occupation, IoT, calendriers Outlook)

	A	B	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG
1	SchoolNar	DateTime	STE_SCHO	STE_SCHO	STE_SCHO	STE_SCHO	STE_SCHO	STE_SCHO	STE_SCHO	STE_SCHO
2	Ste-Schola	2017-04-21 23:30	8.7802	8.7802	8.7802	8.7802	8.7802	8.7802	21.5225	21.5271
3	Ste-Schola	2017-04-21 23:40	8.6022	8.6022	8.6022	8.6022	8.6022	8.6022	21.5225	21.6248
4	Ste-Schola	2017-04-21 23:50	8.4963	8.4963	8.4963	8.4963	8.4963	8.4963	21.5225	21.7225
5	Ste-Schola	2017-04-22 00:00	8.3317	8.3317	8.3317	8.3317	8.3317	8.3317	21.5225	21.6248
6	Ste-Schola	2017-04-22 00:10	8.2312	8.2312	8.2312	8.2312	8.2312	8.2312	21.514	21.5271
7	Ste-Schola	2017-04-22 00:20	8.1295	8.1295	8.1295	8.1295	8.1295	8.1295	21.5225	21.4294
8	Ste-Schola	2017-04-22 00:30	8.0665	8.0665	8.0665	8.0665	8.0665	8.0665	21.5225	21.3317
9	Ste-Schola	2017-04-22 00:40	8.0272	8.0272	8.0272	8.0272	8.0272	8.0272	21.5225	21.2341
10	Ste-Schola	2017-04-22 00:50	7.9267	7.9267	7.9267	7.9267	7.9267	7.9267	21.5045	21.1364
11	Ste-Schola	2017-04-22 01:00	7.7999	7.7999	7.7999	7.7999	7.7999	7.7999	21.4558	21.0492
12	Ste-Schola	2017-04-22 01:10	7.7489	7.7489	7.7489	7.7489	7.7489	7.7489	21.4379	21.0121

## Dans un monde parfait...

- Variables nommées de façon systématique
- Capteurs fonctionnels en tout temps
- Données synchronisées et sauvegardées
- Aucun problème de communication



## Toutefois...

- Manque de standardisation dans la nomenclature des points
- Données utilisées pour le suivi, mais pas sauvegardées
- Capteurs défectueux

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



# AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES TECHNIQUES D'IA

Comment tirer avantage des techniques d'IA pour améliorer l'opération des bâtiments?

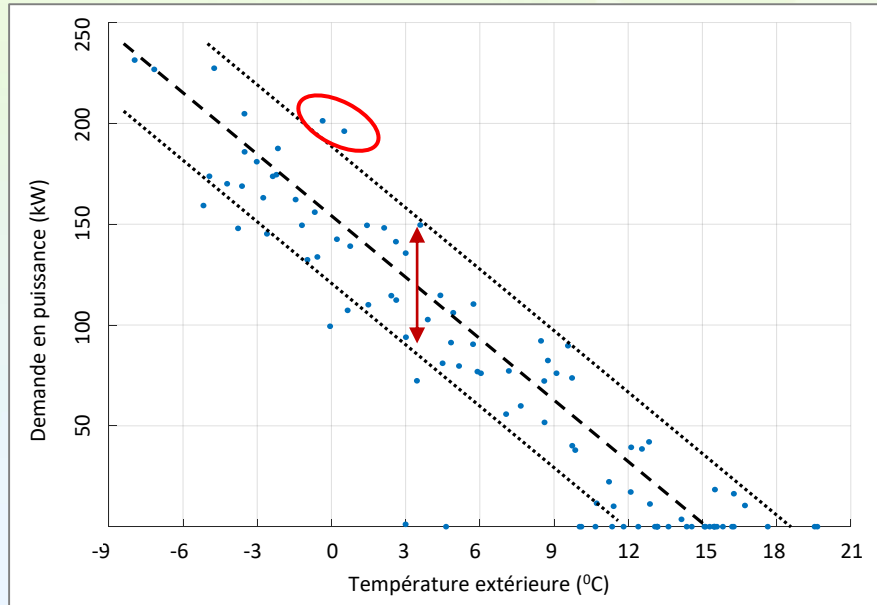
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>• Réduction du temps et de l'effort passés sur le développement de modèles; nouveaux types d'entrées envisageables (heure de la journée, jour de la semaine)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Des données de bonne qualité et en quantité sont requises; un pré-traitement est nécessaire.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacité à trouver des relations complexes entre les variables, à fournir de l'information utile pour la prise de décision</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Expertise humaine nécessaire pour interpréter les résultats, limités à des situations déjà « vécues »</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Réplicabilité et mise à l'échelle pour d'autres bâtiments; capacité à apprendre en ligne avec de nouvelles données</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Application aux bâtiments en constante évolution (rénovation, nouvel équipement, changements d'opération)</li></ul>

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



# SIGNATURE ÉNERGÉTIQUE D'UN BÂTIMENT

- ❖ Indicateur pour surveiller la performance d'un bâtiment et de son système de chauffage (incluant les pertes thermiques du système)



© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.

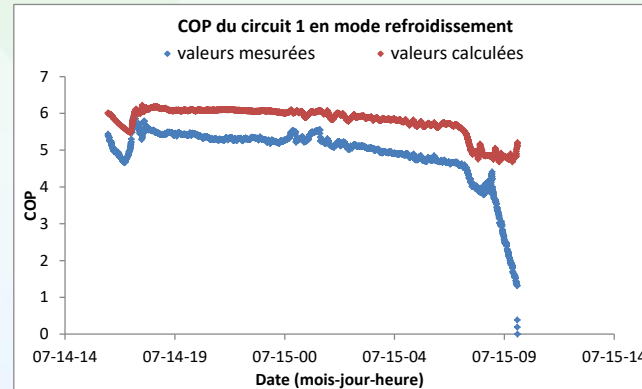
- ❖ Corrélation linéaire entre la température extérieure et la demande en chauffage du bâtiment
- ❖ Valeurs moyennes journalières
- ❖ Bande de tolérance à partir des données historiques
- ❖ Détections de valeurs anormales ou suivi de performance
- ❖ Simple, mais précis et facile à visualiser

# INDICATEUR DE RENDEMENT POUR LES POMPES À CHALEUR

❖ Objectif: identifier l'opération sous-optimale des pompes à chaleur



- ❖ COP opérationnel : performance réelle mesurée
- ❖ COP de référence : le rendement que l'unité devrait avoir si elle fonctionnait selon les spécifications du fabricant



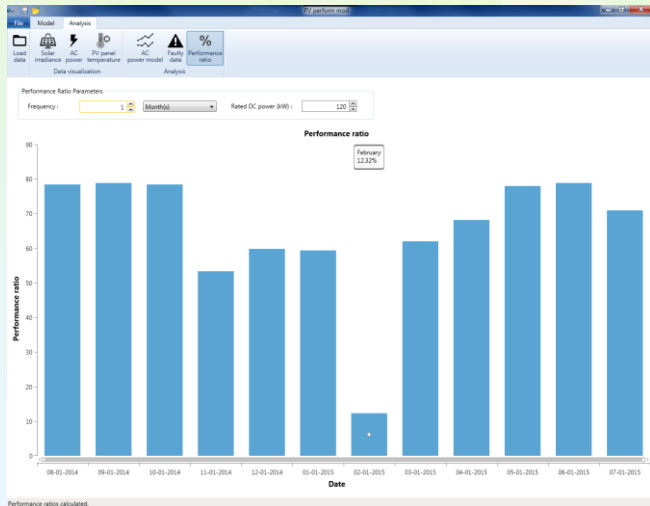
- ❖ courbes de performance du compresseur, modèles thermodynamiques
- ❖ températures du réfrigérant

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



# SURVEILLANCE DE LA PERFORMANCE D'UN MODULE PV

- ❖ Analyse automatique des données d'un système photovoltaïque (PV) pour évaluer la performance du système et détecter des fautes (génération d'électricité anormalement basse)



- ❖ Modèle pour prédire la génération d'électricité dans des conditions d'opération normale et pour calculer les limites d'opération normales
- ❖ Outil disponible sur le site web du ministère à <https://www.rncan.gc.ca/energie/pv-perform-mod/19229>

# ACTIVITÉS DE DÉPLOIEMENT

AMÉLIORATION EN CONTINU DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

# DÉFI DANS L'EXPLOITATION D'IMMEUBLE

## CONTRAINTES

- objectifs corporatifs
- budget limité
- personnel limité
- augmentation des coûts énergétiques

Conduit à une  
opération en  
mode réactif

## CONSÉQUENCES

- augmentation des plaintes des occupants
- effritement des économies d'énergie
- augmentation des émissions de GES
- usure prématurée des équipements



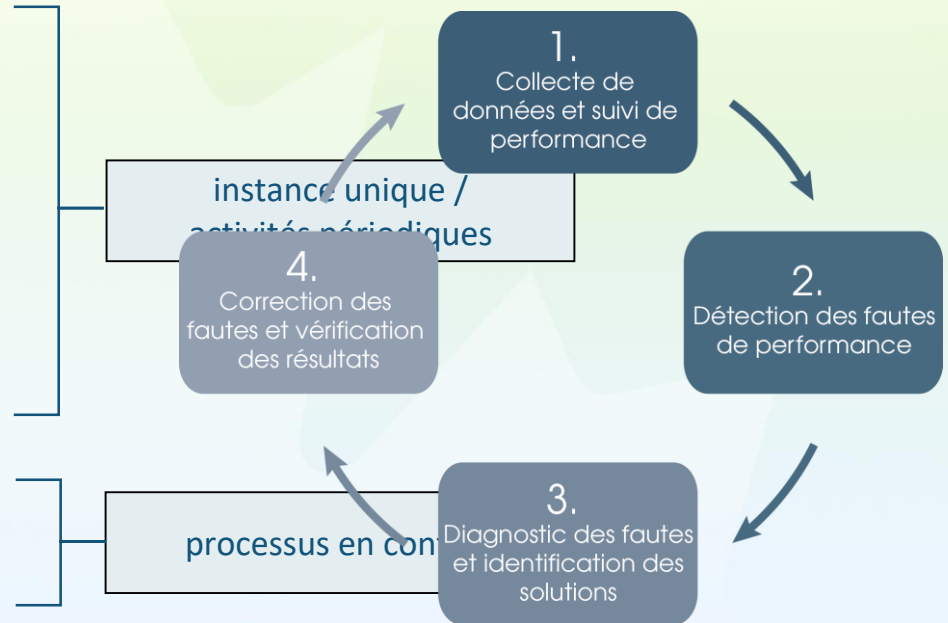
© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.





# DÉFINITION DU COMMISSIONING EN CONTINU

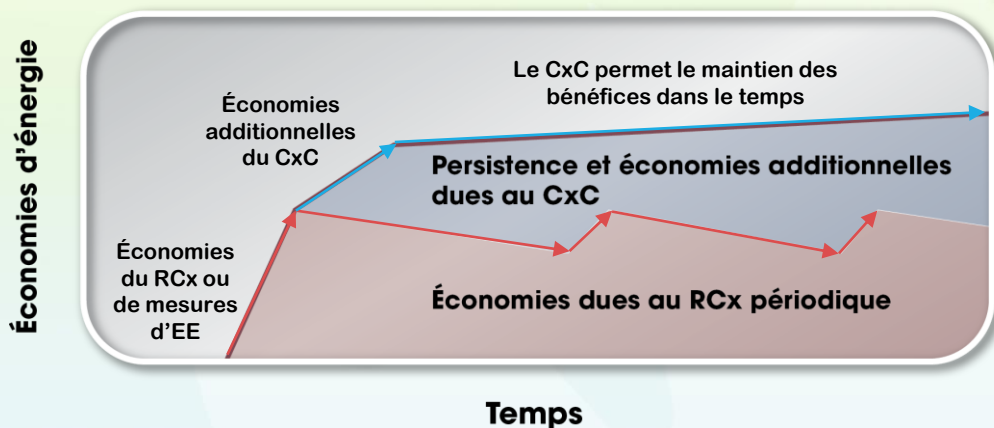
- **Commissioning (Cx) :**  
un processus intensif qui assure qu'un nouveau bâtiment fonctionne selon les besoins du propriétaire
- **Recommissioning (RCx) :**  
une mise au point d'un bâtiment existant qui assure que ce dernier fonctionne de façon optimale pour répondre aux besoins actuels
- **Commissioning en continu (CxC) :**  
une amélioration continue du fonctionnement des systèmes d'un bâtiment



© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.

# AVANTAGES DU COMMISSIONING EN CONTINU

## Comparaison des avantages entre le RCx et le CxC



Une étude de l'AIE rapporte une dégradation moyenne de 25 % des économies d'énergie quatre ans après la réalisation du Cx ou du RCx.

(IEA Annexe 47 Sous-groupe C rapport final, 2009)

<https://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/buildings/research/optimization/17892>

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.

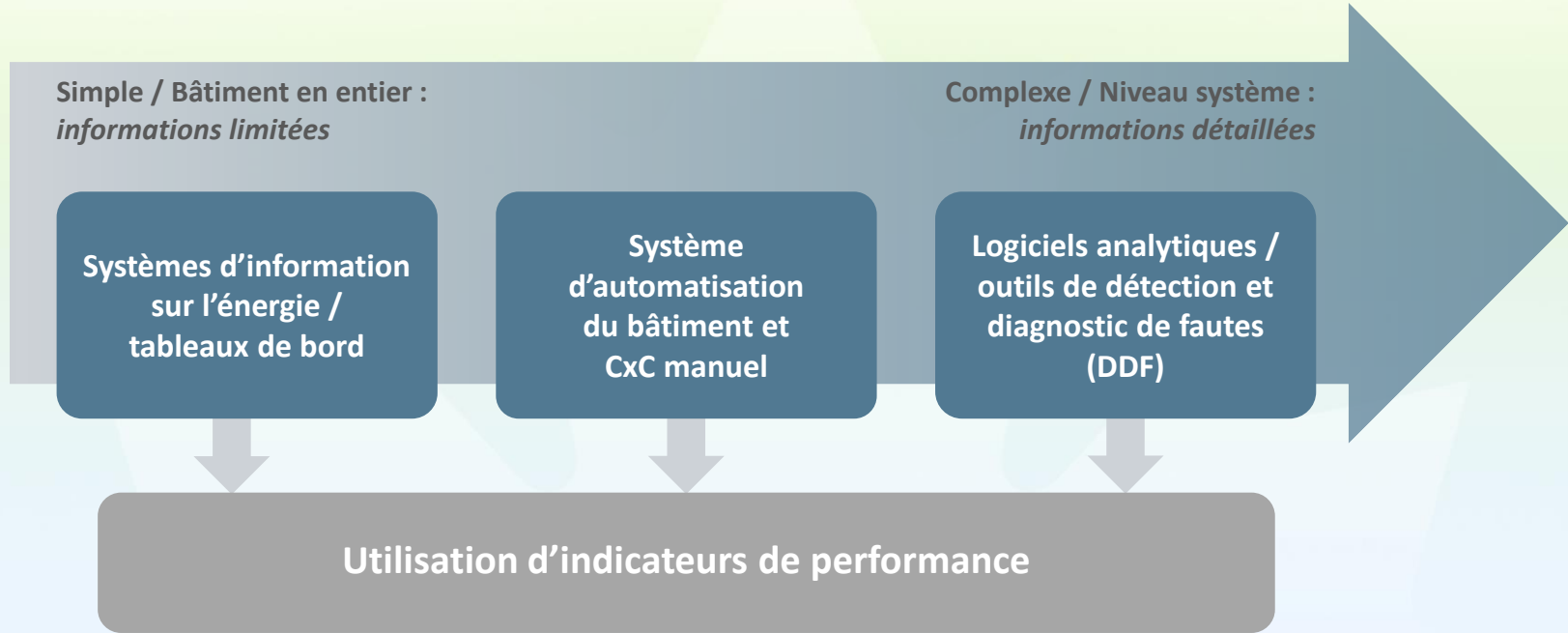
10 % à 25 % d'économies d'énergie

PRI de 1 à 3 ans

## Avantages non-énergétiques

- ✓ Amélioration de la qualité de l'environnement intérieur
- ✓ Augmentation de la productivité du personnel d'exploitation et d'entretien
- ✓ Évolution des pratiques d'entretien vers une structure proactive

# APPROCHES DU COMMISSIONING EN CONTINU



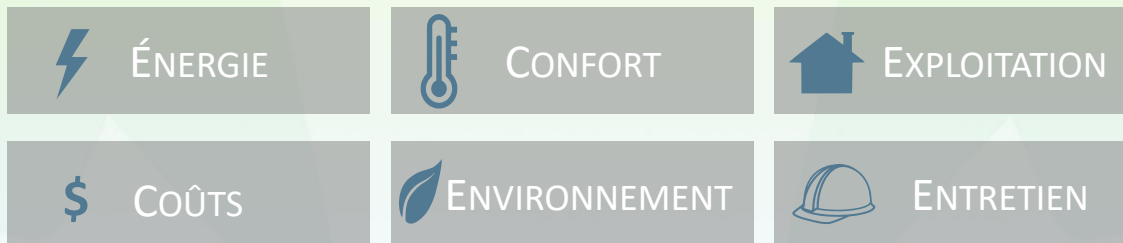
© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



# INDICATEURS DE PERFORMANCE

## ON NE PEUT AMÉLIORER CE QUE L'ON NE MESURE PAS...

- Identification des indicateurs de performance pertinents
  - Quel est l'objectif?



- Qui est l'utilisateur?

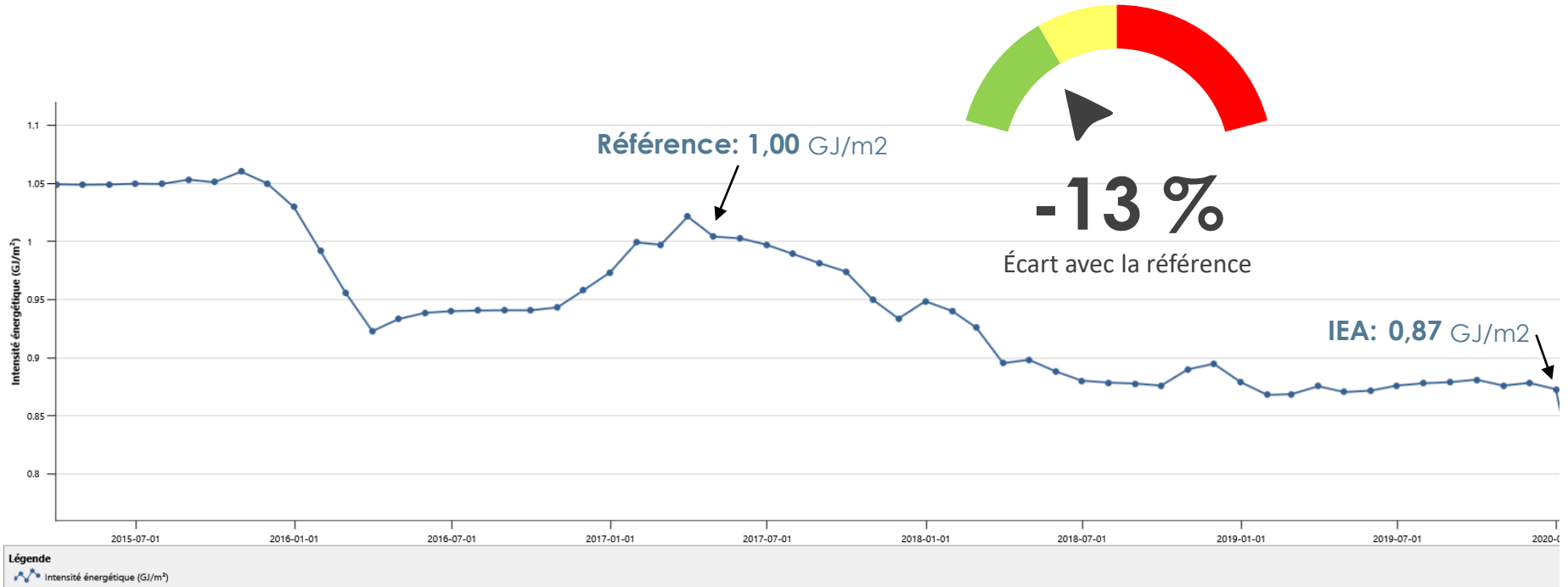


© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



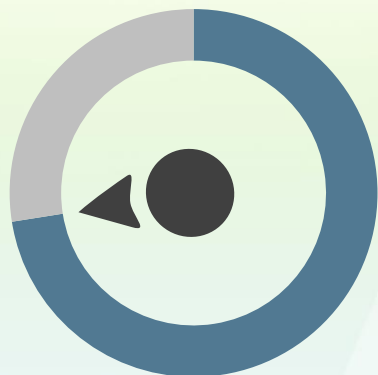
# INDICATEURS DE PERFORMANCE (EXEMPLE n°1)

Indicateur de performance – Intensité énergétique annualisée (IEA)



# INDICATEURS DE PERFORMANCE (EXEMPLE n°2)

## Indicateur de performance - Température de pièce



**72,5 %**

Température de pièce  
à l'intérieur du seuil  
d'acceptabilité

### Légende

- 0.0 Écart de température au-dessus du point de consigne
  - 0.0 Écart de température acceptable
  - 0.0 Écart de température en-dessous du point de consigne
- ↑ Écart en °C

**Seuil d'acceptabilité:** Écart supérieur à  $\pm 1^{\circ}\text{C}$

Zone	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Moyenne absolue
1321.1	-0.5	-0.5	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.2	-0.2	-0.1	0.3	0.4	0.4	0.7	0.5	0.5	0.1	-0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	0.4
1321.2	0.0	0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	0.3	0.1	0.1	-0.2	0.2	0.9	1.4	1.2	0.3	-0.6	-0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	-0.1	0.1	0.3
1321.3	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	0.3	0.5	0.7	0.4	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.4	-0.2	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	0.5
1327.1	-1.6	-1.7	-1.8	-1.9	-2.0	-2.0	-2.1	-1.2	0.2	1.8	2.9	2.9	1.0	1.0	0.2	-0.3	-1.3	-2.3	-2.7	-1.4	-1.1	-1.1	-1.1	-1.0	1.3
1327.2	-1.1	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.5	-1.4	-0.6	0.1	1.3	2.8	3.3	1.9	2.1	1.4	0.7	-0.5	-1.7	-2.0	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	1.2
1327.3	-0.8	-0.8	-0.9	-1.1	-1.1	-1.2	-1.1	-0.4	0.4	1.4	2.6	2.9	1.7	1.9	1.3	0.6	-0.4	-1.6	-1.9	-0.6	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	1.1
1327.4	-0.8	-0.9	-1.1	-1.1	-1.1	-1.2	-1.2	-0.3	0.1	1.0	1.9	2.1	0.7	0.9	0.3	-0.2	-1.0	-1.8	-1.8	-0.7	-0.5	-0.6	-0.6	-0.4	0.8
1327.5	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	0.2	0.6	1.0	1.4	1.2	-0.2	0.3	-0.2	-0.2	-0.7	-1.3	-1.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.4

©

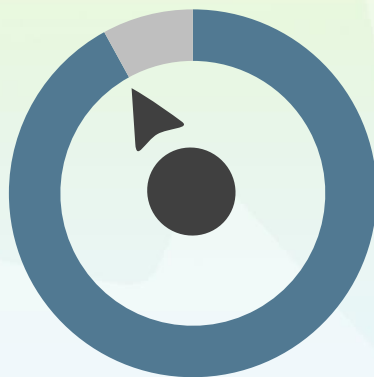


# INDICATEURS DE PERFORMANCE (EXEMPLE n°3)

## Indicateur de performance - Débit des boîtes à débit d'air variable (DAV)

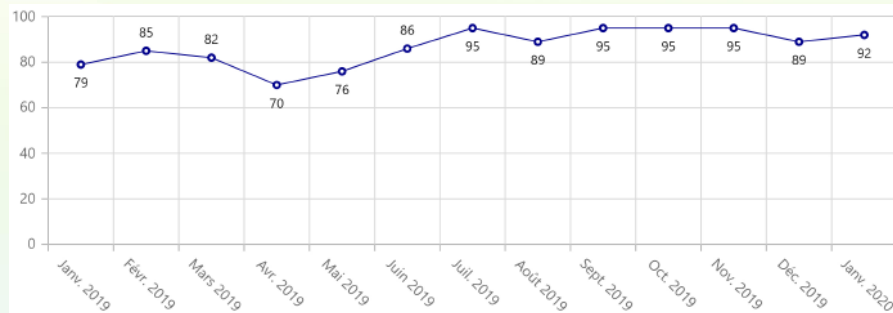
**Système étudié:** Boîtes à débit d'air variable (DAV)  
**Paramètre étudié:** Écart entre la consigne et la mesure du débit d'air

**Seuil d'acceptabilité:**  $\pm 20$  % d'écart



boîtes DAV à  
l'intérieur du seuil  
d'acceptabilité

**92 %**



### Systèmes avec les performances les plus faibles le 2020-01-31

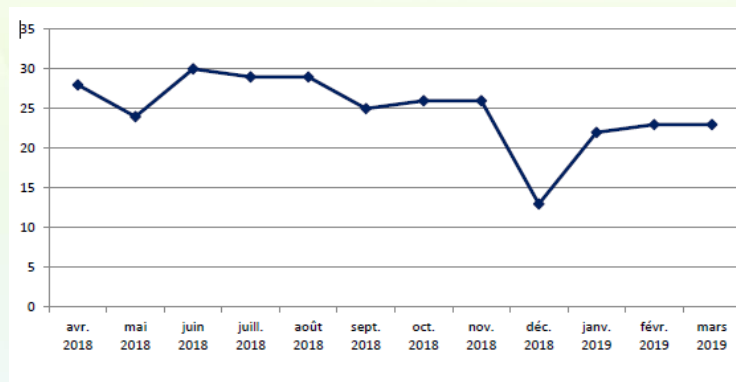
Systèmes	Point de consigne moyen (L/s)	Mesure moyenne (L/s)	Écart moyen (L/s)	Écart moyen (%)
1302_ATD	140	92	-48	-34%
1226_ATD	36	42	5	29%
1212_ATD	100	122	22	22%
1212.1_ATD	170	136	-34	-20%

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



# INDICATEURS DE PERFORMANCE (EXEMPLE n°4)

Indicateur de performance – Points de contrôle en mode manuel



Commandes				
Nom du point	Date Début	Valeur	Identifiant unique	Commentaire
(31400)SYS_SOL_AD_CHAUF		1	BAC.31400.BV201	maintenance sur RACKAM
AD_REF_1107		0	BAC.30605.BO4	bureau du groupe technique: unité plafond. À retirer
(4)MEV2_AD-M31-E2		0	BAC.30900.BO2104	Programme à mettre en commentaire pour ne plus voir les points en manuel
(30605)AD_HAIER_SERV		0	BAC.30605.BO7	n'existe plus, à retirer
SCR_M11		0	BAC.31301.AO6	valider le fonctionnement du système et remettre le SCR en auto
(31000)M2_P19		0	BAC.31000.BO12	valider pourquoi en manuel depuis 24 oct 2017: remettre en auto
AD M30 P2		0	BAC.30100.BO11	n'existe plus, à retirer

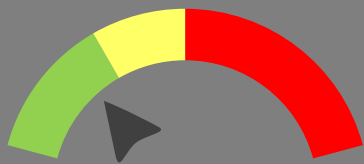
© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.





# TABLEAU DE BORD

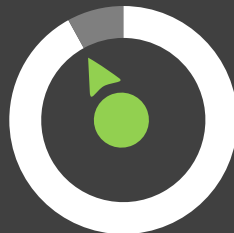
**0,87** GJ/m<sup>2</sup>  
Référence: 1,00 GJ/m<sup>2</sup>



**-13 %**  
Écart avec la référence

Pointe électrique  
**260** kW  
Max.: 275 kW

Performance - Boîtes DAV



**92 %**

Boîtes DAV non performantes

- X** 1302\_ATD
- X** 1226\_ATD
- X** 1212\_ATD
- X** 1303\_ATD

Performance - T° pièces



**71 %**

35 (max. de la dernière année)



**23**

Points de contrôle  
en mode manuel

10 (min. de la dernière année)

Bons de travail

**Inspecter et réparer les boîtes DAV non performantes**  
Priorité : Élevé  
Responsable : Charles Réparé

**Analyser les pièces non performantes en température**  
Priorité : Moyenne  
Responsable : Michelle Lalumière

**Rétablir les points de contrôle en commande manuelle**  
Priorité : Basse  
Responsable : Claude Chaleureux

Fermés **20**

Ouverts **5**

# PILIERS POUR UNE EXPLOITATION D'IMMEUBLE PROACTIVE

Intégration du commissioning en continu et des indicateurs de performance dans les pratiques d'E-E

Processus

Technologies

Modernisation des infrastructures pour un bâtiment intelligent

Personnel

Formation du personnel d'E-E pour un renforcement des compétences

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



# RÉFÉRENCES ET OUTILS DE RNCAN

Site web de RNCAN sur l'optimisation des bâtiments

❖ RCx : guide, séminaire et formation avancé, études de cas et outil de présélection

❖ R-D en gestion de l'énergie

<https://www.rncan.gc.ca/energie/efficacite/donnees-recherche-et-connaissance-sur-lefficacite-energetique/innovation-des-batiments/optimisation-des-batiments/3696>



Outil d'analyse comparative

Outil d'analyse comparative de rendement énergétique des bâtiments canadiens

<https://www.rncan.gc.ca/energie/efficacite/batiments/analyse-comparative/3694>



Outil d'analyse de faisabilité et de suivi de performance

Outil logiciel pour l'évaluation de projets d'efficacité énergétique, d'énergies renouvelables et de cogénération ainsi que pour l'analyse de la performance énergétique en continu

<https://www.rncan.gc.ca/energie/logiciels-outils/7466>



Outil de prévisions météo

Outil convivial pour faciliter l'intégration de prévisions météorologiques d'Environnement Canada dans l'opération des bâtiments

<https://www.rncan.gc.ca/energie/logiciels-outils/19911>



Outil de suivi de la performance PV

Analyse automatique des données de systèmes PV afin de détecter les défauts et évaluer les performances du système

<https://www.rncan.gc.ca/energie/logiciels-outils/19229>

# MERCI!

---

## Questions?

**Dominic Turgeon**

Ingénieur de projet

[dominic.turgeon@canada.ca](mailto:dominic.turgeon@canada.ca)

**Étienne Saloux**

Chercheur scientifique

[etienne.saloux@canada.ca](mailto:etienne.saloux@canada.ca)

© Sa Majesté la Reine en chef du Canada, représentée par le Ministre des Ressources naturelles Canada, 2020.



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada