



# Méthodologie de dimensionnement des systèmes avec stockage thermique pour les bâtiments

Réseau Énergie et Bâtiments  
Symposium, 3 décembre 2024

Alain Nguyen, Ph.D  
CanmetÉnergie-Varenes

# CanmetÉnergie-Varenes: Nos domaines d'activités

## THÈMES DE RECHERCHE



- Systèmes de chauffage et de refroidissement renouvelables
- Bâtiments intelligents

## PROJETS



- Systèmes de chauffage et de refroidissement avec source thermique
- Pompes à chaleur à air et géothermiques de nouvelle génération
- 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 des performances

## SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES POUR LES INFRASTRUCTURES ÉLOIGNÉES DU NORD

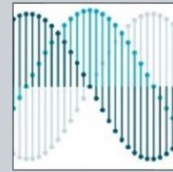
- Soutien au MDN en matière de politique de défense
- Soutien technique et d'ingénierie pour le programme de gestion de l'énergie
- Évaluation énergétique des plateformes navales de la Marine royale canadienne
- Expérience conjointe dans l'Arctique pour des systèmes d'énergie de remplacement et de refuges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



# Aperçu de la présentation



1. Contexte et défis



2. Principe de décomposition des charges



3. Exemple d'application



4. Conclusion et travaux futurs

# 1. Contexte et défis

# 1. Contexte et défis : décarbonation du parc immobilier

- En 2021, le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de **GES de 40 à 45 %** par rapport aux niveaux de 2005 d'ici 2030 et à atteindre des émissions nettes nulles d'ici 2050.
- **L'électrification du chauffage couplée à des sources d'énergie propres** est une stratégie importante.
- Parmi les principaux défis à l'électrification:
  - Les impacts d'une demande de pointe élevée sur le réseau (capacité et coûts d'exploitation).
  - L'inadéquation temporelle entre l'offre et la demande.



# 1. Contexte et défis : stockage d'énergie thermique

- Les systèmes de **stockage d'énergie thermique (SET)** peuvent être une solution à ces défis.
- Ils augmentent la **flexibilité énergétique** des bâtiments.
- Ils permettent une **gestion efficace de la charge de pointe**.

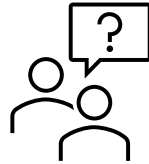
Échelle	Stockage Thermique
<b>Équipements</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stockage par chaleur sensible local</li> <li>• Matériaux à changement de phase</li> </ul>
<b>Bâtiment</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boucle d'eau mitigée</li> <li>• Structure du bâtiment</li> </ul>
<b>Groupes de bâtiments</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réservoirs souterrains</li> <li>• Stockage thermique dans le sol ou par aquifère</li> </ul>

# 1. Contexte et défis

## Démarches

L'évaluation des systèmes de stockage d'énergie nécessite de déterminer:

- I. les combinaisons idéales de caractéristiques du système et du bâtiment (**c'est-à-dire la phase de conception**) et
- II. les stratégies de contrôle et de gestion de l'énergie (**c'est-à-dire la phase opérationnelle**).



## Défis

Absence de procédure systématique pour le dimensionnement et l'opération des systèmes de stockage

- I. Comment pouvons-nous déterminer le **dimensionnement optimal** des systèmes primaires (CVC) et de stockage d'énergie ?
- II. Comment devrions-nous **opérer** ces systèmes ?

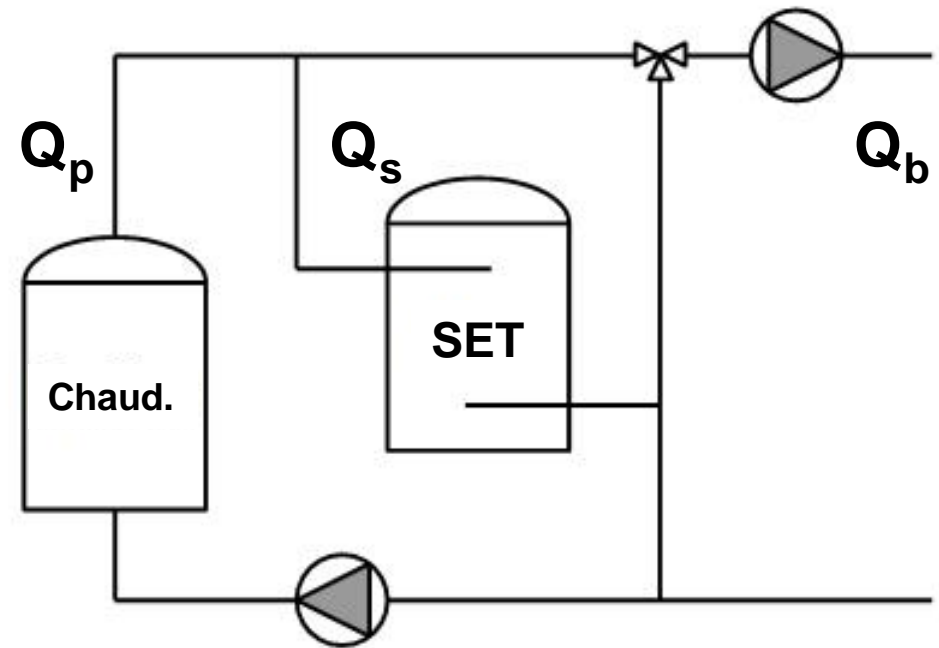
## 2. Principe de décomposition des charges



## 2. Principe de décomposition des charges

Considérons un schéma mécanique simple d'une installation de chauffage central comprenant une **unité de production principale** (une chaudière dans ce cas) et une unité de **stockage d'énergie thermique (SET)**

- 1) **Opération hors-pointe:** La chaudière ( $Q_p$ ) fournit simultanément de la chaleur au bâtiment ( $Q_b$ ) et charge le SET ( $Q_s$ ).
- 2) **Opération en pointe:** Le SET ( $Q_s$ ) et la chaudière ( $Q_p$ ) fournissent de la chaleur au bâtiment ( $Q_b$ ).



## 2. Principe de décomposition des charges

Est-il possible de caractériser *mathématiquement* la contribution du stockage d'énergie thermique uniquement en fonction **du profil de charge du bâtiment, indépendamment des équipements** ?

Ce problème peut être traduit par une équation très simple.

$$Q_b(t) = Q_p(t) + Q_s(t)$$

On peut traiter le profil  $Q_b$  comme un signal composé de **deux sous-signaux** :

- un *signal de charge du système primaire*  $Q_p$
- un *signal de charge du système de stockage*  $Q_s$

## 2. Principe de décomposition des charges

Naturellement, il existe une infinité de solutions de  $Q_p$  et  $Q_s$  qui satisfont  $Q_b$ .

Il suffit d'ajouter des contraintes pour réduire l'ordre du problème mathématique.

$$E_b(t) = E_p(t) + E_s(t)$$

$$E_b(t) = \sum Q_b(t) \Delta t$$

$$E_p(t) = \sum Q_p(t) \Delta t$$

$$E_s(t) = \sum Q_s(t) \Delta t$$

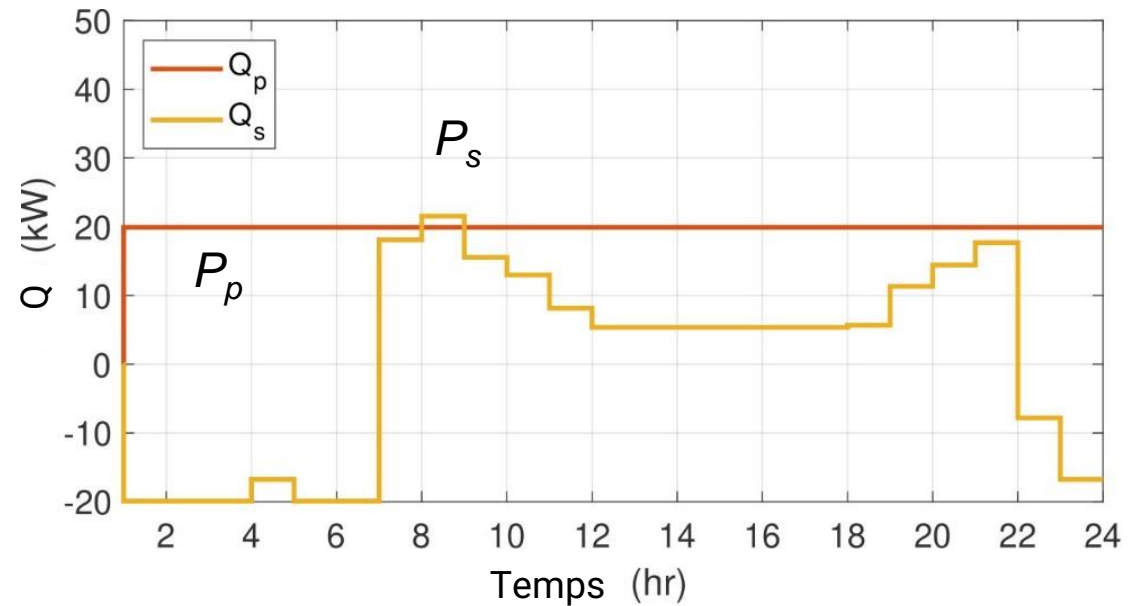
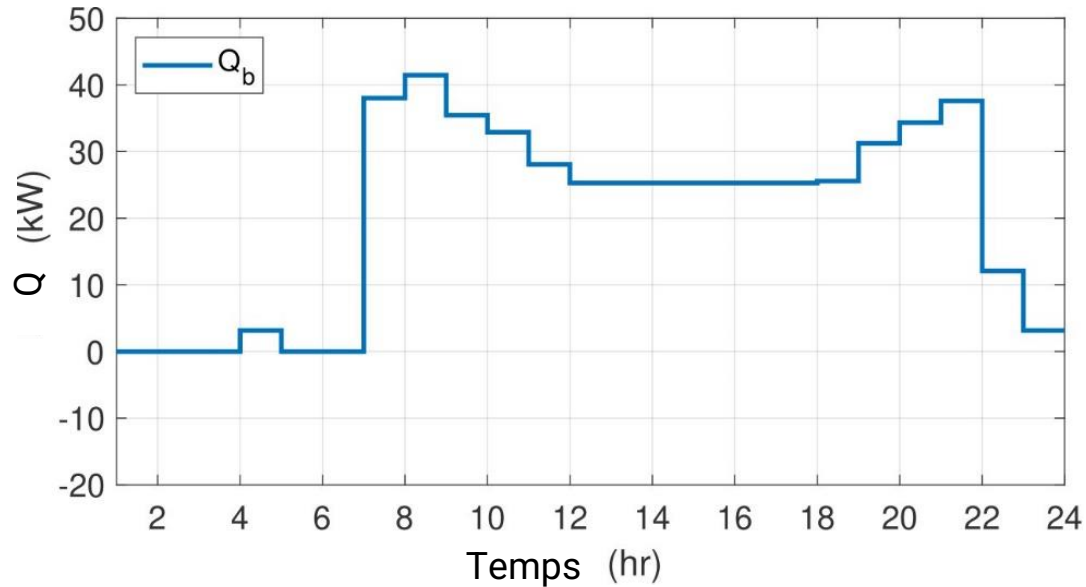
Il est important de souligner ici que seul le système primaire produit de l'énergie.

$$E_b(L) = E_p(L)$$

$$E_s(L) = 0$$

## 2. Principe de décomposition des charges

$$Q_b(t) = Q_p(t) + Q_s(t)$$



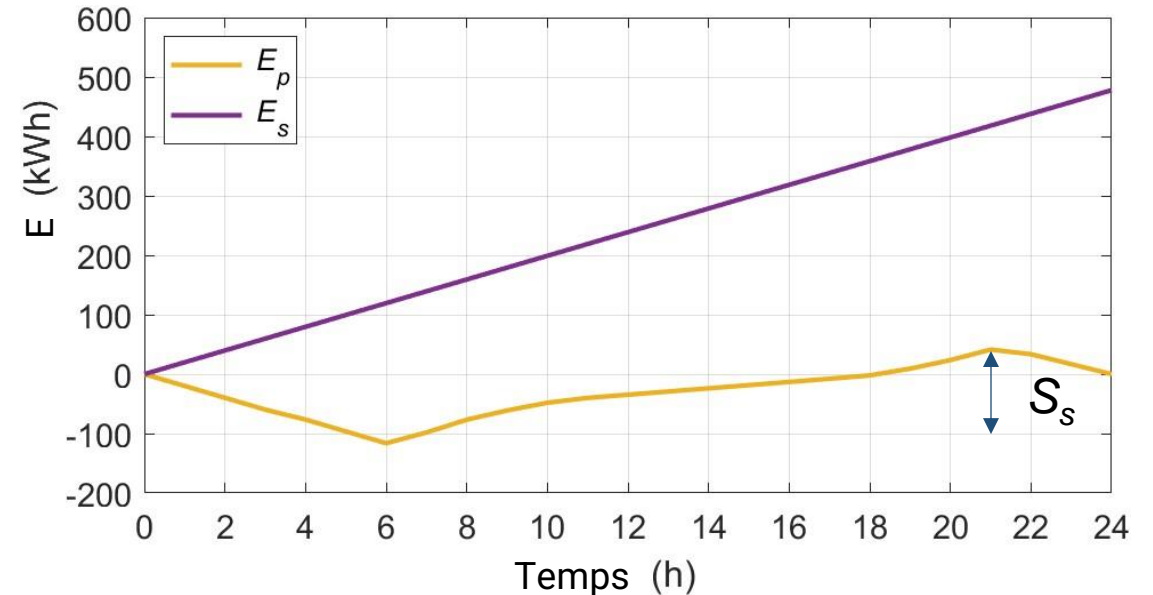
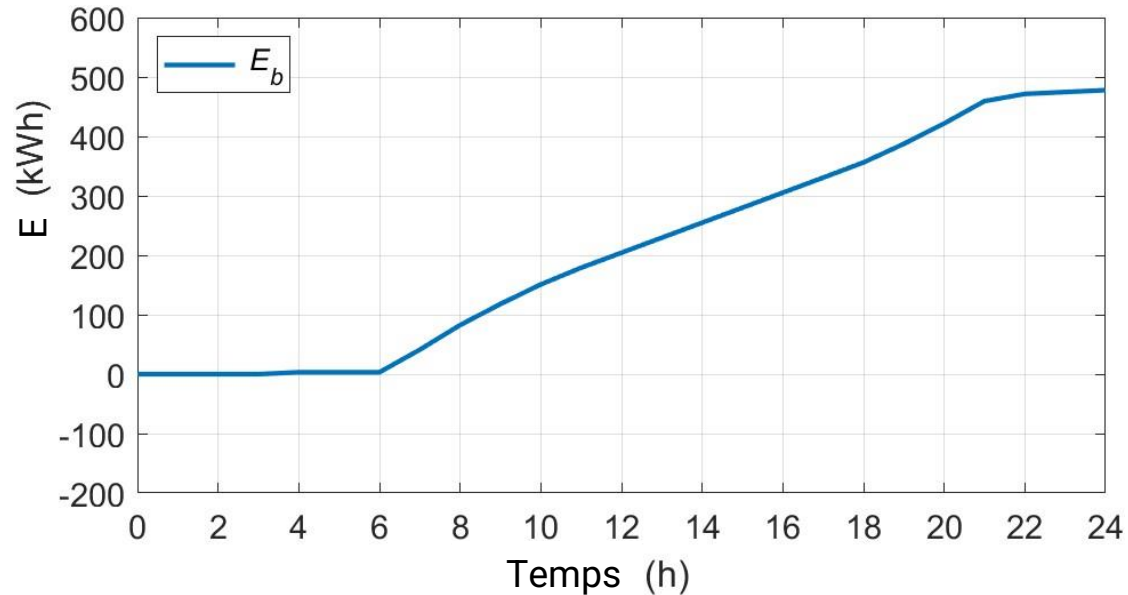
$P_p$ : Puissance du système primaire (kW)

$P_s$ : Puissance du système de stockage (kW)

← Charge → ← Déchargement → ← Charge

## 2. Principe de décomposition des charges

$$E_b(t) = E_p(t) + E_s(t)$$



$S_s$ : Capacité du système de stockage (kWh)

← Charge → ←

Déchargement

→ ← Charge

## 2. Principe de décomposition des charges

La question est alors :

*Peut-on décomposer  $Q_b$  en des combinaisons de  $Q_p$  et  $Q_s$  afin de minimiser la taille des équipements et l'impact sur la charge de pointe?*

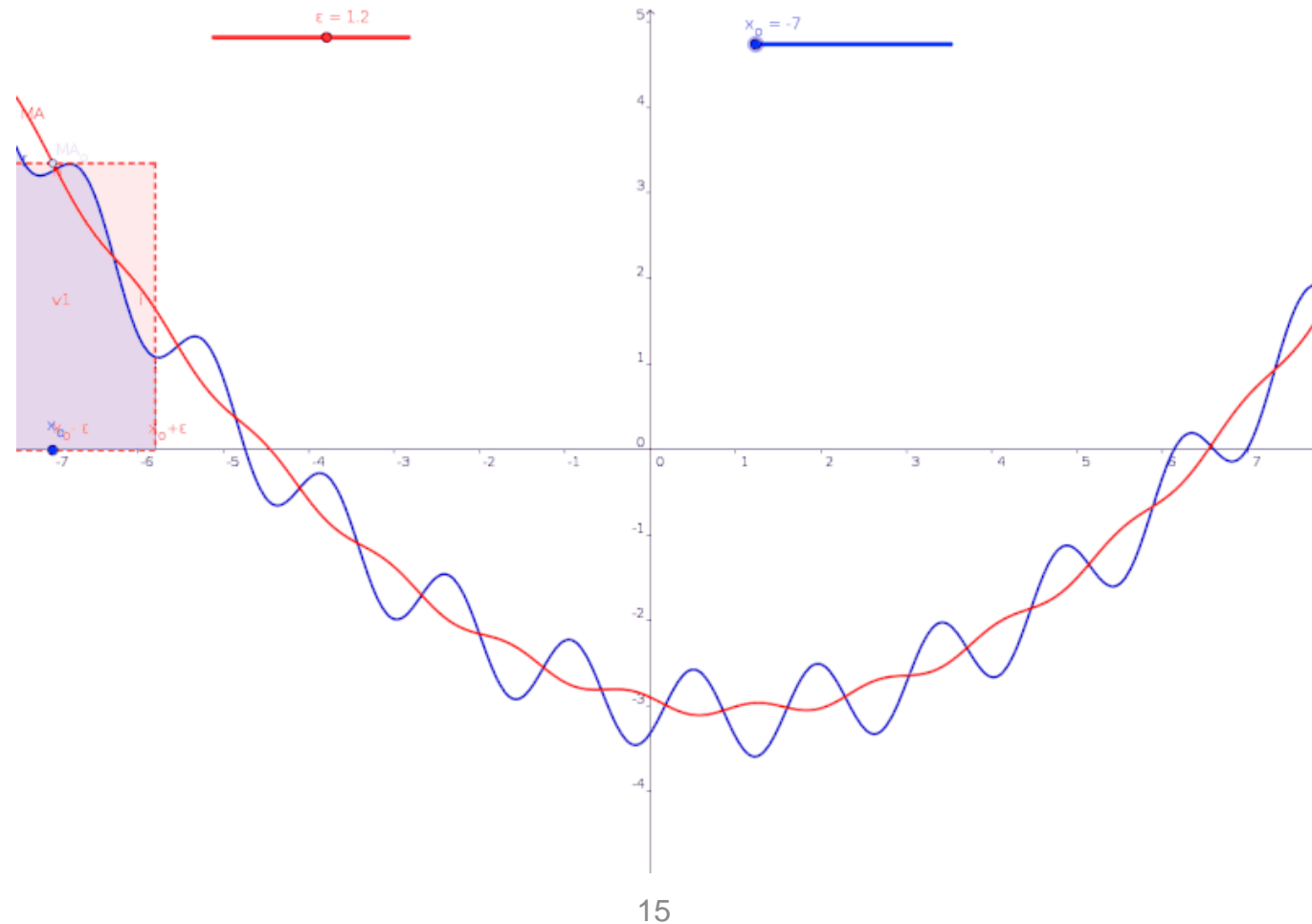
Oui, en utilisant un filtre passe-bas, par exemple **une moyenne mobile**.

$$Q_p(t) = (w * Q_b)(t)$$

$$Q_s(t) = Q_b(t) - Q_p(t)$$

## 2. Principe de décomposition des charges

On peut balayer la taille de la fenêtre du filtre pour générer un ensemble de solutions.

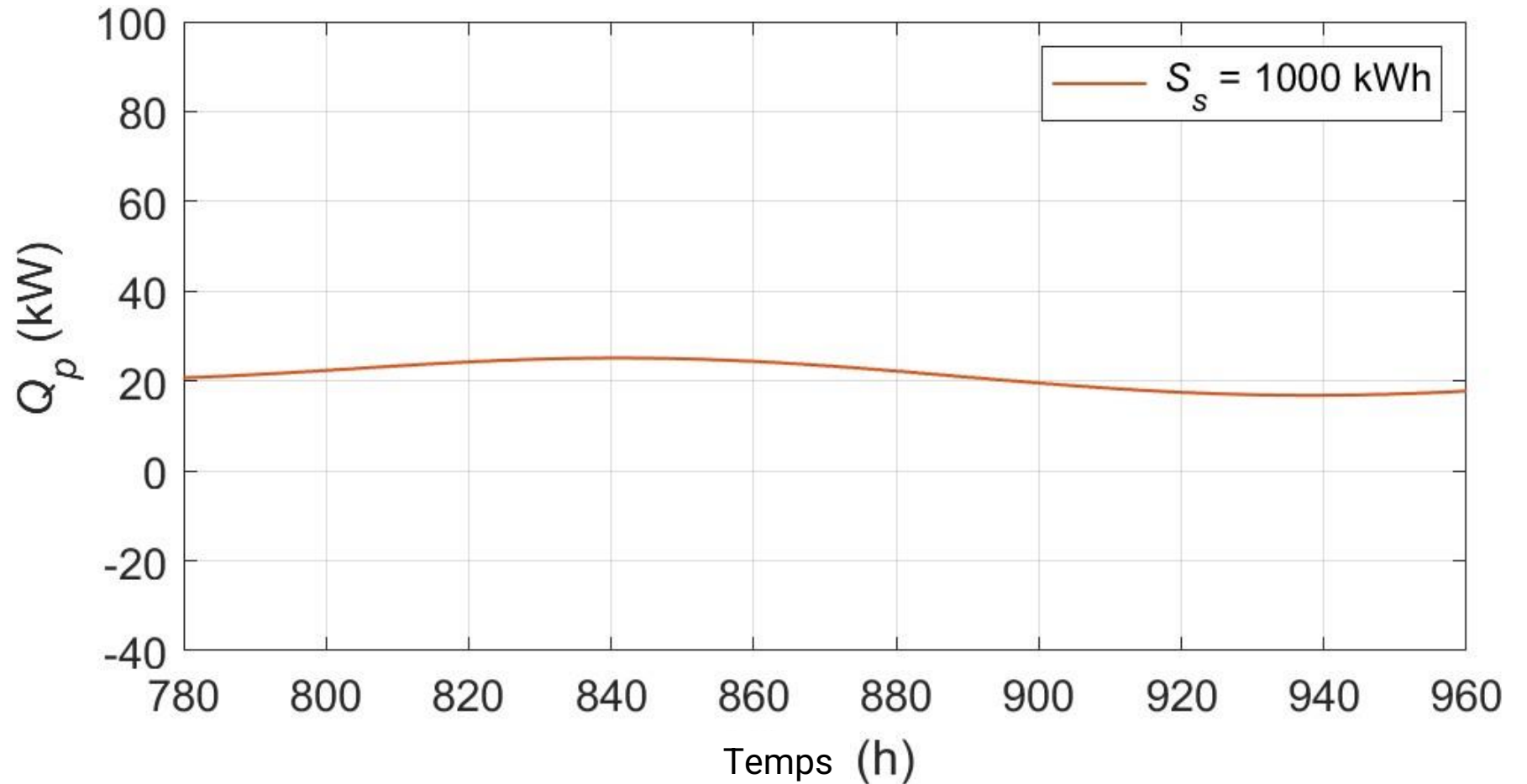


# 3. Exemple d'application



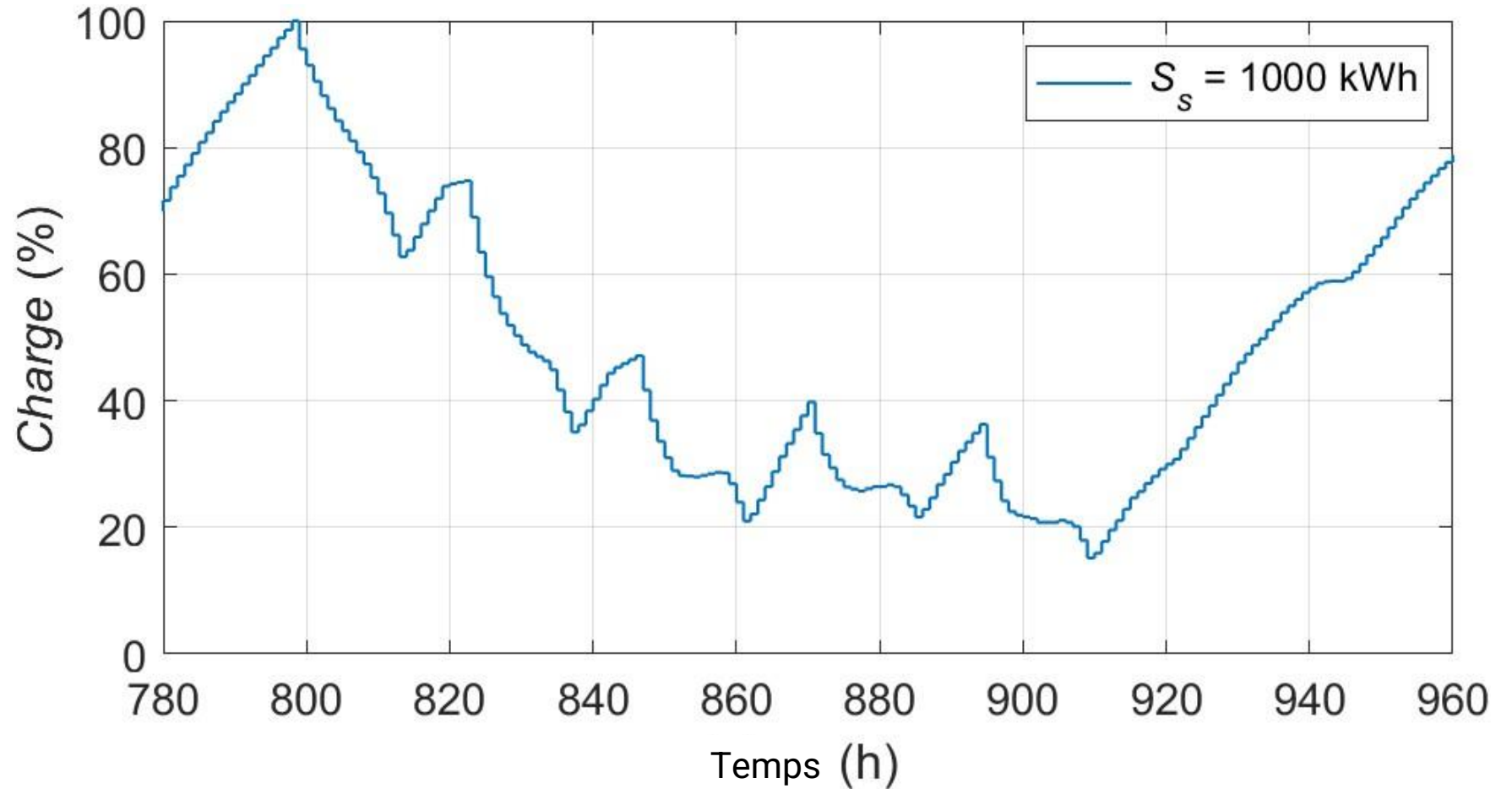
### 3. Exemple d'application : impact sur le système primaire

Impact de la taille du stockage ( $S_s$ ) sur le profil de demande ( $Q_p$ ) perçu par le système primaire.



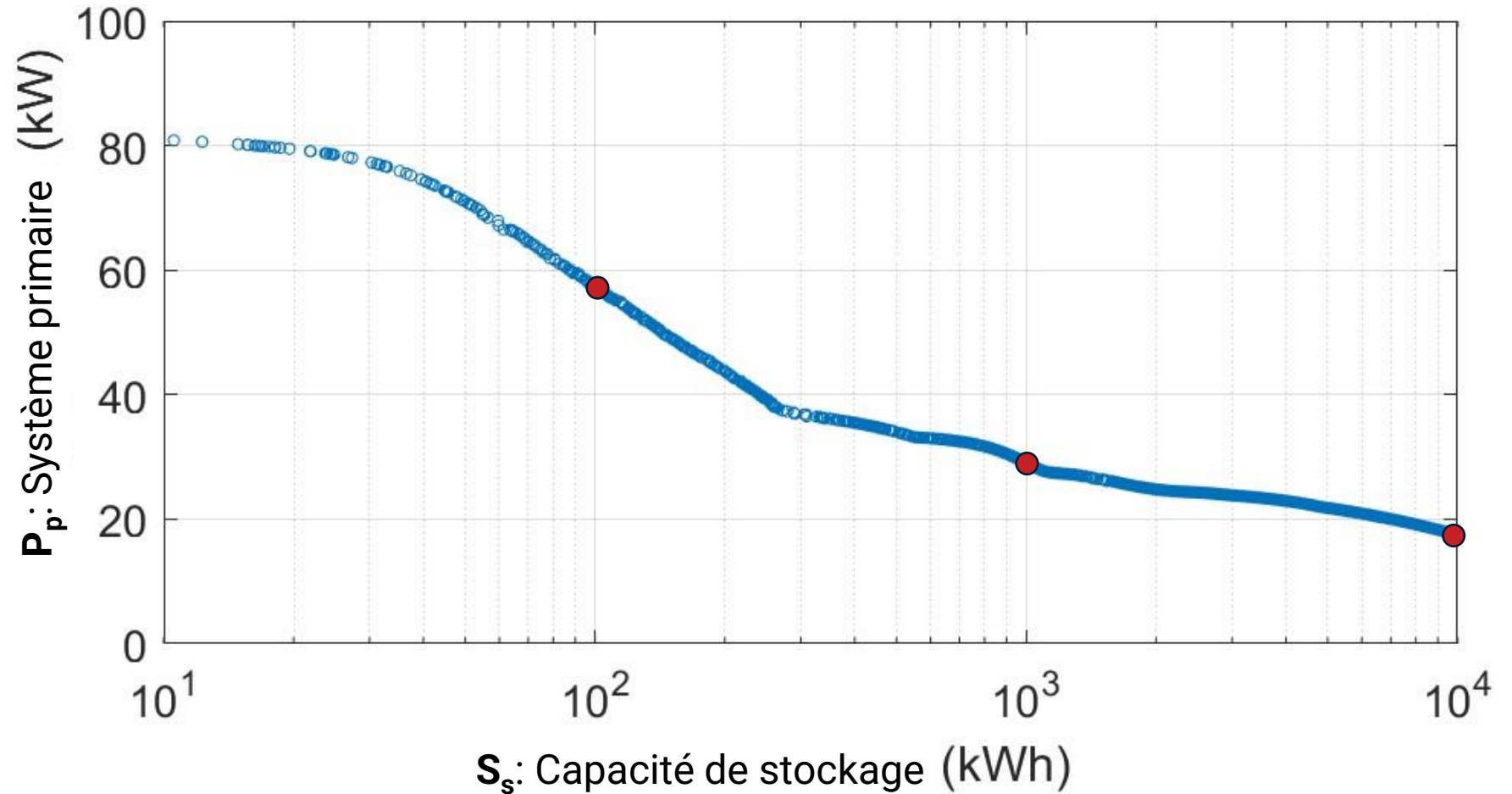
### 3. Exemple d'application : impact sur le profil de charge du SET

Impact de la taille du stockage ( $S_s$ ) sur le profil de charge/décharge.



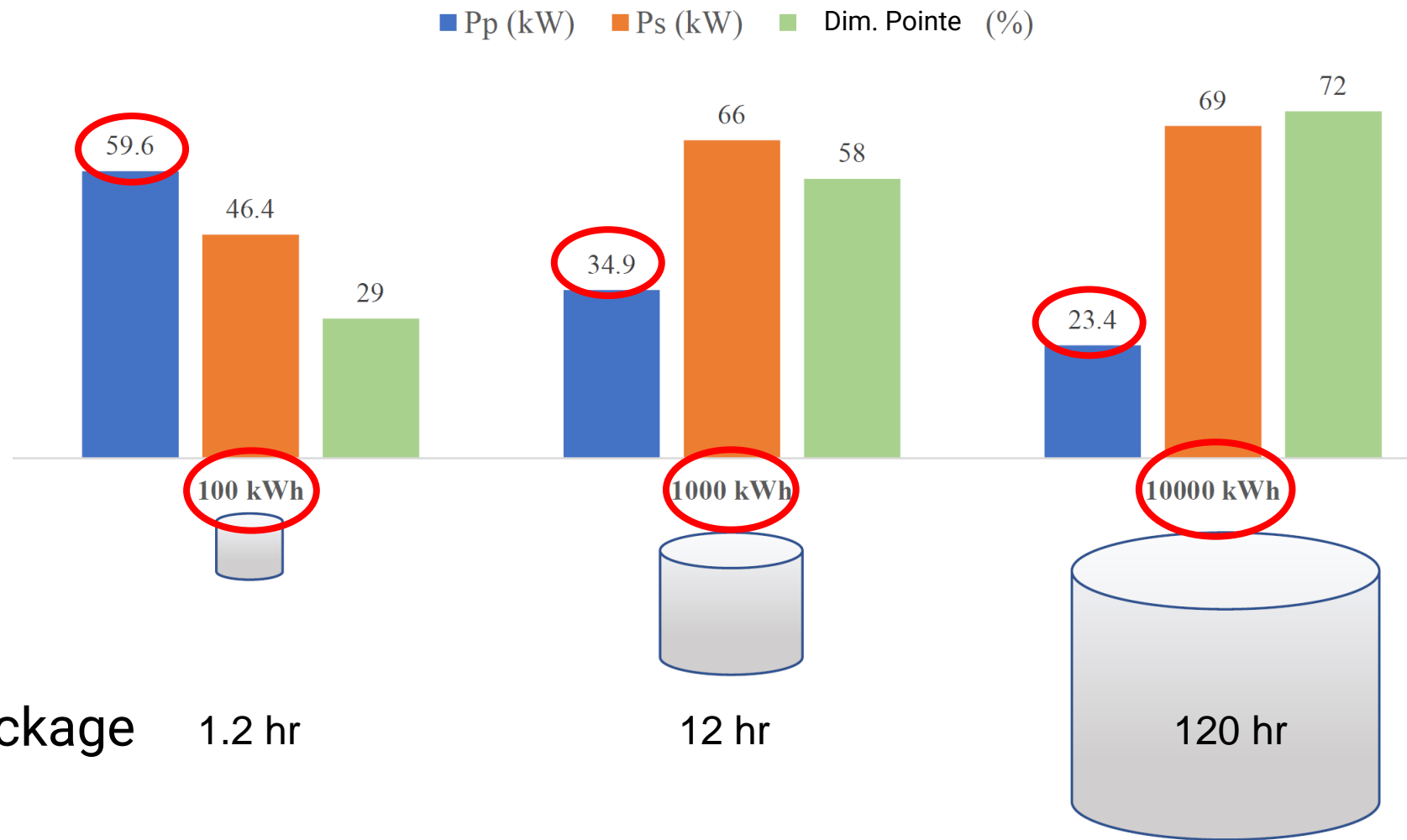
### 3. Exemple d'application : Ensemble de Pareto

**Ensemble de Pareto**  
Solutions optimales  
qui lient  $P_p$  et  $S_s$ .



### 3. Exemple d'application : impact de la taille du SET sur le dimensionnement des équipements primaires

Pointe de demande en chauffage: 83.6 kW



Durée de stockage 1.2 hr

12 hr

120 hr

## 4. Conclusions

- Méthodologie simple et systématique pour concevoir des systèmes **CVC incluant des systèmes de stockage**.
- Le stockage permet de **réduire significativement** la capacité requise des équipements primaires.
- **Quantification** de la capacité requise des équipements primaires (et des pointes électriques associées), en fonction de la taille des équipements de stockage.

## 4. Travaux futurs

- Exploration de **stratégies de contrôle** basées sur des règles avec des contrôles prédictifs.
- **Validation** de la méthode par **simulation numérique et données réelles.**
- Incorporation **d'autres critères de conception** (coûts, faisabilité, critères techniques, etc.)
- Développement d'un **outil convivial avec interface**, facile à utiliser pour les concepteurs.

# RÉFÉRENCE

- Nguyen A, Candanedo J. Load decomposition: A conceptual framework for design and control of thermal energy storage systems in buildings. *Journal of Energy Storage*. 2024 Jan 30;77:110030.



Alain Nguyen: [tuananhalain.nguyen@nrca-nrcan.gc.ca](mailto:tuananhalain.nguyen@nrca-nrcan.gc.ca)  
CanmetÉNERGIE-Varenes Ressources naturelles Canada

José Candanedo: [jose.candanedo@usherbrooke.ca](mailto:jose.candanedo@usherbrooke.ca)  
Université de Sherbrooke

# QUESTIONS?





Canada 

© Sa Majesté le roi en chef du Canada, représenté par le ministre des Ressources naturelles Canada