FICHE D'INFORMATION

RÉDUCTION DES COÛTS DE CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE **GRÂCE AU STOCKAGE THERMIQUE**

Cette fiche d'information traite d'une stratégie de fonctionnement efficace pour un système de stockage thermique de l'électricité (STE) qui permet de réduire la demande d'électricité de pointe dans les bâtiments dotés de systèmes de chauffage fonctionnant à l'électricité. L'électricité peut être progressivement prélevée sur le réseau à des moments où la demande d'électricité du bâtiment est faible (p. ex. la nuit) et stockée dans un STE sous forme d'énergie thermique. Pendant les heures de pointe, lorsque la demande d'électricité du bâtiment est élevée, le STE peut fournir cette énergie au système de chauffage, évitant ainsi l'utilisation de systèmes de chauffage électriques. Ce « transfert de charge » rendu possible par le STE permet de réduire les pointes de charge électrique et de réaliser des économies considérables sur les factures d'électricité, en réduisant les frais liés à la demande et en évitant les périodes où l'électricité coûte cher dans le cadre d'une structure tarifaire fondée sur l'heure de consommation.

Points à retenir

- Les systèmes de stockage thermique de l'électricité (STE) constituent une technologie efficace pour le stockage à court terme de l'électricité sous forme d'énergie thermique destinée aux applications de chauffage.
- Les systèmes de STE peuvent être utilisés pour déplacer la demande électrique (kW) à l'extérieur des heures de pointe et réaliser des économies considérables sur les factures d'électricité, en réduisant les frais liés à la demande et en profitant des tarifs fondés sur l'heure de consommation.
- Pour réaliser ces économies, il faut établir une stratégie de fonctionnement appropriée pour programmer la charge et la décharge du système.
- L'utilisation d'un modèle mathématique pour choisir une stratégie de fonctionnement appropriée en fonction du profil de charge de chauffage du bâtiment permet d'obtenir des avantages importants.

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada
Canada

Qu'est-ce qu'un système de STE?

Une unité de stockage thermique de l'électricité (STE) est un système utilisé pour stocker l'électricité sous forme d'énergie thermique. L'avantage d'un tel système est qu'il permet de stocker l'énergie produite à partir de l'électricité obtenue pendant les périodes hors pointe, lorsque l'électricité est relativement peu coûteuse. Cette énergie peut être utilisée pour le chauffage des locaux lorsque l'électricité est plus coûteuse.

Le système de STE présenté dans ce document consiste en une unité isolée qui contient des briques réfractaires. Des éléments résistifs intégrés aux briques permettent d'augmenter la température de celles-ci jusqu'à 800 °C. L'isolation de l'unité maintient les briques chaudes pendant de longues périodes jusqu'à ce que leur énergie thermique soit requise, généralement quelques heures plus tard. Dans les systèmes hydroniques, un échangeur de chaleur transfère l'énergie thermique stockée dans les briques à un mélange eau-glycol, qui est ensuite utilisé pour distribuer la chaleur aux zones de chauffage.

Les systèmes de STE sont habituellement conçus pour des cycles de charge et de décharge de courte durée (généralement sur une période d'une journée); un schéma d'un système de STE utilisant des briques pour stocker la chaleur est présenté à la figure 1.

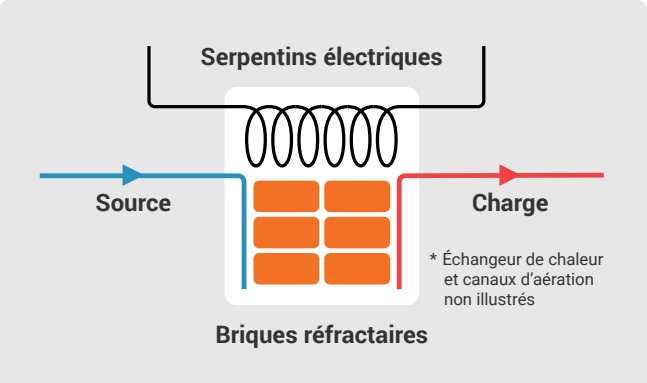


Figure 1 : Schéma d'un STE muni de briques pour stocker l'énergie thermique

Dans les secteurs des bâtiments commerciaux et institutionnels, les unités de STE sont destinées à réduire la demande d'électricité de pointe du bâtiment lorsque l'électricité est coûteuse et que la demande est de courte durée. Ce document traite de ce type d'application.

Chauffage électrique et charges de pointe

Bien que l'efficacité énergétique soit importante, le fonctionnement d'un bâtiment doit également tenir compte d'autres facteurs. Pour déterminer les coûts d'énergie, il faut tenir compte de la *quantité* d'énergie consommée, mais aussi du *moment* de la consommation.

Dans les provinces et territoires canadiens où l'électricité est relativement peu coûteuse, le chauffage des bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels est parfois effectué par des systèmes fonctionnant à l'électricité (chaudières, plinthes et thermopompes). Par conséquent, pendant la saison de chauffage, les fournisseurs d'électricité doivent répondre à une demande d'électricité considérablement élevée pendant les périodes de *pointe*, lorsque la charge cumulée de leurs clients dépasse les limites de leurs génératrices.

La fourniture d'une grande quantité d'électricité tend à être coûteuse et s'accompagne souvent d'une empreinte environnementale importante, car le fournisseur d'électricité peut nécessiter la contribution de centrales électriques qui utilisent des combustibles fossiles[1]. C'est pourquoi les fournisseurs d'électricité ont mis en place des tarifs spéciaux (comme les frais liés à la demande et les tarifs fondés sur l'heure de consommation) afin d'encourager leurs clients à limiter leur demande d'électricité pendant les périodes de pointe. Dans le cadre de ces structures tarifaires, un nombre de pointes trop élevé dans la demande d'électricité d'un bâtiment peut être coûteux. Pour réduire ces frais, les systèmes de stockage de l'énergie thermique (comme les systèmes de STE) constituent une solution efficace pour déplacer en partie l'appel de puissance et la consommation d'électricité des périodes de pointe vers les périodes hors-pointe.

1 http://www.hydroquebec.com/comprendre/autres-sources/fossile.html

Recommandations générales

Une séquence de contrôle de base d'un système de STE comprend deux étapes :

1. **Charge (période d'échauffement) :** Les briques du STE sont chauffées à l'aide des éléments résistifs. Cela est effectué lorsque le bâtiment prélève moins d'électricité du réseau, généralement la nuit, ce qui permet de profiter de coûts d'électricité moins élevés. Il convient de noter que cette « charge » ne doit avoir lieu que lorsqu'une charge de chauffage importante est attendue prochainement, par exemple en prévision d'une journée froide.

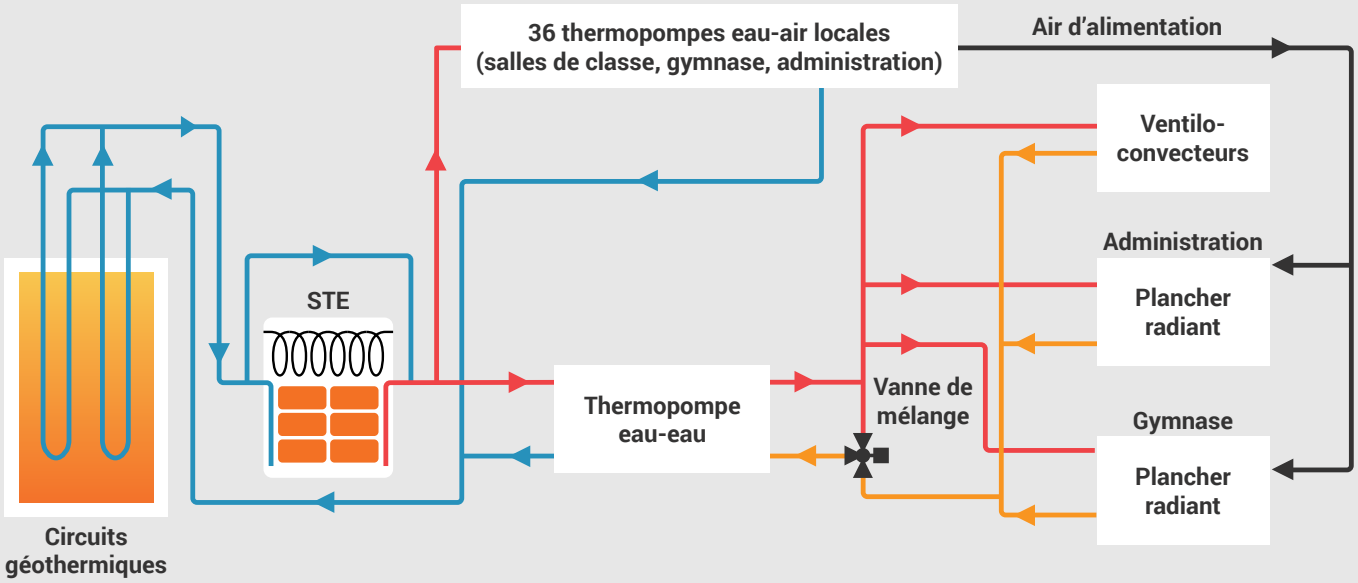
2. **Décharge (dégagement de la chaleur) :** Lorsque la demande d'électricité du bâtiment est élevée, le STE est « déchargé ». Les briques se refroidissent en libérant la chaleur dans le système de distribution. Étant donné que le STE doit être prêt à libérer l'énergie thermique pendant la demande d'électricité de pointe du bâtiment, il faut tenir compte de l'ensemble des charges électriques du bâtiment (éclairage, charges des appareils branchés, etc.)

Étude de cas : Stratégie de contrôle

Les travaux présentés ici ont été réalisés dans un bâtiment existant desservi par une installation de chauffage relativement complexe, comprenant des forages géothermiques, des thermopompes, un système de chauffage par rayonnement à partir du plancher et un système de STE. Ce type de stockage thermique peut être utilisé dans différentes applications, et le présent document se concentre sur une application en particulier : utiliser le stockage thermique pour améliorer l'efficacité des thermopompes afin de réduire la demande d'électricité de pointe pour le chauffage des locaux. Les concepts présentés dans ce document restent néanmoins valables pour des configurations d'installations de chauffage moins complexes, où le stockage thermique peut être utilisé pour adoucir le profil de demande d'électricité du bâtiment et éliminer les pointes importantes.

Une étude de cas a été élaborée pour un système de chauffage utilisant un système de STE dans le bâtiment entièrement électrique d'une école près de Montréal, de novembre 2020 à février 2021. Le système de chauffage principal de cette école, illustré à la figure 2, comprend des thermopompes eau-air décentralisées pour chaque espace individuel (salles de classe, bureaux, etc.), ainsi qu'une thermopompe eau-eau plus importante pour le système de chauffage par rayonnement à partir du plancher de la section administrative et du gymnase. Les forages géothermiques fournissent de la chaleur à un circuit d'eau, qui sert à son tour de source de chaleur aux thermopompes.

Figure 2 : Schéma du système de chauffage de l'étude de cas



Plus la température de l'eau est élevée dans le circuit d'eau, moins les thermopompes ont besoin d'électricité pour maintenir une température ambiante confortable. Autrement dit, le STE « aide » les thermopompes en transmettant l'énergie thermique stockée au circuit d'eau au moment approprié (c.-à-d. lors de la demande d'électricité de pointe).

Bien que le système de STE ait été installé dans l'école au moment de sa construction, aucun programme de charge/décharge efficace n'avait encore été mis en place. Un modèle représentant les transferts de chaleur entre le STE et le circuit d'eau – ainsi que le profil de charge de chauffage du bâtiment – a été utilisé pour comparer diverses stratégies opérationnelles destinées à réduire la demande d'électricité pendant les périodes de pointe. La stratégie suivante (programme de charge et sélection des points de consigne) a été mise en œuvre :

1. **Charge :** À minuit, le STE commence à se charger jusqu'à une température de consigne choisie en fonction de la température extérieure, comme le montre la figure 3.

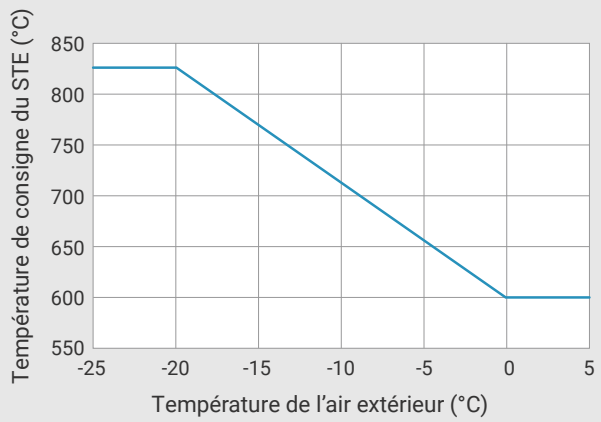


Figure 3 : Température de consigne du STE en fonction de la température de l'air extérieur

2. **Décharge :** À 7 h, une pompe de circulation (qui fait circuler le fluide dans l'échangeur de chaleur) est mise en marche pour commencer à évacuer l'énergie thermique du STE. La pompe continue à fonctionner soit jusqu'à 9 h, soit jusqu'à ce que la température moyenne des briques descende à 100 °C.

Résultats

Cette approche a permis d'augmenter la température de l'eau des circuits souterrains pendant les périodes de pointe, améliorant ainsi le rendement des thermopompes pendant la saison de chauffage. La figure 4 montre l'effet de l'utilisation du STE sur la température de l'eau d'alimentation du circuit hydronique. Ces graphiques, qui comparent deux périodes similaires de trois jours au début du mois de décembre avant et après la mise en œuvre de la nouvelle stratégie de contrôle, illustrent les résultats obtenus pendant la saison de chauffage.

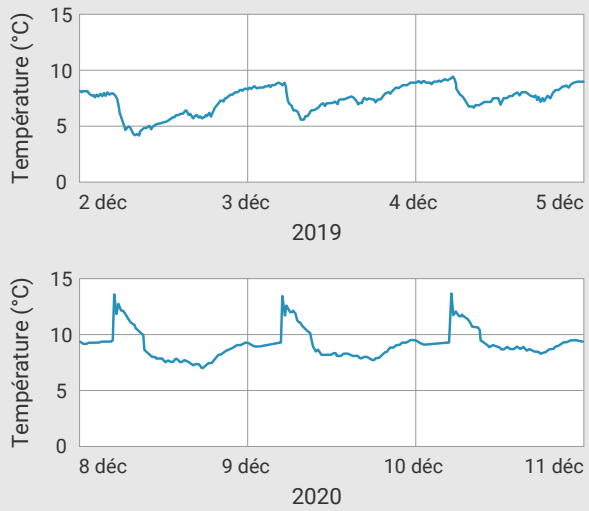


Figure 4 : Température de l'eau d'alimentation des thermopompes avant (figure du haut) et après (figure du bas) l'optimisation du STE – comparaison de deux périodes de trois jours similaires en 2019 et 2020

Les températures plus chaudes améliorent le fonctionnement des thermopompes en augmentant leur coefficient de performance[2] (d'environ 3,9 à 4,4). Par conséquent, moins d'électricité est nécessaire. La figure 5 montre la charge cumulée des thermopompes utilisées dans les salles de classe. La demande d'électricité associée à ces thermopompes est passée d'environ 44 kW à 26 kW, soit une réduction de 40 %.

L'objectif du projet était de réduire la demande d'électricité du bâtiment, mais la consommation d'énergie a également été analysée afin de garantir que les nouvelles mesures n'entraînent pas une forte augmentation de celle-ci. Dans ce cas, au cours de la période de trois jours après la mise en œuvre des mesures, la consommation d'énergie totale du bâtiment a en fait légèrement diminué, passant d'une moyenne de 2017 kWh/jour avant les mesures à 2013 kWh/jour après les mesures.

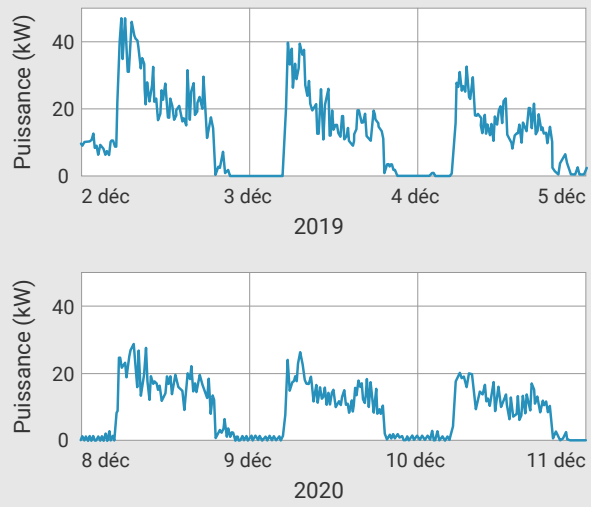


Figure 5 : Demande d'électricité des thermopompes avant (figure du haut) et après (figure du bas) l'optimisation du STE – comparaison de deux périodes de trois jours similaires en 2019 et 2020

2 Coefficient de performance (Cp) : rapport entre la puissance de chauffage fournie et la puissance électrique consommée par la thermopompe. Il s'agit d'une indication de l'efficacité énergétique d'un équipement.

No. cat. : M154-169/2024F-PDF | ISBN : 978-0-660-71006-8
© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2024.