



Comme mentionné dans les pages précédentes, les installations techniques sont là pour assurer le confort des occupants. Or, pour ce faire, elles consomment une certaine quantité d'énergie. Cet article aborde la problématique de son stockage et les différentes solutions existantes.

Le stockage d'énergie dans le bâtiment

1 Le stockage pour favoriser certaines énergies renouvelables

Les combustibles sont une forme compacte et performante de stockage de l'énergie. Selon les cas, ils peuvent être transformés en chaleur, dans un poêle ou une chaudière, ou en électricité, dans une unité de cogénération ou une pile à combustible. Lors de leur combustion, la plupart des combustibles rejettent du CO₂, le plus important des gaz à effet de serre.

Les énergies renouvelables constituent une alternative intéressante aux combustibles fossiles, dans la mesure où la consommation de ces derniers doit être réduite pour des raisons environnementales. Il est à souligner que le bois, à l'inverse des combustibles fossiles, est une source d'énergie renouvelable, car son cycle de régénération est court.

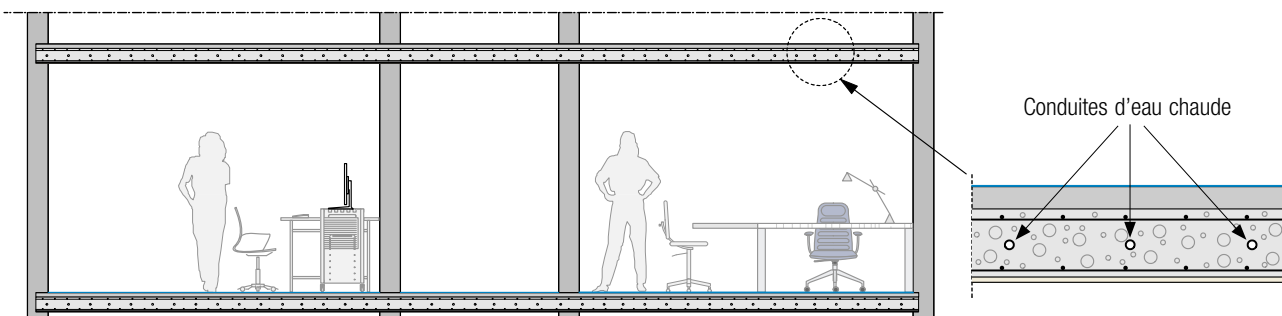
Certaines sources d'énergie, telles que le soleil et le vent, sont néanmoins intermittentes. Pour ce qui est de l'énergie solaire, cette variabilité s'exprime à court terme (une minute à quelques heures) en raison de l'alternance des nuages et des éclaircies, des jours et des nuits, ... mais également à long terme (quelques mois) si l'on considère les périodes d'ensoleillement durant chaque saison. L'utilisation des énergies renouvelables nécessite de faire correspondre leurs périodes de disponibilité avec les besoins des utilisateurs. La variabilité à court terme peut être résolue grâce à la flexibilité énergétique des bâtiments. Pour la variabilité à long terme, un stockage saisonnier doit être mis en œuvre.

2 Flexibilité énergétique et stockage saisonnier

Deux exemples ont été imaginés pour illustrer ces deux concepts.

Commençons par le **premier exemple**. La quantité d'énergie délivrée au réseau de distribution par une installation photovoltaïque varie selon l'ensoleillement des capteurs. Lorsque ces installations se multiplient localement, elles peuvent générer des pics de production que le réseau est incapable d'absorber. Certaines installations sont alors momentanément déconnectées. Une partie de la consommation électrique des bâtiments peut cependant être décalée dans le temps pour mieux correspondre à ces pics et les atténuer. Lorsque cette action est commandée par un signal provenant d'un réseau intelligent, on parle de *Active Demand Response* (ADR). Ce signal peut être utilisé pour activer certains appareils électriques (machines à laver, ...) ou le stockage de l'énergie. **Ceci contribue à améliorer ce que l'on appelle la flexibilité énergétique du bâtiment.**

Passons à présent au **second exemple**. La puissance thermique délivrée par



1 | Système constitué d'un élément de construction activé permettant le stockage dans la masse thermique du bâtiment.



un chauffe-eau solaire est stockée sous forme d'eau chaude dans un réservoir. Ce dispositif permet de couvrir plus de 50 % des besoins annuels en eau chaude sanitaire. Le réservoir absorbe sans problèmes les variations d'ensoleillement au cours d'une ou plusieurs journées, mais il est incapable de compenser le déficit solaire en hiver. Un dispositif supplémentaire est dès lors requis pour produire de l'eau chaude, alors que l'ensoleillement excédentaire en été pourrait théoriquement couvrir les besoins annuels s'il était possible de conserver cette énergie durant plusieurs mois grâce à un **système de stockage saisonnier**.

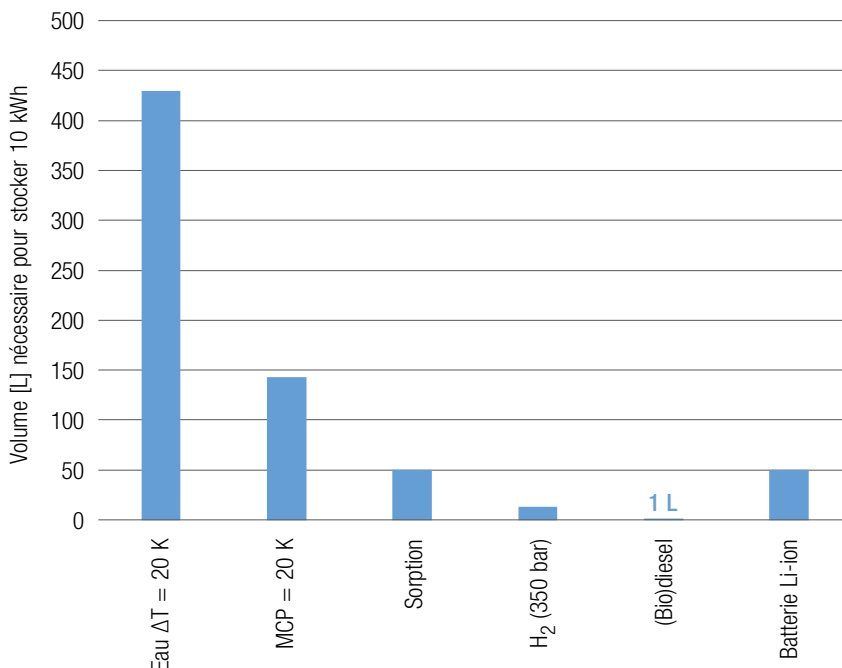
3 Solutions pour le stockage dans le bâtiment

3.1 Structure du bâtiment

Un bâtiment peut être chauffé temporairement à une température supérieure à la température de confort et ne plus être chauffé durant la période suivante. **L'énergie est alors stockée dans la masse du bâtiment**. La capacité de stockage dépend de l'élévation de température, du volume du bâtiment et du type de structure. Une structure en béton permet en effet de stocker davantage d'énergie qu'une structure en bois. Lorsque cette structure peut être 'activée' (*) par des conduites d'eau chaude (chauffage par le sol ou béton activé; voir figure 1, p. 7) plutôt que par l'élévation de la température de l'air intérieur, la capacité de stockage augmente, les pertes thermiques diminuent et le confort est moins affecté.

3.2 Réservoir d'eau chaude

L'eau peut être stockée dans un réservoir isolé thermiquement. La capacité de stockage dépend évidemment du volume et de la différence entre la température de stockage et la température minimale d'utilisation. L'eau permet de stocker environ 1,2 Wh par litre et par degré. Par contre, si une température de stockage élevée augmente la quantité d'énergie stockée, elle entraîne



2 | Comparaison du volume nécessaire pour stocker 10 kWh d'énergie selon différents procédés.

également des pertes thermiques. Un appoint d'énergie doit être assuré si la température du stockage descend sous la température de consigne.

3.3 Matériaux à changement de phase (MCP)

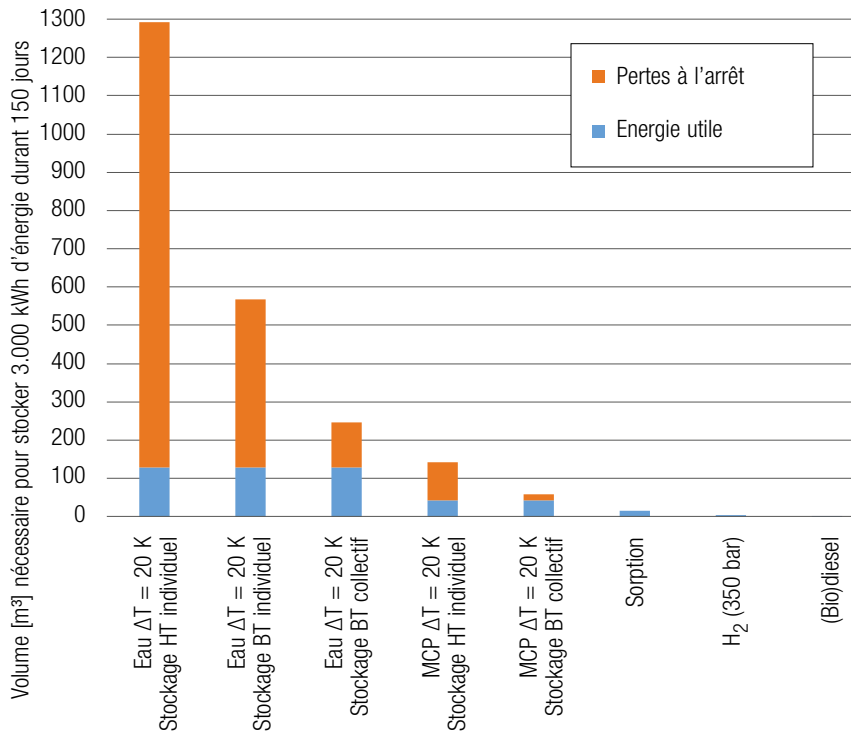
Le changement de phase d'un matériau libère de grandes quantités d'énergie (chaleur latente). Ainsi, la solidification de l'eau dégage 93 Wh/L, soit quatre fois plus que l'énergie libérée pour une variation de 20 °C. Toutefois, la solidification de l'eau se faisant à 0 °C, une pompe à chaleur est nécessaire pour produire de l'énergie à une température utile. Il existe des matériaux spécifiques dont le changement de phase s'opère à une température directement utilisable (entre 20 et 60 °C). Bien que les plus connus soient les composés organiques tels que les paraffines utilisées dans les bougies, qui dégagent environ 50 Wh/L, les composés inorganiques présentent de meilleures performances. Les MCP

sont actuellement peu utilisés dans les systèmes HVAC en raison d'une mauvaise transmission de la chaleur en phase solide, de leur coût et de la nécessité de les séparer physiquement des autres fluides de l'installation.

3.4 Stockage par 'sorption'

Laisser certains sels réagir, par adsorption ou absorption, au contact de la vapeur d'eau au sein d'un réacteur permet de libérer des quantités importantes de chaleur. Théoriquement, il est possible de dépasser 1.000 Wh/L de sel, mais les prototypes les plus avancés permettent actuellement de dégager jusqu'à 200 Wh/L de sel sec. Comme le stockage n'est pas de nature thermique, aucune déperdition calorifique n'est à signaler. L'énergie peut ainsi être conservée sur de très longues périodes, pour autant que le niveau d'humidité soit bien contrôlé. Le contenu énergétique est restitué par séchage du sel en période estivale.

(*) Activer : incorporer un agent qui favorise ou accélère une réaction (source : www.dicobatonline.fr, 2014).



3 | Volume nécessaire pour stocker 3.000 kWh d'énergie durant 150 jours en saison de chauffe.

3.5 Batterie électrique

L'utilisation de batteries pour stocker l'énergie électrique sous forme d'énergie électrochimique se fait depuis longtemps déjà pour toutes sortes d'appareils mobiles. Le stockage dans des batteries Li-ion est désormais de plus en plus fréquent dans les habitations également. La densité énergétique des batteries actuelles est d'environ 200 Wh/L, ce qui est comparable au stockage par sorption (voir § 3.4). La capacité de charge d'une batterie est sensible à la température environnante ainsi qu'à la qualité des cycles de chargement. Une utilisation non conforme peut fortement réduire sa durée de vie.

4 Comparaison des différents systèmes

Un dispositif de stockage est caractérisé par sa **densité énergétique**, c'est-à-dire la quantité maximale d'énergie pouvant être stockée par litre ou par mètre cube. La figure 2 à la page précédente illustre le volume nécessaire pour stocker 10 kWh selon différents systèmes. Cette densité

énergétique peut varier d'un facteur 10 à 100. Un dispositif de stockage est également caractérisé par ses pertes (déperditions calorifiques, ...) liées à la nature et à la qualité du dispositif, ainsi qu'à la durée du stockage. L'ampleur de ces pertes est représentée à la figure 3 pour un stockage de 3.000 kWh durant 150 jours.

L'énergie peut être stockée sur de courtes périodes à l'aide de dispositifs existants, tels que la structure du bâtiment ou un réservoir d'eau chaude. Tant que la durée de stockage reste limitée, les déperditions calorifiques sont minimales et ne justifient pas l'utilisation coûteuse de systèmes plus performants, tels que les MCP ou le stockage thermophysique ('sorption'). Les batteries électriques se prêtent également bien au stockage à court terme. Malgré leur coût important, elles présentent l'avantage de restituer directement l'énergie sous forme d'électricité.

Le stockage sur plusieurs mois met en jeu des quantités d'énergie beaucoup plus importantes (quelques kWh pour la flexibilité contre quelques MWh pour

le stockage saisonnier). Pour que le volume de stockage reste raisonnable, il convient de réduire les pertes et d'augmenter la densité énergétique des dispositifs de stockage. Les batteries électriques disponibles sur le marché sont peu adaptées, car elles supportent mal les longs cycles de charge et de décharge. De plus, le prix du kWh installé reste élevé à l'heure actuelle.

Dans le cas d'un stockage d'énergie classique dans l'eau, il faudrait prévoir un volume d'au moins 1.300 m³ pour un système de stockage individuel à haute température (HT). Celui-ci pourrait être réduit de moitié si la température utile de stockage descendait à 40 °C (basse température, BT). Le raccordement de dix habitations (système collectif) à un seul grand réservoir devrait, quant à lui, permettre de réduire les pertes de chaleur de telle sorte qu'un volume de 230 m³ par habitation pourrait suffire. L'utilisation d'un MCP pourrait réduire ce volume encore davantage, jusqu'à atteindre 85, voire 35 m³ par logement.

Moyennant un système d'adsorption avec une densité énergétique encore plus élevée et l'absence de pertes de chaleur, il devrait être possible de réduire encore le volume utile jusqu'à 15 m³. Ce chiffre semble encore important si on le compare aux 4 m³ exigés pour le stockage de l'hydrogène sous pression ou de 300 litres de (bio)diesel. Toutefois, la technologie s'annonce prometteuse, car la transformation et le stockage de la chaleur via un cycle de sorption-désorption s'avère bien plus efficace qu'avec des combustibles synthétiques.

5 Incitants financiers ?

Le stockage de l'énergie est une solution technique favorisant le développement des énergies renouvelables et leur utilisation optimale dans les bâtiments.

Cependant, en l'absence d'incitants financiers, il y a actuellement peu d'intérêt économique à les mettre en œuvre. Une tarification adaptée de l'énergie pourrait modifier cette situation. |

*X. Kuborn, ir., et J. Van der Veken, ir.,
chefs de projet, laboratoire Chauffage et
ventilation, CSTC*