

<p>OBJECTIF ENERGETIQUE</p>	<p>STOCKAGE DE CHALEUR AVEC COUPLAGE D'ENR Cette fiche est issue pour une partie d'extraits du colloque de l'IFPEN « Panorama 2013 : "Stockage massif de l'énergie - Un impératif pour réussir le mix énergétique de demain ?" »</p>
<p>Données d'entrées</p>	<p>Le stockage de chaleur concerne principalement le chauffage (ou la climatisation) des bâtiments, qui représente près de 50 % de la consommation énergétique en Europe.</p> <p>Les sources de chaleur proviennent en premier lieu du solaire, pour lequel le stockage permettrait de réduire les effets de son intermittence et du décalage entre les périodes les plus productives (le jour/l'été) par rapport aux périodes de plus grandes demandes (le soir/l'hiver).</p> <p>D'autre part, le stockage permet également de lisser la consommation pour améliorer le rendement des systèmes de production de chaleur. En effet, la fluctuation du besoin (de chaleur ou de refroidissement) provoque d'une part des marche-arrêt qui réduisent la durée de vie de ces systèmes, et d'autre part un fonctionnement à faible régime, c'est-à-dire loin de leur point de fonctionnement optimal. Ainsi le stockage permet d'améliorer les rendements thermiques et la durée de vie.</p> <p>D'origine industrielle (chaleur fatale) ou solaire, la chaleur est captée avec plusieurs niveaux de température suivant les applications visées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les procédés basse température (<120°C), de faibles puissances de stockage (1 à 50 kW), destinés essentiellement à l'habitat ou au tertiaire, <div data-bbox="383 918 1404 1321" style="text-align: center;"> </div> <p>Figure 1. Principe des systèmes solaires combinés (Source « GDF-Suez »), système direct à gauche ou à hydro-accumulation à droite</p> <ul style="list-style-type: none"> - les procédés moyennes températures (120°C < T < 450°C), ou hautes températures (T>450°C), destinés soit à réduire la consommation de chaleur d'origine fossile dans l'industrie, soit à produire de l'électricité (cf. figure 2 ci-après). <div data-bbox="558 1523 1404 1993" style="text-align: center;"> </div> <p>Figure 2. Les 4 principaux types de centrales thermodynamiques à concentration en fonction du type de surface réfléchissante (Source « AIE-2010 »)</p>

Données de sorties

Il existe 3 moyens de stockage de la chaleur qui présentent chacun leurs caractéristiques.

Le stockage thermique par chaleur sensible :

- Les données liées à ce type de stockage ont été explicitées dans la fiche détaillée d'une technologie énergétique intitulée « Stockage de chaleur par le bâtiment ou le sol ».

Le stockage thermique par changement de phase :

Pour les PCM, l'utilisation dans le bâtiment se fait par intégration de ceux-ci dans les divers éléments constituant un bâtiment (enveloppes, plafonds, plancher, parois, menuiseries, mobiliers, etc.). Le stockage et le déstockage d'énergie s'effectue au gré des échanges de chaleur avec l'air intérieur au bâtiment et l'environnement de celui-ci (air extérieur, rayonnement solaire, rayonnement nocturne, ...). Ces échanges sont passifs.

L'utilisation du changement de phase d'un corps est aussi un bon moyen de stocker et de restituer de la chaleur ou du froid, en réduisant les volumes de stockage. Ce type de transformation est par exemple utilisé pour refroidir un verre d'eau avec un glaçon.

Le stockage par chaleur latente présente deux avantages par rapport à la chaleur sensible :

- Le stockage par chaleur latente consiste à exploiter la quantité d'énergie engagée lors du changement d'état d'un corps. Ce changement d'état s'opère à température constante et représente une importante quantité de chaleur absorbée ou restituée.
- Dans une petite gamme de température (autour de la température de changement de phase), le stockage par chaleur latente peut avoir de plus fortes capacités de stockage par rapport à la chaleur sensible, pour un même volume par exemple. Cependant, si la gamme de température opératoire est assez large, la densité énergétique diminue considérablement car la capacité thermique de ces matériaux est relativement faible par rapport à l'eau.

Cependant, les MCP peuvent trouver leur place lorsqu'ils sont couplés à des pompes à chaleur car la gamme de température de fonctionnement est assez réduite.

Il faut noter que, bien que le changement liquide/gaz présente une forte enthalpie (potentiel thermodynamique) de transformation, cette solution est souvent écartée à cause des grandes variations de volumes induites.

Le stockage thermochimique :

Le stockage par voie thermochimique met en jeu des réactions réversibles qui alternativement absorbent de la chaleur (réactions dites endothermiques) puis la restituent (réactions dites exothermiques). Les réactions envisagées sont des déshydratations en été et des hydratations en hiver. Les réactifs peuvent être des solides ou des liquides. La durée de stockage est alors sans limite : il suffit de garder les composés déshydratés dans un réservoir et l'eau recondensée dans un autre. Lorsqu'ils sont remis en présence, la chaleur est alors restituée et permet de chauffer directement l'air de la maison ou d'alimenter en eau chaude un système de plancher chauffant.

Comparaison des modes de stockage

La figure ci-dessous permet de comparer synthétiquement les avantages et inconvénients de chaque solution de stockage

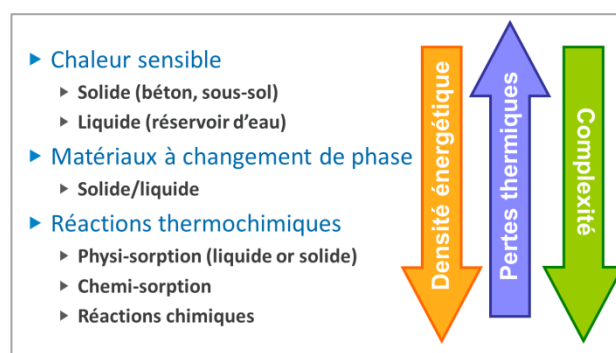


Figure 3 : Comparaison des modes de stockage (source « CEA à l'INES »)

Une comparaison de différents moyens de stockage simulés a été faite dans le projet de recherche ANR-08-STOCK-E-04 ESSI. La figure suivante montre la capacité de stockage pour un système solaire combiné avec un stockage thermochimique avec réaction solide/gaz, un stockage par absorption avec réaction liquide/gaz et un stockage avec matériau à changement de phase (PCM en anglais).

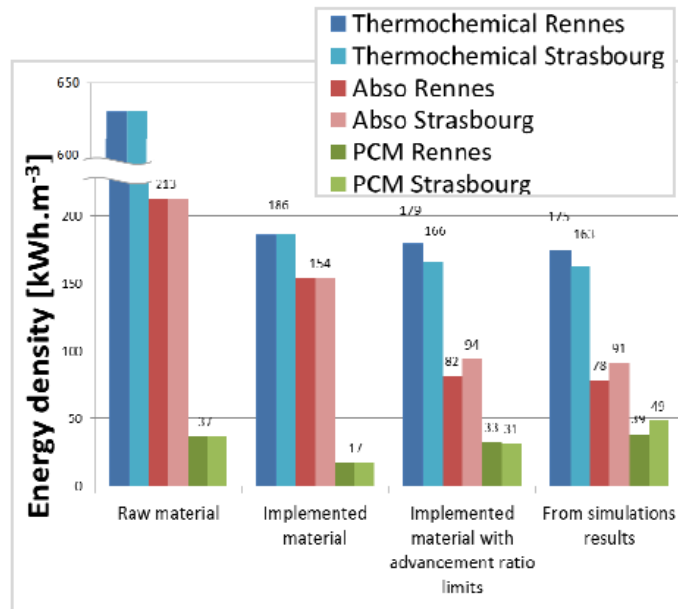


Figure 4. Comparaison de systèmes de stockage combiné à une production de chaleur comportant du solaire thermique (Source- : résumé soumis à SHC 2013, « Four seasonal storage technologies comparison »)

Les applications de stockages thermiques :

Nous allons nous intéresser ici uniquement aux applications liées aux bâtiments collectifs ou immeubles tertiaires, toujours dans l'objectif d'une analyse à l'échelle de l'écoquartier.

Le stockage thermique par chaleur sensible :

Les installations de stockage thermique (chaleur et froid) concernent majoritairement les marchés industriels et tertiaires avec des réalisations de l'ordre de 1-10MW, les réseaux de chaleur, et le marché résidentiel par le biais des ballons d'eau chaude sanitaire. Ces installations ont un potentiel important en termes de compétitivité pour les activités tertiaires et industrielles, et en termes d'impact sur la demande en électricité à la pointe. En effet, en stockant la chaleur ou le froid en période de faible demande d'électricité, le potentiel de décalage des appels de puissance est important.

Sur les réseaux de chaleur, le stockage de chaleur permet d'optimiser le dimensionnement des installations, notamment dans le cadre d'extension de réseaux existants. Actuellement, seuls des systèmes de stockage sensible sont expérimentés.

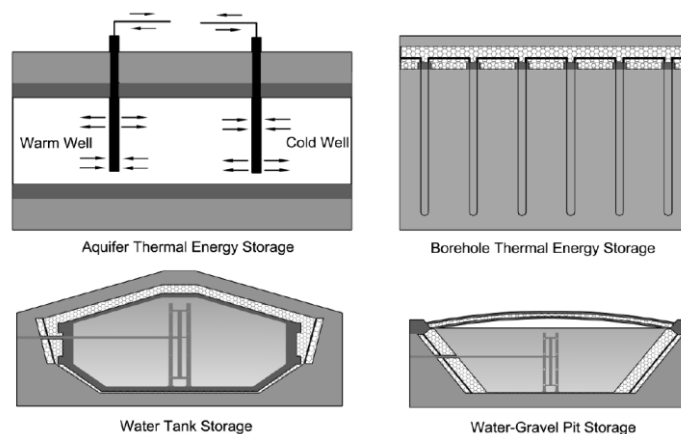


Figure 5 : Différents types de stockage saisonnier souterrain employé en collectif (source : Pavlov, ISES 2011)
Le stockage de chaleur dans les ballons d'eau chaude sanitaire électriques mobilise aujourd'hui un parc de plusieurs millions d'installations en France. Cela représente un appel de puissance de plusieurs GW au maximum. Cet appel de puissance est prédictible et commandable par le signal 175Hz du tarif Heures Creuses, ce qui permet de décaler cet appel de puissance de manière programmée.

Le stockage thermique par changement de phase :

Les matériaux à changement de phase (MCP) qui présentent des opportunités intéressantes pour le stockage de chaleur latente sont de plusieurs types : métaux, matériaux organiques (acides gras et paraffines) ou inorganiques (sels hydratés). Ces matériaux sont parfois utilisés dans les matériaux de construction pour tempérer les bâtiments.

Le stockage thermochimique:

Par rapport aux deux voies précédentes (sensible et latent), les procédés mis en œuvre ici sont plus complexes : séparation des produits au stockage, mise en contact des réactants à la restitution. Cette solution est prometteuse pour le stockage intersaisonnier car elle présente la plus forte densité énergétique et aucune perte durant la phase de stockage. Cependant, les procédés sont encore en cours de développement et ne sont pas encore disponibles sur le marché.

Innovations technologiques

Les principaux axes de recherche portent sur les matériaux, dont il convient de diversifier l'offre, d'augmenter la durée de vie et d'améliorer les propriétés thermophysiques (haute température, rendement). La diminution du volume d'encombrement et la réduction des pertes constituent deux autres voies d'évolution.

Le stockage thermique par changement de phase :

Il n'existe pas à ce jour d'installations de stockage de grande capacité basées sur ce principe mais de nombreux projets sont en cours, en particulier aux USA, comme par exemple le projet Metallic Composites Phase-Change Materials for High-Temperature Thermal Energy Storage conduit au MIT sur les nanomatériaux fondus.

Le stockage thermochimique :

Différents centres de recherches travaillent sur les matériaux pour en découvrir de nouveaux ou améliorer l'existant. De fortes contraintes dans le choix des réactifs existent : ils doivent être non toxiques, avec un faible impact environnemental et bon marché. La densité énergétique est également un point crucial pour avoir des réservoirs de taille raisonnable, autour d'environ 5-10 m³, soit la taille d'un petit abri de jardin. Des challenges se trouvent aussi dans la conception de réacteurs performants ainsi que dans le développement de systèmes de chauffage adaptés qui permettent de valoriser au mieux la chaleur extraite du stockage.

Plusieurs pilotes ont été réalisés et testés dans différents laboratoires de recherche, en particulier en Allemagne, France et aux Pays bas. La plupart sont à l'échelle laboratoire mais un projet à échelle 1 est en cours de réalisation au CEA à l'INES.