

Fabrice Martin
Jacques Nicolas
Fondation Universitaire Luxembourgeoise

Le stockage thermique par chaleur latente

1. Introduction

Le problème du déphasage entre la production de chaleur et les besoins des utilisateurs peut être résolu par l'utilisation d'un accumulateur thermique dans la chaîne de conversion thermodynamique. En voici quelques exemples d'application :

- le stockage thermique dans la climatisation et la production du froid permet de réduire les puissances frigorifiques installées ce qui augmente la fiabilité de l'installation ;
- dans les bâtiments solaires actifs, la chaleur reçue par rayonnement est stockée et récupérée lorsque le besoin s'en fait sentir.

Plusieurs types de stockages existent :

- *le stockage par chaleur sensible* : l'énergie stockée conduit à une élévation de la température du matériau (capacité moyenne de $2 \text{ M J/m}^3 \text{ }^\circ\text{K}$) ;
- *le stockage par chaleur latente* : le matériau change de phase à température constante en libérant ou accumulant de la chaleur suivant le sens de la transformation (capacité moyenne de 200 M J/m^3) ;
- *le stockage par réaction chimique* : le principe consiste à réaliser sur commande des réactions endo ou exoénergétiques d'équilibre (capacité moyenne de 700 M J/m^3).

De ces trois types, le stockage par réaction chimique est celui dont l'énergie volumique de stockage est la plus élevée. Néanmoins, la mise en œuvre est relativement sophistiquée. Par contre, les

stockages par chaleur sensible et latente requièrent des réalisations technologiques plus simples et moins onéreuses.

2. Le stockage par chaleur latente

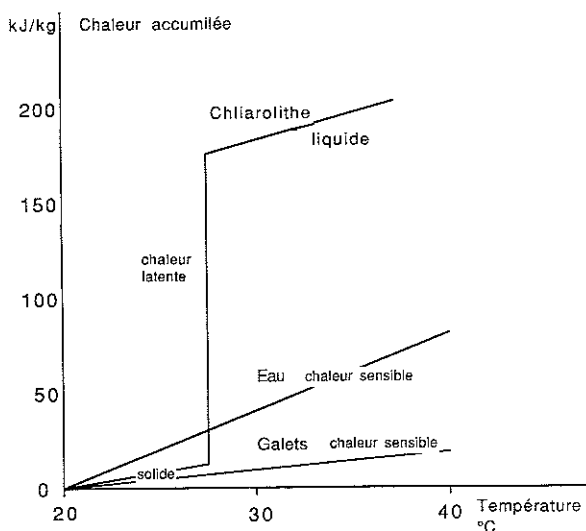
Les changements de phase possibles sont :

- a) solide - gaz ;
- b) liquide - gaz ;
- c) solide - liquide ;
- d) solide - solide.

Les transformations comportant une phase gazeuse sont peu employées car des changements importants de volumes y sont engendrés.

Les principaux avantages du stockage par chaleur latente sur celui par chaleur sensible sont les suivants :

- les énergies volumiques stockées sont plus importantes, il en résulte des volumes de stockage réduits ;
- une exploitation remarquable des matériaux de stockage conduit à la constitution d'une source de chaleur à température constante (cet avantage représente un facteur de confort important dans les applications de chauffage des bâtiments) ;
- pour une même quantité d'énergie stockée, la température de stockage est moins élevée lors de l'utilisation de matériaux à changement de phase et par conséquent, les dissipations thermiques vers l'extérieur sont moindres.



Comparaison des chaleurs accumulées par les différents matériaux

3. Les matériaux à changements de phase

Les qualités demandées aux matériaux destinés au stockage par chaleur latente de fusion sont :

- une importante chaleur latente de fusion qui permet de réduire le volume du stockage ;
- une température de fusion située dans la plage requise par l'application ;
- un changement de phase réversible qui empêche la succession des cycles charge-décharge d'altérer les qualités de stockage ;
- l'absence du phénomène de surfusion. En effet, la surfusion empêche le restitution de la chaleur à température constante et d'autre part, le système est plus difficile à contrôler. Cependant, la surfusion peut être exploitée dans les stockages à long terme : le matériau liquide est conservé à une température inférieure à la température de fusion et les dissipations thermiques sont ainsi réduites ;
- une conductivité thermique élevée qui améliore la cinétique du système ;
- un prix d'achat le plus bas possible.

3.1. Les composés organiques

Ils présentent une conductivité thermique faible qui est toutefois susceptible d'être améliorée par l'introduction au cœur du matériau d'un maillage métallique. La fusion présente les avantages d'être congruente et réversible et sa température peut être ajustée dans une large gamme en modifiant la longueur des chaînes. Par contre, elle s'accompagne

d'une grande variation de volume de l'ordre de 20 %. Quant au refroidissement, il s'effectue pratiquement sans surfusion. Dans l'application du stockage de l'énergie solaire, le caractère semi-transparent des paraffines permet de s'affranchir du fluide caloporteur de charge puisque l'énergie solaire peut pénétrer au cœur du matériau et le transformer en profondeur.

3.2. Les sels hydratés

Leur refroidissement passe par une surfusion qui peut être contrée par l'adjonction d'un agent nucléant. D'autre part, une séparation des phases due à une différence de densité peut conduire à des cycles irréversibles. Certains de ces sels sont corrosifs et doivent être conservés dans des récipients en PVC. La principale qualité des sels hydratés réside dans leur prix très bas.

3.3. Les matériaux à transformation solide-solide

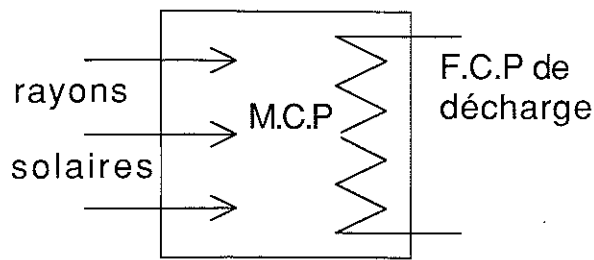
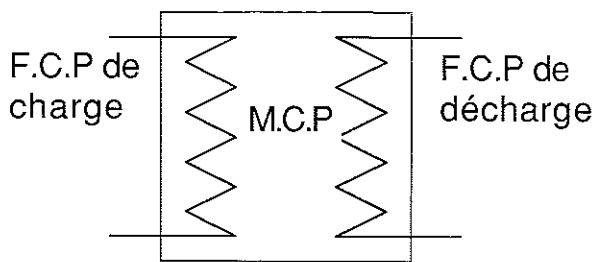
Ces matériaux sont intéressants à plus d'un titre : la transformation cristalline se situe bien en-dessous de la température de fusion avec une libération ou absorption de chaleur et la température de transformation peut être ajustée dans une large gamme de température (10 à 160° C) en faisant varier les proportions des différents composants. Ceci permet de choisir un matériau dont la température de transformation optimise l'application et puisque le matériau reste solide, son domaine d'application est très large. Par exemple, le M.C.P. (matériau à changement de phase) peut être absorbé dans les matériaux poreux : le composite résultant ayant une grande capacité de stockage.

4. Les différents types d'échangeurs

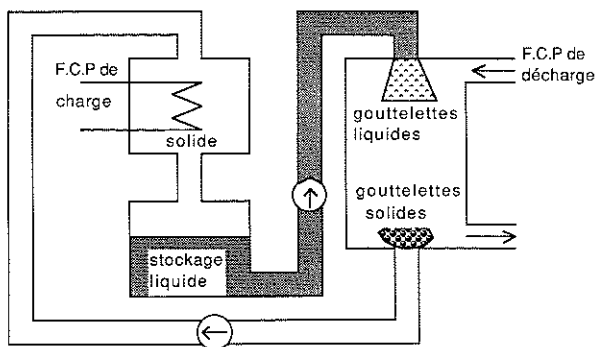
On distingue deux types d'échangeurs : les échangeurs avec surface d'échange et ceux à contact direct. Dans le premier type, les F.C.P. (fluides caloporteurs) de charge et de décharge sont isolés du M.C.P. par une paroi et le transfert de chaleur se fait par conduction à travers cette dernière. Dans le second type, le M.C.P. fondu est directement injecté dans le F.C.P. de décharge et les gouttelettes du matériau de stockage se cristallisent durant l'écoulement. La compatibilité entre le F.C.P. et le M.C.P. représente la contrainte fondamentale des échangeurs à contact direct. Ce type d'échangeur est d'une réalisation technologique complexe et coûteuse.

5. Optimisation des échangeurs

Les performances de la chaîne thermodynamique sont directement liées au comportement de l'accu-



Les échangeurs avec surface d'échange



Les échangeurs à contact direct

multateur dont la réalisation est sujette à de nombreuses limitations d'ordre économique.

Différents facteurs limitent la cinétique des processus de charge et de décharge :

- la pénétration de la chaleur dans le matériau est freinée par les processus de conduction et de convection s'y déroulant. De ce fait, la durée limitée de la charge empêche d'utiliser au maximum les capacités de stockage ;

- les transferts de chaleur F.C.P. - M.C.P. n'étant pas parfaits, la température superficielle du matériau restera toujours inférieure à celle du F.C.P. ;

- lors de la décharge, le matériau liquide se solidifie sur la surface de l'échangeur et la croûte ainsi formée constitue une résistance thermique qui ralentit l'échange de chaleur. Dès lors, à débit de F.C.P. constant, la température de ce dernier diminue au cours de la décharge et on ne dispose plus d'une source de chaleur à température constante.

Ces facteurs limitatifs font penser qu'il doit exister une adaptation optimale de la géométrie des éléments de stockage conduisant à une thermocinétique imposée par les conditions de fonctionnement.

6. Les recherches en cours

Dans le domaine du stockage par chaleur latente, les instituts de recherche, dont la F.U.L., concentrent leur activité essentiellement dans l'intégration des modules de stockage à une application thermique. Cette intégration peut être réalisée par l'optimisation d'un échangeur utilisé, par exemple, comme tampon au condenseur d'une pompe à chaleur, par un choix idéal du volume du matériau d'encapsulation dans le but de réaliser des éléments modulaires pour le chauffage de l'habitat, ou encore par incorporation du M.C.P. à un matériau de construction. Cette dernière application, qui permettrait de réaliser des panneaux de garnissage à l'intérieur d'une maison, posséderait l'avantage d'être d'une mise en œuvre facile, tout en favorisant une surface d'échange pour le flux d'utilisation. Les matériaux à changement de phase solide-solide sont à cet égard particulièrement intéressants.

Références

- J. Patry, *Stockage par chaleur latente*, PYC Edition.
- Solvay, *Pour le stockage thermique à basse température*, Casotherm 281.
- J. Bardon, E. Vrignaud et D. Delaunay, *Etude expérimentale de la fusion et de la solidification périodique d'une plaque de paraffine*, Rev. Gén. Therm., août-septembre 1979.
- J. Andrieu et R. Bressat, *Comportement dynamique d'un accumulateur à chaleur latente à bas niveau de température*, Rev. Gén. Therm., février 1982.
- D.K. Benson, C.B. Christensen, R.W. Burrows and Y.D. Shinton, *New Phase-change thermal energy storage materials for buildings*, Solar Energy Research Institute Golden, Colorado, USA.
- J. Huetz, *Stockage de courte durée - chaleur latente et de réaction*, Colloque National sur le Stockage de l'énergie solaire appliquée au bâtiment, Lyon, janvier 1981.