

Stockage inter-saisonnier d'énergie solaire pour l'habitat – performance du procédé en fonction du couple d'absorption

Hui LIU¹, Nolwenn LE PIERRES^{1*}, Lingai LUO¹

Laboratoire LOCIE, Université de Savoie

Polytech'Savoie, Savoie Technolac, 73376 Le Bourget Du Lac, France

*(auteur correspondant : nolwenn.le-pierres@univ-savoie.fr)

Résumé - Un procédé de stockage inter-saisonnier d'énergie solaire est présenté. L'énergie thermique est stockée par désorption en été et peut être utilisée en hiver par absorption. L'originalité de ce concept de stockage est de laisser la solution atteindre le point de cristallisation. Cette étude détermine par une simulation statique idéale la densité énergétique potentielle du stockage avec l'utilisation de trois couples d'absorption classiques : LiBr/H₂O, LiCl/H₂O et H₂O/NH₃ et pour différentes conditions de fonctionnement.

Nomenclature

P	pression, Pa	e	Evaporation
Q	puissance calorifique, kJ	h	Habitat
T	température, K	p	solution pauvre
h	enthalpie, kJ/kg	r	solution riche
x	Concentration, $kg\ sel/kg\ solution$	s	solaire / été
<i>Indices et exposants</i>		sol	Solution
a	absorption	v	vapeur.
c	condensation	w	Hiver
d	désorption	$1-5$	points du cycle

1. Introduction

Les systèmes de stockage de chaleur et de froid sont souvent des éléments essentiels pour des processus thermiques efficaces. Cette problématique se révèle en particulier lors de l'utilisation de sources d'énergies renouvelables, qui sont souvent discontinues et/ou non synchronisées avec les besoins thermiques correspondants. La Figure. 1 représente l'énergie reçue par 10 m² de capteurs solaires et utilisable pour les besoins en chauffage et eau chaude sanitaire d'une maison type RT 2005 de 120 m² située à Chambéry. La disponibilité de l'énergie solaire est en déphasage saisonnier par rapport aux besoins. Il est donc nécessaire de stocker cette énergie de l'été à l'hiver. L'objectif de ce projet est de développer l'utilisation de l'énergie solaire pour l'habitat grâce à un stockage de durée modulable, en utilisant la technologie de l'absorption.

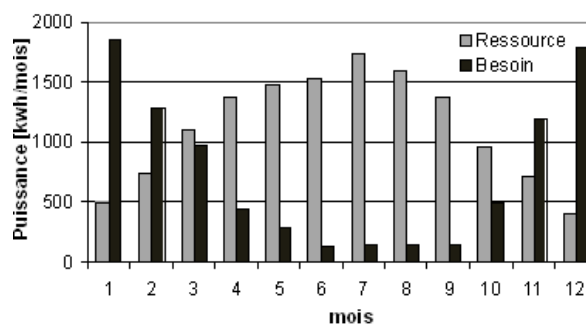


Figure. 1 Besoins d'un logement et énergie solaire disponibles sur un capteur

Plusieurs projets de recherche sur des procédés de stockage thermique ont été développés au cours des années précédentes aux niveaux européen et international. Les stockages par chaleur sensible sur l'eau sont efficaces à très haute température et nécessitent des volumes importants [1]. Le procédé de nappes aquifères salines solaires pour le stockage à long terme a été démontré depuis les années 1960. L'utilisation d'un gradient de sel dans une nappe aquifère dépend de plusieurs paramètres liés aux propriétés physiques de la nappe et à son environnement comme le rayonnement solaire reçu, la température ambiante, le vent, les propriétés du sol, etc. [2]. Par ailleurs, les matériaux à changement de phase à température de fusion proche de la température de confort (18 à 26°C) sont en cours d'introduction sur le marché afin de maîtriser la température intérieure d'un bâtiment [3]-[4]. Une technologie plus récente consiste à stocker la chaleur directement dans le sol à moyenne profondeur (20 à 50 m), via un maillage de puits de faible diamètre répartis sur une zone, parfois recouverte d'un isolant thermique proche de la surface. De nombreuses variantes existent (profondeur, densité de forages, diamètre des trous, etc.) en fonction de la nature et de l'humidité naturelle du sol [5]. L'hydrogène a également été proposé comme solution de stockage d'énergie [6]. Le stockage peut alors être réalisé sous plusieurs formes, qui ont toutes à l'heure actuelle un faible rendement. Ce stockage est compliqué, très consommateur d'énergie, et éventuellement dangereux.

2. Principe de fonctionnement

Le principe du stockage inter-saisonnier d'énergie solaire est présenté Figure. 2.

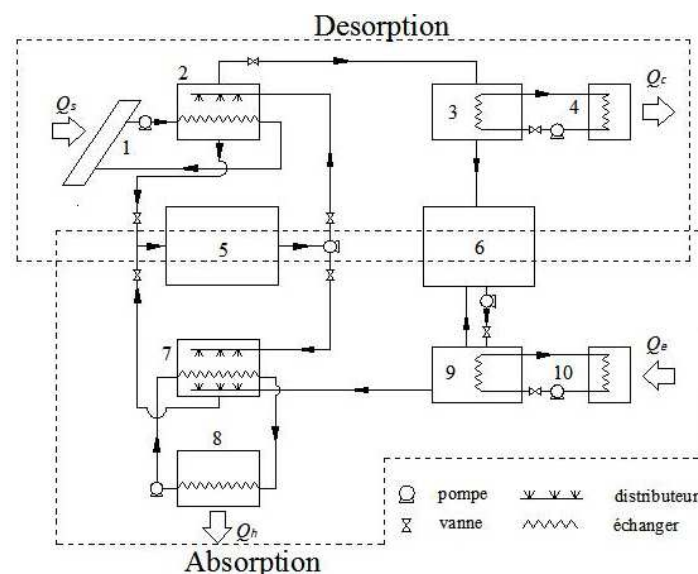


Figure. 2 Description schématique du procédé de stockage inter-saisonnier d'énergie solaire

Le fonctionnement du cycle se décompose en deux phases : une phase de stockage de l'énergie solaire au cours de l'été (cadre pointillé du haut de la figure) et une phase de déstockage et d'utilisation de l'énergie thermique au cours de l'hiver (cadre pointillé du bas de la figure). Au cours de la phase d'été, la solution pauvre dans le stock (5) est transférée au générateur (2) où elle désorbe de la vapeur grâce à l'énergie thermique disponible au niveau du capteur solaire (1). La vapeur est transférée au condenseur (3) et se condense grâce à l'échangeur (4). Le fluide condensé est alors transféré au réservoir de stockage (6). La solution riche est alors évacuée du générateur vers le stockage de solution (5).

Au cours de la phase d'utilisation de la chaleur, le fluide dans le stock (6) est transféré à l'évaporateur (9) où il est vaporisé grâce à la chaleur géothermique à faible température (10).

La vapeur s'écoule vers l'absorbeur (7). La solution riche dans le réservoir de solution (5) est également transférée à l'absorbeur (7), où elle absorbe la vapeur venant de l'évaporateur. La chaleur ainsi produite par le phénomène d'absorption est transférable à l'habitat pour son chauffage (8). La solution pauvre est alors recirculée vers le stockage de solution (5).

Grâce à ce fonctionnement intermittent, l'énergie solaire est stockée par désorption lorsqu'elle est en excès et peut être utilisée par absorption lorsqu'elle est en déficit par rapport aux besoins du bâtiment. Comme ce stockage ne met pas en jeu de chaleur sensible ou latente (les réservoirs de stockage restent à température ambiante), mais un stockage sous forme de potentiel thermochimique, il n'y a pas de perte de chaleur au cours de stockage. La durée de stockage est ainsi modulable et peut durer plus d'une saison.

Trois couples, LiBr-H₂O, LiCl-H₂O et H₂O-NH₃ sont envisagés pour ce procédé et la capacité de stockage correspondante est évaluée. Le cycle pour LiBr-H₂O est présenté Figure 3 et Figure 4.

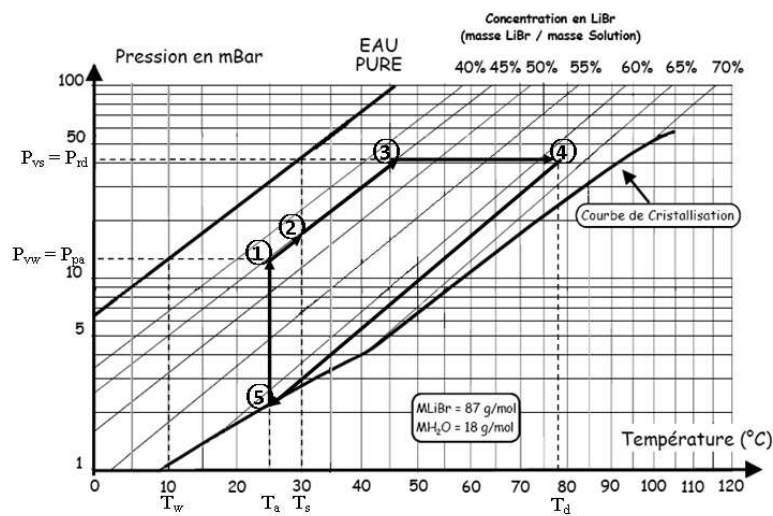


Figure 3 : Cycle de fonctionnement pour le couple LiBr – H₂O (sans cristallisation) [7]

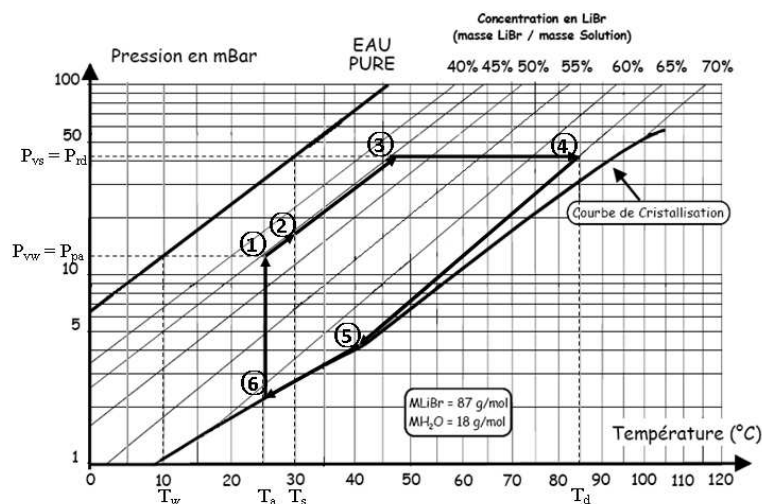


Figure 4 : Cycle de fonctionnement pour le couple LiBr – H₂O (avec cristallisation) [7]

De l'état 1 à l'état 3, la solution pauvre est chauffée par l'énergie solaire à concentration constante d'environ 45% (phase d'été). Au point 3, la pression de la solution est suffisante pour permettre une désorption de la vapeur et sa condensation à température ambiante (ici, T_a=30°C). De l'état 3 à l'état 4, l'énergie solaire est utilisée continuellement pour chauffer la

solution et réaliser la désorption jusqu'à $T_d=78^\circ\text{C}$. De l'état 4 à l'état 5, la solution riche est stockée de l'été à l'hiver et sa température diminue, ici jusqu'à 25°C . De l'état 5 à l'état 1, la solution est mise en contact avec de la vapeur vaporisée à $T_w = 10^\circ\text{C}$. L'énergie d'absorption produite peut être utilisée pour le chauffage de l'habitat (ici à une température supérieure à $T_a=25^\circ\text{C}$).

Si la concentration de l'état 4 est augmentée, il y a cristallisation de la solution au cours de la transition de l'été à l'hiver (Figure 4). Le procédé est le même que dans le cas précédent de l'état 1 à l'état 3. Pour parvenir à une concentration plus élevée au point 4 que dans le cas précédent, la température nécessaire est $T_d = 85^\circ\text{C}$. De l'état 4 à 6, lorsque la température diminue, on traverse la courbe de cristallisation au point 5. Des cristaux de sel apparaissent dans le réservoir de stockage et le taux de solide dans le mélange augmente à mesure que la température et la pression du mélange diminuent. De l'état 6 à 1, la vapeur d'eau est absorbée par la solution. Le cristal se dissout progressivement dans la solution pauvre recirculée de l'absorbeur. Quand tous les cristaux ont disparu, la concentration diminue de la même manière que dans le premier cas.

Concernant le couple $\text{LiCl-H}_2\text{O}$, les cycles correspondants sont présentés Figure 5. Pour le couple $\text{H}_2\text{O-NH}_3$, il n'y pas de cristallisation. Le cycle est représenté Figure. 6.

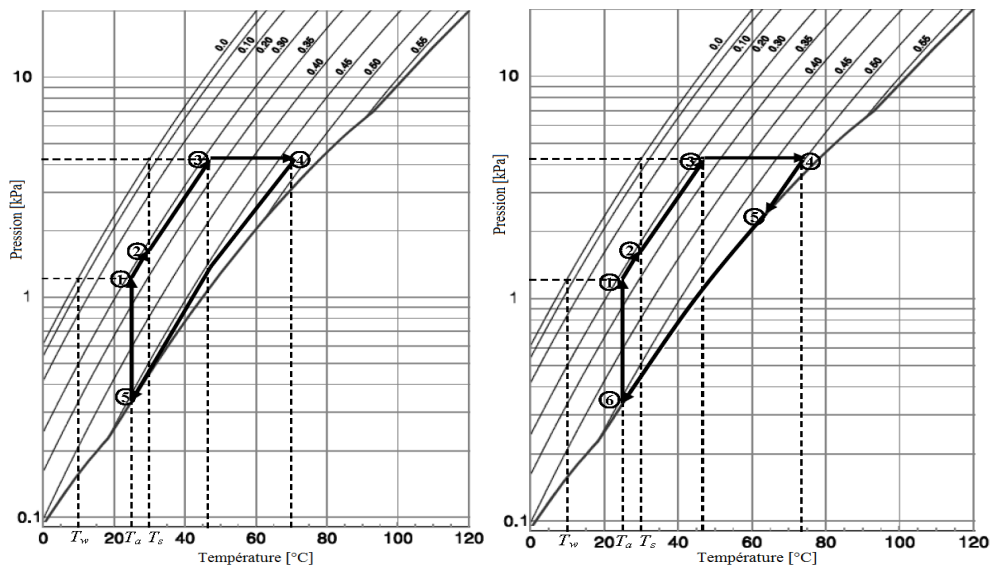


Figure 5 : Cycle de fonctionnement pour le couple $\text{LiCl-H}_2\text{O}$ (sans cristallisation et avec cristallisation) [8]

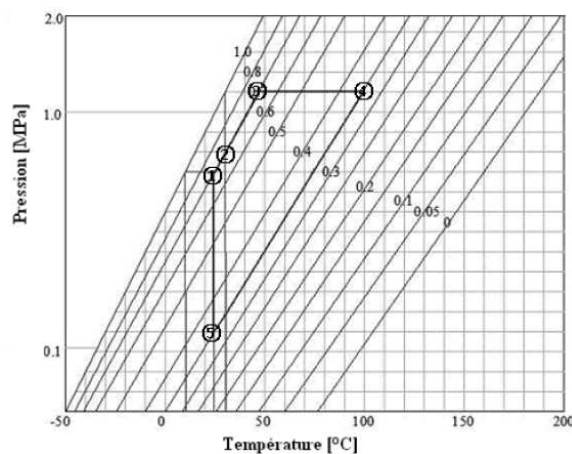


Figure. 6 Cycle de fonctionnement pour le couple $\text{H}_2\text{O-NH}_3$ [9]

3. Capacité de stockage

On étudie les paramètres de fonctionnement du cycle. Les principaux résultats de cette évaluation statique sont présentés Tableau 1. La température de l'évaporateur est supposée ici constante à 10 °C ; celle de l'absorbeur à 25 °C minimum. Pour les trois couples de sorption sélectionnés, la capacité de stockage est supérieure à celle par chaleur sensible dans de l'eau (environ 250 kJ/kg) ou par chaleur latente (140-330 kJ/kg) [10].

Ces résultats dépendent des paramètres de dimensionnement choisis. La capacité de stockage pour les trois couples en fonction de la concentration de la solution riche est présentée Figure. 7. La capacité de stockage augmente avec la concentration de la solution riche (point 4 dans les cycles). Lorsque la concentration après désorption est plus élevée que la solubilité à la température de stockage, il y a cristallisation dans le réservoir au cours de la phase de transition été-hiver. La limite supérieure possible de concentration de la solution riche est le taux d'eau dans le cristal formé (LiBr dihydraté et LiCl monohydraté à 10°C). Par ailleurs, la capacité de stockage diminue avec la température de l'absorbeur et augmente avec la température de l'évaporateur comme illustré Figure. 8 pour le couple LiBr-H₂O.

	Type de cristal formé à 10°C	Sans cristallisation			Avec cristallisation		
		Concentration maximale [kg sel/kg solution]	Capacité [kJ/kg sel]	Température maximale nécessaire [°C]	Concentration maximale [kg sel/kg solution]	Capacité [kJ/kg sel]	Température maximale nécessaire [°C]
LiBr	LiBr·2H ₂ O	0,60	1535	74	0,69	2068	93
LiCl	LiCl·H ₂ O	0,46	2922	68	0,70	5271	78
NH ₃	-----	0,80	1600	128	-----	-----	-----

Tableau 1 : concentration maximale de la solution, capacité calorifique correspondante du stockage et température maximale de désorption pour les trois couples envisagés.

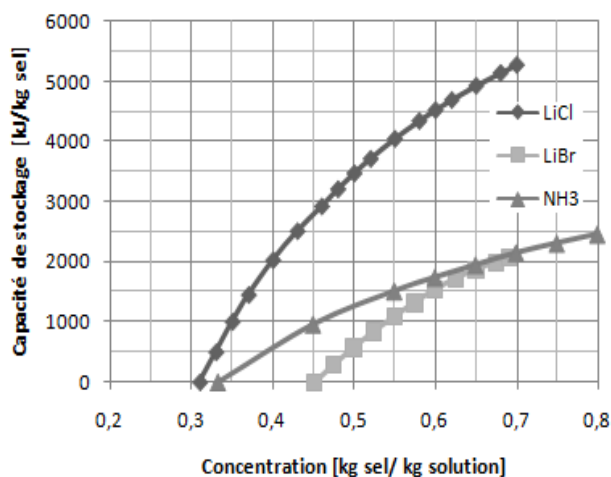


Figure. 7 Capacité de stockage en fonction de la concentration de la solution riche

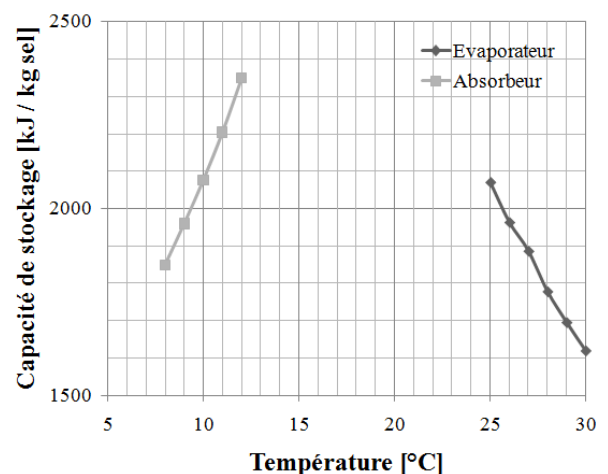


Figure. 8 Capacité de stockage en fonction de la température de l'absorbeur et l'évaporateur

4. Conclusion et perspectives

Le système présenté semble une méthode possible et efficace pour un stockage inter-saisonnier d'énergie solaire. En effet, dans un objectif de chauffage basse température de l'habitat ($\sim 25^{\circ}\text{C}$), la capacité de stockage par ce procédé à absorption est plus élevée que celle d'un stockage par chaleur sensible ou latente, et présente de plus l'avantage d'une durée illimitée de stockage. Pour les trois couples de sorption présentés, la température maximum d'énergie solaire nécessaire est inférieure à 130°C , et de l'ordre de 80°C pour les couples LiBr-H₂O et LiCl-H₂O, ce qui rend ce procédé compatible avec l'utilisation des capteurs solaires utilisés couramment dans l'habitat. La capacité de stockage du procédé augmente avec la concentration après désorption et la température de l'évaporateur (ressource disponible en hiver), et diminue avec la température de l'absorbeur (chaleur produite).

Cette étude préliminaire sera suivie par une étude plus exhaustive des couples de sorption possible. De plus, une étude dynamique du procédé permettra de l'étudier dans un cas moins idéal (prise en compte des phénomènes transitoires, des pertes de charge et de chaleur, intégration et dimensionnement des pompe, etc.). Un prototype devra, de plus, être construit pour démontrer la faisabilité de ce concept.

Références

- [1] R. Kübler, N. Fisch, High temperature water pit storage projects for the seasonal storage of solar energy, *Solar Energy*, 61-2 (1997), 97-105.
- [2] V. Velmurugana, K. Srithar, Prospects and scopes of solar pond: A detailed review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12-8 (2008), 2253-2263.
- [3] M. M. Farid, A. M. Khudhair, A review on phase change energy storage: materials and applications, *Energy Conversion and Management*, 4 (2004), 1597-1615.
- [4] A. M. Khudhair, M. M. Farid, A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials, *Energy Conversion and Management*, 45 (2004), 263-275.
- [5] D. Laing, W. D. Steinmann, Solid media thermal storage for parabolic trough power plants, *Solar Energy*, 80-10 (2004), 1283-1289.
- [6] L. Trevisani, M. Fabbri, F. Negrini, Long-term scenarios for energy and environment: Energy from the desert with very large solar plants using liquid hydrogen and superconducting technologies, *Fuel Processing Technology*, 87-2 (2000), 157-161.
- [7] J. C. Lavignottes, Aspects thermodynamiques et technico-économiques des systèmes à absorption liquide, , CNAM & IFFI, <http://jc.castaing.free.fr/>
- [8] M. Conde, Properties of aqueous solutions of lithium and calcium chlorides: formulations for use in air conditioning equipment design, *Int. J. Therm. Sci.*, 43-4 (2004), 367-382.
- [9] J. Pátek, J. Klomfar, Simple functions for fast calculations of selected thermodynamic properties of the ammonia-water system, *International Journal of Refrigeration*, 18-4 (1995), 228-234.
- [10] S. M. Hasnain, Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part I: heat storage materials and techniques, *Energy Conversion and Management*, 39-11 (1998), 1127-1138.

Remerciements

Nous remercions l'APS (Assemblée des Pays de Savoie) et Solvay SA pour le financement de cette étude.