

ETUDE EXPERIMENTALE DE L'EFFET D'INTEGRATION D'UN ECHANGEUR SPIRAL A AILETTES DANS UN RESERVOIR À BASE D'HYDRURE METALLIQUE

S. Mellouli ^{*}, H. Dhaou, F. Askri, A. Jemni, S. Ben Nasrallah
Laboratoire d'Etudes des Systèmes Thermiques et Energétique
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Rue Ibn Eljazzar, 5019, Tunisie.
E-mail : mellouli_sofiene@yahoo.fr

RESUME

Plusieurs études expérimentales et numériques des réservoirs à base d'hydrure métallique ont été effectuées afin d'évaluer leurs performances [1-9]. Ces études ont montré, que la dynamique de stockage/déstockage de l'hydrogène est fortement contrôlée par les processus des transferts de chaleur dans le réservoir. Par conséquent, il est nécessaire de bien piloter ces transferts pour la meilleure dynamique du système. Dans la présente étude, des investigations expérimentales sont effectuées a fin d'analyser la dynamique du réservoir équipé d'un échangeur spiral à ailette. Les mesures effectuées ont permis de voir l'effet des ailettes sur le processus de stockage d'hydrogène dans un réservoir à base d'hydrure métallique.

1.INTRODUCTION

Les hydrures métalliques leur attrait est grand, surtout du point de vue énergétique et environnemental. Un des obstacles au développement des hydrures consiste en leurs trop faibles caractéristiques de transfert de chaleur. Les temps de cycle restent longs, l'amélioration des transferts thermique dans les lits d'hydrures est donc une des clés de leur développement. L'amélioration des échanges thermiques lors des réactions de charge et de décharge constitue un point très important quant au pilotage optimisé du réservoir (apport de calories, cinétique d'extraction/insertion de H₂ sous pression, contrôle de l'endothermicité / exothermicité...). D'où, un échangeur de chaleur, qui contrôle le flux thermique sera intégré dans le réacteur.

Ainsi l'objectif de cette étude est de voir l'effet des ailettes intégrés dans un échangeur spiral placé à l'intérieur du réacteur, qui permettra de réduire les zones des gradients de température qui se produisent à l'intérieur du lit d'hydrure et améliorera ainsi l'exécution du processus de sorption en réduisant le temps nécessaire pour le stockage et le déstockage complets de l'hydrogène.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental utilisé dans cette étude est présenté sur la figure 1. L'élément principal de ce dispositif est le réservoir de forme cylindrique est équipé d'un échangeur (deux configurations différentes) qui permet l'échange thermique entre le fluide caloporteur et le lit d'hydrure. Le fluide caloporteur est l'eau qui provient d'un bain muni d'un thermostat et d'un réfrigérateur. Un réservoir d'H₂ est utilisé pour l'alimentation d'hydrogène. Le vide dans les réservoirs est assuré par une pompe à vide. Les différents éléments du dispositif sont liés par des tubes en inox via des vannes étanches. Le dispositif expérimental, est instrumenté

par un capteur de pression, des thermocouples et une carte d'acquisition connectée à un ordinateur.

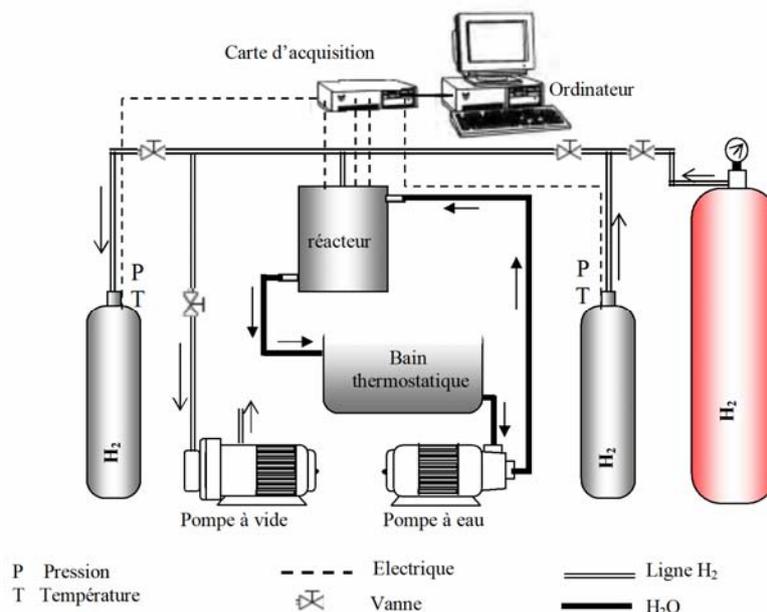


Figure.1 Dispositif expérimental

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

L'étude expérimentale de stockage de l'hydrogène dans les deux configurations suivante est effectuée :

- ✚ Configuration 1 : un réacteur équipé d'un échangeur spiral monté à l'intérieur du réservoir. (Figure 2-a)
- ✚ Configuration 2 : un réacteur équipé d'un échangeur spiral à ailettes monté à l'intérieur du réservoir. (Figure 2-b)

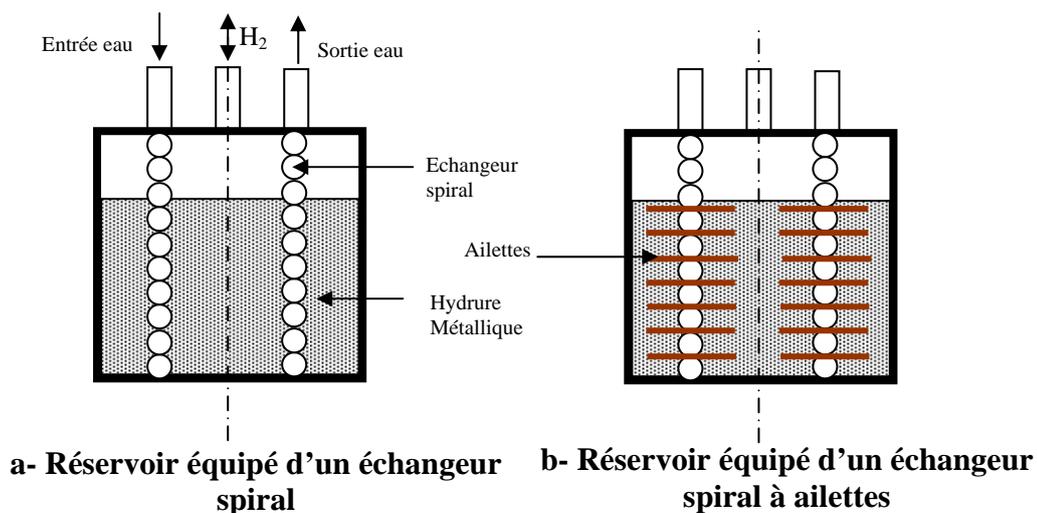


Figure .2 Réservoirs métal-hydrogène

La figure 3 montre les variations de température. On constate que la température augmente et puis diminue brusquement, tend graduellement vers la valeur de la température de fluide froid préréglée. En raison de la conductivité thermique faible du lit d'hydrure, la chaleur produite de l'absorption ne peut pas être transférée à partir du lit au fluide froid à la période initiale de l'absorption rapide et par conséquent la chaleur excessive est stockée dans le lit d'hydrure lui-même, ayant pour résultat une élévation soudaine de la température du lit, mais cette variation est moins importante pour un échangeur spiral à ailettes.

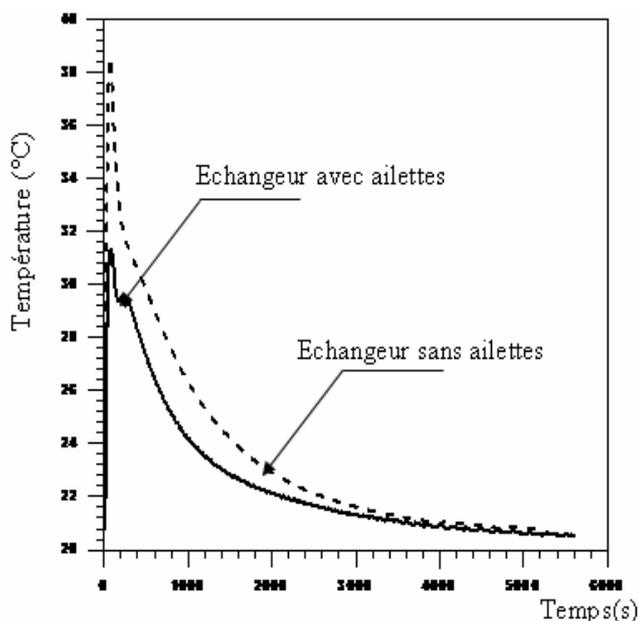


Figure 3- Variation de la température d'hydrure

On observe sur la figure 4 que pour une pression donnée d'alimentation, la pression dans le réservoir diminue graduellement vers une pression d'équilibre à la fin du processus d'absorption. Ceci provoque au début un potentiel de transfert de masse très élevé (différence entre la pression appliquée d'hydrogène et la pression d'équilibre). Pendant que le temps progresse, la pression d'équilibre augmente suite à l'augmentation de la température du lit sous l'effet de l'absorption d'hydrogène. Ceci réduit le potentiel de la cinétique et par la suite le ralentissement du taux d'absorption. L'absorption est continuée jusqu'à ce que la pression d'équilibre d'hydrure devient égale à la pression d'alimentation (potentiel de transfert nul).

Sur la figure 5 nous comparons la cinétique d'absorption de la même masse d'hydrogène pour les deux échangeurs. Comme prévu, les ailettes réduisent le temps de stockage d'hydrogène. Il est important de noter qu'un tube spiral annulaire placé à l'intérieur du réacteur avec des ailettes, a comme conséquence une amélioration considérable de l'exécution de processus d'absorption. Plus spécifiquement, le temps requis pour le stockage baisse environ à 1500 s, représentant une amélioration de 50% par rapport à l'échangeur sans ailettes qui a besoin d'un temps total de 750 s pour le stockage de 80 %.

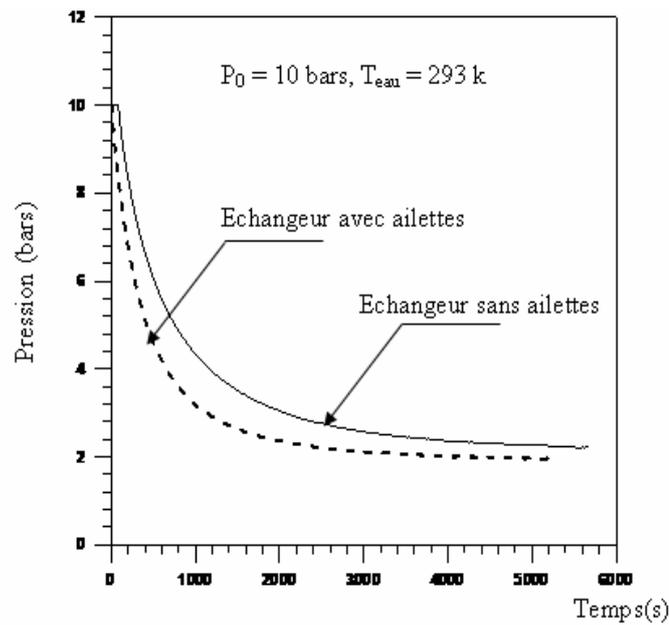


Figure 4- Variation de la pression dans le réservoir à base d'hydrure

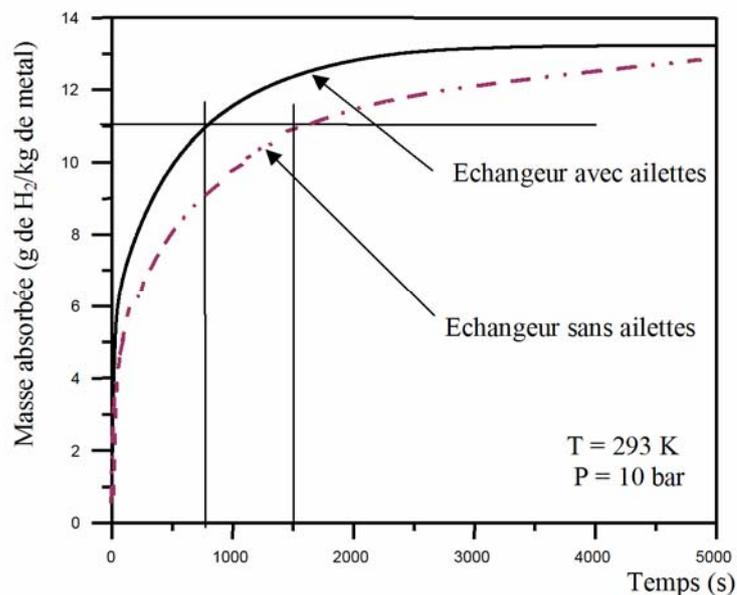


Figure 5- Comparaison de deux processus de stockage

4. CONCLUSION

Une étude du processus de stockage d'hydrogène a montré que le temps d'absorption dépend principalement du déplacement réussi de la chaleur dans le lit. Vu que la réaction d'absorption est exothermique, une configuration convenable d'échangeur de chaleur améliore considérablement le processus de stockage de l'hydrogène.

Les mesures effectuées montrent que le processus de stockage de l'hydrogène dans le LaNi_5 est considérablement amélioré par l'intégration d'un échangeur spiral avec des ailettes dans le réservoir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. A. Faouzi, A .Jemni., S .Ben Nasrallah. Prediction of transient heat and mass transfer in a closed metal-hydrogen reactor. *International Journal of Hydrogen Energy* (29):195-208, 2004.
2. S .Ben Nasrallah . and A. Jemni. Heat and mass transfer model in metal-hydrogen reactor *International Journal of Hydrogen Energy* (20) 197-203, 1994.
3. P. Muthukumar, Experiment on a metal hydride-based hydrogen storage device. *International journal of Hydrogen Energy* (30): 1569-1581, 1994.
4. A.Demircan, Experimental and theoretical analysis of hydrogen absorption in LaNi_5 - H_2 reactors. *International journal of Hydrogen Energy* (30): 1437-1446, 2005.
5. MR .Gopal., SS .Murthy. Prediction of a heat mass transfer in annular cylindrical metal beds. *International journal of Hydrogen Energy* 17(10): 795-805, 1992.
6. MR .Gopal., SS .Murthy. Studies on heat and mass transfer in metal hydride beds. *International Journal of Hydrogen Energy* 20(11); 911-7, 1995.
7. M. Sofiene, A. Faouzi, D.Houcine, A .Jemni., S .Ben Nasrallah. A novel design of a heat exchanger for a metal-hydrogen reactor. *International Journal of Hydrogen Energy* 32(15) 3501 – 3507,2007.
8. D.Houcine, A. Faouzi, A .Jemni., S .Ben Nasrallah. Measurement and modelling of kinetics of hydrogen sorption by LaNi_5 and two related pseudobinary compounds *International Journal of Hydrogen Energy*, 32, (5), April 2007, 576-587.
9. A. Faouzi, Ben Salah .M, A .Jemni., S .Ben Nasrallah. Optimization of hydrogen storage in metal-hydride tanks. *International Journal of Hydrogen Energy* ,34(2), 897– 905, 2009.