



Production d'hydrogène par cycles thermochimiques : Procédés en cours de développement

LASSOUANE Fatiha

Attachée de recherche

Division Hydrogène - Energie Renouvelable - CDER

E-mail : f.lassouane@cder.dz

Introduction

L'attrait fondamental de l'hydrogène, principal moteur des activités de recherche et développement actuelles, tient à ses avantages écologiques par rapport aux combustibles fossiles. En effet, l'hydrogène pourrait contribuer à réduire ou éliminer les émissions de dioxyde de carbone et autres gaz à effet de serre. Afin d'aboutir à cette perspective, il faudrait que le procédé de production de l'hydrogène soit exempt de carbone. Cette technologie vise des rendements élevés (>50%) par le recours à une source d'énergie qui peut être d'origine nucléaire ou solaire (cylindro-paraboliques, tours solaires, capteurs paraboliques (dish)) (Figure 1).

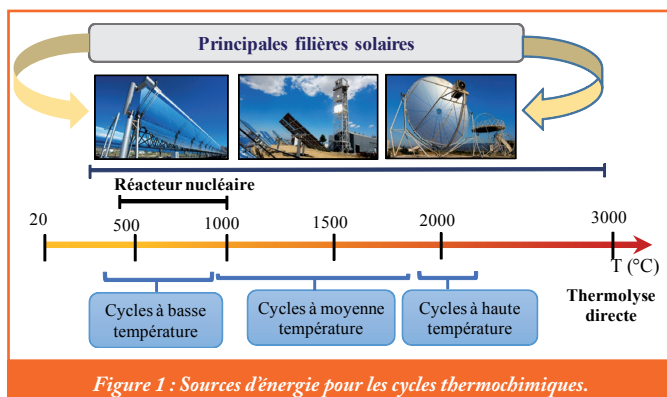
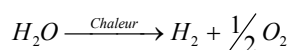


Figure 1 : Sources d'énergie pour les cycles thermochimiques.

Pourquoi les cycles thermochimiques ?

La dissociation thermochimique de l'eau, appelée également la thermolyse, nécessite une température élevée pour se décomposer en oxygène et en hydrogène. Cette température doit être supérieure à 2500 K pour obtenir des rendements raisonnables (Figure 1). En effet, des matériaux stables compatibles avec la température ainsi qu'une source de chaleur durable à cette température ne sont pas facilement disponibles. Ce qui rend cette réaction de dissociation difficilement envisageable au niveau industriel.



En outre, cette méthode directe de dissociation de l'eau à haute température nécessite une technique efficace de séparation de H_2 et O_2 , afin d'éviter la formation d'un mélange explosif.

L'énergie libre ΔG de la réaction de décomposition de l'eau n'atteint pas zéro jusqu'à une température de 4310 K et une pression de 1 bar. A cette température de fonctionnement, la molécule d'eau se dissocie à 100 % (1).

La mise en œuvre de réactions intermédiaires permet d'abaisser significativement la température de dissociation directe de l'eau, d'où l'intérêt des cycles thermochimiques.

Principe des cycles thermochimiques

Le principe des cycles consiste à dissocier la molécule d'eau par des réactions chimiques successives en introduisant certains composés chimiques (S, I, Br, Ca, Cu,...) qui sont restitués au cours des réactions, pour être réutilisés en boucle fermée dans le procédé. La succession de réactions aboutit à la formation d'hydrogène et d'oxygène (Figure 2). La réaction de base produisant de l'hydrogène et de l'oxygène est endothermique ; elle est complétée par une ou deux réactions exothermiques qui restituent les substances chimiques à leur état initial (pression et température) et produisent de l'hydrogène (2).

D'après la littérature, environ 280 cycles thermochimiques ont été référencés. Le tableau 1 résume quelques cycles parmi ceux qui semblent actuellement les plus prometteurs, sur le point technique et économique pour un développement industriel.

Classification des cycles thermochimiques

Cycle	Élément chimique	Etape	Température max (°C)	Rendement (%)
Iode-Soufre (I-S)	I, S	3	850	30-50
UT-3	Br, Ca, Fe	4	750	40-50
Oxyde-Zinc	Zn	2	1800	45
Hybride de Soufre (HyS)	S	2	>850	40-50
Hybride Cu-Cl	Cu, Cl	4	550	40-50

Les cycles thermochimiques peuvent être classés en deux catégories:

1 - Cycles thermochimiques pures qui utilisent seulement de la chaleur et de l'eau pour réaliser la décomposition.



- Cycle thermochimique iode-soufre (I-S)

Le cycle iode-soufre (cycle I-S) est aujourd'hui considéré comme le cycle thermochimique potentiellement le plus intéressant.

Ce procédé, illustré dans la figure 2A, a été proposé par General Atomic, USA, vers la fin des années 70. Le cycle iode-soufre fait appel à trois réactions et est basé sur la décompo-



sition de deux acides à haute température : l'acide sulfurique qui produit de l'oxygène et du SO₂ (dioxyde de soufre) et l'acide iodhydrique qui produit de l'hydrogène et de l'iode.

et présente l'avantage de ne faire appel qu'à un seul élément intermédiaire, le soufre, qui est très abondant.

Ce procédé peut être considéré comme une variante du procédé iode-soufre dans laquelle les deux dernières réactions sont remplacées par l'électrolyse du dioxyde de soufre (3).

L'iode et le dioxyde de soufre réagissent à basse température

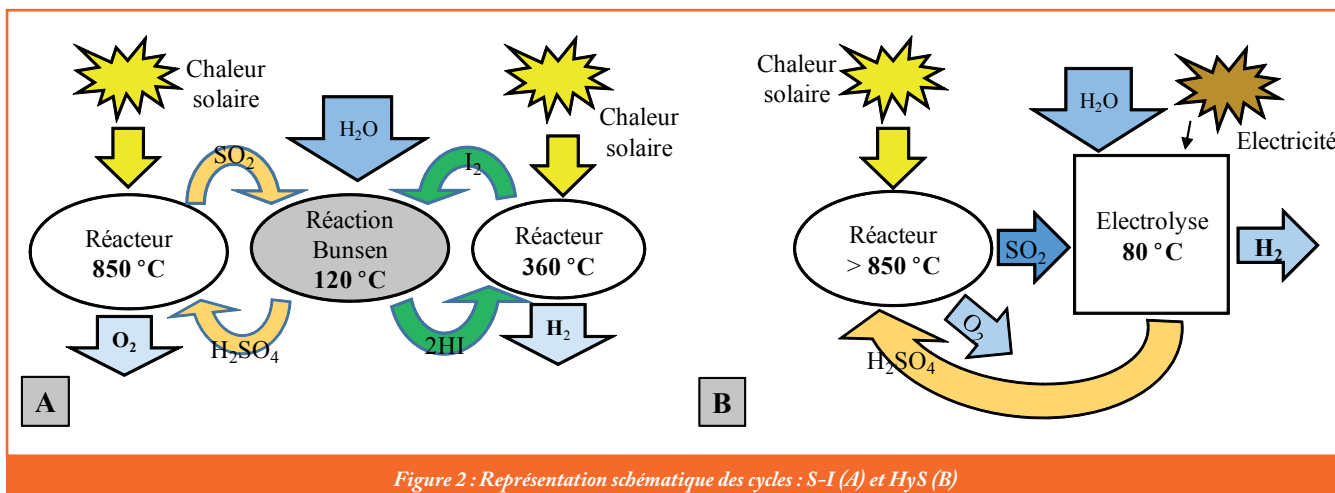
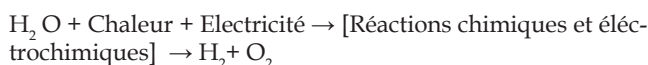


Figure 2 : Représentation schématique des cycles : S-I (A) et HyS (B)

en présence d'eau pour régénérer ces deux acides (réaction de Bunsen). Le bilan global est donc bien une dissociation de l'eau en hydrogène et oxygène catalysée par l'iode et le soufre (1,3).

2 - Cycles thermochimiques hybrides (thermo-électrochimiques) qui utilisent, en plus de la chaleur, une petite quantité d'électricité pour conduire les réactions électrochimiques (1). Ces cycles sont décrits par la réaction suivante :



L'intérêt de ces cycles réside dans les perspectives de contournement partiel des difficultés associées à la thermochimie et à l'électrolyse car en réduisant le nombre de substances chimiques, on réduit le nombre de processus de séparation des phases et des constituants ainsi que la quantité de matières qui est nécessaire à faire circuler. En plus, il est possible de réduire, au niveau de l'électrolyseur, la tension électrique et donc les pertes par effet joule (4). Parmi ces cycles électrothermochimiques, le cycle hybride de soufre est décrit brièvement ci-dessous :

- Cycle hybride de soufre (Westinghouse)

Ce cycle hybride a été développé par Westinghouse Electric Co, USA en 1975, appelé cycle hybride de soufre (HyS) ou cycle de Westinghouse (Figure 2B). Celui-ci est parmi les cycles hybrides les plus étudiés ; Il est prometteur, simple

Conclusion

Les études réalisées jusqu'à présent sur la production d'hydrogène par cycles thermochimiques ont permis d'évaluer la faisabilité de différents cycles à l'échelle du laboratoire et éventuellement une extrapolation à l'échelle industrielle. Ces procédés de dissociation de l'eau offrent une perspective intéressante en utilisant l'énergie solaire concentrée ; ce qui motive l'équipe énergie multi sources et stockage de la division Hydrogène- Energie Renouvelable à se lancer dans cette voie afin de développer des procédés adaptés à nos conditions climatiques, d'autant plus que l'Algérie est considérée comme l'un des pays du monde possédant des potentialités exceptionnelles en matière d'énergie solaire.

Références

1. C. A. Grimes, O. K. Varghese, S. Ranjan, 2008 : light, water, hydrogen, Springer Berlin Heidelberg, Springer, 546 p.
2. M. Dicko, F. Darkrim-Lamari, 2013 : Combustible hydrogène- Production, Technique de l'ingénieur, BE8565, 19 p.
3. K.T. Ghosh, M. A. Prelas, 2011: Energy resources and systems, vol 2 : Renewable resources, Springer, 810 p.
4. Mémento de l'hydrogène, 2012 : Production d'hydrogène par dissociation de l'eau à partir d'un réacteur nucléaire. CEA - AFHYAPAC, 7 p.