

L'ammoniac : atout ou obstacle à la transition énergétique ?

T. Belmonte

Université de Lorraine, CNRS, IJL, F-54000 Nancy, France

thierry.belmonte@univ-lorraine.fr

L'ammoniac (NH_3) est avant tout un engrais azoté qui contribue à améliorer les rendements des cultures agricoles. Mais c'est aussi depuis peu un vecteur d'énergie sans carbone. Fin 2022 a eu lieu le premier convoi accrédité d'ammoniac destiné à la production d'électricité, expédié depuis l'Arabie Saoudite vers la Corée du Sud. Depuis, d'autres acteurs mondiaux, comme Yara et plus récemment Air Liquide, ont investi dans des procédés de craquage de l'ammoniac pour produire de l'hydrogène à partir de NH_3 .

L'ammoniac contient plus d'hydrogène que l'hydrogène moléculaire lui-même et se transporte bien plus facilement puisqu'il se liquéfie à -33°C contre -253°C pour H_2 . Il peut également être pressurisé à 20 bar seulement contre 300 bar pour l'hydrogène. Surtout, il tire parti de l'infrastructure mondiale existante pour son commerce en tant qu'engrais et permettre cette nouvelle utilisation sans investissement supplémentaire.

L'ammoniac est une molécule dangereuse dont la manipulation nécessite de prendre des précautions drastiques, mais son usage quotidien est encadré, ce qui permet le transport d'environ 15 millions de tonnes par an.

Actuellement, le craquage de l'ammoniac est réalisé par des procédés catalytiques activés thermiquement qui consomment typiquement une dizaine de kWh par kg d'hydrogène produit. L'utilisation de plasmas constitue une alternative aux voies thermiques, en particulier dans les cas où les conditions locales de production interdisent une exploitation continue, par exemple lorsque des sources d'énergie intermittentes sont nécessaires.

Plusieurs études ont exploré la faisabilité du craquage de l'ammoniac en utilisant des décharges à barrière diélectrique ou des décharges à arc électrique. Une étude menée par Lin *et al.* a établi que la décomposition par plasma assistée par des catalyseurs atteint d'ores et déjà des rendements énergétiques de l'ordre de 10 kWh/kgH_2 ,¹ soit aussi bien que ce que l'on trouve avec des procédés thermiques. Sans catalyseur, le même procédé voit son bilan énergétique augmenter légèrement, à 16 kWh/kgH_2 . L'intérêt de se passer de catalyseurs est principalement de pouvoir utiliser le procédé avec des apports d'énergie discontinus.

En utilisant un plasma micro-ondes à relativement haute pression (jusqu'à 400 mbar), et dans l'objectif de l'utiliser à pression atmosphérique, nous avons obtenu des rendements de conversion très satisfaisants, avec des taux de craquage de NH_3 proches de 100%, et des rendements énergétiques convaincants, de l'ordre de 30 kWh par kg d'hydrogène produit.

¹ Lin, Q. F., Jiang, Y. M., Liu, C. Z., Chen, L. W., Zhang, W. J., Ding, J., & Li, J. G. (2021). Instantaneous hydrogen production from ammonia by non-thermal arc plasma combining with catalyst. *Energy Reports*, 7, 4064-4070

Nos travaux² ont permis d'établir que, lorsque l'ammoniac est craqué dans une décharge micro-ondes, trois mécanismes principaux sont responsables de la décomposition de NH_3 :

- Le craquage thermique : la décharge atteint des températures suffisamment élevées pour décomposer thermiquement l'ammoniac.
- La dissociation non thermique : elle se produit dans le volume du plasma par des collisions d'électrons et des échanges avec des espèces excitées.
- Les processus de surface : bien qu'ils soient limités à haute pression, ils restent non négligeables dans ce contexte.

La chaleur résiduelle générée par la décharge peut être exploitée dans la proche post-décharge, sur une distance où la température dépasse le seuil nécessaire au craquage des NH_x . Cela améliore le taux de dissociation, qui pourrait être encore augmenté en utilisant des catalyseurs *ad hoc*, ce qui n'est pas forcément souhaité.

L'augmentation de la pression, du débit et de la puissance absorbée pourrait donner des résultats comparables à ceux de Lin *et al.* [Lin2021] (voir **Figure 1**). Cependant, cela nécessiterait une nouvelle conception du réacteur afin de limiter le chauffage excessif autour de la zone de plasma et d'empêcher la fusion du tube de silice fondue qui peut intervenir lorsque la puissance déposée devient excessive. De nouvelles conceptions seront étudiées dans de futurs travaux.

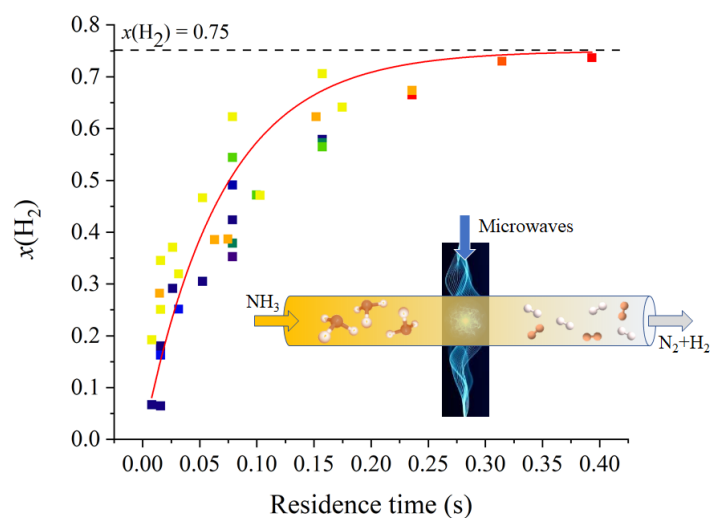


Figure 1 : Evolution de la fraction d'hydrogène moléculaire produit par dissociation d'ammoniac par un plasma micro-ondes sous pression réduite (400 mbar) Le code couleur correspond à des puissances différentes variant entre 320 W (bleu foncé) et 770 W (rouge).

En conclusion, produire de l'hydrogène à partir de l'ammoniac peut être envisagé par différentes voies avec des rendements énergétiques comparables. Toutefois, la démarche consistant à utiliser de l'hydrogène issu du craquage de l'ammoniac sera nécessairement problématique à moyen terme si l'on ne trouve pas d'alternative au procédé Haber-Bosch qui consiste à produire de l'ammoniac... à partir de l'hydrogène. Lorsqu'il sera possible de former NH_3 à partir d'eau notamment avec des rendements suffisamment élevés et à moindre coût énergétique, la situation sera alors très différente. L'ammoniac pourra alors peut-être apparaître comme un vecteur d'énergie vertueux sur le long terme.

² Awaji, M., Pentecoste-Cuynet, L., Noël, C., Gries, T., Belmahi, M., & Belmonte, T. (2025). Ammonia cracking by microwave plasma under reduced pressure. *International Journal of Hydrogen Energy*, 119, 377-385.