



«Gestion des risques industriels »

NEWS 61 – Nov 2022

Newsletter N°61 : TRAVAILLER SOUS HYDROGENE PRESSURISE

L'hydrogène devrait être l'une des énergies prometteuses utilisées au 21^e siècle. Face à l'émergence de cette nouvelle énergie, de nombreuses questions se posent quant à sa production, son stockage, sa distribution et son utilisation finale.

Pour chaque activité, il est fort probable que l'on sera amené à réfléchir sur la mise en place de systèmes évoluant sous hydrogène pressurisé, bien que d'autres voies existent ; prenons l'exemple du stockage sous la forme liquide dans le spatial ou sous la forme solide actuellement à l'étude par adsorption sur des nanotubes de graphène ou par absorption en formant des hydrures métalliques.

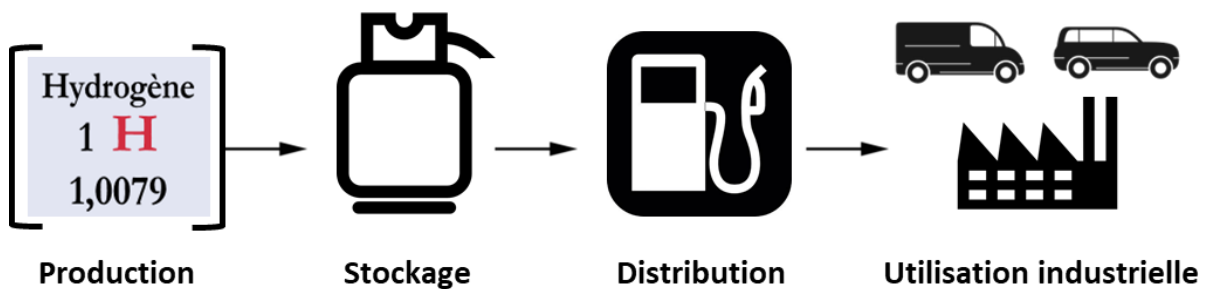


Figure 1 : Réflexion globale associée à l'utilisation de l'hydrogène comme source énergétique.

En ce qui concerne l'utilisation finale de l'hydrogène deux grands secteurs d'activité émergent concernant les applications à forts potentiels : le transport (avec des moteurs à combustion interne à l'hydrogène ou nécessitant une pile à combustible) et la production d'électricité et de chaleur via les (Turbines à l'hydrogène, chaudières, ...).

Pour ce qui concerne la distribution et l'utilisation de l'hydrogène, deux voies sortent actuellement du lot : celle qui permet d'utiliser le réseau de gaz naturel auquel on ajouterait une petite quantité de dihydrogène et celle travaillant avec 100% hydrogène. Avec ce dernier scénario, de nombreux problèmes de compatibilité matériaux vont se poser pour la fabrication de produits intégrés aux équipements sous pression tels que les compresseurs, les turbines, les détendeurs, les vannes, les capteurs, les injecteurs, les réservoirs, ...

Le travail à l'état gazeux sous haute pression (quelques barres à 700bar pour les réservoirs de stockage visé dans le cadre des activités en lien avec la mobilité) nécessite d'avoir une réflexion d'ordre métallurgique concernant l'atteinte des exigences en termes de résistances mécaniques nécessaires aux conditions de fonctionnement, la tenue aux chocs et la compatibilité des alliages sélectionnés en présence d'hydrogène.



«Gestion des risques industriels »

NEWS 61 – Nov 2022

I. Impact de l'hydrogène sous pression dans un matériau métallique.

Tout comme nous l'avons observé sur des éprouvettes chargées par voies électrolytiques ou chimiques (cf. texte l'Hydrogène et les défis technologiques), la présence de dihydrogène gazeux tend à réduire la capacité de l'acier à se déformer. (cf. figure 2)

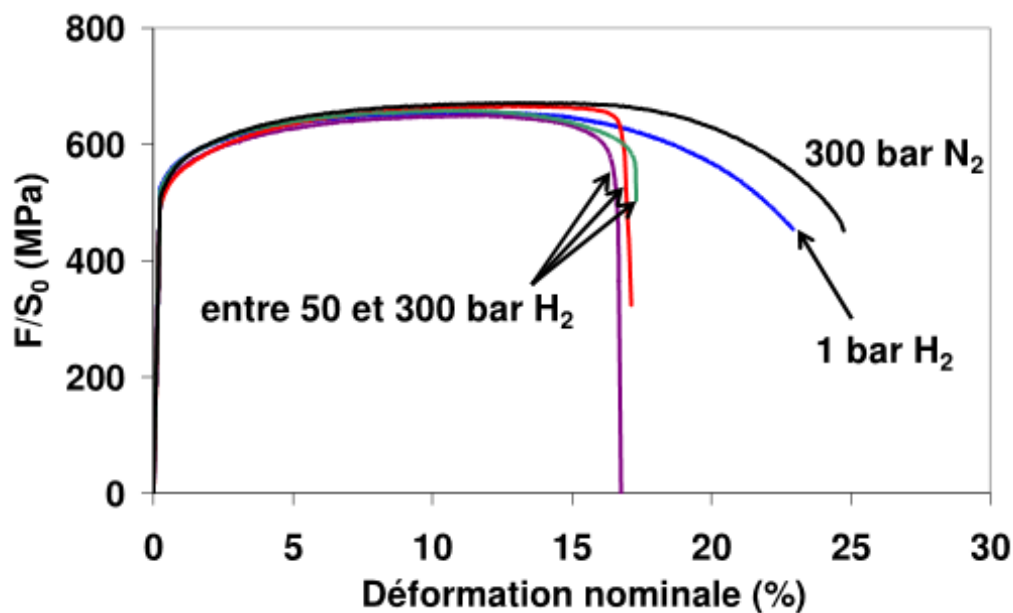
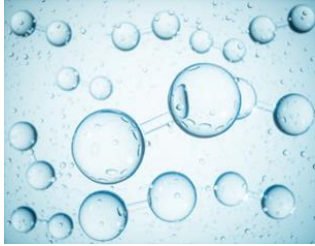


Figure 2 : Evolution de courbes de traction d'un acier dans différents conditions de travail.
[Thèse Moro 2009]

Dans le cas d'une sollicitation monotone, on observe une fragilisation importante, avec des courbes de traction quasi identiques entre 50 et 300 bar. Pour 1% de H₂, on observe encore nettement le domaine plastique.

Si on se place en sollicitation dynamique, on s'aperçoit que l'hydrogène influence sur les mécanismes de fatigue en augmentant la vitesse de propagation d'une fissure (da/dN) pour un facteur de concentration des contraintes donné ($\Delta K = K_{max} - K_{min}$). (cf. figure 3)



«Gestion des risques industriels »

NEWS 61 – Nov 2022

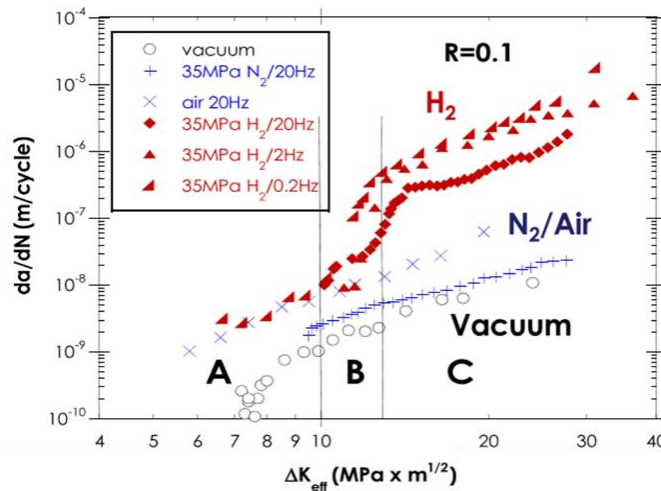


Figure 3 : Effet de l’environnement sur la propagation de fissures d’un acier.
[article Bilotta 2016]

On peut également constater que la fréquence de travail va avoir un impact sur la nocivité de l’hydrogène sur la propagation de la fissure de fatigue.

On peut également s’interroger sur l’impact de gaz résiduels associés à l’hydrogène sous pression sur le comportement en fatigue des matériaux métalliques. Les essais de ténacité menés sur un acier réalisés par le CEA Liten [article Briottet 2019], nous permettent de confirmer qu’une faible teneur en hydrogène (1%) dans un milieu azoté (P=85bar) entraîne une évolution marquée au niveau de la propagation des fissures (Cf. figure 4).

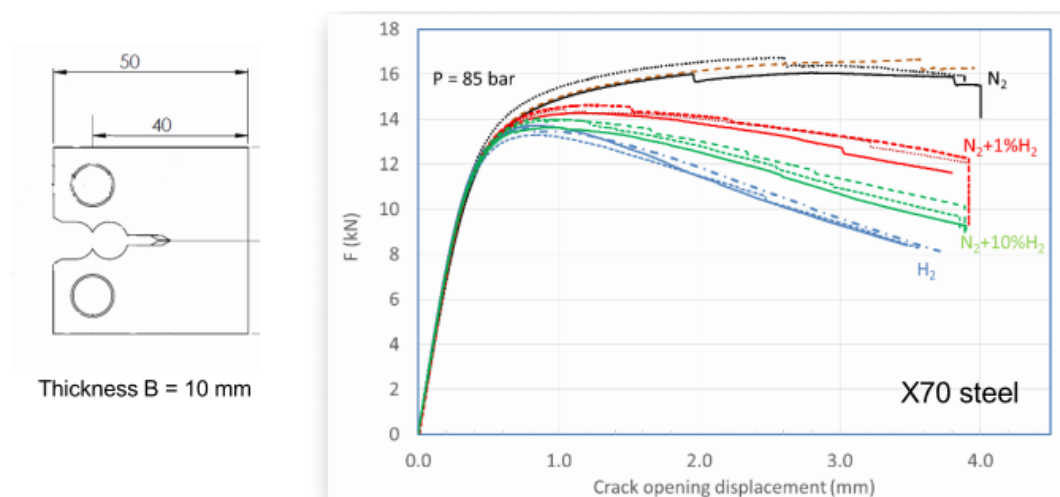


Figure 4 : Essai de ténacité en milieu plus ou moins hydrogéné.



«Gestion des risques industriels »

NEWS 61 – Nov 2022

Il est intéressant de confirmer qu'un essai sous hydrogène pur a des résultats assez proches d'un essai sous azote contenant seulement 10% de dihydrogène, cependant l'analyse fractographique montre des différences en termes de faciès de rupture.

Si l'on se place dans une toute autre configuration mécanique qu'une pièce sollicitée en fatigue : un système rigide d'un point de vue mécanique évoluant sous des pressions de dihydrogène croissantes, des chercheurs du centre de recherche d'Air Liquide ont mis en évidence sur un banc CTE dans les laboratoires d'Air liquide, que l'état de surface des éprouvettes pouvait avoir un rôle important sur les pressions de rupture mesurées. (cf. figure 5)

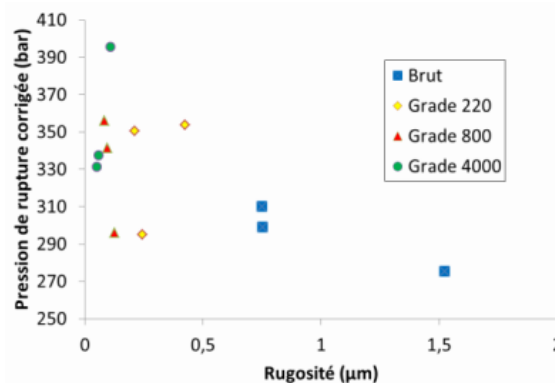


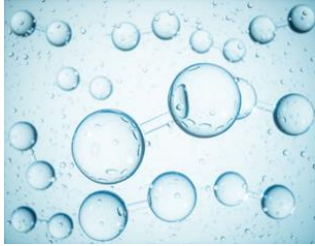
Figure 5 : Pression de rupture sous H₂ en fonction de la rugosité des disques.
[article Ardon 2006]

En fonction de l'état de surface, les fissures générées par cette mise en pression croissante vont soit suivre la topologie de surface, si la rugosité est importante, soit être liées à la structure métallurgique.

Nous vous proposons d'étudier ensemble les systèmes travaillant sous hydrogène pressurisé qui vous intéressent qu'ils soient statiques ou dynamiques en étudiant l'impact sur les caractéristiques mécaniques ou sur la tenue en fatigue. Nous ne manquerons pas de prendre en compte l'état de surface, la composition des gaz additionnels, sans oublier la forme des produits sollicités et bien d'autres paramètres interagissant avec l'hydrogène sur le comportement mécanique de vos produits.

Si vous êtes intéressés par l'ensemble de ces problématiques prenons le temps d'en discuter !

Alexandre FLEURENTIN
Matériaux Métalliques
Traitements thermiques & Traitements de surface



LES EXPERTS



NOS PRESTATIONS

«Gestion des risques industriels »

NEWS 61 – Nov 2022

BIBLIOGRAPHIE

- [Ardon 2006] K. Ardon, Y. Charles, M. Gaspérini, J. Furtado, D. Sallais, « une analyse numérique et expérimentale de l'essai de disque : cas de l'acier 35CrMo4 », WHEC à Lyon, juin 2006.
- [Bilotta 2016] G. Bilotta, G. Benoit, and all, 2016 international Hydrogen conference.
- [Briottet 2019] L. Briottet, « Comportement mécanique des alliages métalliques sous hydrogène gazeux – Chargement monotone », Rencontre CEFRACOR, 12.11.2019.
- [Moro 2009] I. Moro, « Fragilisation par l'hydrogène gazeux d'un acier ferrito-perlitique de grade API X80 », thèse Université de Toulouse, 13/11/2009.