



«Gestion des risques industriels »

NEWS 60 – Sept 2022

**Newsletter N°60 : L'HYDROGENE & LES MATERIAUX METALLIQUES****I. Un triptyque essentiel.**

L'absorption de l'hydrogène dans un métal résulte de sa mise en contact avec différentes sources possibles d'hydrogène soit sous la forme gazeux (dihydrogène  $H_2$ ) ou soit issu d'une espèce hydrogénante ( $H_2O$ ,  $H_3O^+$ ,  $H_2S$ , ...). Ces espèces sont présentes en solution à l'état de gaz dissous, lors d'une électrolyse à la cathode ou résultent des phénomènes de réduction associés à des processus de corrosion, on parle de décharge cathodique de l'hydrogène. La fragilisation par l'hydrogène (FPH) nécessite, la plupart du temps, la coexistence de 3 facteurs (Cf. figure 1) :

- Une concentration d'hydrogène, qu'elle soit interne (due aux processus de fabrication et d'élaboration de l'acier) ou environnementale (introduite par le milieu, exemples : protection cathodique, milieu  $H_2S$ , mécanismes de corrosion générant de l'hydrogène (pique, corrosion caverneuse, ...), stockage sous hydrogène pressurisé),
- Une contrainte (qu'il s'agisse de la contrainte appliquée, des contraintes résiduelles),
- Une susceptibilité du matériau à la fragilisation.

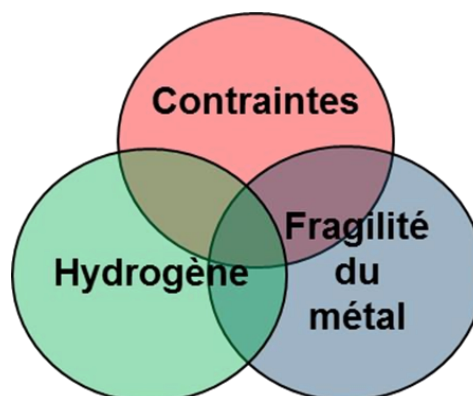


Figure 1 : Les 3 composantes de la FPH.

Prenons l'exemple du problème de la fissuration à froid rencontré en soudage, l'hydrogène est issu de la décomposition des produits de soudage et de l'atmosphère, la structure est sensible à cet endommagement dans la zone affectée thermiquement lorsque celle-ci s'est transformée en une phase fragile et pour finir le joint soudé est précontraint compte tenu des cinétiques de température et des transformations métallurgiques associées au procédé de soudage.



## II. Les interactions entre hydrogène et la matrice métallique.

Une fois l'hydrogène absorbé dans le matériau métallique, il est nécessaire de faire la différence entre les différentes formes d'existence de l'hydrogène que l'on peut trouver dans la matrice, afin d'évaluer le degré de nocivité associé à l'interaction H-métal.

En diffusant dans la structure métallurgique, les atomes d'hydrogène vont être plus ou moins piégés. Cette mobilité dépend de la structure cristallographique et des défauts cristallins qui la composent : lacunes, dislocations, précipités, inclusions, joints de grains, ... (cf. figure 2)

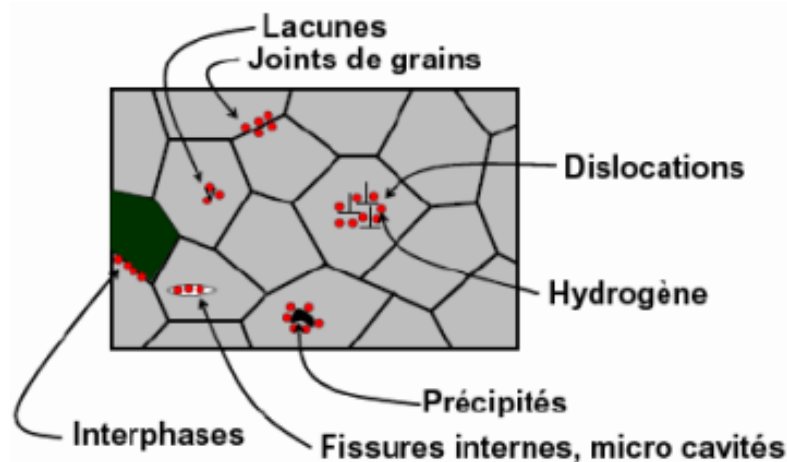


Figure 2 : Présentation schématique de différents types de défauts (ou sites de piégeage).

Il est également possible que les atomes d'hydrogène précipitent pour former des gaz ou de nouvelles phases métallurgiques (solide) :

- En dihydrogène ( $H_2$  gazeux), soit au moment de l'élaboration lors d'une transition de phases cristallographiques associée à fort écart de solubilité, soit au voisinage d'un défaut type (porosité, fissure, ...) lorsque la densité locale en hydrogène est importante (Loi Sieverts).
- En méthane ( $CH_4$  gazeux) par la décomposition des carbures à hautes températures et sous hautes pression d'hydrogène ; ce phénomène est appelé HTHA (High Temperature Hydrogen Attack).
- En hydrures métalliques, lorsque l'hydrogène est associé à des éléments de la colonne Vb de la classification de Mendeleïev (V, Nb, Ta) ou avec le titane et le zirconium.



### III. Impact de l'hydrogène sur les propriétés mécaniques.

Certaines interactions avec les éléments constitutifs de la structure métallurgique vont avoir un impact néfaste sur les propriétés mécaniques des pièces hydrogènes et également sur la durée de vie des produits sollicités thermiquement et mécaniquement parlant : accentuation des dégradations par fluage, corrosion, fluage, ...

Prenons par exemple le cas d'un acier durci dans lequel nous allons ajouter par voie chimique de l'hydrogène, on s'aperçoit qu'en faisant varier le temps de chargement (de 1h à 7h), le domaine plastique de la courbe de traction de cet alliage Fe-C diminue en fonction de la quantité d'hydrogène introduite. (cf. figure 3)

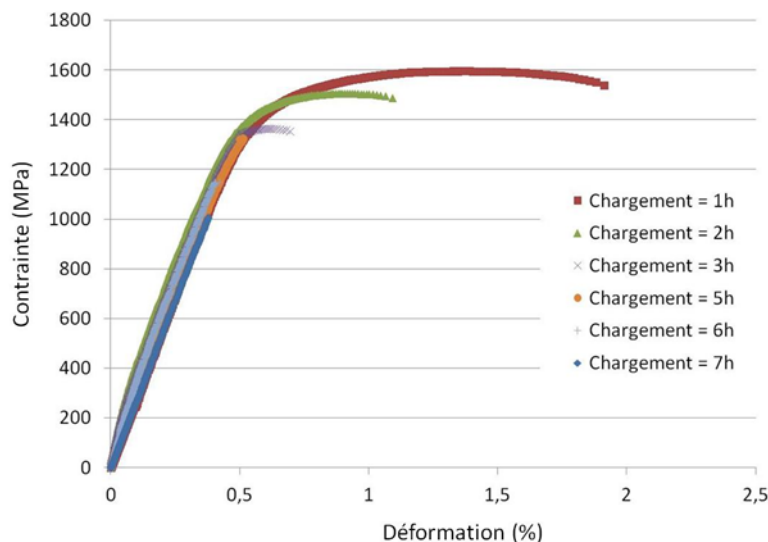


Figure 3 : Mise en évidence de la fragilisation par l'hydrogène par un essai de traction sur un acier durci et chargé en hydrogène entre 1h et 7h.

On s'aperçoit que plus l'acier est chargé en hydrogène et plus sa capacité à se déformer s'amointrie pour ressembler à des alliages caractérisés par leur grande fragilité comme la fonte ou les aciers outils. On parle de perte de ductilité associée à l'absorption d'hydrogène. Pour limiter les difficultés décrites dans cet article, il existe de nombreuses solutions en travaillant sur le choix des matériaux métalliques, les caractéristiques mécaniques visées, la mise en place de revêtements en effet barrière ou stockage ou en travaillant sur des systèmes de dégazage ou piégeage de l'hydrogène.

De la conception à l'utilisation en passant par la gamme de fabrication, il est nécessaire de se poser les bonnes questions face à l'impact de l'hydrogène sur les matériaux métalliques. (cf. figure 4)



«Gestion des risques industriels »

**NEWS 60 – Sept 2022**

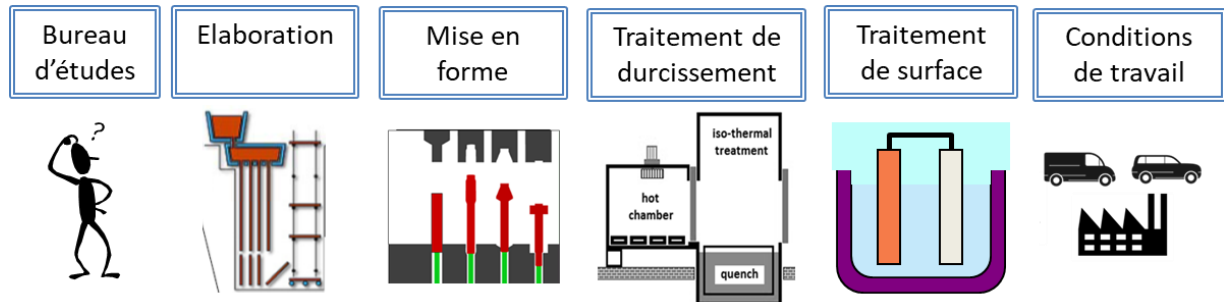


Figure 4 : Réflexion globale de la problématique de la fragilisation par l'hydrogène.

Nous vous proposons d'étudier ensemble les systèmes hydrogénés qui vous intéresse et les remèdes envisageables face aux problématiques de fragilisation par l'hydrogène que l'on peut rencontrer dans différents cas : l'absorption d'hydrogène lors de l'élaboration, au cours du processus de fabrication (soudage, traitements thermiques, revêtements électrochimiques, ...) ou lors d'une utilisation dans un milieu à risque comme l'hydrogène pressurisé, le sulfure d'hydrogène...

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

Alexandre FLEURENTIN  
 Expert près de la cour d'appel de Paris  
 Matériaux Métalliques  
 Traitements thermiques & Traitements de surface