

Projet "CATHY-GDF" 2005-2009

Caractérisation des Aciers pour le Transport de l'Hydrogène

Référence aide : ANR-05-PANH-006

Projet labellisé par le pôle Tennerdis

Partenariat : GDF SUEZ, CRIGEN St-Denis la Plaine
CEA LITEN, LTH Grenoble et LTA Saclay

Air Liquide, CTE Le Blanc Mesnil
CNRS, Université Paris 13, LIMHP Villetaneuse

Contact : remi.batisse@gdfsuez.com

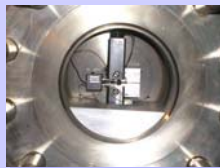
Contexte et objectifs

Dans l'hypothèse d'une économie 'hydrogène', le transport par canalisations serait une option pour distribuer massivement de l'hydrogène pur. Cela peut impliquer la construction d'une nouvelle infrastructure avec des investissements très lourds. Pour diminuer ces coûts, le projet CATHY s'intéressait aux canalisations dites à 'haute nuance'. Ces canalisations émergentes nécessitent en effet moins d'acier que des canalisations classiques or le coût est très intimement lié à la tonne d'acier par kilomètre de canalisation. Une telle infrastructure aiderait à considérer l'hydrogène comme vecteur d'énergie. Les objectifs du projet étaient donc de :

- ❖ Évaluer l'aptitude d'un acier haute résistance à transporter de l'hydrogène sous pression et proposer une recommandation pour son emploi,
- ❖ Monter en compétence et en moyens d'essais de laboratoire en milieu pressurisé hydrogène,
- ❖ Développer un outil simulant expérimentalement sur structure intermédiaire ("virole", i.e. tronçon) le comportement d'un gazoduc hautement pressurisé en hydrogène.

Réalisations principales

Machine d'essais sur éprouvettes sous pression d'hydrogène (LTH Grenoble)



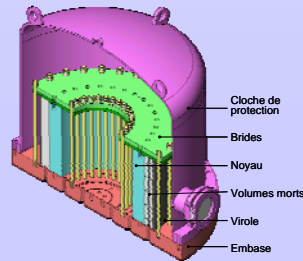
Détail du montage d'une éprouvette de type CT avec extensomètre COD

Machine hydraulique MTS 250 kN et autoclave SPG 350 bar H₂ adapté aux essais de traction, de fatigue oligocyclique et de mécanique de la rupture (ténacité)

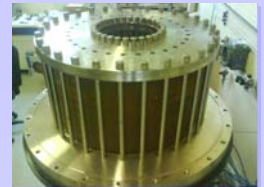
Banc d'essais sur viroles sous pression d'hydrogène (LIMHP Villetaneuse)



Types de défauts sur viroles



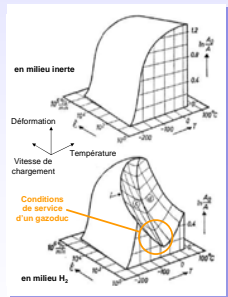
Banc d'essais sur viroles 36" (Ø 914,4) L 500 mm (endommagées ou non) sous chargement monotone (300 bar) ou cyclique (40-100 bar)



Résultats principaux

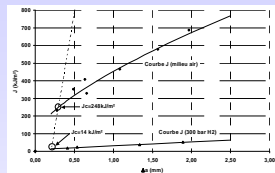
Cas d'un acier de nuance X80

- ⊕ Plus haute nuance déjà utilisée pour le transport du gaz naturel,
- ⊕ Économie possible de 5 à 20 % sur le coût de transport à pression égale,
- ⊕ Risque de fragilisation par l'hydrogène et de tolérance réduite aux défauts,
- ⊕ Recommandation EIGA 2004 (Hydrogen Transportation Pipelines): limitation à la nuance X52.



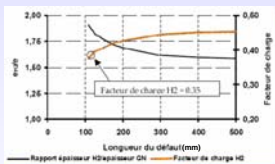
Capacité de déformation d'un acier de construction en milieu inerte et H₂

Courbes comparatives de propagation de fissure (ténacité J vs avancée Δa) sous air et sous H₂ à 300 bar



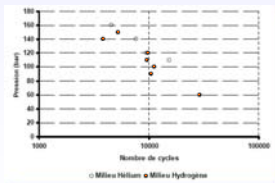
La comparaison des courbes J en milieu air et hydrogène à 300 bar montre une chute significative de la ténacité de l'acier X80 sous pression d'hydrogène gazeux qui va avoir une influence sur le dimensionnement des tubes de gazoducs.

Rapport des épaisseurs d'un tube 36" nécessaires pour contenir des défauts sévères (fissure axiale débouchant en paroi) sous H₂ et sous gaz naturel à 120 bar et facteur de charge résultant



La prise en compte de la chute de ténacité conduit à un facteur de charge propre à l'exploitation de canalisations opérant sous pression élevée d'hydrogène.

Nombres comparatifs de cycles à défaillance entre essais de cyclage de disques en milieux inerte et H₂



En chargement variable, la durée de vie diminue davantage en milieu H₂ qu'en milieu inerte. Les inspections des canalisations seraient donc à prévoir en fonction des nombres de cycles à défaillance en milieu H₂.

Communications

Hydrogen compatibility tests with metallic materials according to ISO 11114-4: new test results using method C. H. Barthélémy, Comité de normalisation ISO/TC 58/WG7, 28-29 fév. 2008.
Interaction between hydrogen, microstructure and damage under high-pressure hydrogen environment on high-strength pipeline steel, I. Moro et al., Int. Hydrogen Conf., 7-10 sept. 2008, Jackson Hole, USA.
Investigation of X80 steel grade for hydrogen gas transmission pipelines, R. Batisse et al., 6th Int. Gas Union Research Conf., 8-10 oct. 2008, Paris.
Banc d'essais sur virole sous pression d'hydrogène, P. Langlois et al., Les verrous technologiques dans l'expérimentation haute pression, éd. MRCT, N° ISBN 2-9524623-0-5, 2009, pp. 175-178.
Ability of X80 steel for hydrogen gas transmission pipelines - CATHY-GDF project, R. Batisse et al., 12th Int. Conf. On Fracture, 12-17 juil. 2009, Ottawa CDN.

Recommandation à l'issue du projet :

- ❖ Un facteur maximal de charge égal à 0,35 est à recommander pour le dimensionnement de canalisations de transport de l'hydrogène en acier de qualité équivalente à celle étudiée,
- ❖ Avec ce facteur de charge, l'économie liée au choix de tubes en nuance X80 pourrait être de 30 % par rapport aux nuances actuellement utilisées pour le transport de l'hydrogène.