Mesure de pressions partielles de gaz par diffusion Raman spontanée - application à la gestion du risque hydrogène en situation d'accident nucléaire grave

S. Magne[1], S. Nehr[1], X. Buet[1], A. Bentaïb[2], E. Porcheron[3], R. Grosseuvres[2], E. Studer[4], R. Scarpa[4], D. Abdo[4], J.L. Widloecher[4], O. Norvez[4], N. Chaumeix[5], A. Ruffien-Ciszak[6], J. Dhote[6], M. Freyssinier[6]

[1] CEA, LIST, Laboratoire Capteurs Architectures Electroniques, F-91191 Gif-sur-Yvette France
[2] IRSN, PSN-RES/SAG, BP17, F-92262 Fontenay-aux-Roses, France
[3] IRSN, PSN-RES/SCA, BP68, F-91192 Gif-sur-Yvette, France
[4] CEA/DEN/DANS/DM2S/SFME/LTMF, CEA/SACLAY F-91191 Gif-sur-Yvette, France
[5] Institut ICARE, 1C Route de la recherche scientifique, F-45071 Orléans, France
[6] ARCYS, 14 Place Marcel Dassault, F-31700 Blagnac, France

Email auteur correspondant : sylvain.magne@cea.fr

En situation d'accident grave (AG) de fusion d'un cœur de réacteur nucléaire, d'importantes quantités d'hydrogène peuvent être produites par l'interaction du cœur chaud avec l'eau de refroidissement (oxydation des gaines en zircalloy qui confinent le combustible) ou par l'interaction du corium –magma résultant de la fusion du cœur- avec le béton de l'enceinte. L'hydrogène se diffuse alors dans l'enceinte de confinement du réacteur via des boucles de convection et s'y répartit de façon plus ou moins homogène selon la composition de l'atmosphère. Localement, la concentration limite dite d'inflammabilité peut être dépassée. Pour prévenir ce risque, les enceintes des réacteurs à eau pressurisée (REP) des centrales françaises sont équipées de recombineurs autocatalytiques passifs (RAPs). Malgré ces dispositifs, le risque de combustion persiste. Aussi et pour mieux gérer un AG, il est nécessaire de disposer d'informations précises sur la répartition des gaz (H_2, air, vapeur d'eau, CO) dans l'enceinte de confinement. A cet égard, le développement d'un dispositif de mesures multi-points, permettant de caractériser la composition de l'atmosphère de l'enceinte de confinement en temps réel sans rompre le confinement, représente un atout considérable. Une mesure optique des différents gaz contenus dans l'enceinte met en œuvre un déport par fibre optique du signal au-delà du périmètre radiologique de l'accident. Toutefois, le procédé de mesure par absorption habituellement mis en œuvre pour la détection de gaz n'est pas adapté aux molécules symétriques (O_2, N_2, H_2) qui ne présentent pas de transition dipolaire électrique dans le domaine visible ou infrarouge (IR) de transmission par fibres optiques. De facto, les sections d'interaction sont faibles, des cellules d'interaction de parcours importants sont alors nécessaires, en contradiction avec l'objectif d'une mesure ponctuelle. A contrario, toutes ces molécules présentent une signature Raman spécifique permettant une mesure multigaz absolue (par rapport à un étalon interne à la sonde), ou relativement à un gaz de pression partielle connue (e.g. N_2) [2, 3, 4].

La diffusion Raman spontanée (DRS) présente un grand nombre d'avantages pour la gestion du risque H_2 en situation AG : mesure ponctuelle (mm^3), sélective, multipoints (analyse multitrack), sonde Raman de constitution simple, robuste (optique passive, pas d'électronique sensible aux environnements nucléaires). L'instrumentation spectrométrique est déportée et emploie peu d'éléments (un laser, un spectromètre imageur), optimisant le déploiement, le coût et l'analyse de données. Enfin, une détection de gaz imprévus est possible (contrairement au procédé par absorption), valeur ajoutée en termes de sûreté. En contrepartie, la DRS présente aussi des limitations : le rendement est très faible (Raman/laser $\tilde{1}0^{-15}$) en raison des faibles sections de diffusion Raman et densité des gaz. Les interfaces optiques doivent être protégées de la condensation et des contaminants.

Dans le contexte du projet MITHYGENE, le CEA LIST, l'IRSN et la société ARCYS ont mis au point un dispositif expérimental de mesure de gaz par effet Raman constitué de sondes Raman reliées par fibres optiques à une unité de mesure transportable. La gamme spectrale Raman s'étend sur [684 – 872 nm] (laser @640 nm) permettant de détecter les espèces O_2, N_2, H_2O et H_2. Les sondes fonctionnent en espace libre afin de ne pas fausser la répartition du mélange (tout dispositif de prélèvement ou de confinement par guide est proscrit). Après étalonnages en enceinte climatique et en tubes à choc (H_2/N_2), nous détaillons les essais thermodynamiques menés sur 3 sondes dans l'enceinte MISTRA (CEA/DEN) [5] destinée à des essais en gaz et représentative (à l'échelle 1/10) d'une enceinte de confinement d'un REP.

Remerciements

Le projet ANR-MITHYGENE est financé par le Programme d'Investissements d'Avenir (PIA), Recherche en Sureté Nucléaire et Radioprotection (RSNR), et bénéficie du soutien de 2 industriels : EDF et AIR-LIQUIDE.

References

[1] Bentaïb A., Meynet N. Bleyer A. (2015) Overview on hydrogen risk research and development activities: methodology and open issues, Nucl. Eng. Technol. 47, 26-32.

[2] Adler-Golden S.M., Goldstein N., Bien F., Matthew M.W., Gersh M.E., Cheng W.K., Adams F.W. (1992), Laser Raman sensor for measurement of trace-hydrogen gas, Appl. Opt. 31 (6), 831-835.

[3] Kiefer J., Seeger T., Steuer S., Schorsch S., Weikl M.C., Leipertz A. (2008), Design and characterization of a Raman-scattering-based sensor system for temporally resolved gas analysis and its application in a gas turbine power plant, Meas. Sci. Tech. 19, 085408_1-9.

[4] Thorstensen J., Haugholt K.H., Ferber A., Bakke K.A.H., Tschudi J. (2014), Low-cost resonant cavity Raman gas probe for multi-gas detection, J. Europ. Opt. Soc. Rap. Public. 9, 14054_1-6.

[5] Tkatschenko I., Studer E., Paillère E. (2005), Status of the MISTRA programme for the validation of containment thermal-hydraulics codes, in Proceedings of the 11th International Topical Meeting on Nuclear Thermal-Hydraulics (NURETH-11 '05), American Nuclear Society, Pittsburgh, Pa, USA.