HAL
open science

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

Sylvain Magne, Simon Nehr, Xavier Buet, Etienne Studer, Roberta Scarpa, Daniele Abdo, Jean-Luc L Widloecher, Olivier Norvez, Emmanuel Porcheron, Ahmed Bentaïb, et al.

To cite this version:

Sylvain Magne, Simon Nehr, Xavier Buet, Etienne Studer, Roberta Scarpa, et al.. Mesure de pressions partielles de gaz par diffusion Raman spontanée - Application à la gestion du risque hydrogène en situation d'accident nucléaire grave. 16ème Congrès Francophone de Techniques Laser pour la mécanique des fluides, Sep 2018, Dourdan, France. hal-02097796

HAL Id: hal-02097796

https://hal.science/hal-02097796v1

Submitted on 12 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MESURES DE PRESSIONS PARTIELLES DE GAZ PAR DIFFUSION RAMAN SPONTANÉE – APPLICATION À LA GESTION DU RISQUE HYDROGÈNE EN SITUATION D'ACCIDENT GRAVE DE RÉACTEUR NUCLÉAIRE

S. MAGNE, S. NEHR, X. BUET
CEA, LIST, DM2I-LCAE
91191 Gif-sur-Yvette
sylvain.magne@cea.fr

E. STUDER, R.SCARPA, D. ABDO, J.L. WIDLOECHER, O. NORVEZ
CEA/DEN /DANS/DM2S/SFME/LTMF
CEA SACLAY 91191 Gif-sur-Yvette

E. PORCHERON
IRSN, PSN-RES/SCA
91192 Gif-sur-Yvette
emmanuel.porcheron@irsn.fr

A. BENTAÏB, R. GROSSEUVRES
IRSN, PSN-RES/SAG, BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses

N. CHAUMEIX
CNRS - Institut ICARE
1C route de la Recherche Scientifique
45071 Orléans

J. DHOTE, M. FREYSSINIER, A. RUFFIEN-CISZAK
ARCYS
14 Pl. Marcel Dassault 31700 Blagnac

CONTEXTE : ACCIDENT GRAVE (AG)

Risque hydrogène

- *Loss-of-Coolant Accident* (LOCA) : Oxydation des gaines de combustible,
- Attaque du radier en béton par le corium (cœur fondu) au stade avancé de l'accident
  → Émission de H_2 dans l'enceinte de confinement du Bâtiment Réacteur (BR),
  → Risque de déflagration/détonation selon concentrations en H_2, air et H_2O.

Spécifications AG de réacteur nucléaire (AIEA)

- Pression enceinte : 6 bar (absolue),
- Température enceinte : 170°C (hors combustion hydrogène),
- Dose / débit de dose d'irradiation : 5 MGy / 5 kGy/h (^{60}Co ; 1,25 MeV),
- Chocs/vibrations (dimensionnement séisme).

Solution palliative actuelle (EDF) : *Recombineurs Catalytiques Passifs (RCP)*

- Estimation de la présence d'H_2 par la mesure de température (thermocouples) sur RCP,
- Ne permet pas d'estimer un risque de déflagration/détonation, ni l'impact potentiel sur la structure et les équipements.

Accident de Fukushima (11/03/2011) : INES 7/7
Explosion d'hydrogène et rupture de confinement.
Dissémination des radionucléides dans l'atmosphère, évacuation des populations.

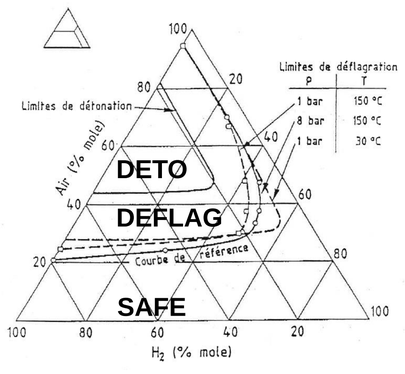
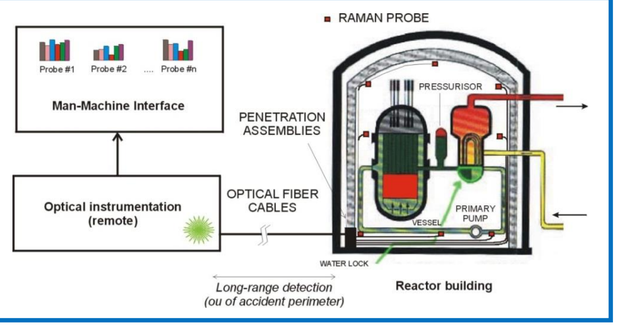


Diagramme ternaire [Shapiro-Moffette]
en air – vapeur d'eau – hydrogène

OBJECTIFS

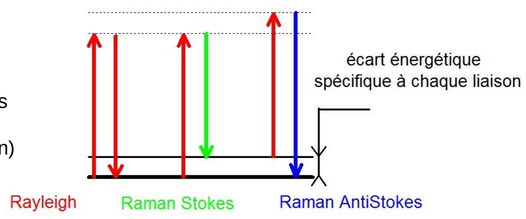
- Mesures *in situ* (sans prélèvement) et simultanées des pressions partielles en hydrogène, air, vapeur d'eau,
- Détection absolue ou relative à un gaz de référence (*e.g.* N_2),
- Estimation du risque de déflagration/détonation en plusieurs points à l'intérieur de l'enceinte (prise en compte des inhomogénéités),
- Mesure Raman déportée par fibres optiques, périodiquement au cours de l'accident (cadence ~ minute),
- Système d'acquisition placé hors périmètre radiologique, potentiellement secouru en électricité,
- Instrumentation de mesure unique (multipoints, multigaz).
- Détection de l'Interaction Corium-Béton (CO = traceur ICB),
- Possibilité de détection d'autres gaz non prévus (*e.g.* feu de combustion).



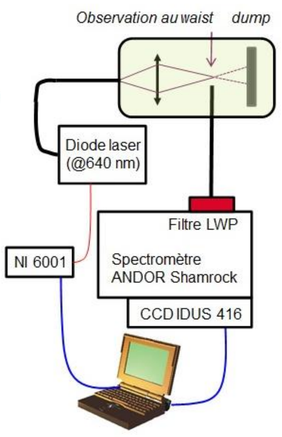
ANALYSE SÉLECTIVE et IN SITU DE GAZ par DIFFUSION RAMAN SPONTANÉE (DRS)

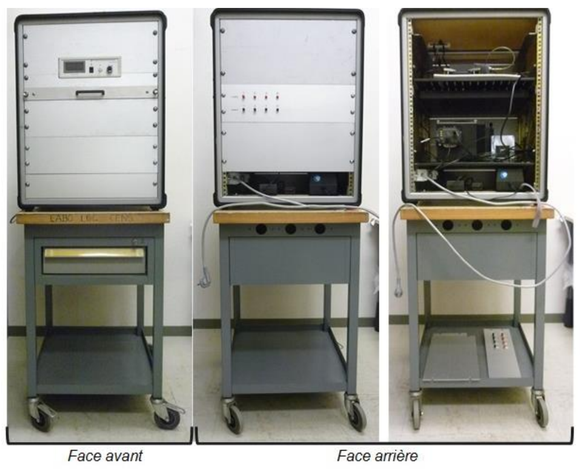
Principe DRS :
Excitation laser
et diffusion inélastique

Observation des molécules diatomiques symétriques
(règles de sélection Raman)



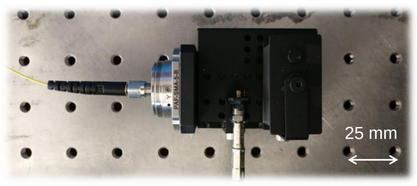
Molécule	ΔE (cm^{-1})	Section d'interaction Raman (relative à N_2)	Longueurs d'onde Raman (nm) *(excitation laser @ 638 nm)*
H_2	4161	2,4	872
H_20	3652	3,8	835
N_2	2331	1	752
CO	2145	1	742
O_2	1556	1,3	711
CO_2	1388	1,4	704



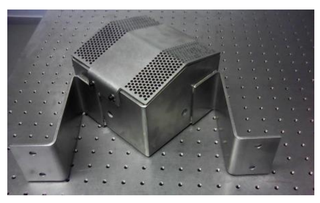


Rack Raman prototype 4-voies

Sonde Raman Prototype ➔
(monopassage, géométrie transverse)

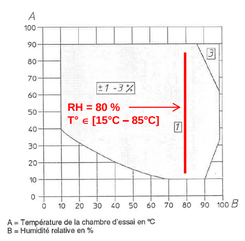


Boîtier de protection
(fixation murale) ➔

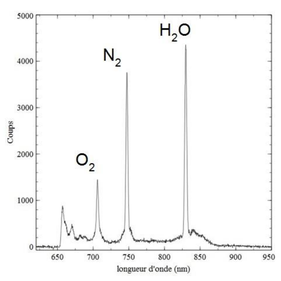


ÉTALONNAGES

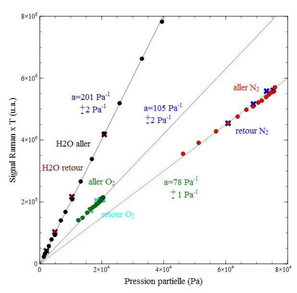
H_2O, N_2, O_2 : Enceinte climatique (CEA LIST)



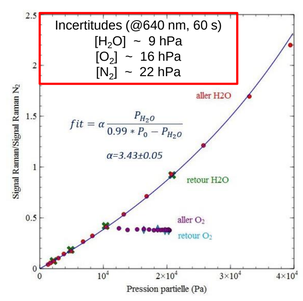
[H_2O] ajustée par T°



Spectre Raman (75°, 200 s)



Étalonnage absolu



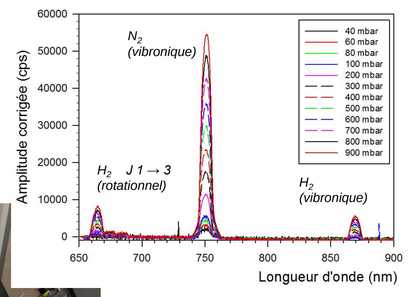
Étalonnage relatif à [N_2]

Thermohygromètre de référence, pression partielle d'air obtenue par soustraction à la pression totale (balise météo)
∅ fibre laser = 100 µm, ∅ fibre Raman = 200 µm, NA = 0,22

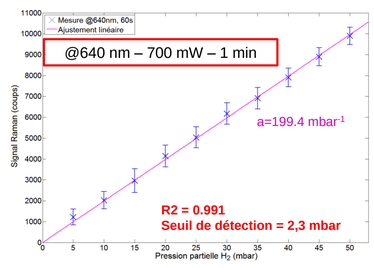
H_2 : Tubes à chocs [SSEXHY (CEA), ENACCEF (CNRS-ICARE)]

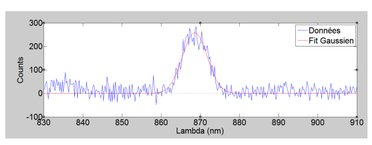
ENACCEF (CNRS ICARE Orléans)

SSEXHY (CEA Saclay)



Bouteille 95 % N_2 – 5 % H_2,
Vide avant injection et ajustement de la pression totale.
∅ fibre laser = 100 µm, ∅ fibre Raman = 600 µm, NA = 0,37





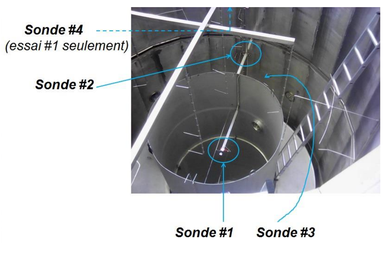
Spectre Raman vibronique de H_2 (10 mbar)

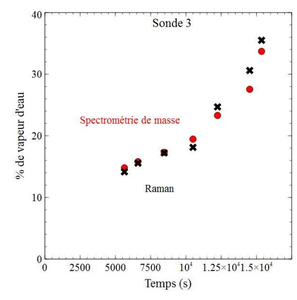
ESSAI PROTOTYPIQUE (MISTRA, CEA DEN)

Validation métrologique des sondes Raman en situation thermodynamique représentative (hors irradiation)

- ✓ 4 sondes Raman CEA (multipoints), sans boîtier, avec protection silicone (corrosion)
- ✓ 8 traversées étanches sur table [4 voies laser, 4 voies Raman]
- ✓ Contenu du mélange : O_2, N_2, H_2O, He (simulateur H_2)
- ✓ Monitoring de O_2, N_2, H_2O (spectro. de masse MS), pression, température (→ 130°C, → 4,2 bar)
- ✓ Intercomparaison mesures Raman-MS de [H_2O] (prélèvement proche des sondes) : corrélation satisfaisante
- ✓ Les sondes Raman ont survécu à 4 essais consécutifs.

Plateforme MISTRA (CEA, Saclay)





CONCLUSIONS

- Instrumentation Raman *in situ*, multigaz, multipoints, mise au point et qualifiée au plan métrologique pour le suivi du risque H_2 / AG
- Performance de mesure H_2 compatible avec les spécif. AG (résolution = 0,23 % P_{atm}, 1 minute, 700 mW, ∅ fibre = 600 µm, NA = 0,37)
- Qualifications chocs / vibrations et irradiations en cours
- Prolongation de projet sur [2019-2022] : transfert industriel, qualifications.

Étude menée dans le cadre du projet **MITHYGENE** (ANR-11-RSNR-0015), financé par le Programme Investissements d'Avenir (PIA), en Recherche en Sureté Nucléaire et Radioprotection (RSNR)

CFTL 2018
Congrès Francophone sur les Techniques Laser pour la Mécanique des Fluides
17-21 septembre 2018 – Dourdan, France

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Institut List | CEA SACLAY DIGITEO | BAT. 565 – PC192
91191 Gif-sur-Yvette Cedex | FRANCE
www-list.cea.fr