



**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

E. STUDER, R. SCARPA, D. ABDO, J.L. WIDLOECHER, O. NORVEZ

E. PORCHERON

A. BENTAÏB, R. GROSSEUVRES

N. CHAUMEIX

J. DHOTE, M. FREYSSINIER, A. RUFFIEN-CISZAK

CEA, LIST, DM2I-LCAE  
91191 Gif-sur-Yvette  
sylvain.magne@cea.fr

CEA/DEN /DANS/DM2S/SFME/LTMF  
CEA SACLAY 91191 Gif-sur-Yvette

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

IRSN, PSN-RES/SAG, BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses

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

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<sub>2</sub> dans l'enceinte de confinement du Bâtiment Réacteur (BR),  
→ Risque de déflagration/détonation selon concentrations en H<sub>2</sub>, air et H<sub>2</sub>O.

### 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 (<sup>60</sup>Co ; 1,25 MeV),
- Chocs/vibrations (dimensionnement séisme).

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

- Estimation de la présence d'H<sub>2</sub> 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.

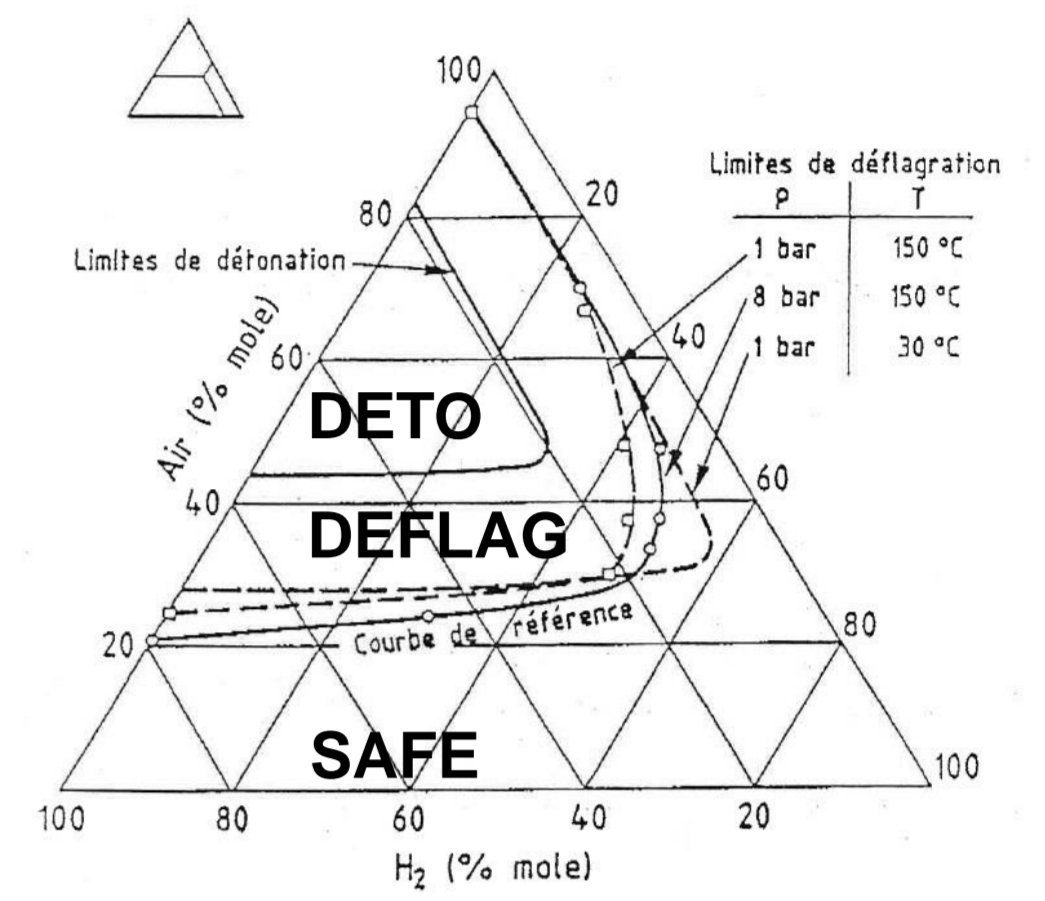
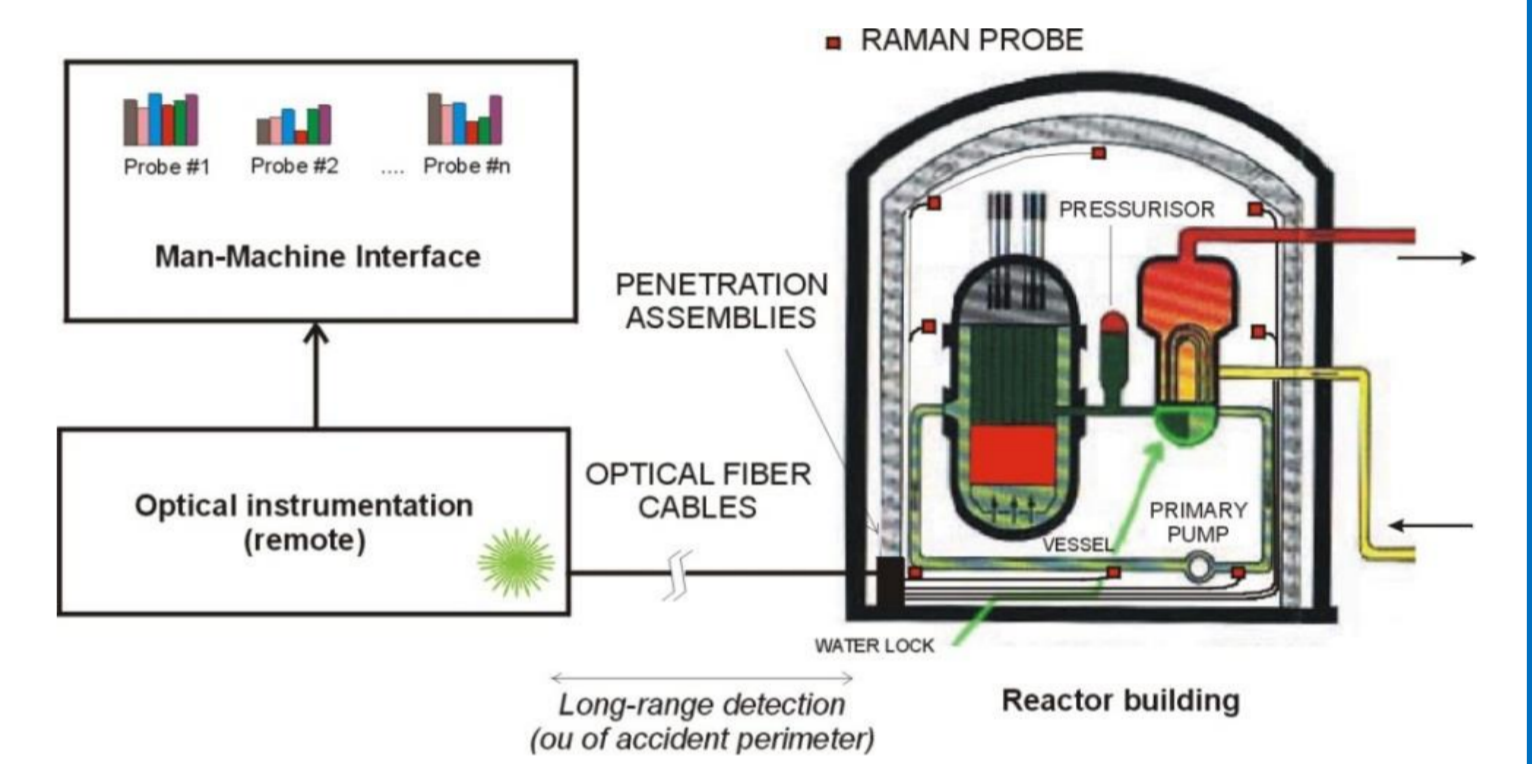


Diagramme ternaire [Shapiro-Moffett] en air – vapeur d'eau – hydrogène

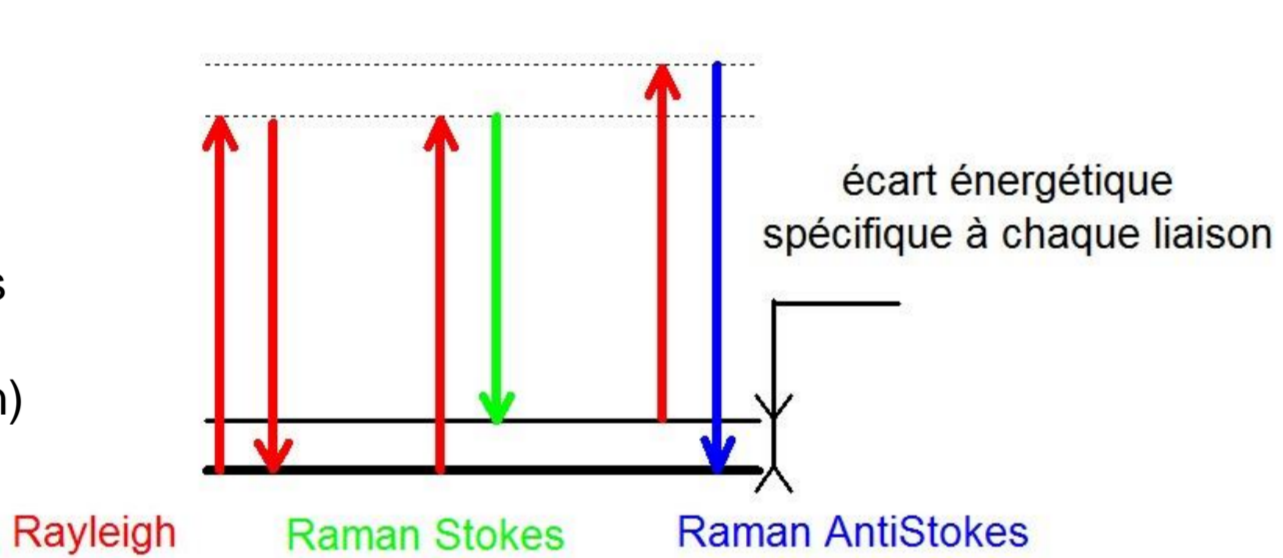
## OBJECTIFS

- 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<sub>2</sub>),
- 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).

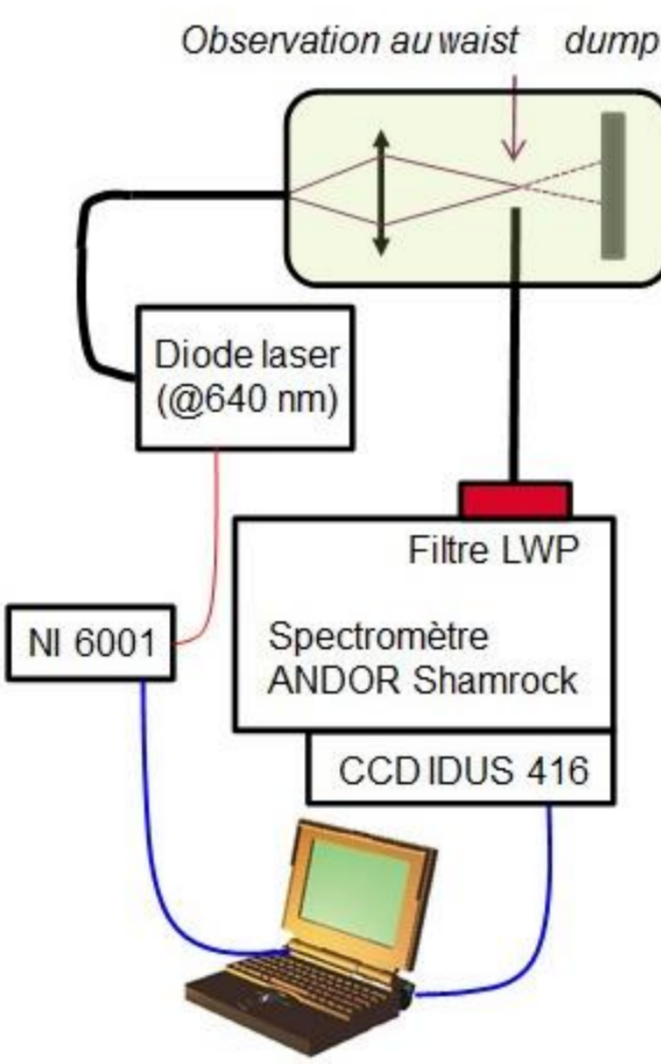


## ANALYSE SÉLECTIVE et IN SITU DE GAZ par DIFFUSION RAMAN SPONTANÉE (DRS)

**Principe DRS :**  
Excitation laser et diffusion inélastique  
Observation des molécules diatomiques symétriques (règles de sélection Raman)

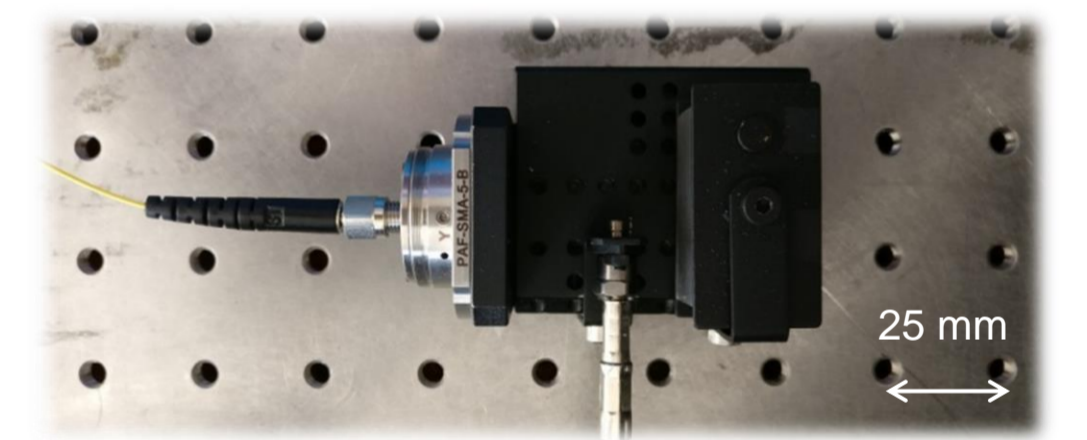


Molécule	$\Delta E$ (cm <sup>-1</sup> )	Section d'interaction Raman (relative à N <sub>2</sub> )	Longueurs d'onde Raman (nm) (excitation laser @ 638 nm)
H <sub>2</sub>	4161	2,4	872
H <sub>2</sub> O	3652	3,8	835
N <sub>2</sub>	2331	1	752
CO	2145	1	742
O <sub>2</sub>	1556	1,3	711
CO <sub>2</sub>	1388	1,4	704

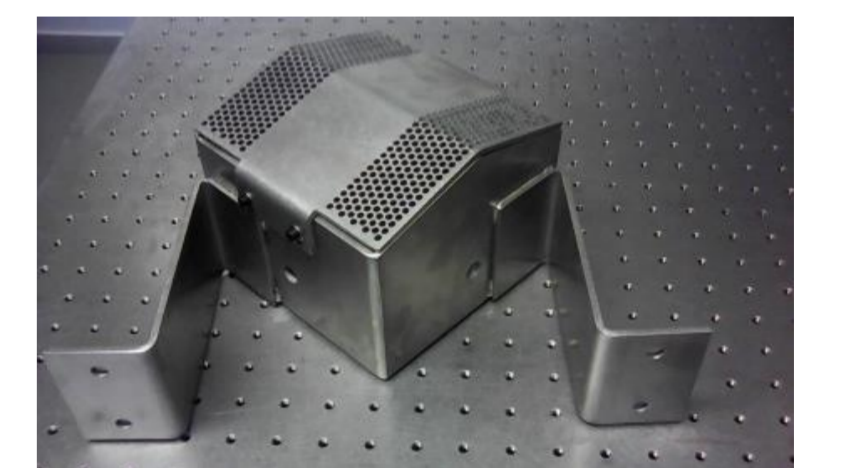


Rack Raman prototype 4-voies

Sonde Raman Prototype (monopassage, géométrie transverse)

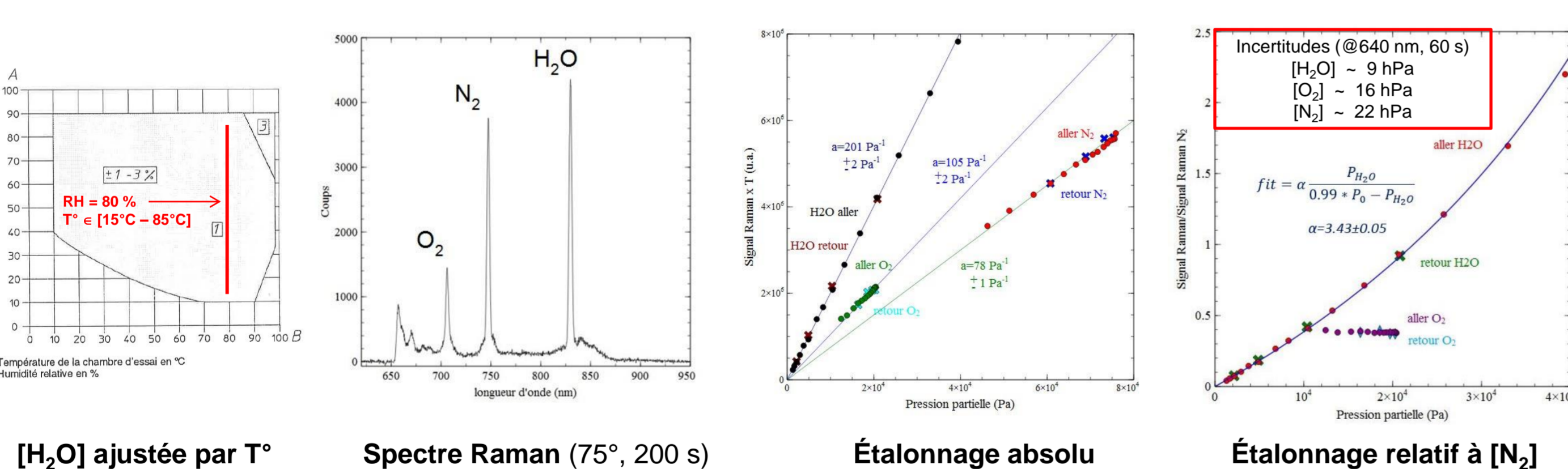


Boîtier de protection (fixation murale)



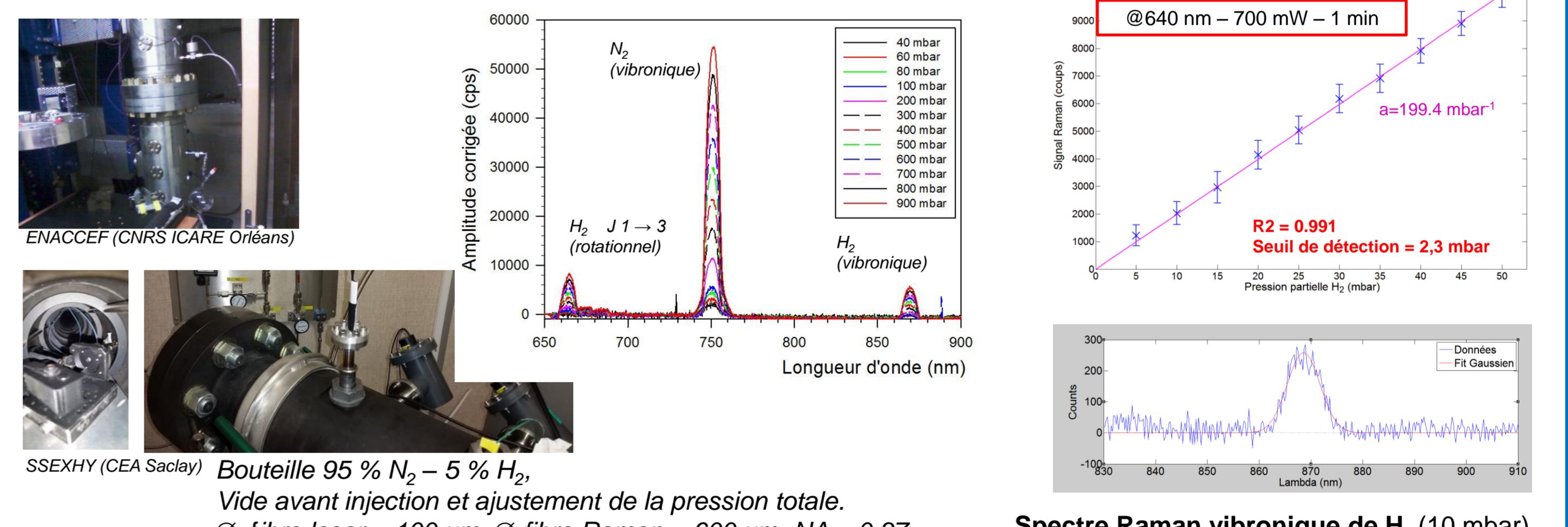
## ÉTALONNAGES

H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> : Enceinte climatique (CEA LIST)



[H<sub>2</sub>O] ajusté par T°  
Thermohygromètre de référence, pression partielle d'air obtenue par soustraction à la pression totale (balise météo)  
Ø fibre laser = 100 µm, Ø fibre Raman = 200 µm, NA = 0,22

H<sub>2</sub> : Tubes à chocs [SSEXHY (CEA), ENACCEF (CNRS-ICARE)]



SSEXHY (CEA Saclay) Bouteille 95 % N<sub>2</sub> – 5 % H<sub>2</sub>,  
Vide avant injection et ajustement de la pression totale.  
Ø fibre laser = 100 µm, Ø fibre Raman = 600 µm, NA = 0,37

Spectre Raman vibronique de H<sub>2</sub> (10 mbar)

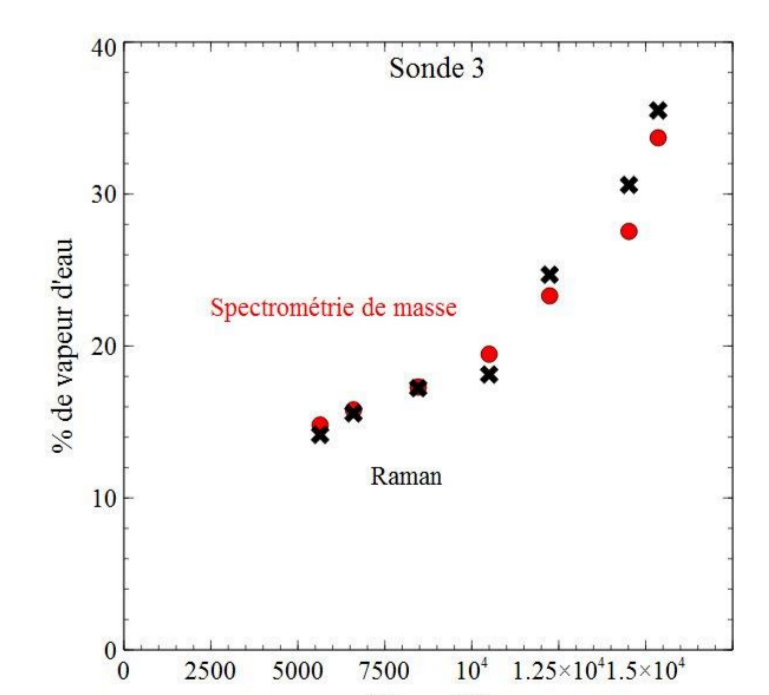
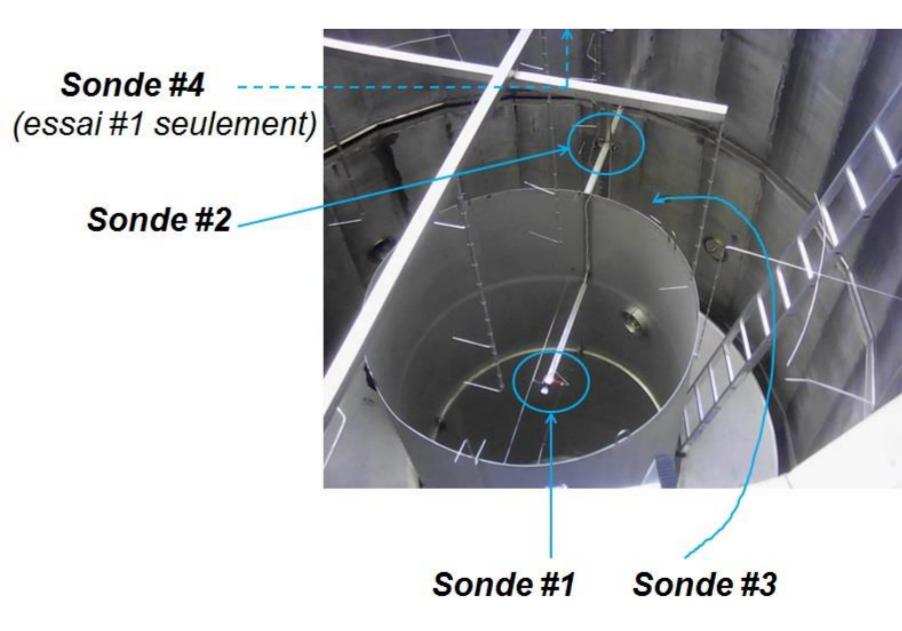
## ESSAI PROTOTYPIQUE (MISTRA, CEA DEN)

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<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, He (simulateur H<sub>2</sub>)
- ✓ Monitoring de O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (spectro. de masse MS), pression, température (→ 130°C, → 4,2 bar)
- ✓ Intercomparaison mesures Raman-MS de [H<sub>2</sub>O] (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<sub>2</sub> / AG
- Performance de mesure H<sub>2</sub> compatible avec les spécif. AG (résolution = 0,23 % P<sub>atm</sub>, 1 minute, 700 mW, Ø 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 MITHYGÈNE (ANR-11-RSNR-0015), financé par le Programme Investissements d'Avenir (PIA), en Recherche en Sureté Nucléaire et Radioprotection (RSNR)

