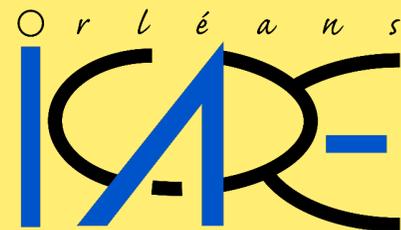


34èmes journées du Groupe du RésoFeux  
12 et 13 septembre 2024  
CNPP, Vernon

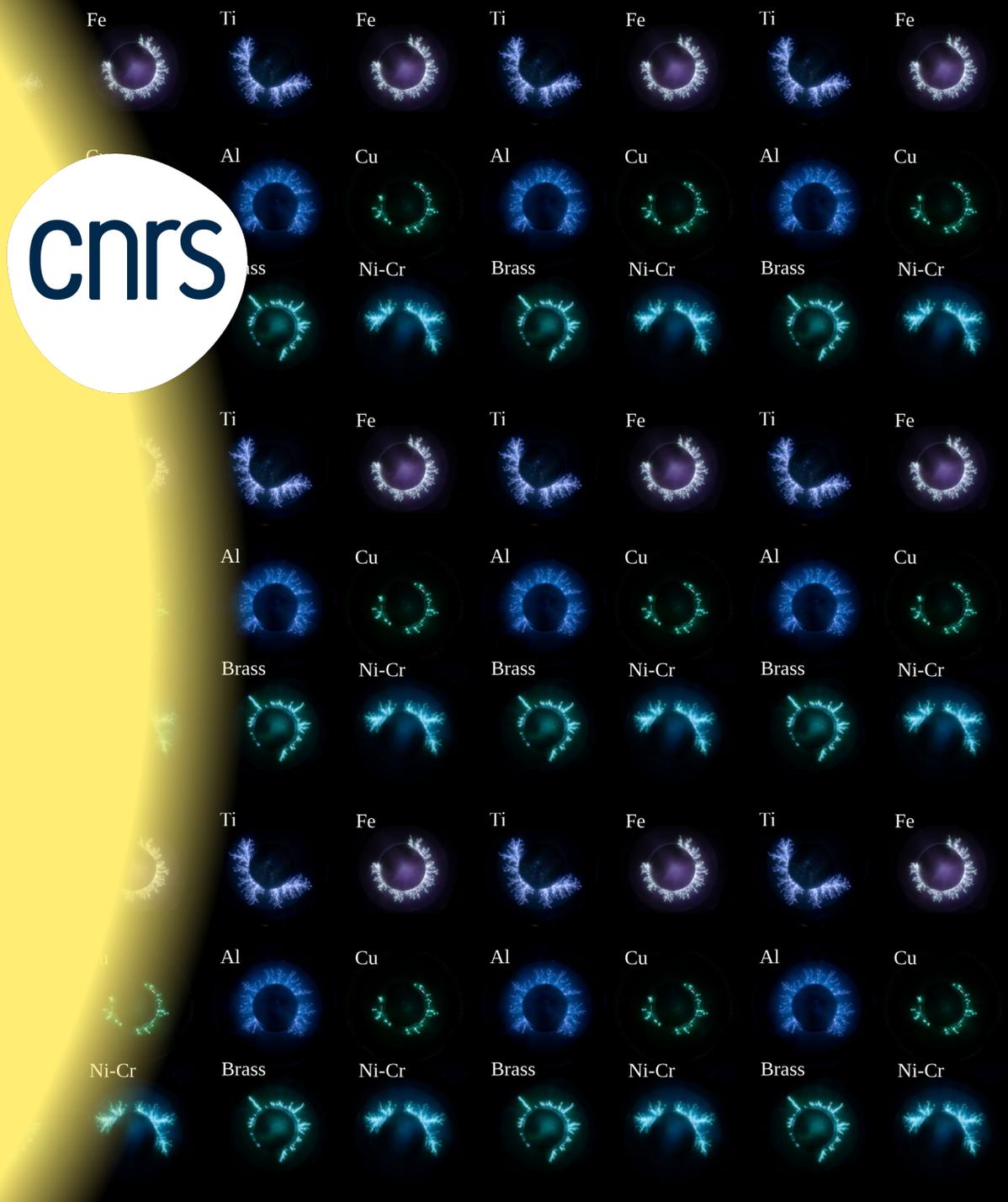
# L'hydrogène, les risques et leur gestion

N. Chaumeix

CNRS – ICARE – UPR3021, Orléans, France

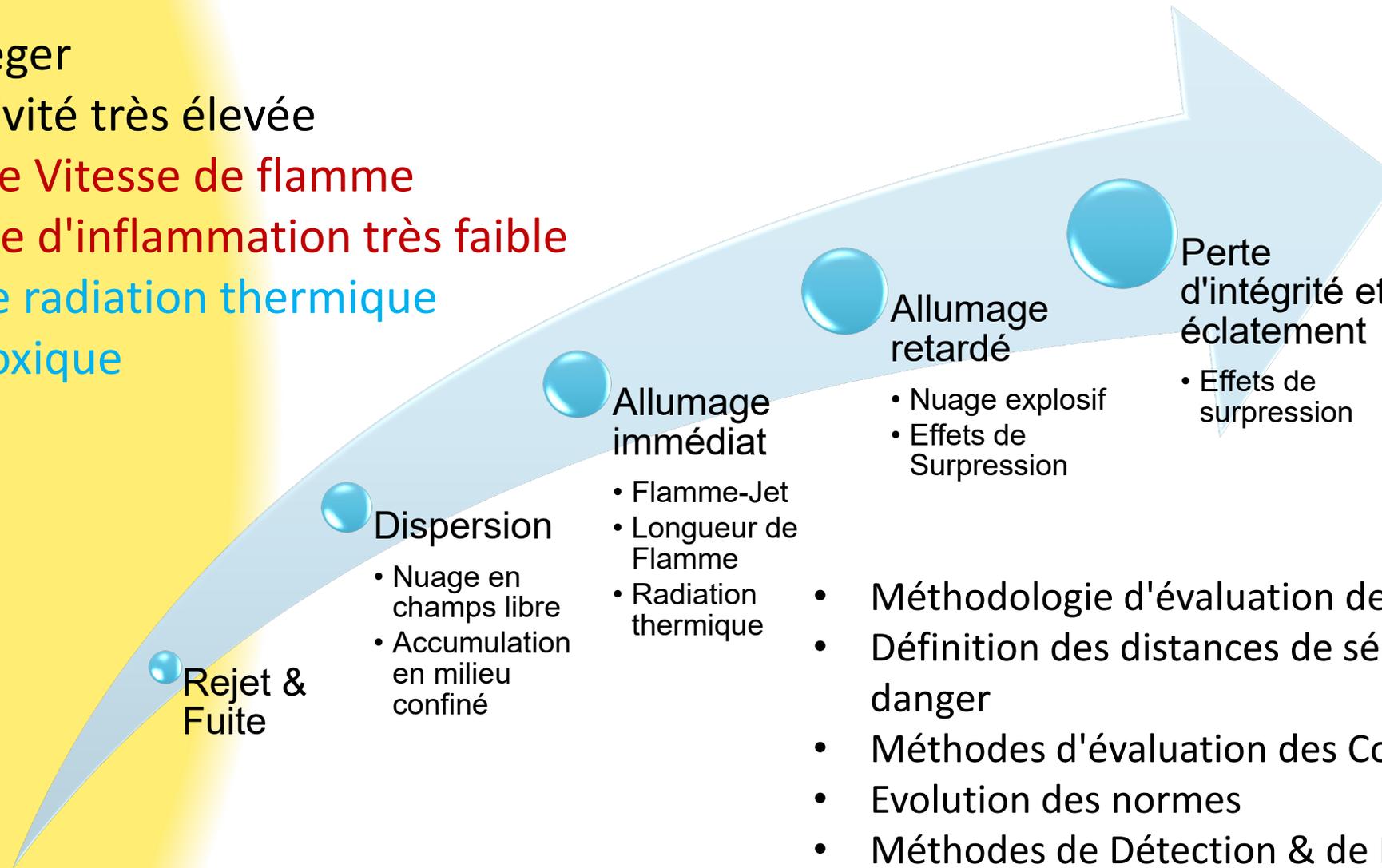


→ 12/09/2024



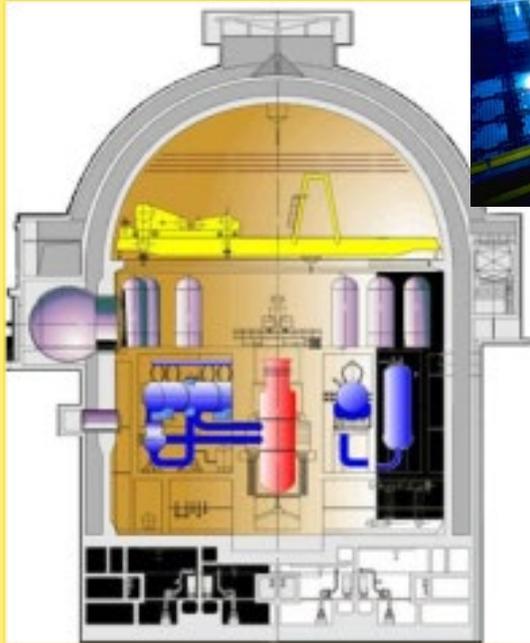
# Phénomènes Redoutés

- Gaz Léger
- Diffusivité très élevée
- Grande Vitesse de flamme
- Energie d'inflammation très faible
- Peu de radiation thermique
- Non toxique



- Méthodologie d'évaluation des risques
- Définition des distances de sécurité et des zones de danger
- Méthodes d'évaluation des Composants adaptées
- Evolution des normes
- Méthodes de Détection & de Mitigation

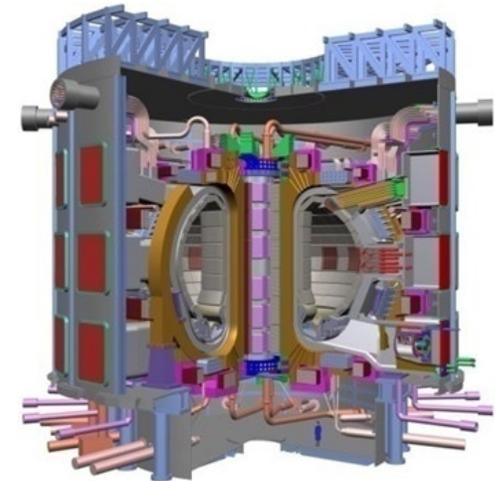
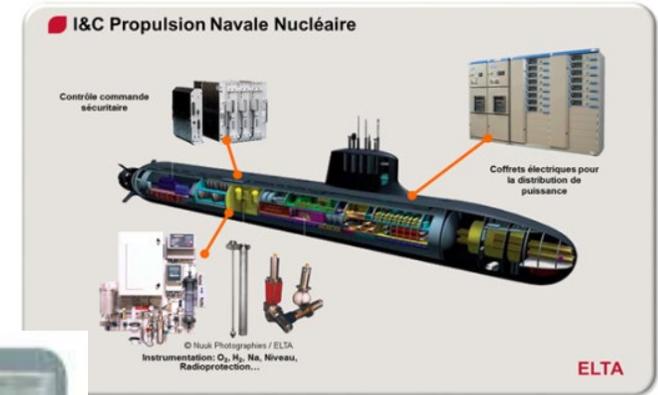
# Le risque H<sub>2</sub> dans l'industrie nucléaire



Colis métallique contenant plusieurs galettes de déchets MA-VL



Conteneur de stockage MA-VL

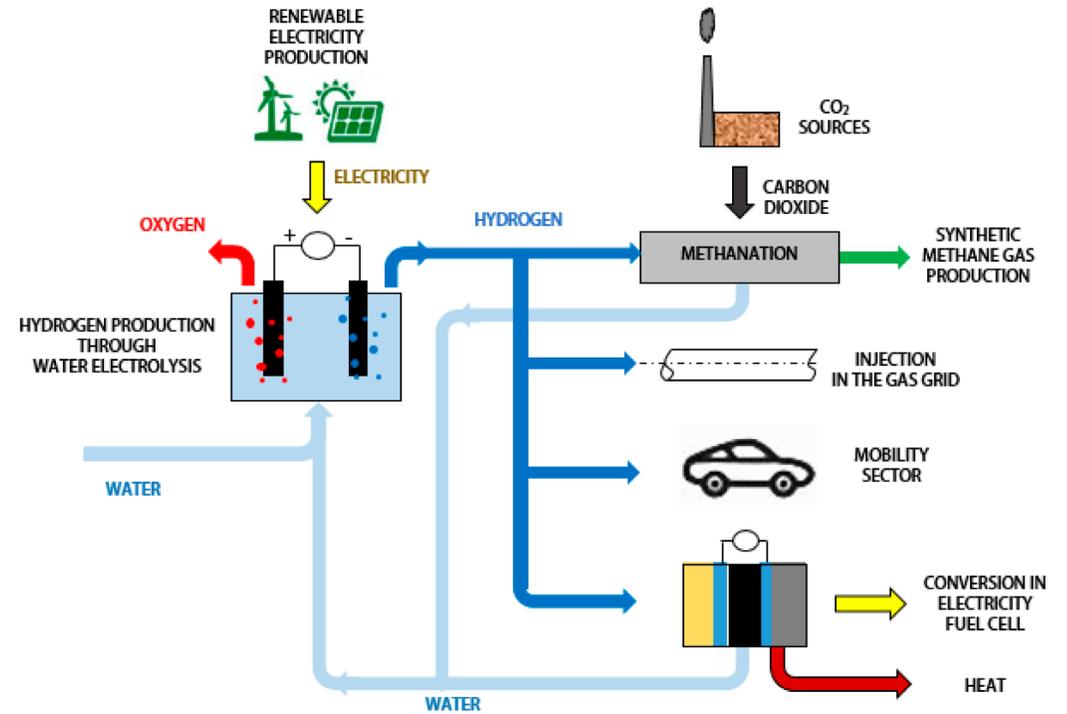


# Le risque H<sub>2</sub> dans l'industrie/économie non-nucléaire

## Mobility

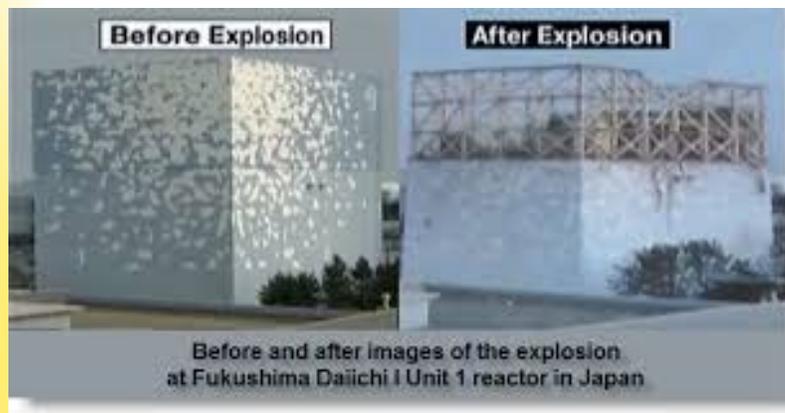


## Production, stockage & Distribution



# Evaluation du risque H<sub>2</sub>

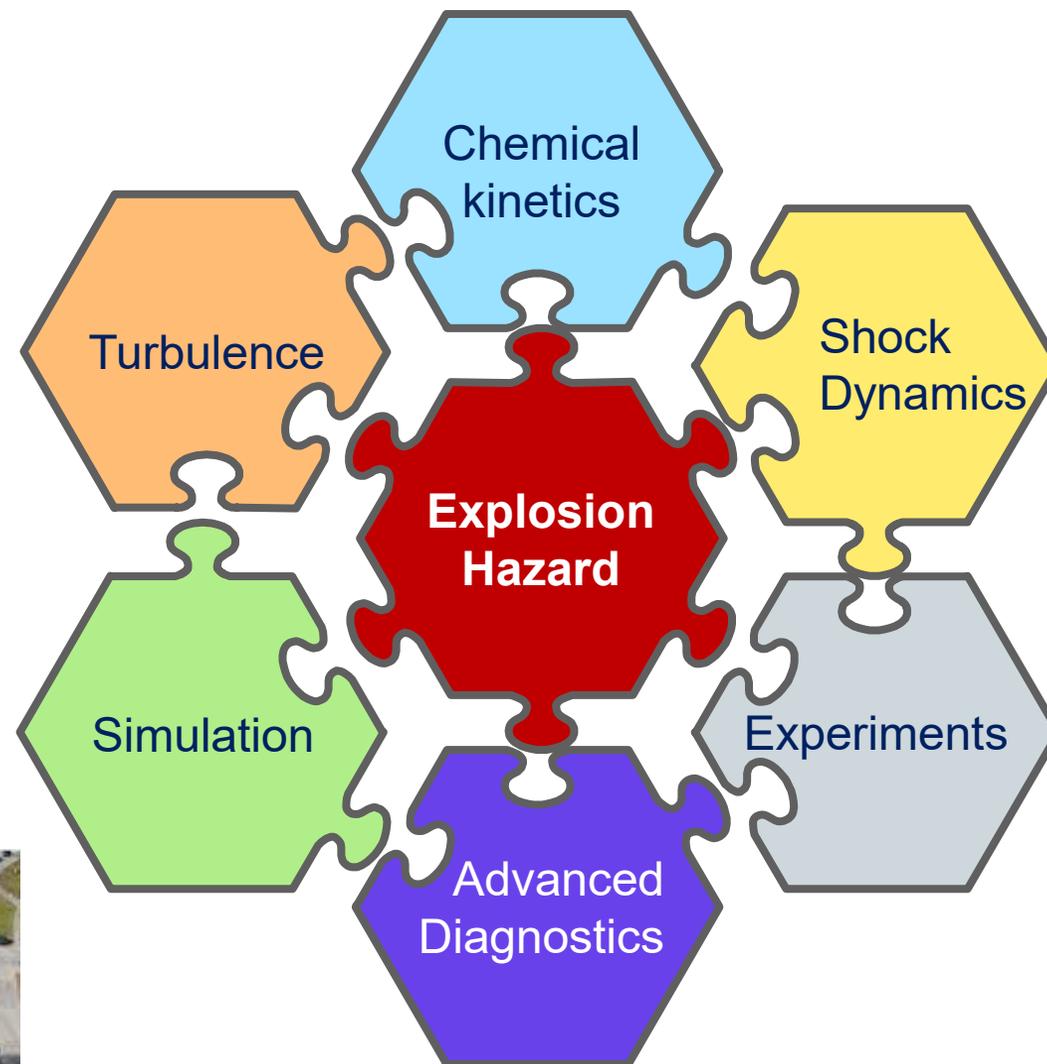
Fukushima Daiichi  
Japan, 2011



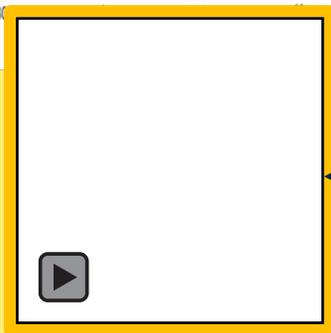
Gangwon South Korea, 2019



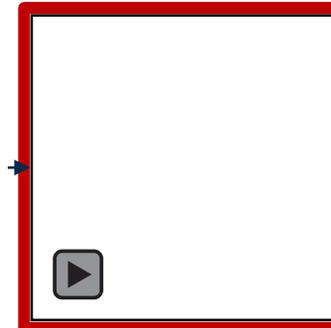
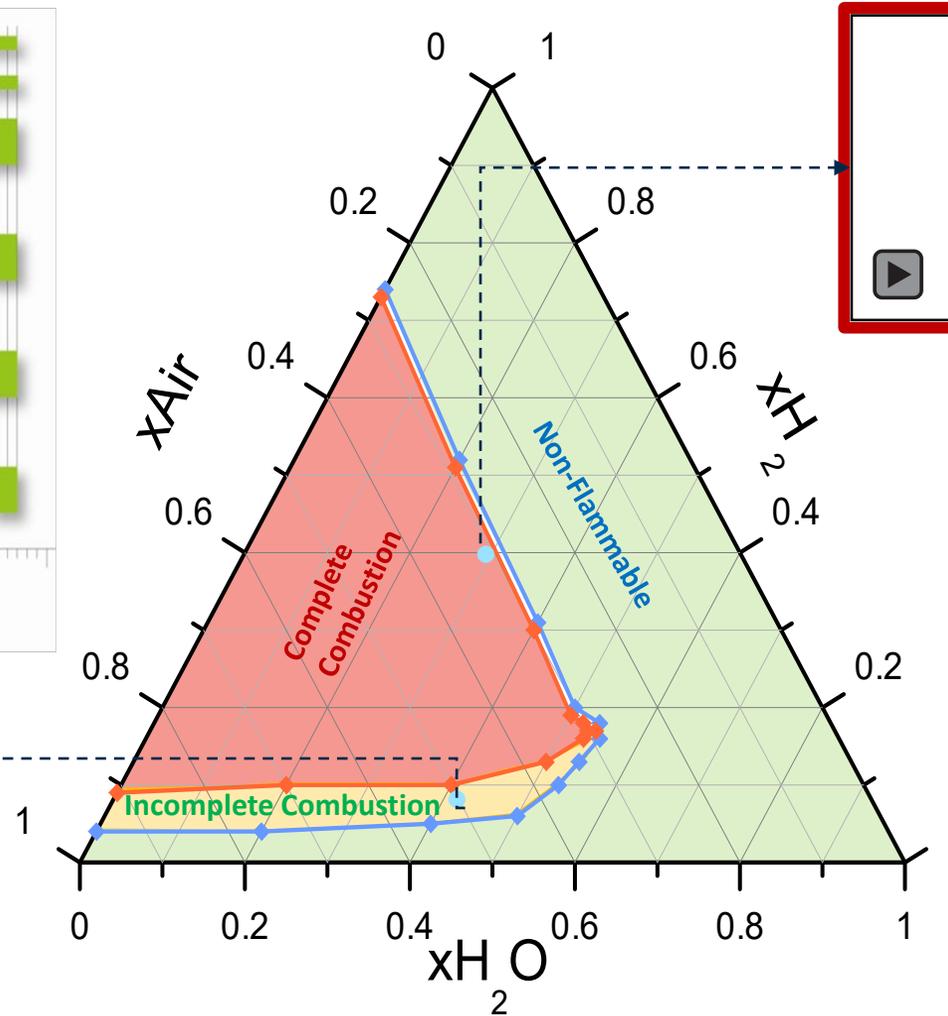
Norway 2019



# Domaine d'inflammabilité



0.50 H<sub>2</sub>O + 0.11 H<sub>2</sub>  
 $P_{ini} = 0.987 \text{ bar}$   
 $T_{ini} = 101 \text{ °C}$



0.40 H<sub>2</sub>O + 0.30 H<sub>2</sub>  
 $P_{ini} = 0.987 \text{ bar}$   
 $T_{ini} = 100.0 \text{ °C}$

# Critères de Sécurité

- Flammability Limits
- Numerous studies in the literature in standard conditions
- Fast flame and DDT
- Numerous studies for uniform distribution of hydrogen

Yang et al. (1991), Dorofeev et al. (1999, 2001)

Cicarelli, Chaumeix et al. (2005, 2018, 2019)

$$\sigma^* = f\left(\frac{E_a}{RT_b}\right)$$

↪  $V_{\max} > C_{bg} = 0.5 \Leftrightarrow$  Fast Flames

↪  $V_{\max} < C_{bg} = 0.5 \Leftrightarrow$  Slow Flames

ICARE/IRSN

$$\sigma_{\text{critical}} = 0.075 \cdot \beta \cdot (Le - 1) + 4.38$$

$\sigma$  : Expansion Ratio,  $\beta$  : Zeldovich Number,  $Le$  : Lewis Number

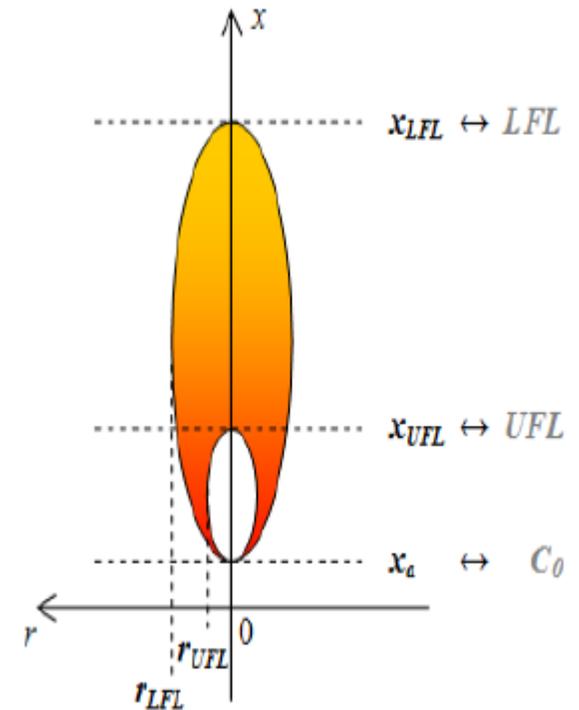
# Risque Incendie

- Allumage immédiat suite à une fuite
- Incendie secondaire suite à une propagation de flamme en milieu confiné



Longueur de flamme  
Effets Radiatifs

$$T_{\text{adiab,H2}} = 2400 \text{ K}$$
$$T_{\text{adiab,CH4}} = 2234 \text{ K}$$



# Exemple d'un feu de véhicule

## Energie calorifique du véhicule

Petite voiture	Voiture familiale
⇒ 6 000 MJ	⇒ 12 000 MJ

## Energie calorifique du carburant

Hydrogène	Essence	GNV
6 kg @ 120 MJ/kg	60 L d'essence 32 MJ/L essence	20 kg @ 50 MJ/kg
⇒ 720 MJ	⇒ 1 940 MJ	⇒ 1 000 MJ

# Moyens de Mitigation

**Détection précoce**

**Extincteurs adaptés (inhibiteurs de flamme)**

**Sprinklage automatique est souvent à proscrire**

**Ventilation adaptée pour milieu confiné**

**Barrière physique de protection**

**Exple Feu de véhicule : présence d'un fusible thermique**

Pour un réservoir 70-80 L à une pression initiale de 700 bar → 120 s