

Validation et prédictibilité des codes à zones - application du logiciel SYLVIA sur les essais DIVA-0

4^{ème} Séminaire du Groupe de Recherches sur les Feux
Fontenay-aux-Roses 13-15 Décembre 2006

Stéphane Mélis

Les questions de sûreté et la validation des codes

Les études incendie de compartiments équipés de ventilation mécanique

- Préoccupations classiques de la sûreté incendie (sécurité des personnes et exposition des matériels)
- Préoccupations particulières pour les installations où les cascades de dépression participent au confinement de plusieurs pièces (ex. usines de retraitement nucléaires)
 - ▶ Détermination des températures, des pressions, de la production et du transport des aérosols de combustion lors d'un incendie
 - ▶ Forte interaction ventilation-incendie via le système pression-oxygène-combustion

Les études de sûreté fondées sur l'utilisation de codes déterministes validés

- Impossibilité d'effectuer des tests normalisés sur des installations complètes
- Approche (probabiliste) fondée sur l'utilisation de codes déterministes
 - codes à zones + modélisation du réseau de ventilation
 - problématique identique pour les approches corrélatives ou CFD
- ▶ La validation de ces méthodes est un point crucial
- Essais petite échelle ou à effets séparés + essais à grande échelle (difficultés à prendre en compte les effets d'échelle)

Les questions de sûreté et la validation des codes

La validation : objectifs et définitions

- Validation : estimation de la confiance que l'on peut avoir dans les prédictions d'un modèle (=qualification)
- Gritzo et al. (FSJ-40, 2005):
 - verification : solving the equations right
 - validation : solving the right equations
- Domaine d'application : « domaine de l'espace des paramètres d'entrée sur lequel le code est utilisé »
- Domaine de validation : « domaine de l'espace des paramètres d'entrée sur lequel le code est validé » ⇒ à déterminer

Objectifs de cette présentation

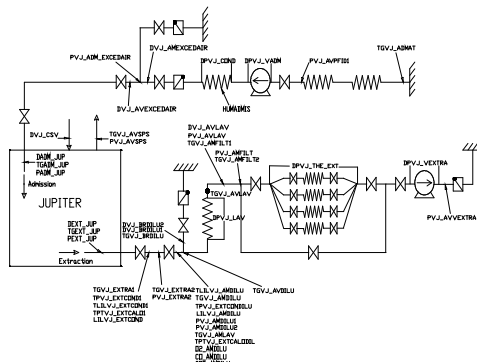
- Illustration des difficultés rencontrées lorsque l'on veut déterminer si un code est validé ou non : le domaine de validation couvre-t-il le domaine d'application?
 - Comment prendre en compte les incertitudes sur les données d'entrée, l'effet utilisateur?
- Exemple sur le travail de validation effectué sur les essais DIVA-0

Le dispositif expérimental des essais DIVA-0

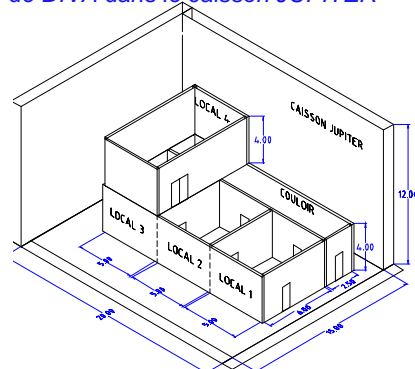
Installation DIVA

- Réseau de ventilation réglable assurant une dépression donnée dans les locaux
- Trois locaux de 120 m³ utilisés dans les expériences DIVA-0
- Admission et extraction de l'air dans les locaux au plafond

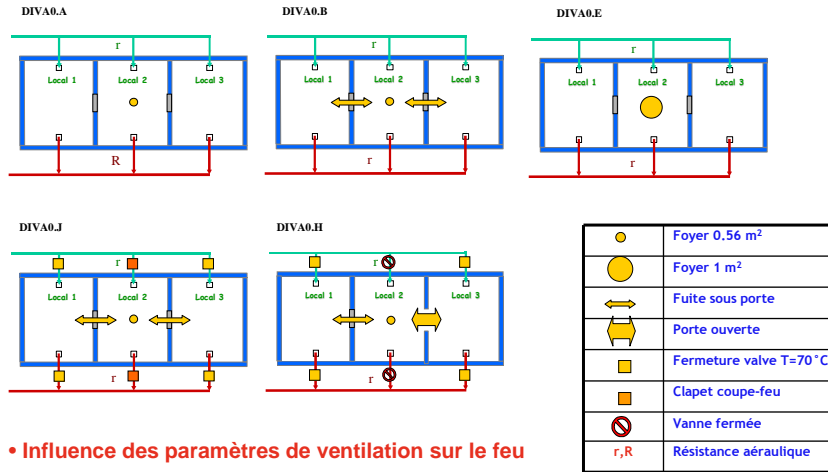
Réseau de ventilation de DIVA



Vue de DIVA dans le caisson JUPITER



Matrice de test des expériences DIVA-0



- Influence des paramètres de ventilation sur le feu
- Réponse en pression des locaux
- Combustible : bac d'huile DTE-medium préchauffée (inflammation avec une flamme de propane)

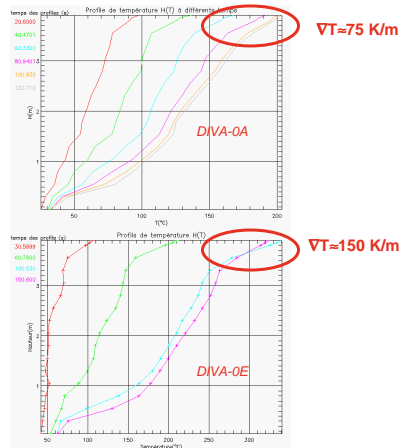
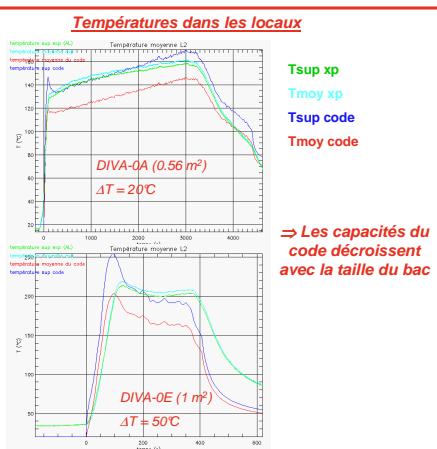
Validation et prédictibilité des codes à zones - 14/12/2006 - 5

IRSN

Validation du code FLAMME/S-SIMEVENT

Description des codes utilisés :

- FLAMME/S : code à zones (corrélations classiques)
- SIMEVENT : simulation de la ventilation et du transport de l'aéro-contamination (Bernoulli)



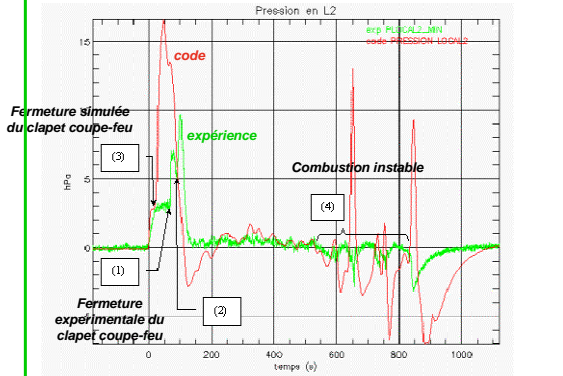
- Stratification thermique : approche à zones discutable
- Limite des modèles : panache, rayonnement, écoulement sous plafond
- ▶ Détermination d'une limite de validation en fonction du diamètre du bac

Validation et prédictibilité des codes à zones - 14/12/2006 - 6

IRSN

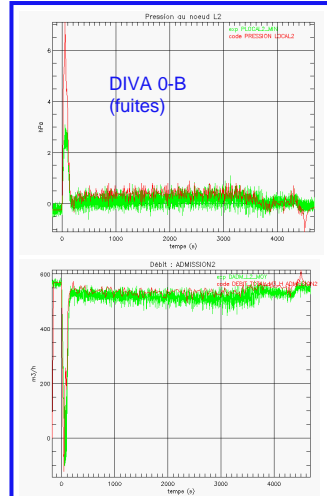
Validation du code FLAMME/S-SIMEVENT

Pression dans le local feu durant l'expérience DIVA-OJ (clapets coupe-feu)



⇒ La simulation des systèmes de sûreté augmente la sensibilité des calculs

- Fort couplage ventilation – combustion via les pressions en régime sous-ventilé (instabilités de combustion : modèle d'extinction)
- Différences significatives sur les pics de pression et de dépression



⇒ Les différences de pression constatées n'empêchent pas une simulation correcte des débits

Validation et prédictibilité des codes à zones - 14/12/2006 - 7

IRSN

Validation du code FLAMME/S-SIMEVENT (cont.)

TEST	Pmax (hPa)	Pmin (hPa)	Tmax (°C)
DIVA-0A Exp	33	0	155
DIVA-0A Calc	49	-5	170
DIVA-0B Ex	3	0	130
DIVA-0B Calc	6,5	-1	140
DIVA-0E Exp	12	-3	215
DIVA-0E Calc	17	-6	255
DIVA-0J Exp	9,5	-4	165
DIVA-0J Calc	16,5	-7	180

Zones de validité (subjectives)

< 50%		> 100%
Ou		Ou
< 20 °C		> 40 °C

Conclusions :

- Modélisation thermique acceptable lorsque le foyer n'est pas trop grand
- Limites classiques des modèles à zone
- Prédiction globalement satisfaisante de la ventilation mais forte sensibilité sur les pics de pression

Validation et prédictibilité des codes à zones - 14/12/2006 - 8

IRSN

Mais en fait...

► Peut-on affirmer que l'on a déterminé un domaine de validation ?

Validation : estimation de la confiance que l'on peut avoir dans les **prédictions** d'un modèle

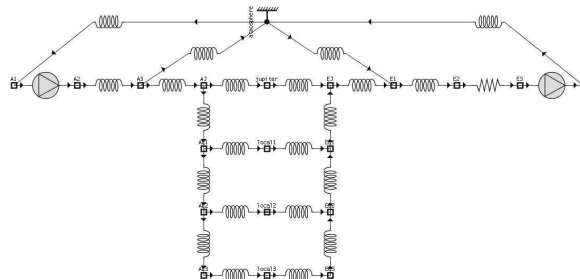
► Quid des capacités prédictives?

- calcul à partir des données disponibles par l'utilisateur
- effet sur les résultats du code?

Calculs avec SYLVIA

SYLVIA :

- Modélisation implicite ventilation-incendie-aéro-contamination
- Code à zones multi-locaux + modèles de branches (Bernoulli généralisé, ventilateurs, filtres...)
- Remplacement FLAMME_S/SIMEVENT + améliorations (IHM)
- Première livraison Octobre 2006



Paramètre d'entrée considéré : débit de pyrolyse

Capacités non prédictives des codes – un exemple de calcul avec SYLVIA

Données de la littérature pour l'huile:

Loi de Babrauskas:

Combustibles (SFPE)	k_B	$m_{f,\infty}$
Fuel oil	0.7	35
Transformer oil	1.6	39
Crude oil	1.7	22-45

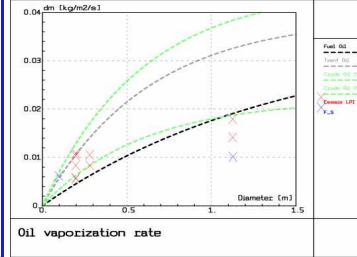
$$\dot{m}'' = \dot{m}_{\infty}'' \left(1 - e^{-k_B \cdot D}\right)$$

Bibliothèque FLAMME_S: 10 g/m²/s

Essai en Tewarson : 6 g/m²/s , surface 0,01m² ?

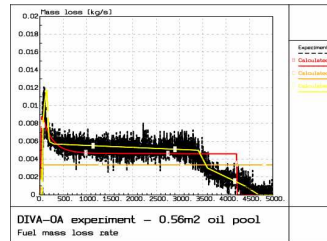
Essai LPI (sous-ventilé) : 10 g/m²/s , surface 0,01m²

Effet d'échelle

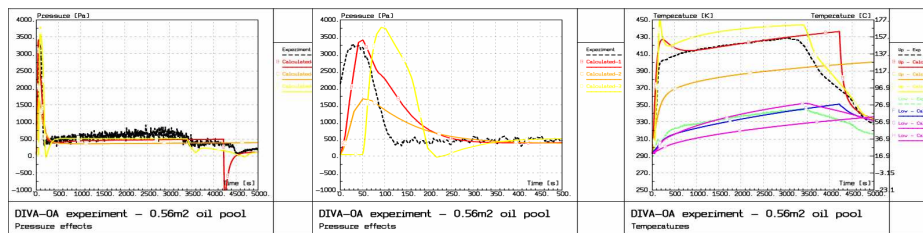


Choix du débit de pyrolyse:

- **Calcul 1 :** loi de Babrauskas (valeurs du SFPE pour l'huile combustible : $m_{f,\infty} = 35 \text{ g/m}^2/\text{s}$; $k_B = 0.7 \text{ m}^{-1}$)
+ corrélation de Peatross & Beyler (Lower Oxygen Limit = 12%) ▶▶
- **Calcul 2 :** taux d'évaporation constant d'après des mesures effectuées dans un appareil de Tewarson (petite échelle $m_f = 6 \text{ g/m}^2/\text{s}$)
- **Calcul 3 :** Débit de pyrolyse d'après les mesures expérimentales de masse de combustible (cas de validation précédent)



Capacités non prédictives des codes – un exemple de calcul avec SYLVIA



- Les résultats SYLVIA et FLAMME_S/SIMEVENT sont à peu près identiques pour une modélisation similaire (calcul3)

⇒ peu « d'effet code »

- Tous les résultats (pics de pression, températures, durée du feu) sont extrêmement sensibles aux paramètres d'entrée

⇒ « effet utilisateur » potentiellement très important

- D'autres paramètres d'entrée (ex. réaction de combustion, inflammation, extinction) sont aussi à mettre en question

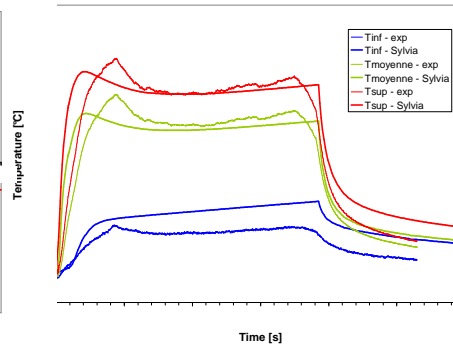
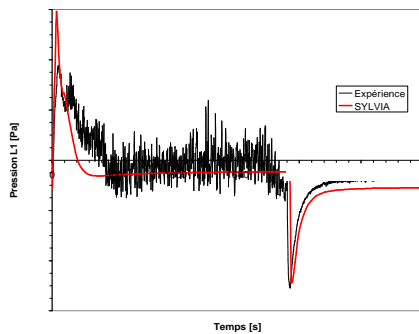
Le manque de données validées sur les combustibles limite les capacités prédictives des codes dans leur domaine d'application (combustibles « réels »)

	t_{fire} (s)	P_{max} (hPa)	T_{max} (K)
Expérience	4600	33	430
Calcul 1	4200	33	435
Calcul 2	6100	28	410
Calcul 3	4600	38	450

Intérêt de la prédictibilité : exemple PRISME-Door

Essai PRS-D3 (mêmes hypothèses de modélisation):

- 2 locaux de 120m³ séparés par une porte ouverte + réseau de ventilation DIVA
- Bac de TPH (dodécane) de 0,4m²
- Ventilation adm+ext haute ; 4,7 r/h
- ▶ **Prédiction de la durée du feu**
 - ▶ **Influence sur les températures paroi, sur la tenue des structures...**



Validation et prédictibilité des codes à zones - 14/12/2006 - 13

IRSN

Conclusions

Conclusions de l'étude de validation :

- Extension du « domaine de validation » du code sur une configuration multi-compartiment : estimation des incertitudes liées.
- Limites classiques des codes à zones exprimées en fonction de la taille du foyer.
- La validation est dépendante des paramètres considérés : les pics de pression sont très sensibles (modèles manquants) mais l'accord sur l'influence sur les pièces cibles est correct.

Questions sur la validation :

- Comment inclure les paramètres d'entrée dans les questions de validation?
 - Estimation de l'effet utilisateur sur des *blind-tests*.
 - Utilisation d'outils statistiques pour la propagation d'incertitudes.
 - Utilisation de données d'entrées validées : constitution de bases de données qualifiées.
- Questionner la prédictibilité des codes permet de porter l'effort de modélisation sur les paramètres d'entrée les plus sensibles.

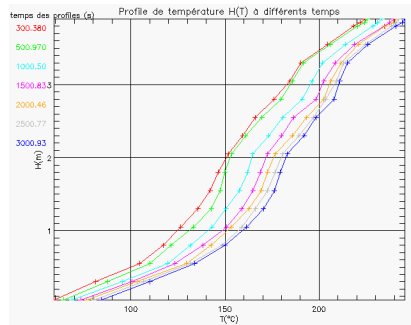
Validation et prédictibilité des codes à zones - 14/12/2006 - 14

IRSN

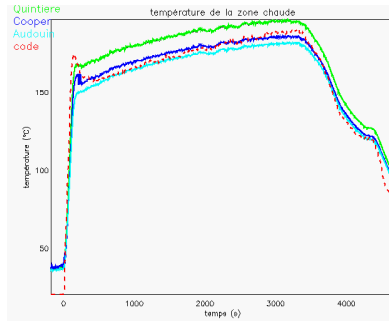
Stratification thermique et méthodes de réduction des données



Profils de température durant l'essai DIVA-0B (fuites)



Différentes méthodes de réduction pour l'estimation des grandeurs moyennes de zone

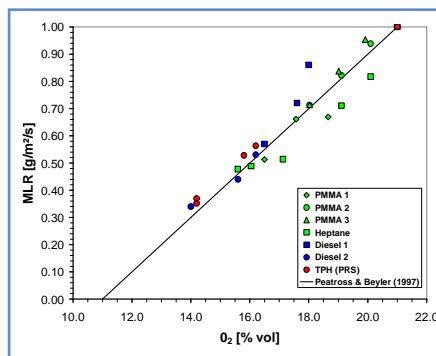


L'utilisation de « mauvaises équations » engendre aussi une incertitude sur les résultats expérimentaux

Effet de la sous-ventilation :



Loi de Peatross & Beyler



$$\frac{\dot{m}''}{\dot{m}''_{\infty}} = 0,1 \cdot X_{O_2} - 1,1$$