

Le code MAGIC : simulation du risque incendie pour la sûreté nucléaire des centrales

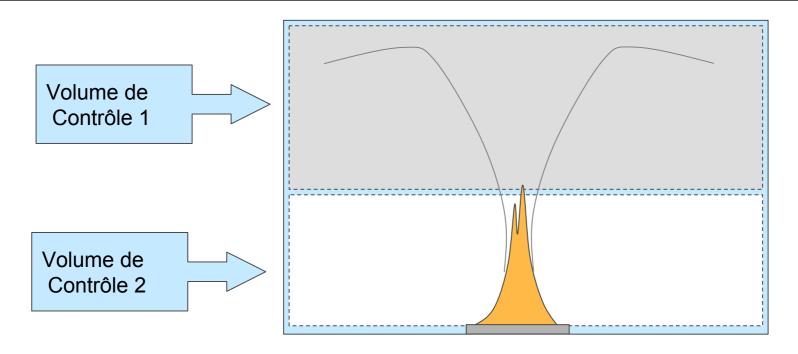
B. GAUTIER – M. BENFARAH EDF R&D 6 Quai Watier 78401 Chatou



Qu'est ce que MAGIC?



- MAGIC est un modèle bi-zone développé par EDF R&D
- Le modèle s'appuie sur des bilans de masse et d'énergie sur 2 zones superposées et indépendantes dont l'interface est variable



es composants de la simulation

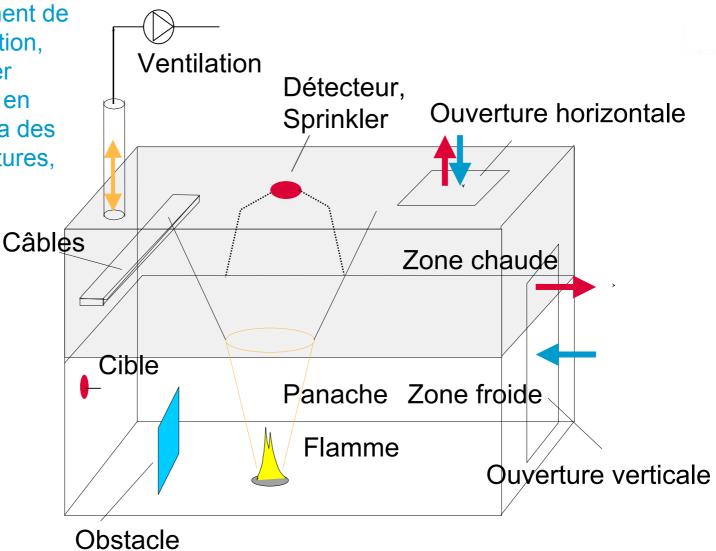


- Locaux parallélépipédiques, parois de composition multi-couche
- Ouvertures verticales or horizontales: portes, trémies, trappes dimensions modifiables au cours du temps
- Ventilations mécaniques avec éléments de réseau, conduites, perte de charge, échanges thermiques
- Foyers circulaires ou linéiques, foyers câbles dont l'ignition est associée au comportement thermique d'un câble témoin
- Cibles simple fluxmètres, cibles thermiques
- Détecteurs thermiques systèmes sprinkler
- Écrans au rayonnement direct (mobilier)

Le local



Le local est l'élément de base de la simulation, qui peut comporter jusqu'à 24 locaux en communication via des parois, des ouvertures, des ventilations.



Approche physique



- Modèle Bi-zone (→ monozone)
- Combustion en phase gazeuse, régie par le débit de pyrolyse et le taux d'O₂, bilan instantané, LOL réglable
 - Foyers secondaires : ignition sur critère de T.
 - · Flammes aux ouvertures,
- Rayonnement (radiosités facteurs littéraux) entre flamme, gaz et fumées, parois et extérieur, obstacles au rayonnement, cibles et câbles,
- Convection : fixe (ou corrélée) sur parois, corrélées sur cibles et câbles,
- Conduction thermique (cibles 1D, paroi 1D multi-couche et câbles radiale multi-couche) maillage automatique irrégulier, différences finies

Approche physique



- Flamme, panaches, ceiling-jet:
 - Température et entraînement de panache (Mc Caffrey, Zukoski linéaire)
 - Température de l'écoulement au plafond (Ceiling jet : Cooper)
 - Forme des flamme : approche EDF(Alpert, origine virtuelle)
- Ouvertures :
 - Ouvertures verticales : approche hydrostatique (Curtat-Godard)
 - Ouvertures horizontales : formulation de Cooper
- Sprinklers : détection modèle RTI, refroidissement par distribution de gouttelettes (facteur K, distribution de Rosin-Rammler)
- Multi-compartiment, multi-feux, etc...

Résolution numérique

Initialisation:

- Variables
- Résultats

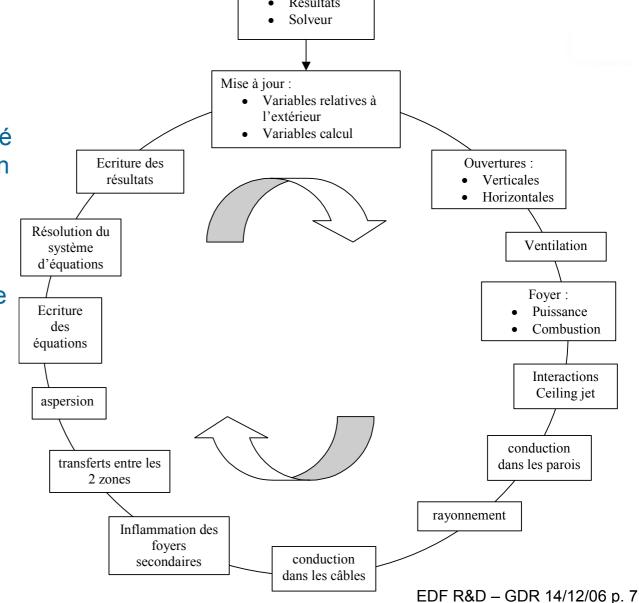
edf

Calcul implicite en dynamique

Méthode de type "Gear" avec pas de temps et degré du polynôme d'interpolation variables (ODE non linéaires)

Résolution des équations algébriques par la méthode de Broyden.

Maillage des calculs de différences finies (conduction) basé sur les temps caractéristiques du problème.



Grandeurs physiques exploitables



- Température moyenne (zones,local), températures locales (cibles), flux (cibles, parois), envahissement des fumées, pression au sol, débits fluide (ouvertures, ventilations), concentrations (O₂, imbrûlés), puissances (foyers), perte de masse (combustibles), opacité des fumées, hauteur de flamme, vitesses locales (cibles).
- Principales grandeurs utilisées comme critère de sûreté:
 - Températures : ambiantes, sur cible ou câble (surface ou interne), dans les gaines, dans les parois.
 - Flux sur cible ou paroi (rayonnement, convection, total)
 - Temps (d'atteinte d'un critère)
- Autres critères pouvant intervenir:
 - Envahissement des fumées
 - Écarts de pression
 - Opacité (visibilité), taux d'oxygène

Domaine d'application

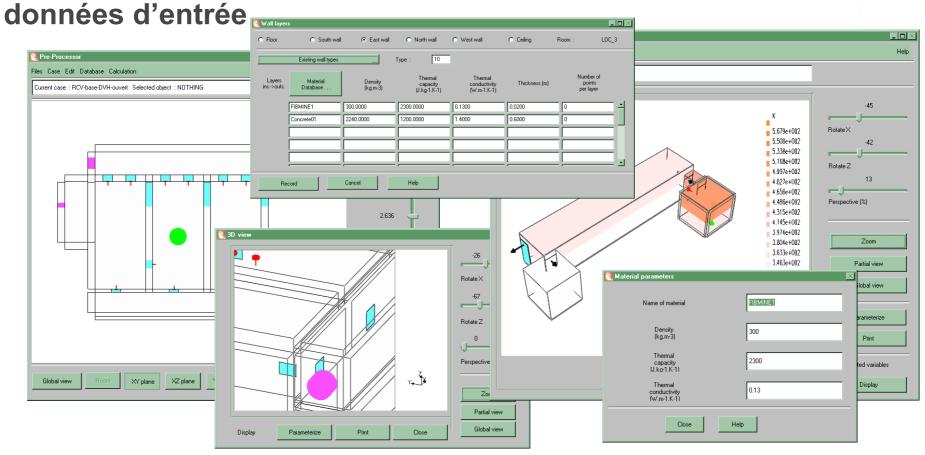


- Configurations mono ou multilocal, avec des compartiments de dimensions petites ou moyennes
- Les grands volumes : (ex : dôme BR, salle des machines), ne sont pas toujours adaptés à l'approche bizone.
- Scénarios de prédiction :
 - Sur l'hypothèse d'un terme source associé à un combustible, déclenchement du feu et prédiction d'endommagement de matériels exposés, temps de détection.
 - ➤ Possibilité de déclencher d'autres foyers sur critères thermiques (propagation)
 - ➤ Possibilité de scénariser l'ouverture (ou la rupture) des portes, comportement des ventilations

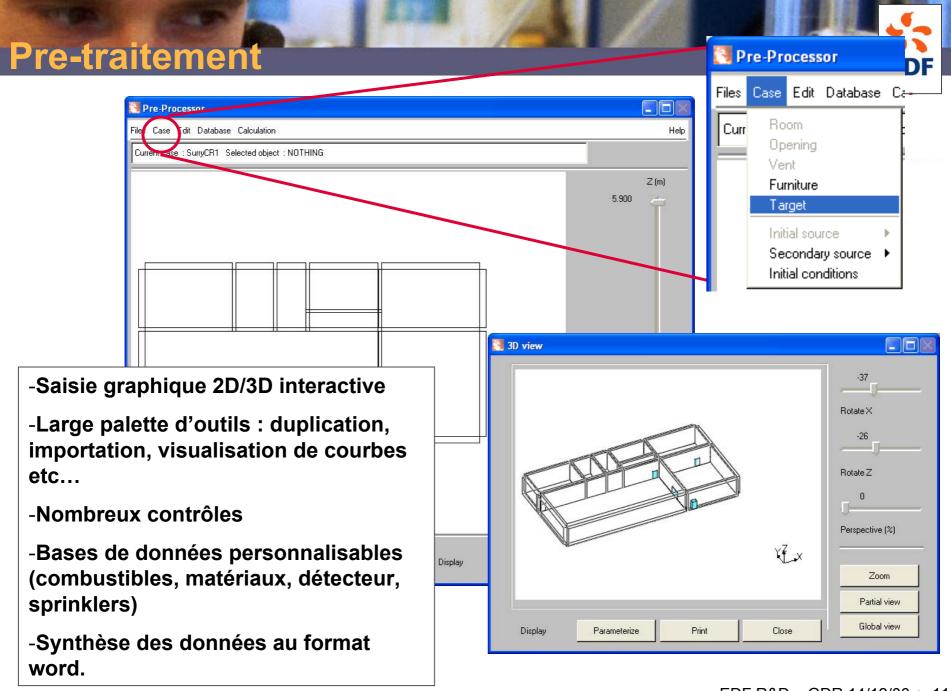
Interface Utilisateur



• Visualisation 3D, saisie assistée : un meilleur contrôle des



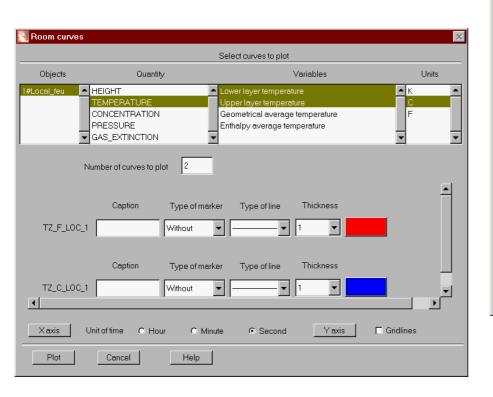
• Un outil très convivial (version PC) permettant une saisie rapide et sûre.

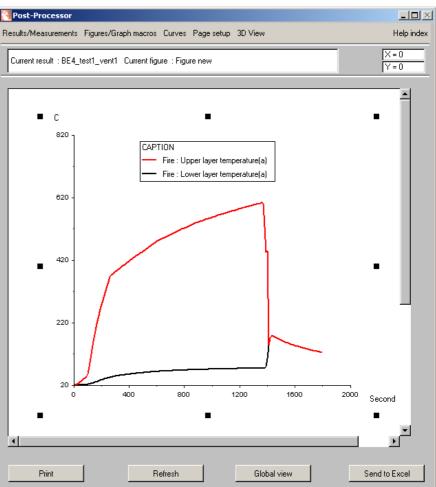


Post-traitement

eDF

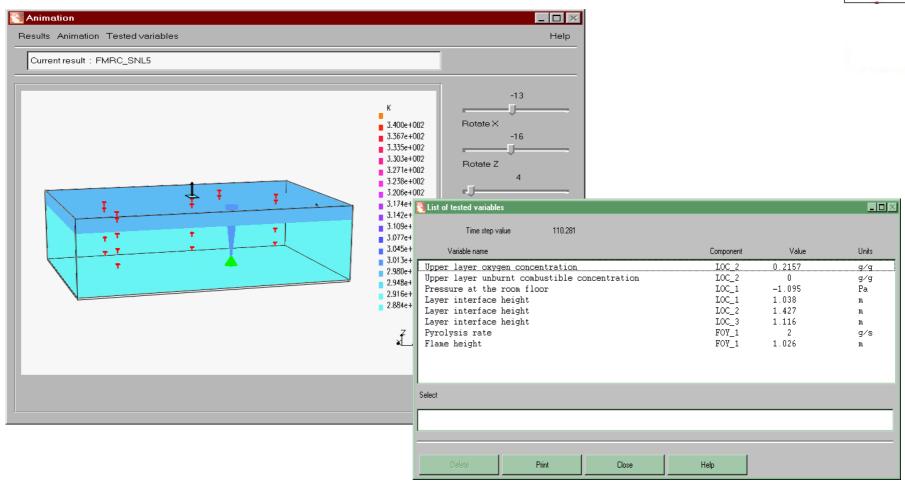
- Génération de courbes temporelles
- Choix de l'unité
- Macro commandes
- Résultats transférables vers Excel





Animation





Représentation dynamique des résultats en 3D et tableaux comparatifs

Dossier de Validation



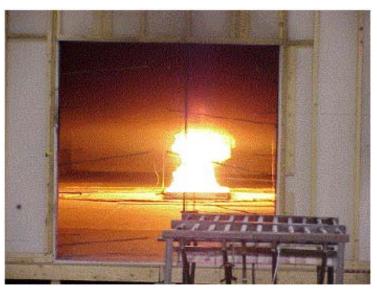
Document émis à chaque version du code, confrontation à des essais réels

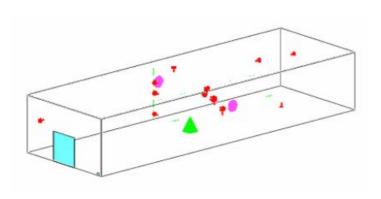
- Volumes de 30 à 4307 m³
- Foyers de 100 kW à 4,5 MW
- Rapport puissance/volume de 0.5 à 80 kW/m³
- Différentes configurations : mono et multi-compartiment, ventilation naturelle ou forcée, larges ouvertures ou infiltrations.
- Combustibles liquides et solides
- Cibles thermiques, câbles, sprinklers
- Foyers Circulaires or linéiques
- ~20 cas différents extraits d'une base d'une centaine d'essais
- issus de la littérature (NIST, CSTB, SNL, VTT etc.) essais EDF.

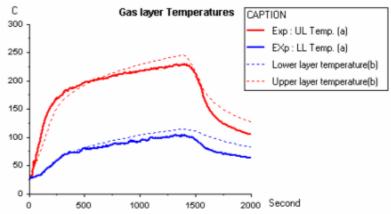
Dossier de Validation











ex : cas BE#3 NIST (2003 - USA)

Confrontations diverses (benchmarking)



- US: COMPBURN, FIVE, CFAST (EPRI/Univ. Maryland) 1998
- Post-SMIRT
- CTICM (CIB, multi-room, large volumes)
- ICFMP depuis 2001(IRSN-NRC-GRS)
- OCDE PRISME (débuté 2006)
- NUREG 1824 NRC V&V

- Retour d'expérience
- Références Internationales → EPRI, NRC (V&V)
- Différents utilisateurs hors EDF: IAEA BINE-China; CEA, LECES, CTICM, Westinghouse, Univ. of Maryland, US utilities, Iberdrola etc.

Dossier V&V NRC



-Document NUREG 1824 (janv 2007):

- -Accréditation (description/étude de sensibilité/confrontation essais grandeur réelle) pour le parc nucléaire américain
- -Application de la norme NFPA 805 (Performance Based Risk assessment).
- Choix des tests basés sur la couverture de différents aspects des réacteurs REP :
 - Salle de commande (test SNL/FMRC) 1400 m³, h=6.1m
 - Zones de feux, couloirs (multi-locaux NBS)
 - Rapports puissance/volume élevés: (Essais IBmB BE#4 ICFMP) 47kW/m³
 - Grands locaux (VTT BE#2 ICFMP) 5900 m³, h=19m
 - Feux de câbles (IBmB BE#5 ICFMP)
 - Endommagement de cibles, études paramétrique (NIST BE#3 ICFMP)

Applications (exemples)



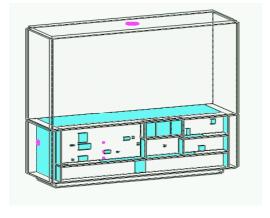
- Etudes génériques (mise au point de la doctrine REP)
- Simulation incendie local Déminé Paluel. Application de l'arrêté 31/12/1999
- Etude de risque incendie du porte avion CdG (1999)
- Dossiers sûreté divers
- Etudes EDF en cours :
 - Calcul déterministes dans le cadre de l'Etude Pobabiliste de Sûreté des réacteurs 1300 MWé
 - Etude préparatoire des méthode de dimensionnement de la sectorisation (EPR)

Applications (exemples)



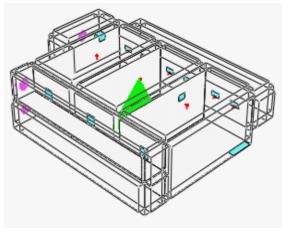
Exemples de scénarios <u>d</u>'étude en centrale nucléaire. (réacteurs 900 MWe et 1300 MWe)

Bâtiment réacteur



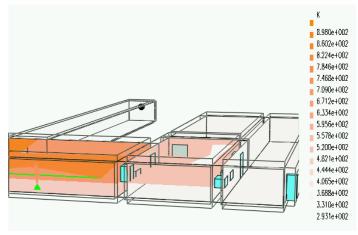
Feux de câbles dans la zone annulaire

Locaux pompes RCV



Feu de pompe et interaction ventilation

Bâtiment électrique



Progression de fumées sur feu de câbles

Documentation du code



- Documents utilisateur:
 - Manuel de référence (documentation détaillée des fonctionnalités de l'interface) – HI-82/04/025/A
 - Manuel théorique (description détaillée des modèles physiques)-HI-81/05/046A
 - Dossier de qualification (Confrontation à une sélection de 20 tests/domaine de validité/non-régression) HI-82/04/022/B
 - Guide de prise en main (déroulement d'un exercice illustratif tutorial) – HI-81/05/039/A
 - Dossier d'installation (fourni avec le CD-rom)

Tous ces documents ont été mis à jour pour la version standard actuelle (V411b).

Comment s'équiper du code



- Code communicable via contrat de collaboration par la R&D ou le SEPTEN
- Formations (site de Chatou) :
 - R&D Itech (1 à 2 sessions par an) Oct-06
 - 2j. Sensibilisation modélisation du feu initiation MAGIC

Domaine: Sciences et Techniques d'Ingenierie

Sous-domaine : Institut de Transfert des

Technologies (I-Tech)

Code du domaine : D69

Code du stage : 4866

Caractère libératoire : 035

Formations à la demande

Evolutions futures



- Modélisation des systèmes brouillards d'eau
- Modélisation des détecteurs de fumées
- Élargissement des possibilités géométriques (traversées de panaches sur ouvertures horizontales)
- Enchaînement de calculs pour études paramétriques
- Renforcement des possibilités des réseaux de ventilation
- Interaction pyrolyse/confinement