

Utilisation du Code_Aster dans une activité d'ingénierie du Parc Nucléaire en Exploitation



Journée annuelle des utilisateurs du Code_Aster
15 mars 2007

Raphaël PERONY



Contexte UTO

- **UTO** : Unité de la Division Production Nucléaire (DPN)
- Unité nationale d'ingénierie opérationnelle chargée de la maintenance des centrales REP d'EDF
- **Service d'Ingénierie Spécialisé (SIS) : Analyses Mécaniques**
 - constatations d'écart sur des matériels
 - activités d'anticipation d'Examens Non-Destructifs ou de maintenance
 - dossiers de qualification d'intervention
- Ces études concernent directement la sûreté et la disponibilité des installations nucléaires d'EDF
- **AQ du Code_Aster** : argument prépondérant quant à la crédibilité des études présentées aux Autorités de Sûreté.



Contexte UTO

■ Matériels impactés : **Réceptacles** et **Tuyauteries**

- Circuit Primaire Principal
- Circuits de l'îlot nucléaire - IPS
- Circuit Secondaire Principal
- Circuits de la partie conventionnelle

■ **Dommages** mécaniques traités :

- déformation excessive
- déformation progressive
- instabilité plastique
- fatigue : amorçage de fissuration, propagation
- Flambage
- rupture brutale

■ **Codes** utilisés :

- Code de conception et construction : RCC-M, CODAP, NF EN, ...
- Règles de surveillance en exploitation : RSE-M



Panorama des études UTO

➤ Traitements d'écarts rencontrés en exploitation

Apports aux doctrines de maintenance et allègements d'exigences réglementaires

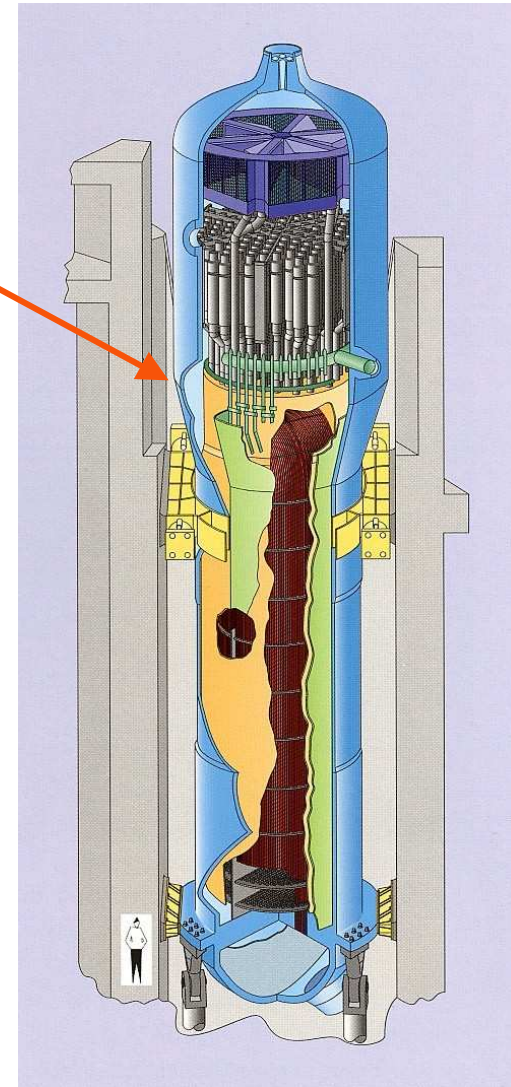
Conception et justification d'opérations de maintenance



analyse de nocivité d'un défaut

Soudure (joint final) d'un Générateur de Vapeur (GV) du CNPE de Bugey

- Analyse de la stabilité d'un défaut plan semi-elliptique
- Calculs 3D en élasticité non-linéaire
- Chargements : transitoires thermiques et de pression
- Calcul du taux d'énergie de restitution G le long du front de fissure
- Critère RSEM : résistance à l'amorçage de la déchirure $J_{0,2}$ du matériau 16 MND 5





analyse de nocivité d'un défaut

```
THER_NON_LINE...
```

```
STAT_NON_LINE=...
```

```
COMP_ELAS=(F(RELATION='ELAS_VMIS_TRAC'
```

```
...)
```

```
DEFI_FOND_FISS ...
```

```
CALC_G_LOCAL_T(...
```

```
FOND_FISS= fond,
```

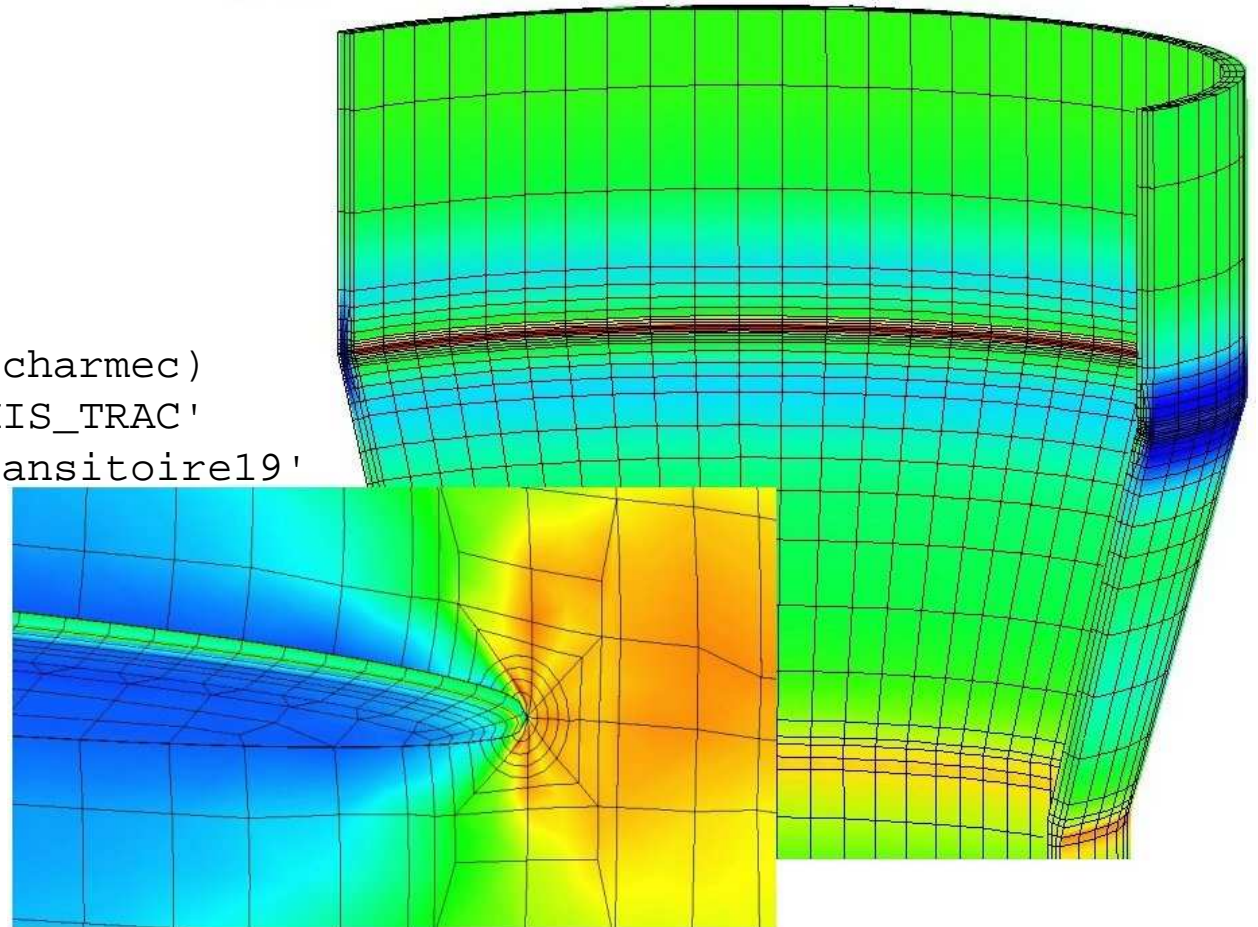
```
R_INF_FO = Rinfl,
```

```
R_SUP_FO = Rsupl,
```

```
CHARGE = (pression, charmec)
```

```
COMP_ELAS=...'ELAS_VMIS_TRAC'
```

```
TITRE ='couronne 1-Transitoire19'
```

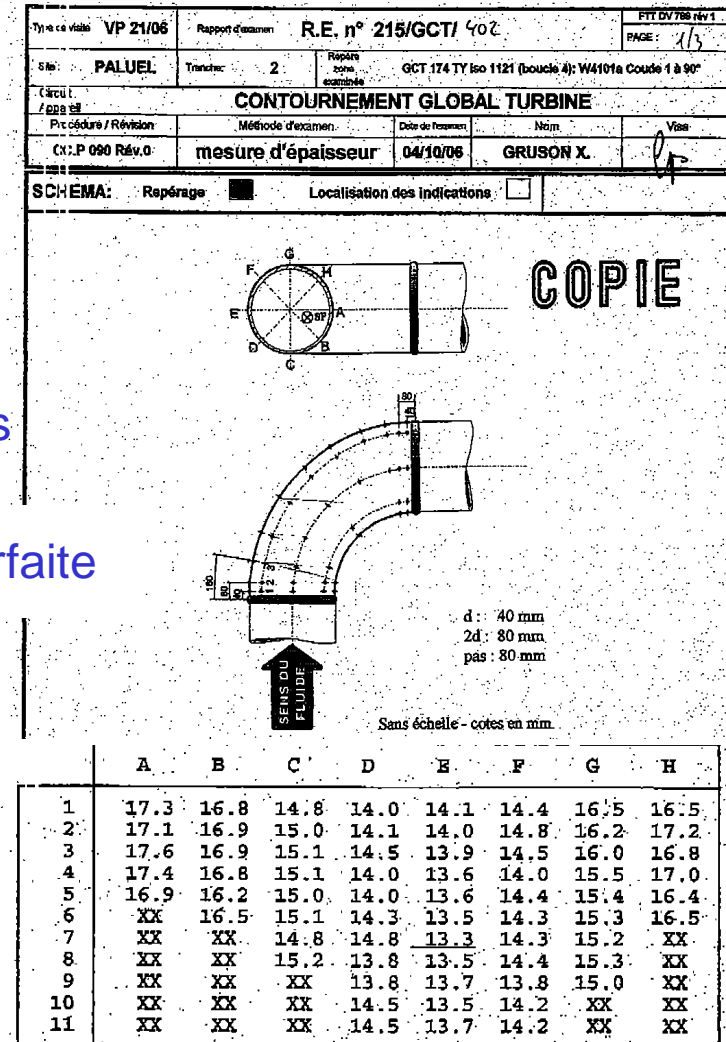




analyse de nocivité d'une sous-épaisseur

Coude de la ligne GCT du CNPE de Paluel

- Sous-épaisseur à l'intrados et l'extrados
- Tenue à la pression interne
- Maillage : profil réel des épaisseurs mesurées
- Analyse limite : Calcul 3D élasto-plasticité parfaite
 - Charge limite P1 du coude réel
 - Charge limite P2 d'un coude de référence
 - Justification si $P1 > P2$
 - Dommages traités : Déformation excessive, instabilité plastique



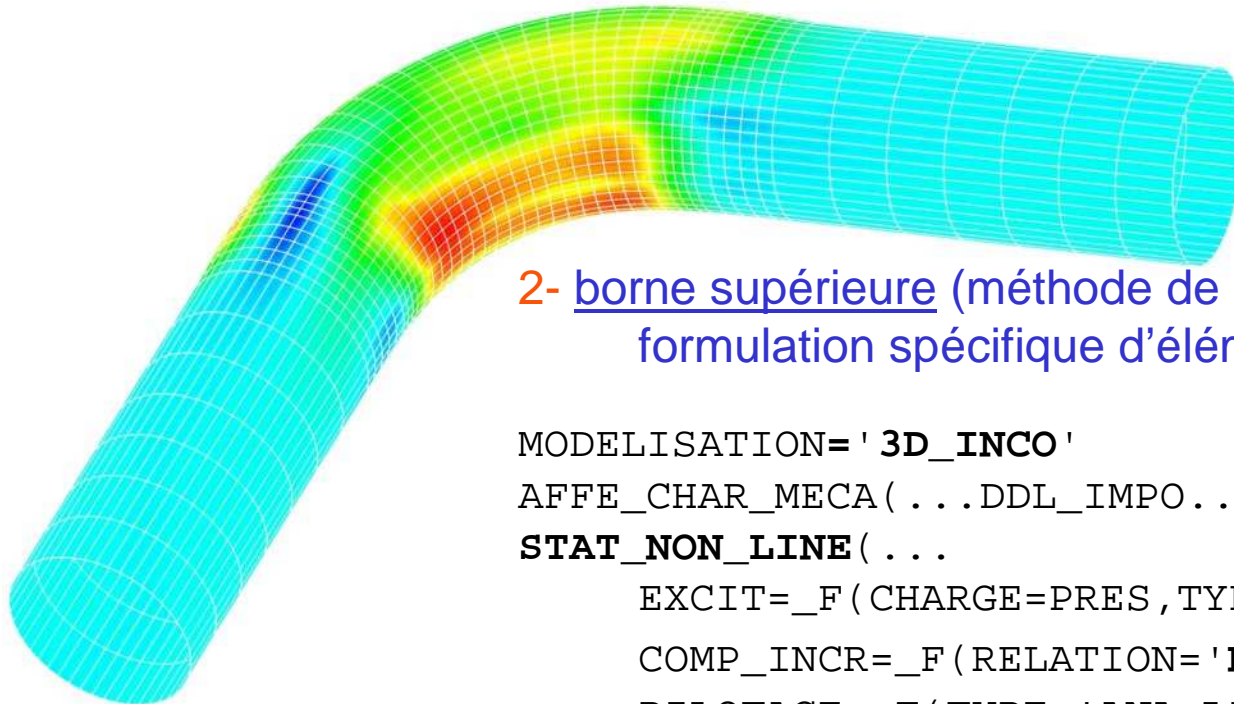


analyse de nocivité d'une sous-épaisseur

1- borne inférieure de la charge limite

(pilotage de la pression en déplacement imposé) :

```
STAT_NON_LINE( EXCIT=_F(CHARGE=PRES,TYPE_CHARGE='FIXE_PILO',),  
COMP_INCR=_F(RELATION='VMIS_ISOT_LINE',...  
PILOTAGE=_F(TYPE='LONG_ARC',...
```



2- borne supérieure (méthode de Norton-Hoff avec une formulation spécifique d'éléments finis incompressibles) :

```
MODELISATION='3D_INCO'  
AFFE_CHAR_MECA(...DDL_IMPO...'SOMMETS',GONF=0,...  
STAT_NON_LINE(...  
EXCIT=_F(CHARGE=PRES,TYPE_CHARGE='FIXE_PILO'  
COMP_INCR=_F(RELATION='NORTON_HOFF',),  
PILOTAGE=_F(TYPE='ANA_LIM',),...  
POST_ELEM(CHAR_LIMITE=...
```




autres méthodes d'analyses de nocivité

- Outils métiers très utilisés :
 - Macro-commandes **ASCOUF** et **ASPIC**
Maillage automatisé, mise en donnée et post-traitement simplifiés
 - Commande **MACR_LIGN_COUPE**
Post-traitement possible sans avoir prévu les sections en pré-traitement
 - Commande **POST_RCCM**
Post-traitement en calcul élastique : **OPTION= 'PM_PB'**
Analyse de nocivité à la fatigue : **OPTION= 'FATIGUE'**
 - ▶ Exemple : tronçon commun ARE/ASG, piquage RCV
- Analyse de nocivité de défauts avec l'Outil d'Analyse Rapide (OAR)
 - Exportation de résultat Code_Aster dans OAR : **IMPR_OAR**
 - Analyse analytiques (RSE-M) de mécanique de la rupture



Panorama des études UTO

Traitements d'écarts rencontrés en exploitation

- Apports aux doctrines de maintenance et allègements d'exigences réglementaires

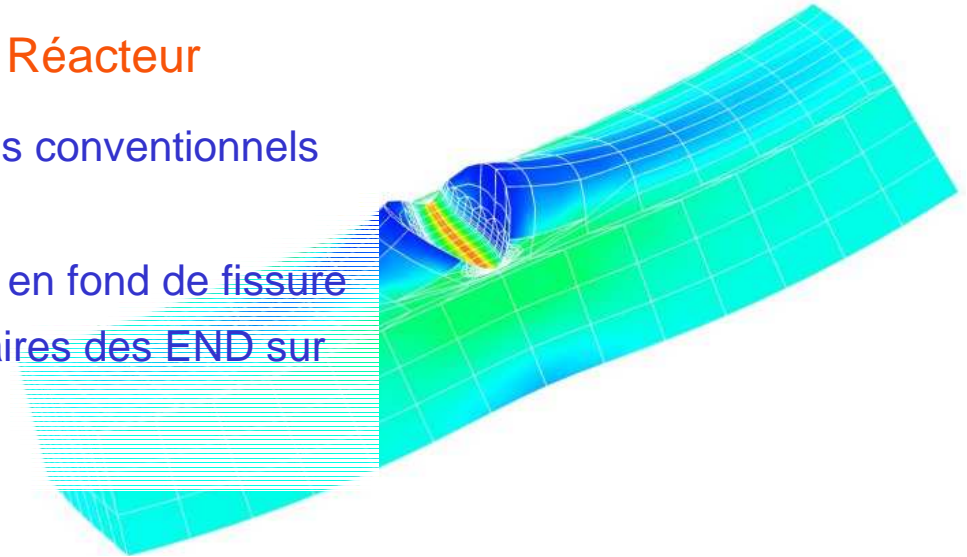
Conception et justification d'opérations de maintenance



Apports aux doctrines de maintenance

Coudes VVP 32" à l'intérieur du Bâtiment Réacteur

- Étude de rupture brutale de défauts plans conventionnels
- Pression d'épreuve hydraulique
- Calcul du taux de restitution d'énergie G en fond de fissure
- Spécification des performances nécessaires des END sur matériel en service



Corps de vannes d'isolement vapeur DELAS

- Modélisations 3D par R&D/MMC
- Défauts maximums admissibles
- Intégration dans une doctrine de maintenance
- Examen en Section Permanente Nucléaire (SPN)
- Réparations par affouillements différées, puis annulées
- Surveillance ramenée au suivi de quelques vannes témoins





Allègement d'exigences réglementaires

Article 34 de l'arrêté ministériel du 26 Février 1974

- Contexte : Approvisionnement des pièces de rechange du CPP (inox)
- Objectif : Supprimer les mesures réglementaires de déformations rémanentes (difficiles dans un contexte industriel) lors des EH
- Argumentation :
 - REX
 - Estimation des déformations d'un tube 4" en sous-épaisseur
 - Calculs élasto-plastiques, Contraintes planes, grands déplacements
 - Non-pertinence des mesures pour la détection de défauts de conception ou de fabrication
- Dossier défendu en SPN
 - Allègement accepté





Panorama des études UTO

Traitements d'écarts rencontrés en exploitation

Apports aux doctrines de maintenance et allègements d'exigences réglementaires

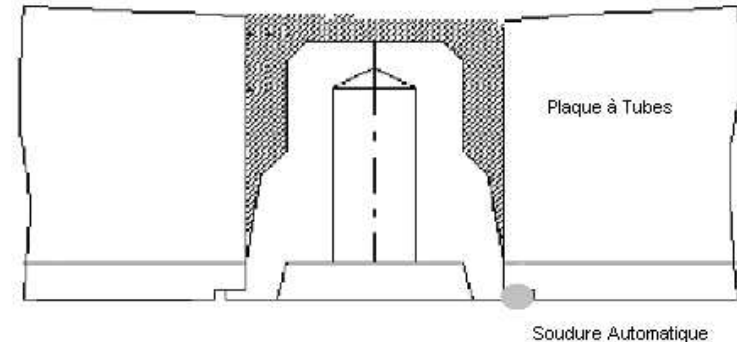
➤ Conception et justification d'opérations de maintenance



Conception d'opérations de maintenance

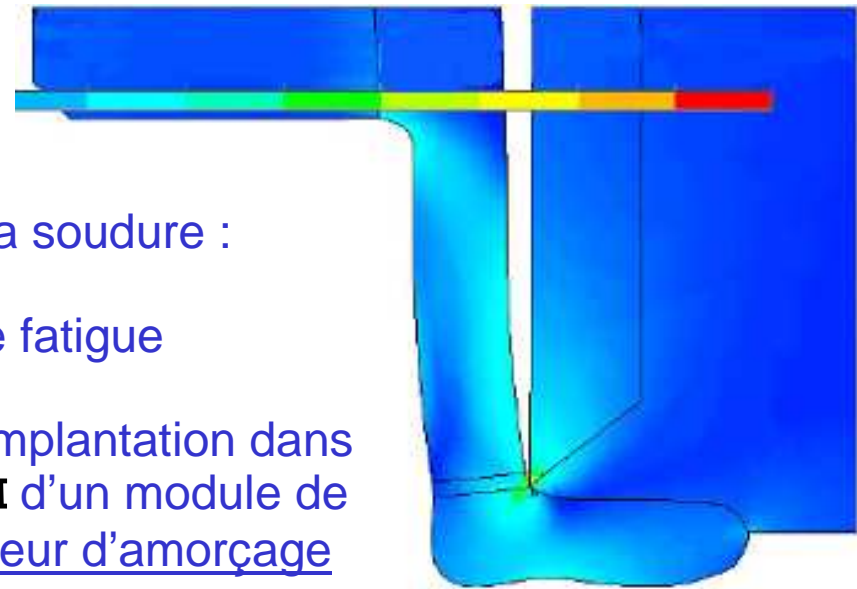
Bouchon soudé de plaque tubulaire de GV 900 MWe

- Contexte : extraction d'un tube du faisceau
- But : installation sur le parc nucléaire français d'un bouchon conçu suivant ASME
- Justification : reprise des calculs de conception suivant le RCC-M



zone singulière de la soudure :

- Dommages de fatigue
- Demande d'implantation dans **POST_RCCM** d'un module de calcul de facteur d'amorçage



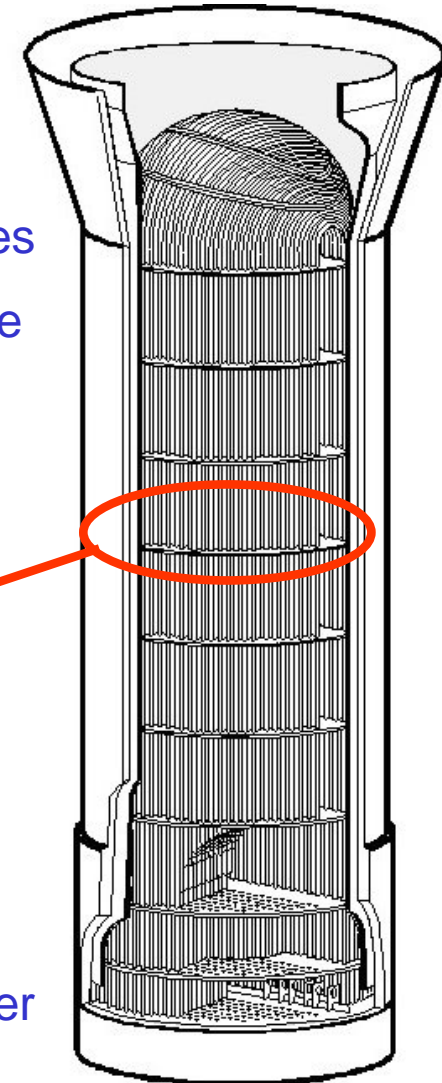
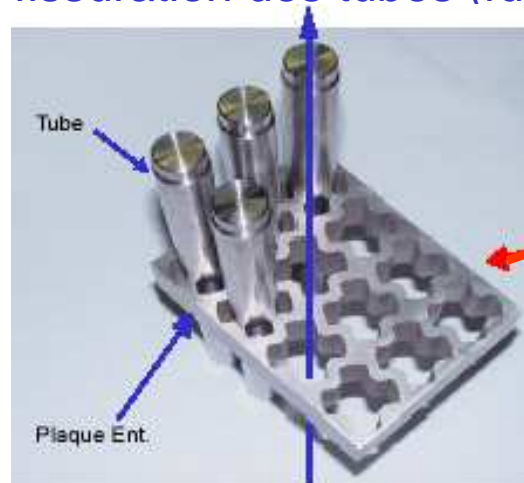


Conception d'opérations de maintenance

Perçage d'orifices dans la virole secondaire des GV

■ Contexte: colmatage des plaques entretoises :

- au droit des trous quadrifoliés de passage des tubes
- peut être à l'origine de la fissuration des tubes (fuite primaire/secondaire)



■ But : introduire des lances de nettoyage haute pression

■ Justification : calculs de charge limite pour déterminer le diamètre maximal possible des orifices



Conclusion

- **Exemples d'utilisation du Code_Aster à l'UTO**
 - contextes appliqués et opérationnels
 - dégagements de marges par rapport à des méthodes analytiques
 - impact direct sur la sûreté, la disponibilité et la performance des CNPE

- **AQ du Code_Aster**
 - argument prépondérant pour l'ASN

- **Assistance aux utilisateurs par les développeurs du code (EDF R&D/AMA)**
 - confort d'utilisation et réactivité

- **Grandes attentes d'évolution du Code_Aster en termes de maniabilité et de productivité**