



Validation physique de Cast3M pour les applications de mécanique de la rupture

Stéphane CHAPULIOT – Arnaud BLOUIN
AREVA-NP – France

*L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci*

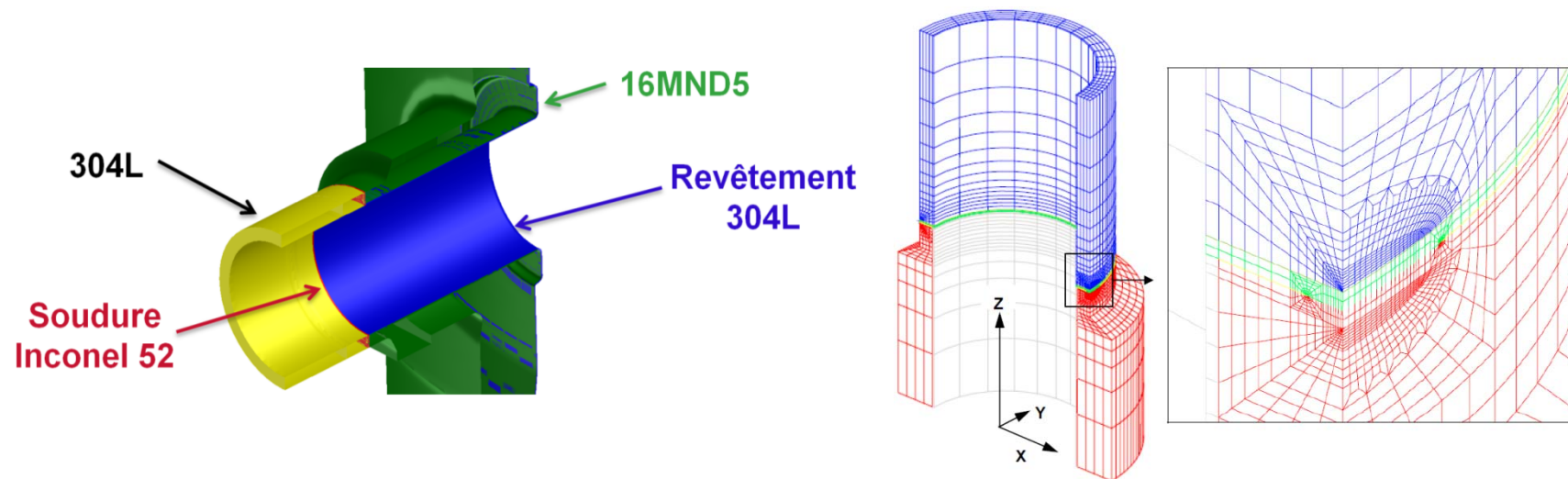


- ▶ **L'analyse à la rupture est un des fondamentaux du dimensionnement des composants nucléaires importants**
 - ◆ **Démonstration de l'adéquation entre le choix du matériau et la fonction du composant (températures, fonction mécanique...)**
 - ◆ **Choix de défauts conventionnels en fonction des procédés de fabrication**
 - **Evaluation de ces défauts vis-à-vis du risque de rupture brutale (amorçage puis propagation instable de la fissure sous chargement accidentel)**
 - **Et évaluation du risque de propagation sous chargements normaux de fonctionnement**

Les défauts postulés étant de type fissure, besoin d'outils d'analyse de mécanique de la rupture



- ▶ Un effort de R&D important pour réaliser ces analyses de manière simplifiée
 - ◆ Sur la base des calculs de dimensionnement conventionnels (calculs E.F. élastiques des contraintes imposées aux composants)
- ▶ Mais un grand nombre de configurations ne peuvent pas être traitées par ces approches simplifiées
 - ◆ Exemple de tubulure de sortie de cuve d'EPR™
 - ◆ Dans une telle configuration complexe, besoin de modéliser explicitement la fissure





- ◆ **La quasi-totalité de ces études numériques sont réalisées sous SYSTUS.**

- ◆ **Areva souhaite pouvoir utiliser le code de calcul Cast3M développé au CEA.**
 - POURQUOI ? → Réaliser des contres-calculs de vérification pour certains dossiers techniques.
 - SYSTUS n'est pas adapté pour un certain nombre d'applications notamment pour la réalisation de maillages paramétriques pour la mécanique de la rupture.

- ◆ **Objectifs du travail réalisé :**
 - 1) **Monter un dossier de validation physique sur la base du dossier SYSTUS pour les applications de mécanique de la rupture**
 - 2) **Pour cela, définition de cas-tests spécifiques. Ceux-ci doivent couvrir :**
 - Des calculs en 2D et en 3D
 - Des calculs élastiques et élastoplastiques
 - Modélisations de chargements mécaniques, thermiques ou encore de contraintes résiduelles
 - Des applications multi-matériaux

Démarche et processus qualité



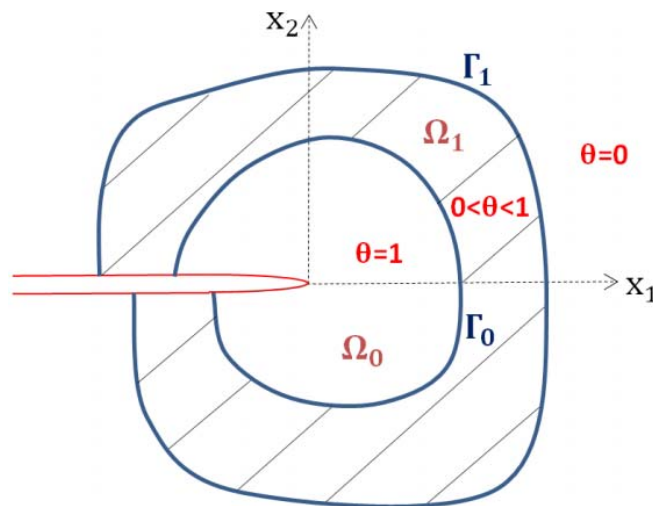
- ▶ **Le travail de validation physique est nécessairement un travail commun entre le fournisseur et l'utilisateur du logiciel**
- ▶ **Les principaux documents nécessaires coté fournisseur pour le dossier :**
 - ◆ La note qualité pour la version Cas3tM actuelle
 - ◆ La liste des tests fonctionnels applicables
 - ◆ Le certificat de conformité du produit Cast3M
 - ◆ La liste des anomalies corrigées de la version précédente
 - ◆ La liste des anomalies recensées dans la version actuelle
- ▶ **Les principaux documents nécessaires côté Areva :**
 - ◆ Fiche Etat Programme (Fiche recensant tous les document CEA et Areva) ;
 - ◆ Note de la maintenance / gestion de code
 - Note désignant les responsables des différents codes utilisés en interne, Elle nomme donc un responsable pour Cast3M
 - ◆ Note de synthèse
 - Note qui décrit la procédure de vérification et de validation des cas-tests CEA et AREVA



Validation spécifique dans le domaine de la mécanique de la rupture



- ▶ On se focalise sur la procédure G-Thêta pour le calcul du taux de restitution d'énergie $G = J$ (paramètre caractérisant la sollicitation d'une pointe de fissure)
- ▶ Méthode numérique G-Thêta :
 - ◆ Estimation de l'énergie dissipée pour une avancée virtuelle de la fissure.



$$G = \frac{dW}{dA}$$

Définition des cas-tests



- ▶ **Les modèles déployés sont simples et précis**
 - ◆ Pour un passage rapide de l'ensemble des cas tests
 - Configuration d'un tube comportant un défaut axisymétrique
 - ◆ Définis pour être ciblés sur un point particulier du calcul de G
 - Objectif de détecter puis rapidement isoler toute anomalie de calcul
 - ◆ Pour être comparés, autant que possible, à des solutions de référence existantes
 - Application en parallèle aux 2 codes (Cast3M et SYSTUS)

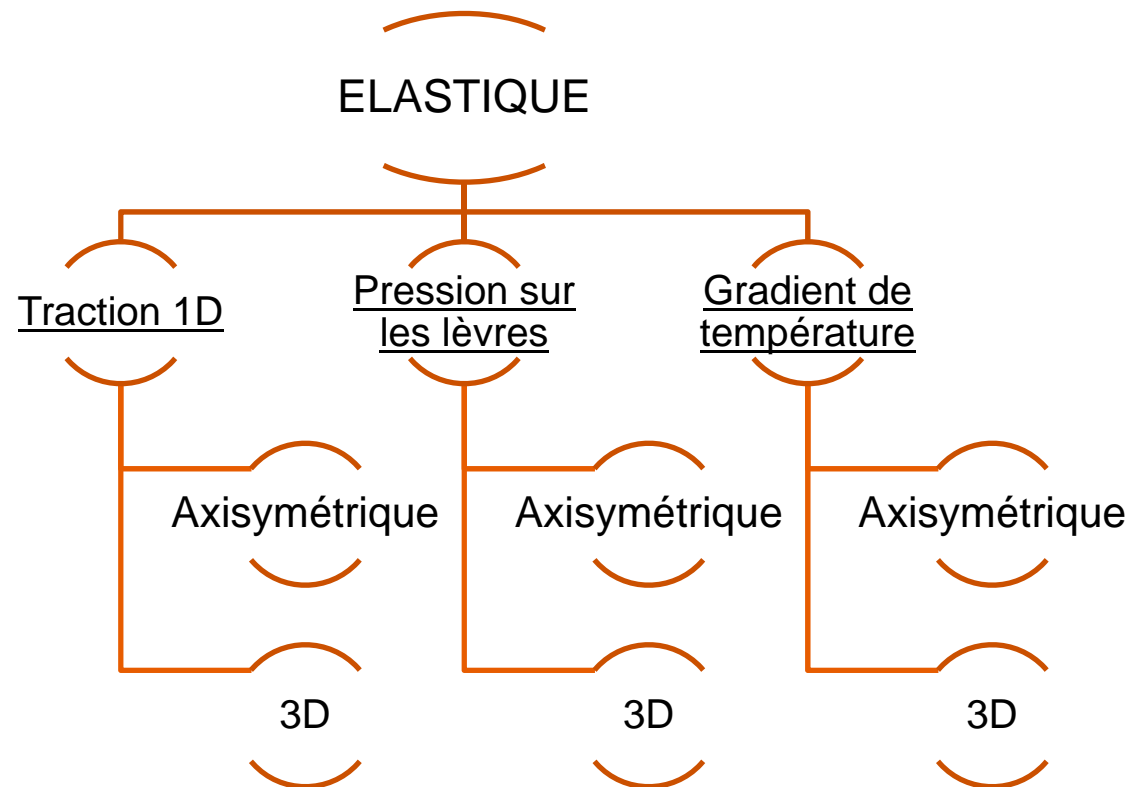
- ▶ **Sont visés :**
 - ◆ Le chargement de traction axiale
 - ◆ Le chargement de pression sur les lèvres de la fissure
 - ◆ Le chargement thermique (gradient de température à travers la paroi)
 - ◆ Les contraintes résiduelles
 - ◆ L'existence d'une interface entre 2 matériaux
 - ◆ Comportement matériau dépendant de la température

→ Objectif de couvrir l'ensemble de nos besoins industriels

Dans le domaine élastique



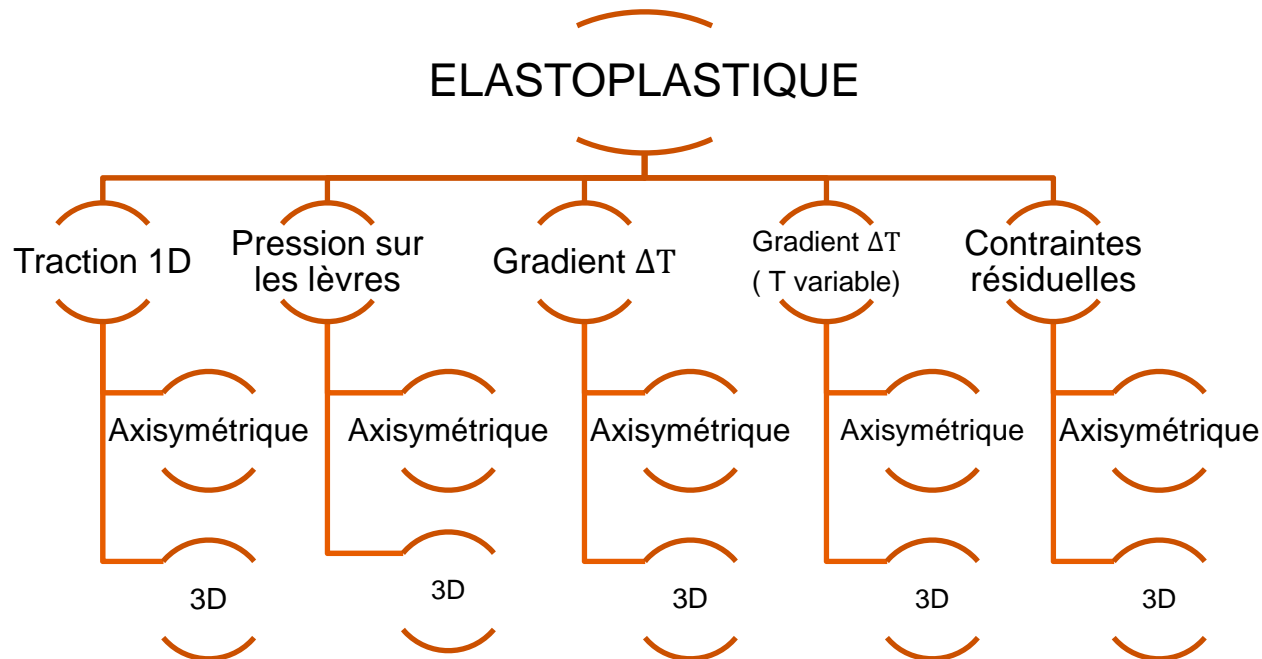
- ▶ Objectif visé : 0,5% max d'écart par rapport aux solutions de références (ici les solutions codifiées dans le RSE-M)



Dans le domaine élastoplastique



- ▶ Moins de solutions connues
- ▶ Objectif visé : 2% max d'écart entre codes





▶ Exemple pour la pression sur les lèvres ($p = 400 \text{ MPa}$)

→ Comparaison avec solution de référence : $J = 43.51 \text{ kJ/m}^2$

◆ Calculs avec éléments finis linéaires

	Erreur castem/reference (%)
1/2 mail axi	0,22%
mail axi	8,91%
1/2mail 3D	0,28%
mail 3D	8,96%

◆ Calculs avec éléments finis quadratiques

	Erreur castem/reference (%)
1/2 mail axi	0,28%
mail axi	4,55%
1/2mail 3D	0,27%
mail 3D	4,56%

→ Mise en évidence d'un problème dans l'intégration de la pression sur les lèvres
→ Possibilité de corriger pour les maillages symétriques

Conclusion et Perspectives



- ▶ **Une démarche de qualification lancée au sein d'AREVA pour les applications de mécanique de la rupture**
→ **Travail nécessairement commun avec le CEA**

- ▶ **Mise au point d'un ensemble de cas-tests**
 - ◆ Précis et ciblés pour détecter et rapidement identifier les écarts
 - ◆ Quelques cas-tests industriels (internes à AREVA) compléteront cette liste
 - ◆ Application de ces cas-tests aux deux codes
 - ◆ Action en cours qui a d'ores et déjà permis de détecter quelques anomalies

- ▶ **Objectif d'aboutir à cette qualification avec la version 2016 de Cast3M**