

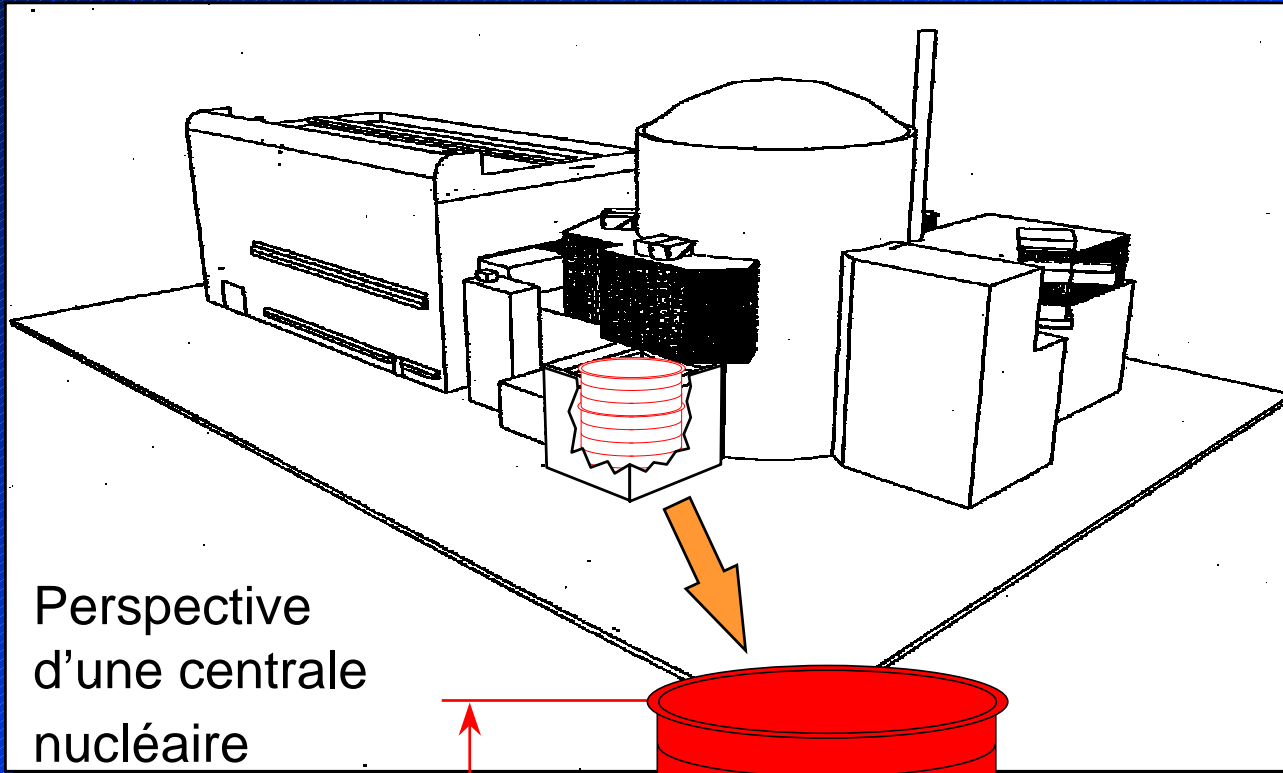
Etude de stabilité non linéaire d'un réservoir sous sollicitation sismique

Nicolas Greffet

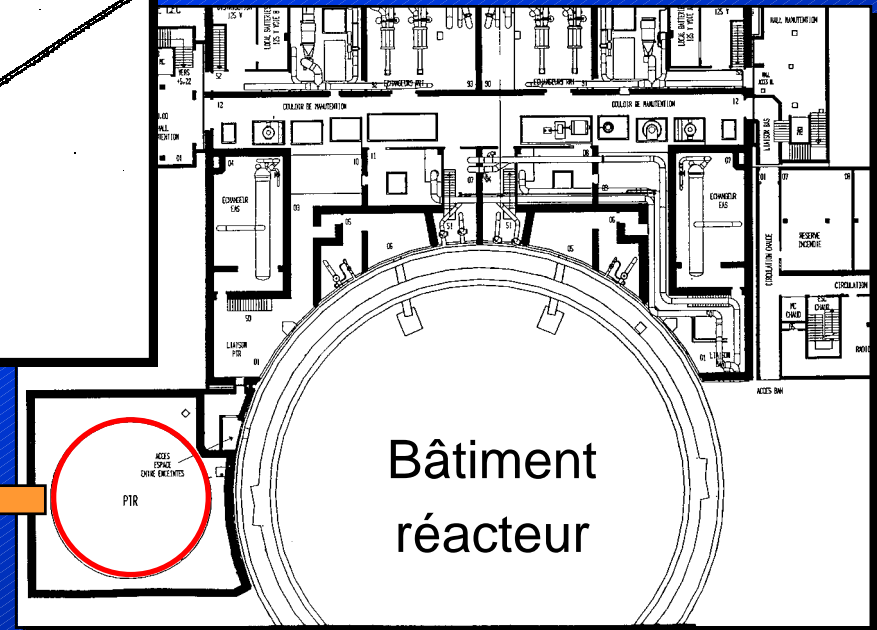
Aimery Assire, Jérôme Pigat, Jean-Michel Proix

EDF - R&D/AMA

Un réservoir potentiellement instable...

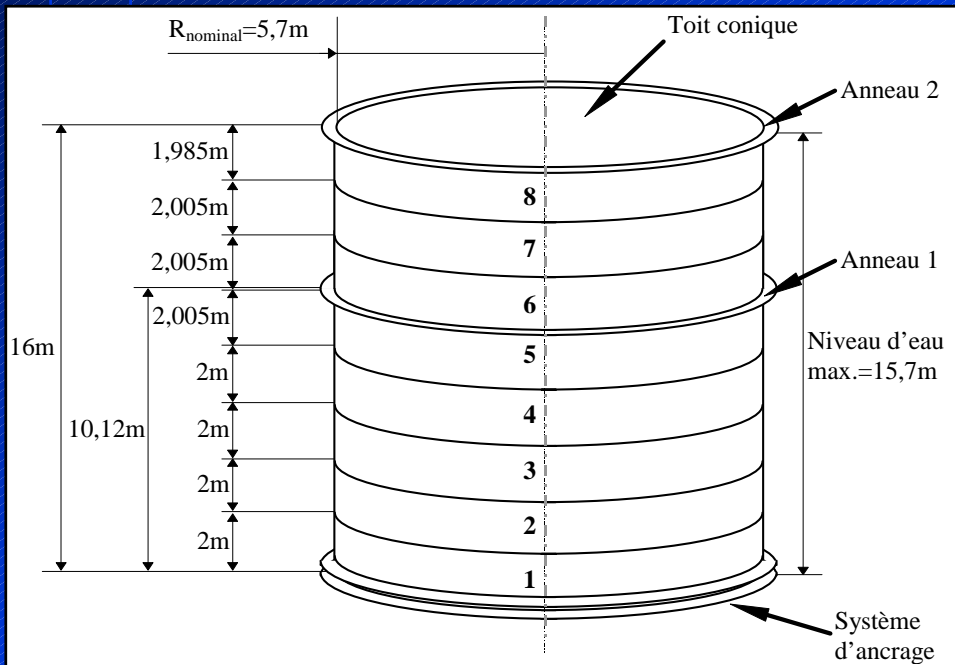


16m



Modélisation du problème mécanique I

- Non linéarités géométriques
 - ➔ flambage
- Non linéarités matériaux
 - ➔ élastoplasticité
- Liaison avec le sol
 - ➔ décollement possible
- Chargement sismique
- Prise en compte du fluide
- Approche réglementaire
 - ➔ calcul quasistatique



Epaisseur viroles : 4 à 7mm

➔ Rayon/Epaisseur ~ 1000



Code_Aster

Modélisation du problème mécanique II

■ Matériaux employés

- Acier inoxydable A240 type 304L
 - ➔ élastoplasticité à écrouissage
isotrope non linéaire
(mot clé **TRACTION** dans **DEFI_MATERIAU**)
- Acier A42 (boulonnerie)
 - ➔ élasticité isotrope

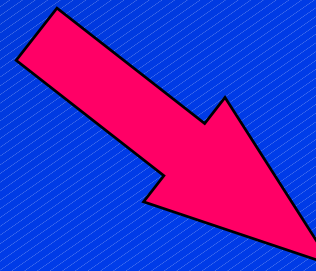
■ Conditions aux limites en déplacement

- Pas de prise en compte du décollement ➔ encastrement

Modélisation du problème mécanique III

■ Chargements imposés

- Poids propre
- Fluide
 - ➔ pression hydrostatique
- Sollicitation sismique
 - ➔ pressions variables (approche réglementaire)
- Pilotage du chargement (évolution quasistatique)



Pressions suiveuses

$$C_0(\theta, z) = P_g + \lambda \cdot (P_h(z) + P_i(\theta, z) \pm P_v(z))$$

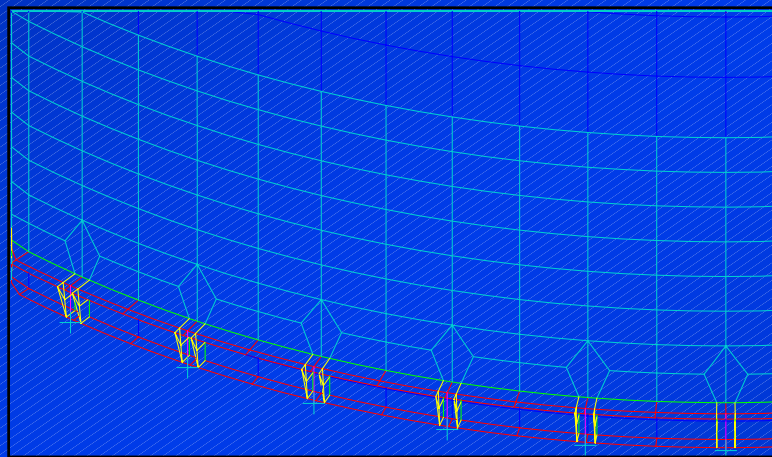
$$C_1(\theta, z) = P_g + P_h(z) + \lambda \cdot (P_i(\theta, z) \pm P_v(z))$$

Avec :

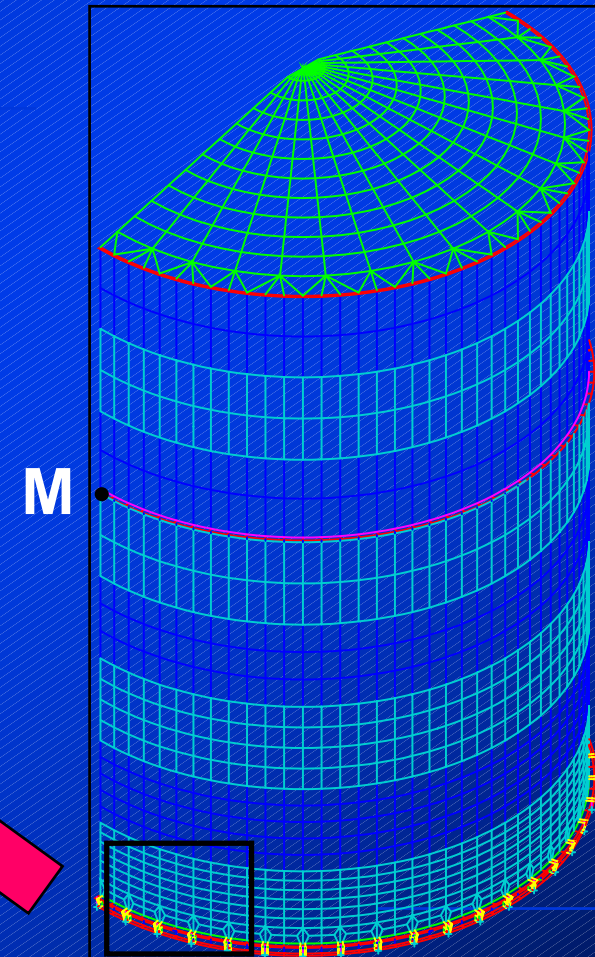
- P_g : poids propre
- $P_h(z)$: pression hydrostatique
- λ : coefficient de pilotage du chargement
- $P_i(\theta, z)$: représente l'accélération horizontale
- $P_v(z)$: représente l'accélération verticale

Discrétisation EF du problème mécanique

- Maillage de référence (55000ddl)
- Mailleur : CASTEM2000
- Eléments **COQUE_3D**

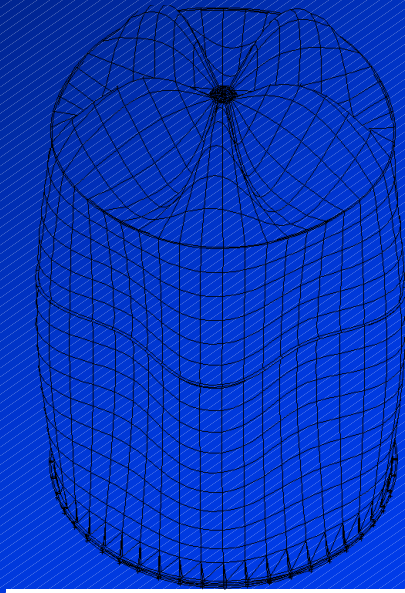


Détail des ancrages

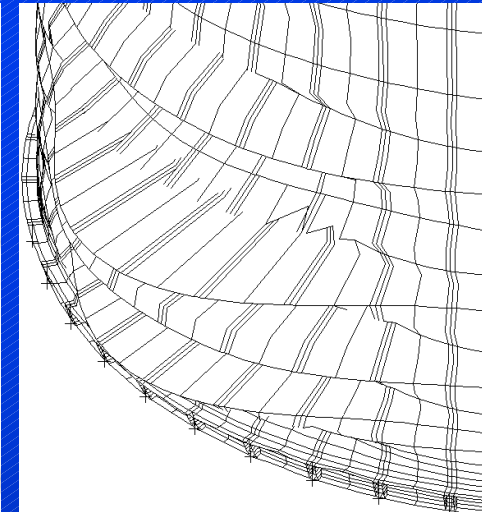
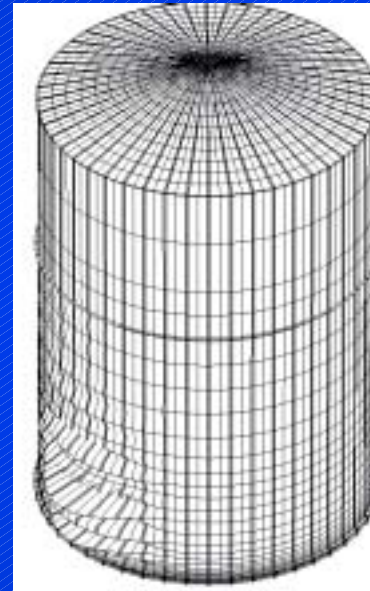


Calculs Code_Aster : qualification de la discrétisation

■ Analyse modale



■ Flambage d'Euler (élastique)



Charge critique

Maillage complet
(220000ddl)

2,33*SDD

Demi-maillage de réf.
(55000ddl)

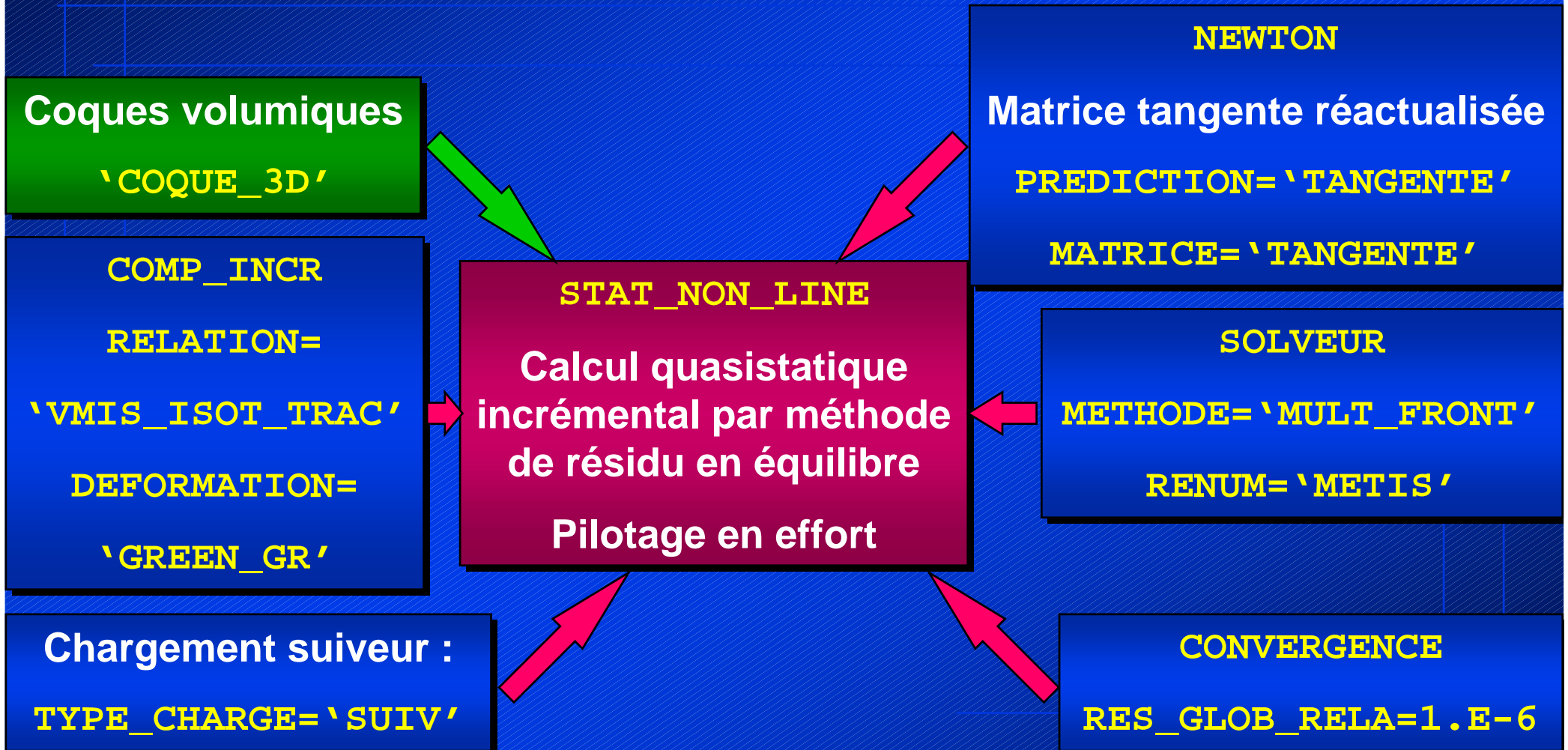
2,38*SDD

ABAQUS (INSA Lyon)

2,37*SDD

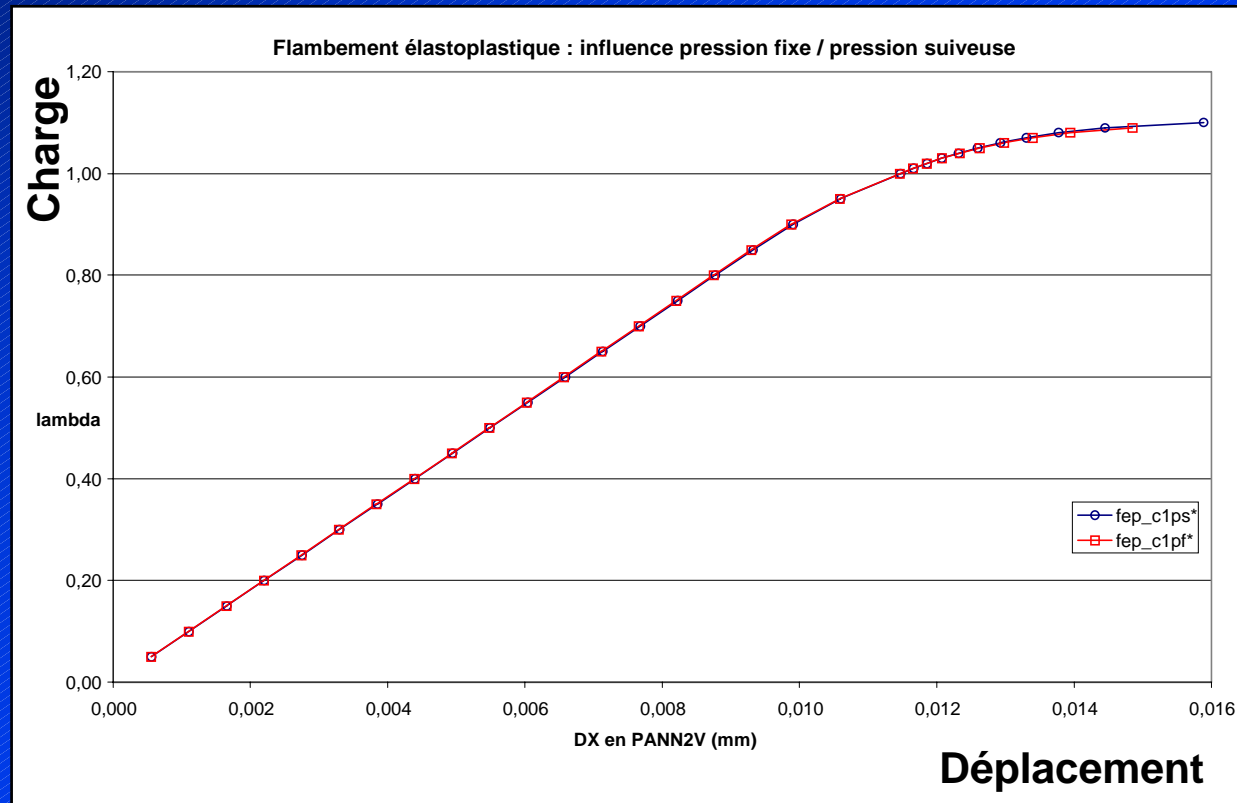
Calculs élastoplastiques

Stratégie de résolution dans Code_Aster NEW6



Calculs élastoplastiques

- Déversement du réservoir (déplacement du point M)



Charge ultime :
1,10*SDD

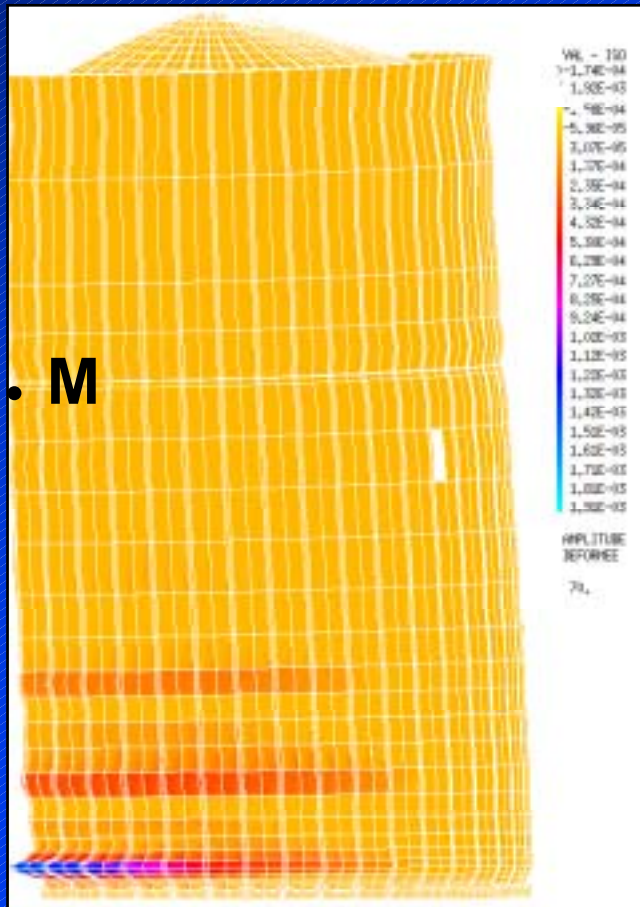
(ABAQUS : 1,17*SDD)

< Charge Euler / 2

Note : sur ce critère, l'influence de l'aspect suiviseur en pression est faible

Calculs élastoplastiques

- Isovaleurs de déformation plastique cumulée



Localisation de la plasticité dans un pli

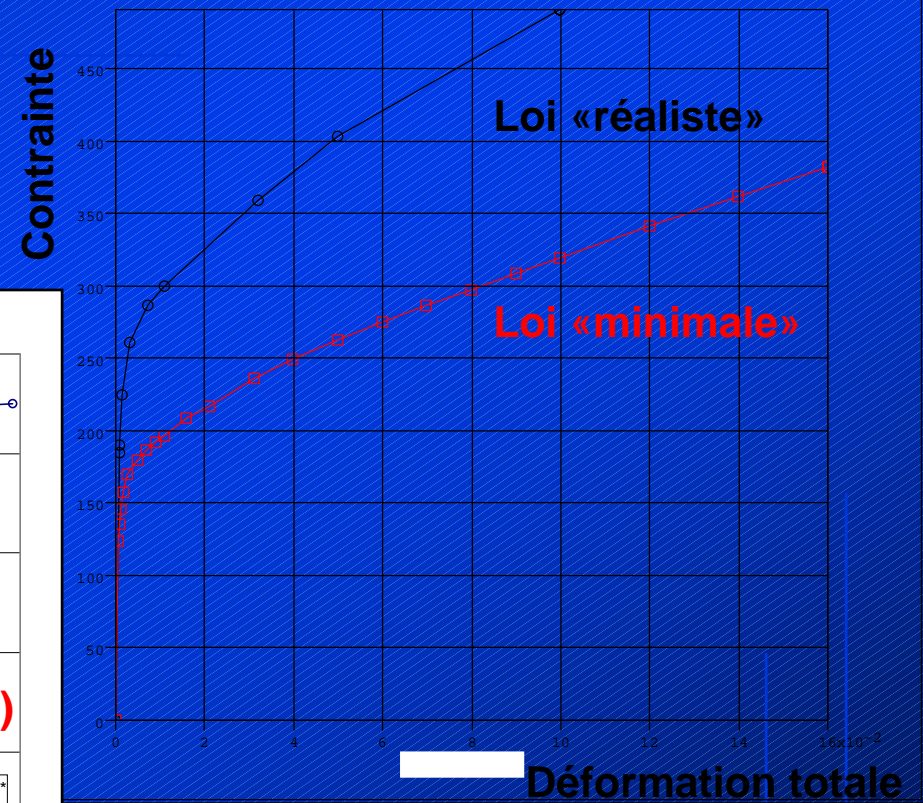
➔ déversement du réservoir

Calculs élastoplastiques

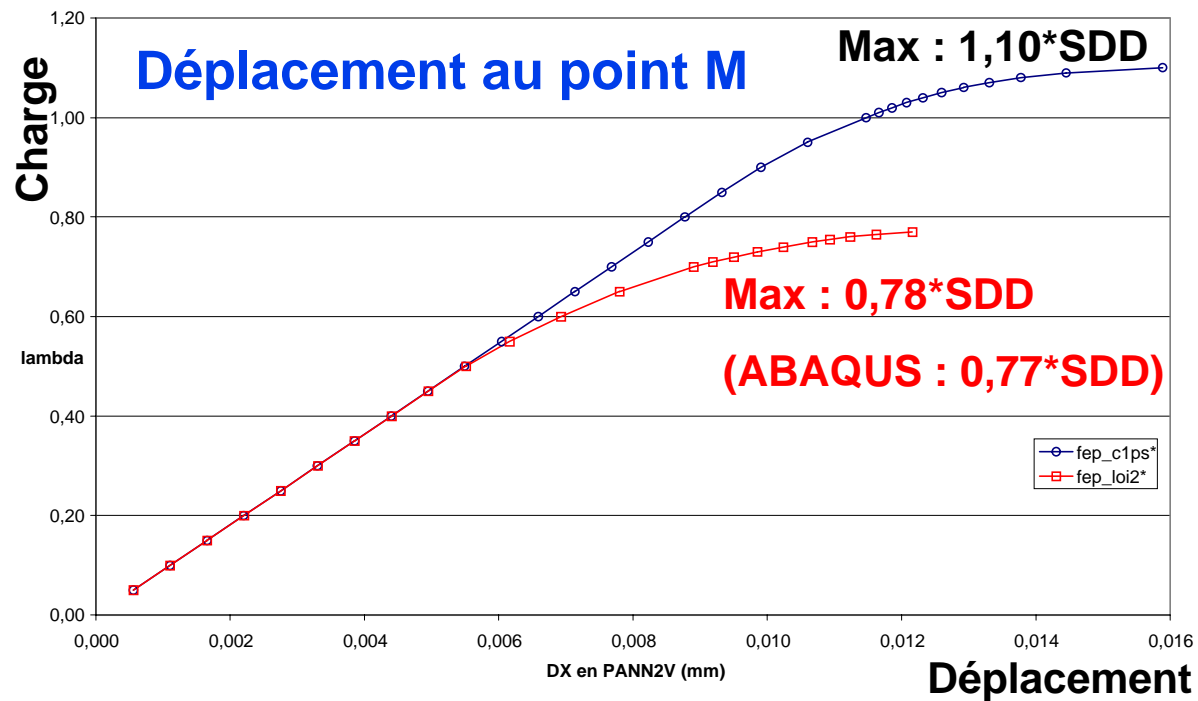
- Influence de la loi plastique



Departement AMV
Courbes de traction pour l'acier 304L

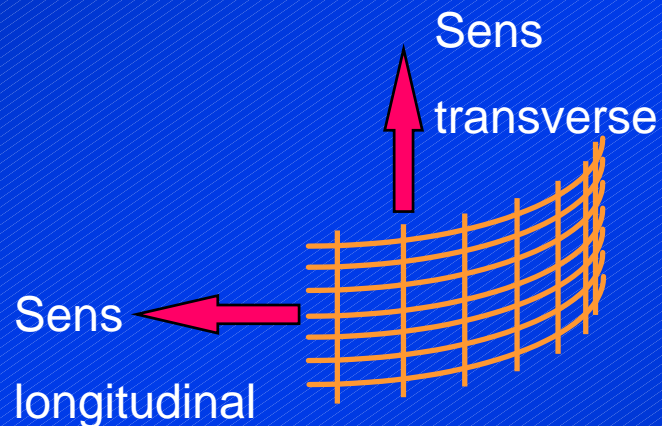


Flambement élastoplastique : influence loi de comportement initiale / loi de comportement minimale (RCC-M)



Analyse des résultats élastoplastiques

- Charge ultime :
 $0,77 \cdot SDD$ avec loi plastique «minimale»
➔ **nécessité de renforcer le réservoir**
- Qualification du dimensionnement d'un renfort TFC (fibre de carbone multicouche)



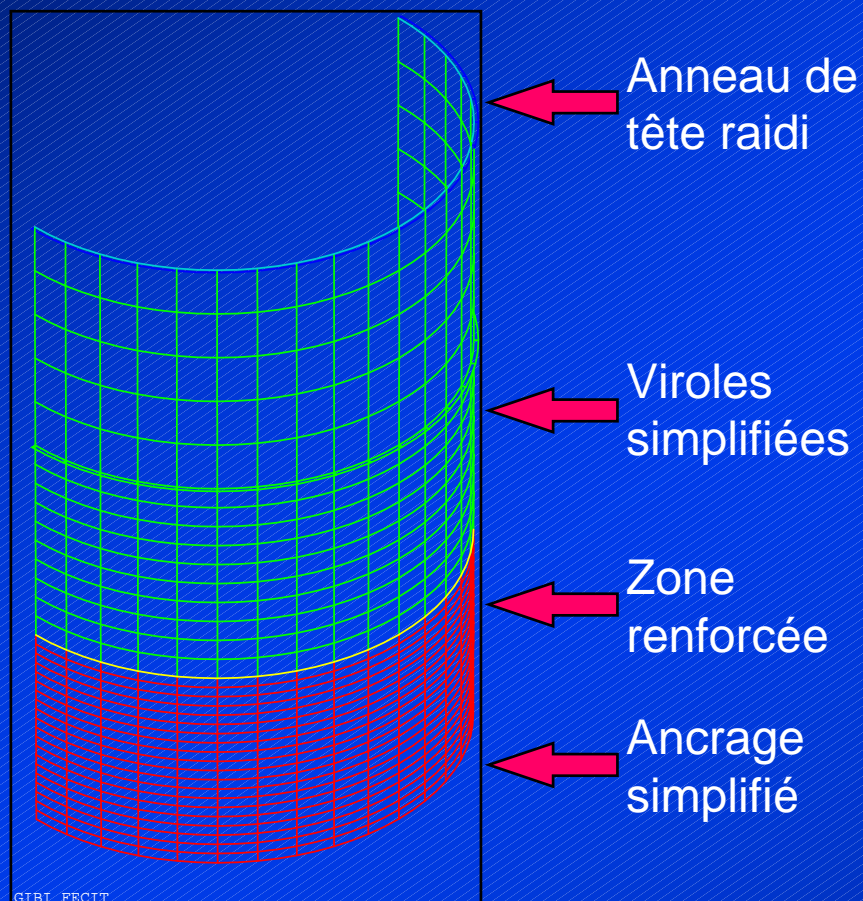
① Détermination du nombre de couches

② Détermination de la hauteur renforcée

} **Etude paramétrique**

Dimensionnement du renfort

■ Modèle simplifié (17000ddl)



Modélisation du renfort
2001 : ∇ modèle orthotrope
COQUE_3D avec GREEN_GR

- Modèle équivalent par câbles horizontaux (et verticaux)
 - Modèle coque isotrope (équivalent sens longi.)
- ➡ Bornes de la réponse orthotrope

Dimensionnement du renfort

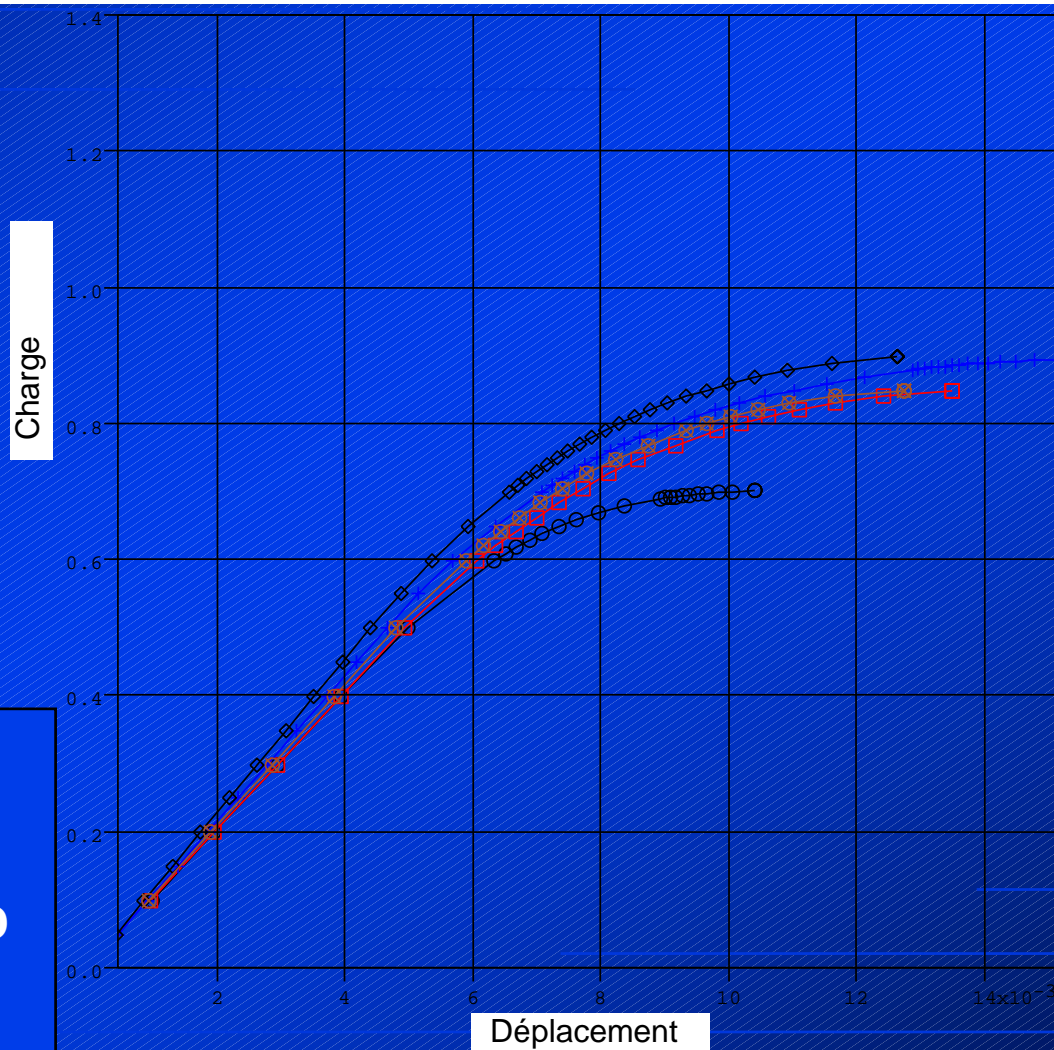


Département AMA

Loi minimale : renforcement par TFC (comparaison 4 couches pour 5 ou 10m de hauteur de renfort)

Modélisation du TFC par un réseau de câbles équivalents ou par un matériau isotrope

- Sans renfort
- Renfort câbles horizontaux
- ◇ Renfort isotrope 5m
- ◇ Renfort isotrope 10m
- Renfort câbles horizontaux 10m



Charge ultime avec TFC :

~0,92*SDD

ABAQUS : 1,20*SDD

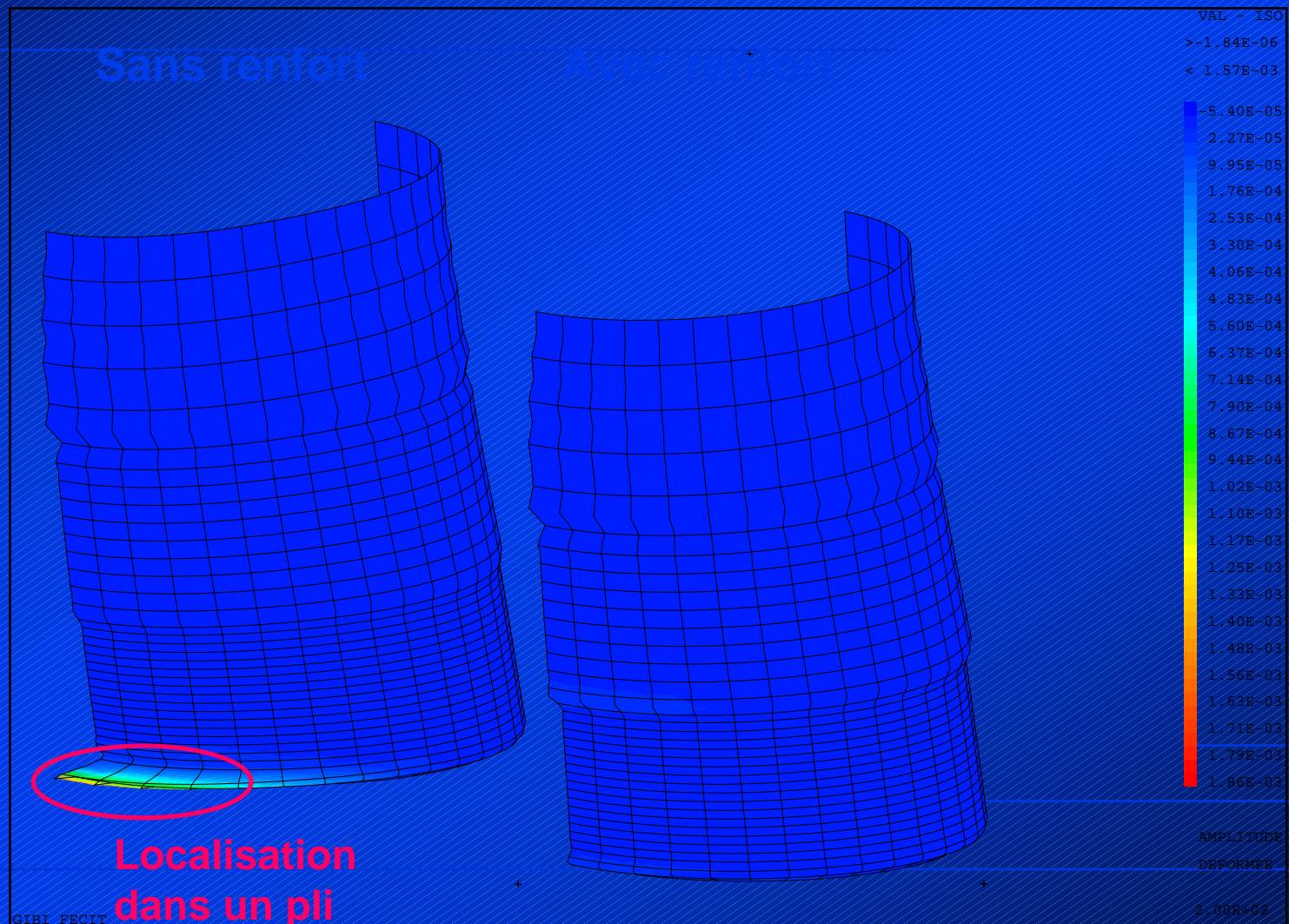
(Loi «réaliste» : ~1.22*SDD)

Gain de 20% avec TFC



Dimensionnement du renfort

- Isovaleurs de déformation plastique cumulée pour 1*SDD



Dimensionnement du renfort

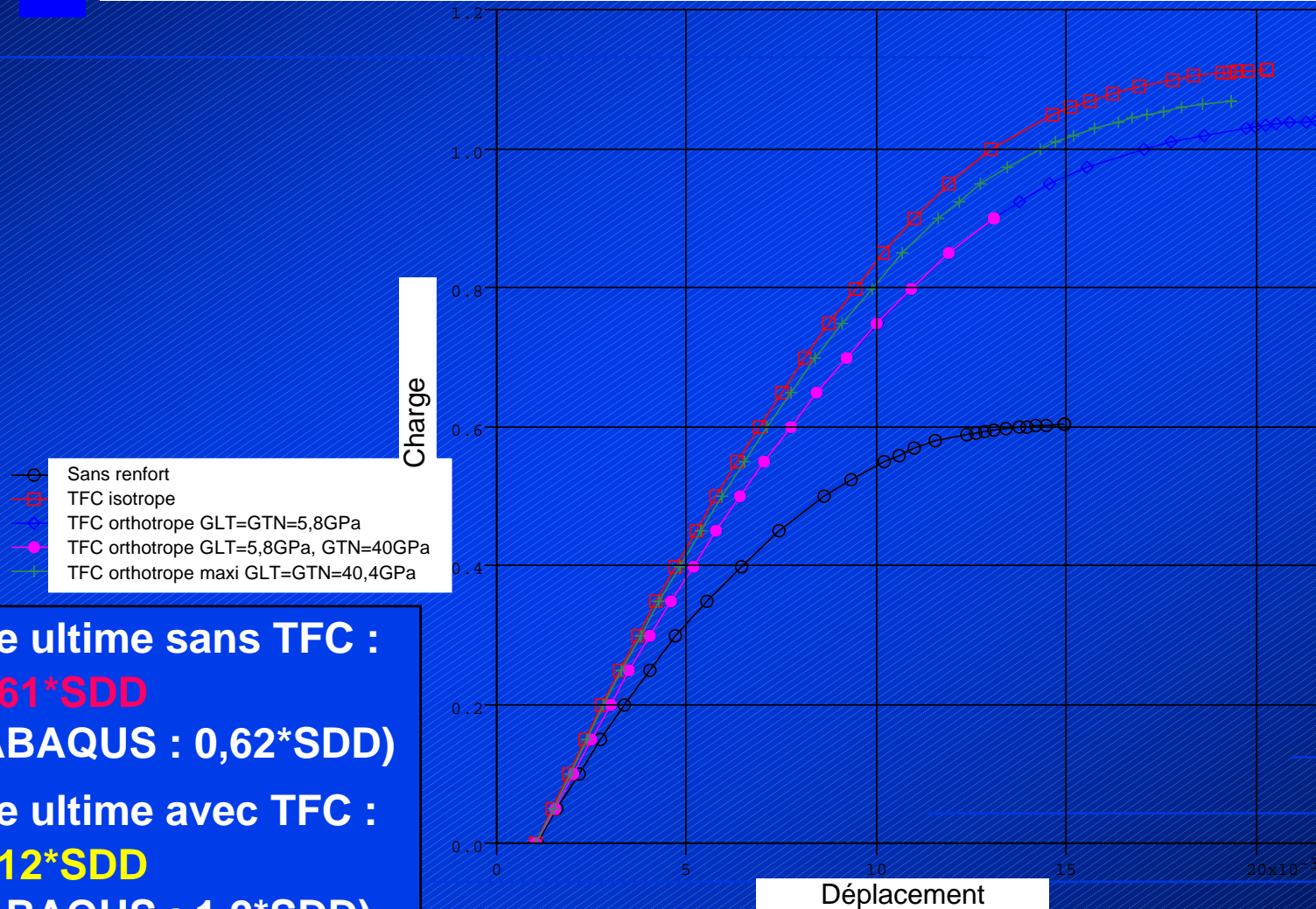
- **Etude paramétrique sur maillage simplifié**
 - Validation du calcul élastoplastique en grandes transformations
 - Modélisations (câbles ou coque isotrope) du renfort
 - Influence des paramètres (nombre de couches et hauteur renforcée) : étude qualitative
- **Validation quantitative sur maillage de référence avec 4 couches de renfort sur 10m (solution INSA Lyon)**
 - Test de l'orthotropie (version 6.2.13)

Validation sur le modèle de référence



Département AMA

Loi minimale : renforcement par TFC (comparaison 4 couches jusqu'à 10m)



Charge ultime sans TFC :
0,61*SDD
 (ABAQUS : 0,62*SDD)

Charge ultime avec TFC :
1,12*SDD
 (ABAQUS : 1,2*SDD)

Conclusion et...

- Validation du calcul en grandes transformations avec éléments **COQUE_3D** et différents comportements (isotrope élastoplastique ou orthotrope élastique)
 - Résolution d'un bug sur les pressions suivées
 - ➔ version 6.2.9
 - Développement orthotropie pour **COQUE_3D** avec **GREEN_GR**
 - ➔ version 6.2.13
- Application à une problématique industrielle réaliste (jusqu'à 110000ddl, temps CPU~30h)
 - Cohérence avec ABAQUS (INSA de Lyon)

...Perspectives

- **Validation du choix coques minces**

- Comparaison avec calcul EF massifs

Résultat
sous peu

- **Prise en compte fine de la liaison avec le sol**

- Décollement : gestion du contact 3D et frottement

Disponible

- **Réévaluation de l'approche réglementaire**

- Calcul couplé fluide-structure

Disponible

- Calcul dynamique sous séisme (accélérogramme) avec interaction sol-structure (couplage Code_Aster/MISS3D)

Disponible

- Calcul couplé IFSS jusqu'au postcritique

- Pilotage de l'algorithme de résolution (longueur d'arc)

Disponible

- Description ALE du domaine fluide

A faire...