

Projet

«Qualité des Etudes en Mécanique des Solides»

Premiers résultats

Objectif

Fournir à l'ingénieur des { **outils** **lui permettant d'estimer**
conseils

la qualité des résultats

Périmètre du projet

**Calculs thermiques et / ou mécaniques en quasi-statique
linéaires ou non linéaires**

- **Maîtriser la composante «effet utilisateur» à données physiques fixées**
 - **Maillage**
 - **Mise à disponibilité et/ou utilisation d'estimateur d'erreur en thermique et mécanique**
 - **Outils de calcul adaptatif HOMARD - Boucle de relance automatique**
 - **Discrétisation temporelle**
 - **Choix des éléments finis**
- **Tester les outils et conseils sur une étude
un tuyau coudé soumis à un choc thermique + torseur + pression
en élasticité**

Estimateurs d'erreur

**Obtenir une cartographie d'erreur
sur laquelle les outils (HOMARD) de remaillage peuvent s'appuyer**

Existant dans le Code_Aster

- **En thermique : rien**
 - Développement d'un estimateur d'erreur en résidu (O. Boiteau)
- **En mécanique : 2 estimateurs d'erreurs peu ou pas utilisés**
 - CRECO avec l'université de Saint-Quentin (LMCAO)
 - **Fiabilité de ces deux estimateurs d'erreur**
 - **Extension possible ? en non linéaire**
 - **Conseils d'utilisation**

Estimateur d'erreur en thermique

- Estimateur en résidu

$$\eta^{elt} = \eta_{vol}^{elt} + \eta_{saut}^{elt} + \eta_{flux}^{elt} + \eta_{éch}^{elt}$$

l'équation des sauts des CL
de la chaleur de température

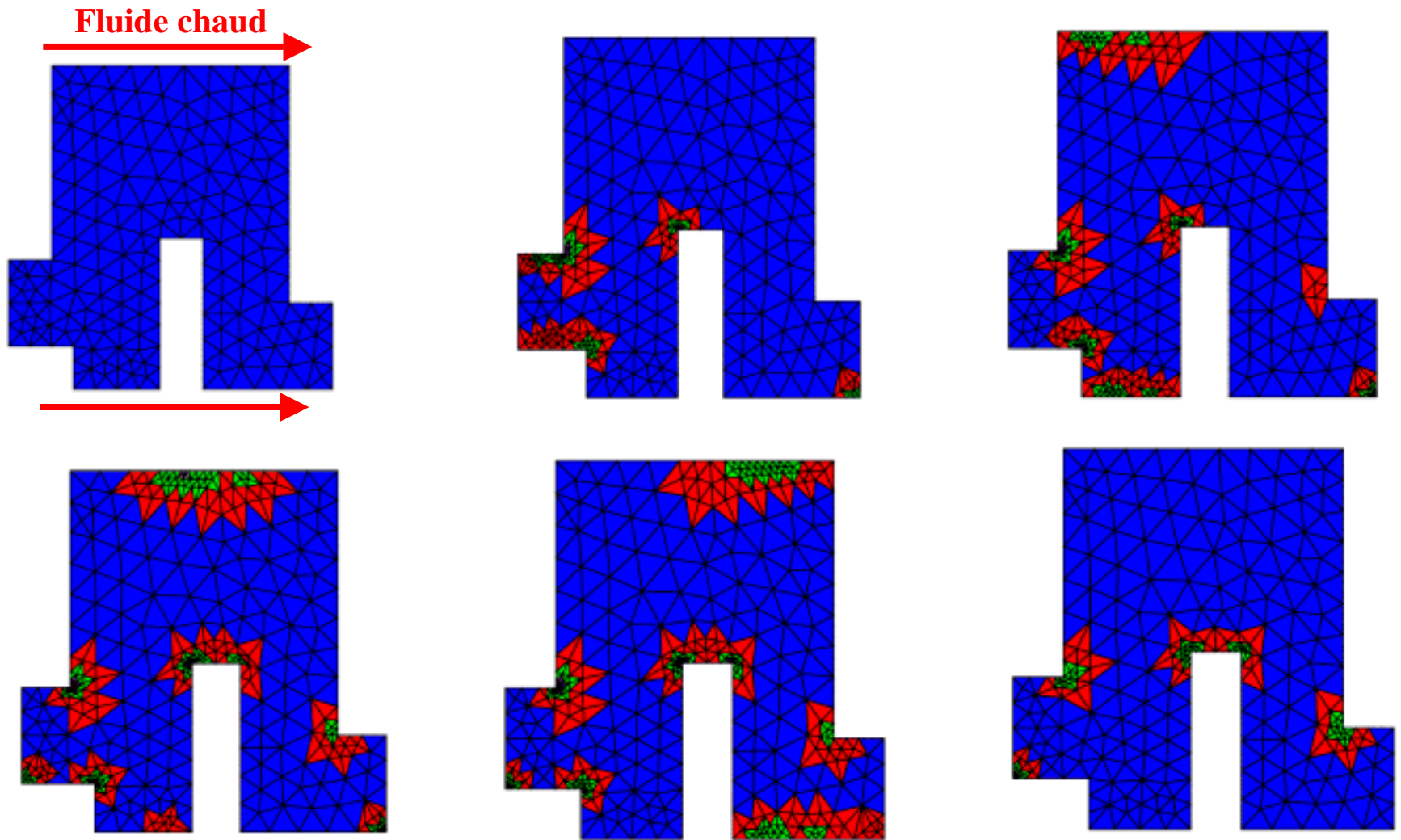
- ERTH_ELEM_TEMP dans CALC_ELEM

- erreur locale/totale absolue, l'erreur locale/totale relative

- Périmètre d'utilisation

- modélisation PLAN, AXI et 3D
- Tous les éléments isoparamétriques
- En non linéaire on ne traite pas des CL de FLUX_NL, RAYONNEMENT et ECHANGE_PAROI

Estimateur d'erreur en thermique



Estimateurs d'erreur en mécanique

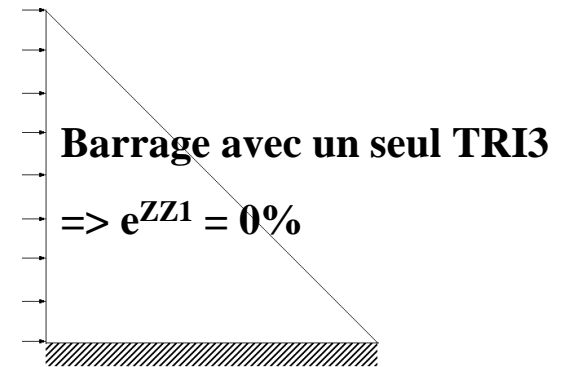
Valables uniquement en élasticité linéaire

- **Estimateur d'erreur en résidu**
 - **ERRE_ELGA_NORE** dans **CALC_ELEM**
- **Estimateur de Zhu-Zienkiewicz**
 - **Lissage continu des contraintes calculées**
 - **Uniquement en 2D**
 - **ERRE_ELEM_NOZ1** et **ERRE_ELEM_NOZ2** dans **CALC_ELEM**
 - **ERRE_ELEM_NOZ1** sous estime souvent l'erreur vraie
 - **ERRE_ELEM_NOZ2** utilisable uniquement si le maillage contient le même type d'éléments

Estimateurs d'erreur en mécanique

- L'estimateur de Zhu-Zienkiewicz type ZZ1

- minore souvent l'erreur vraie
- mauvais résultat avec maillage grossier
- Si solution exacte, on a parfois $e^{ZZ1} \neq 0$

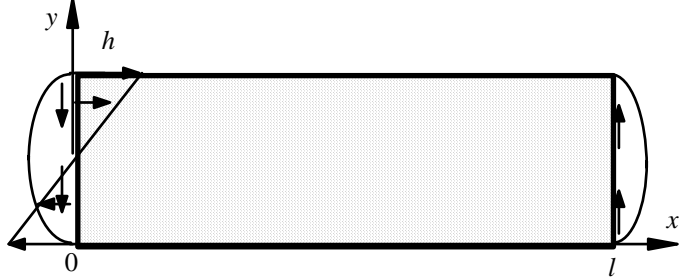


- L'estimateur en résidu

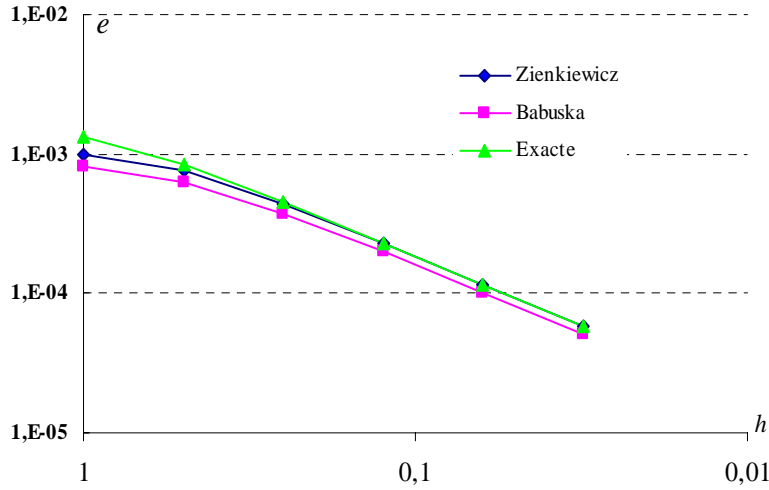
- minore parfois l'erreur vraie mais l'indice d'efficacité $\gamma = \frac{e}{e^{vraie}}$ proche de 1

Utiliser l'estimateur en résidu car plus fiable que celui de type ZZ1

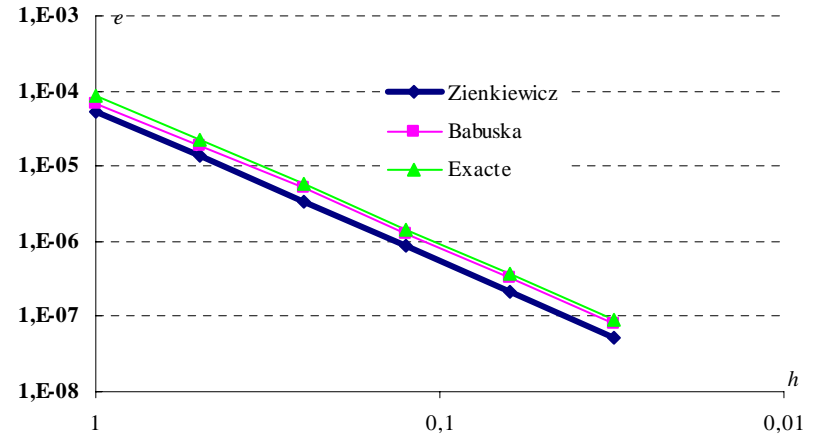
Poutre droite en flexion parabolique – Solution exacte



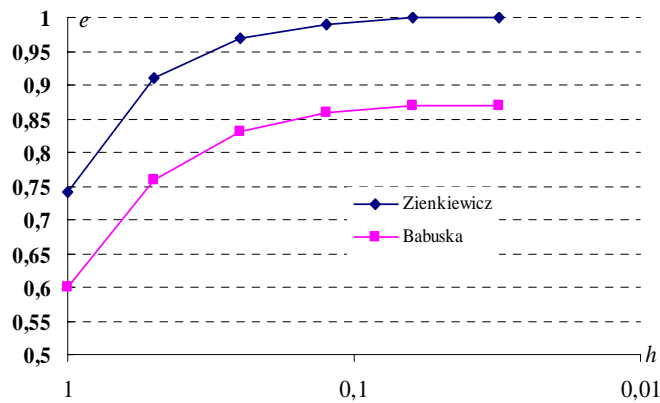
Erreur



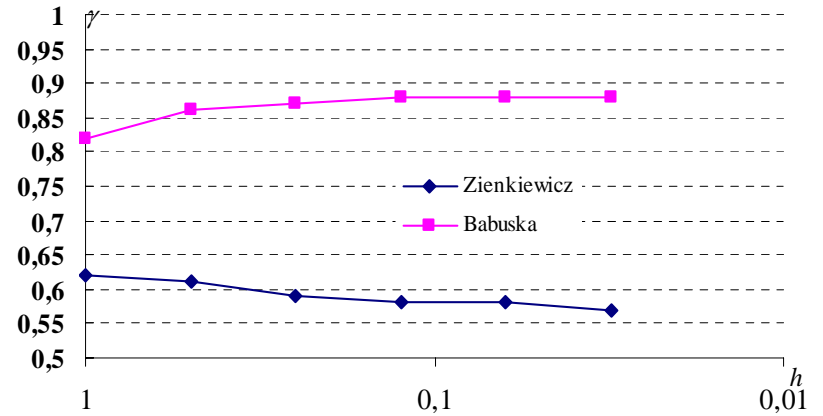
Erreur



Indice d'efficacité

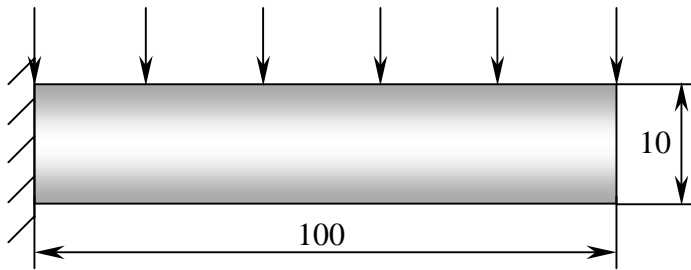


Indice d'efficacité

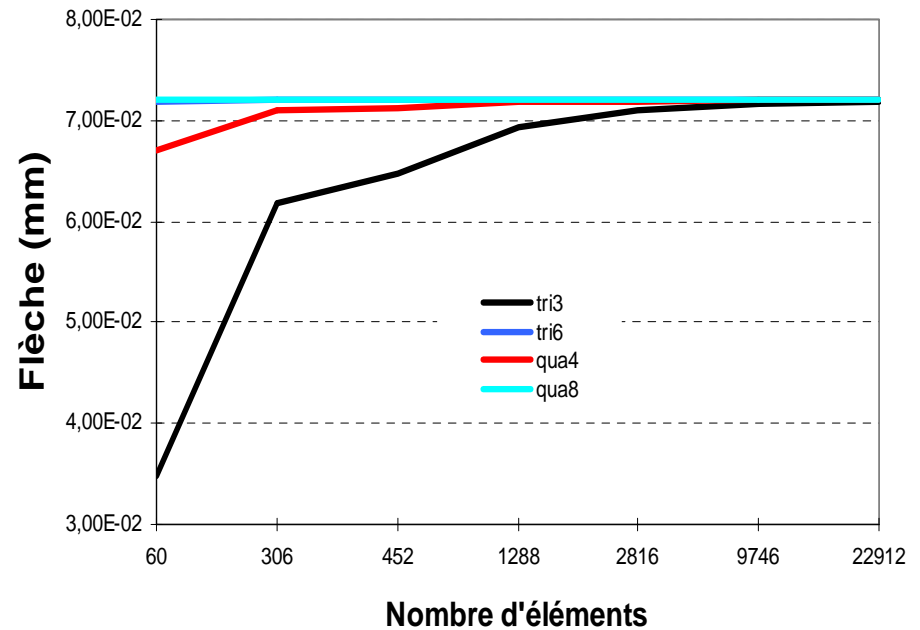
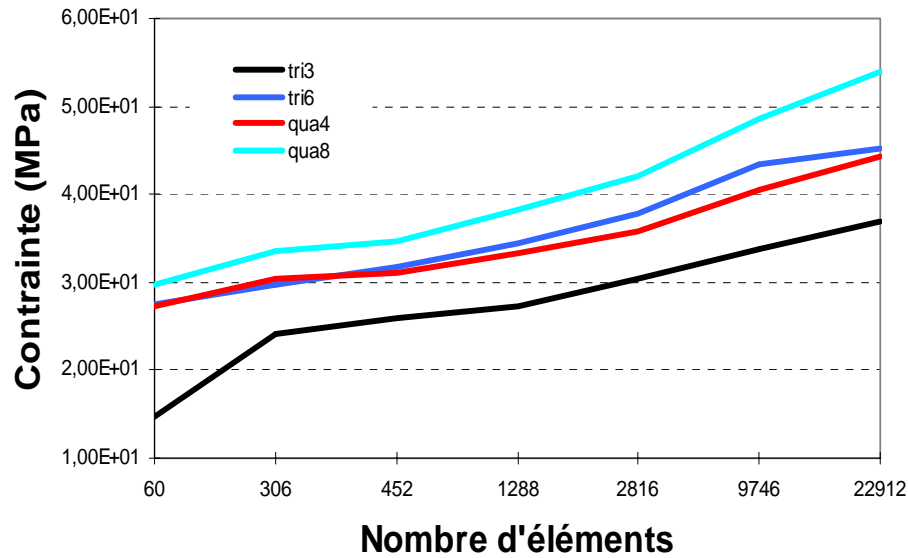


Triangle à 3 noeuds

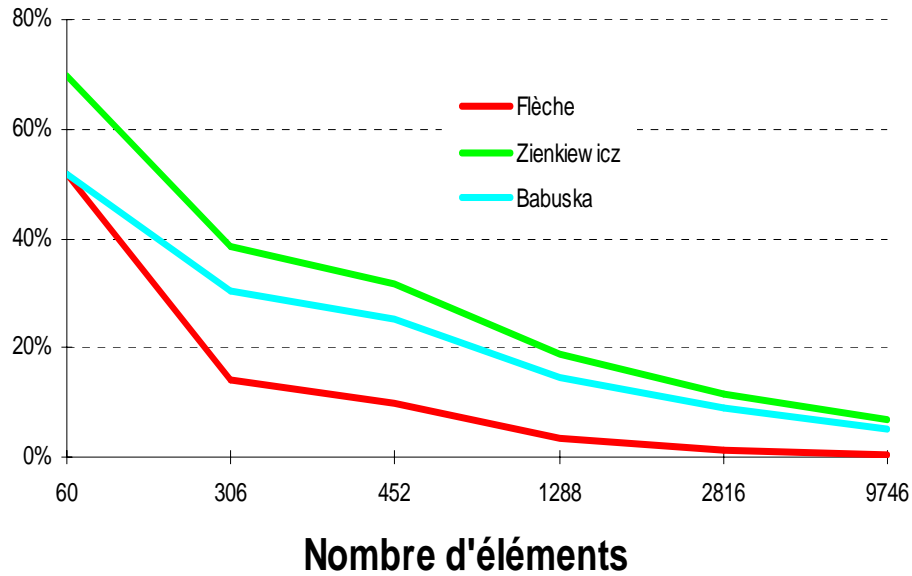
Triangle à 6 noeuds



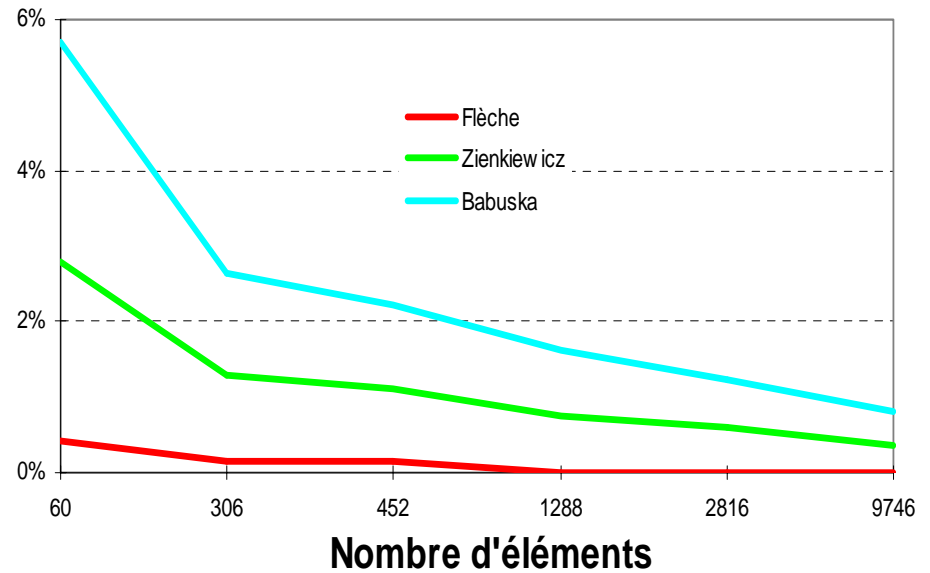
Poutre console sollicitée en flexion



Erreur



Triangle à 3 noeuds



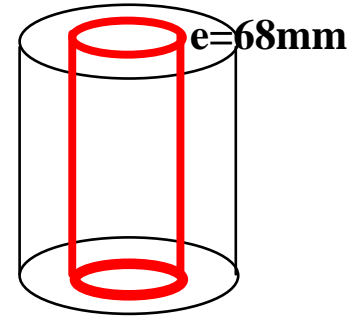
Triangle à 6 noeuds

Choix des éléments finis

Donner des conseils pour éviter certaines erreurs courantes

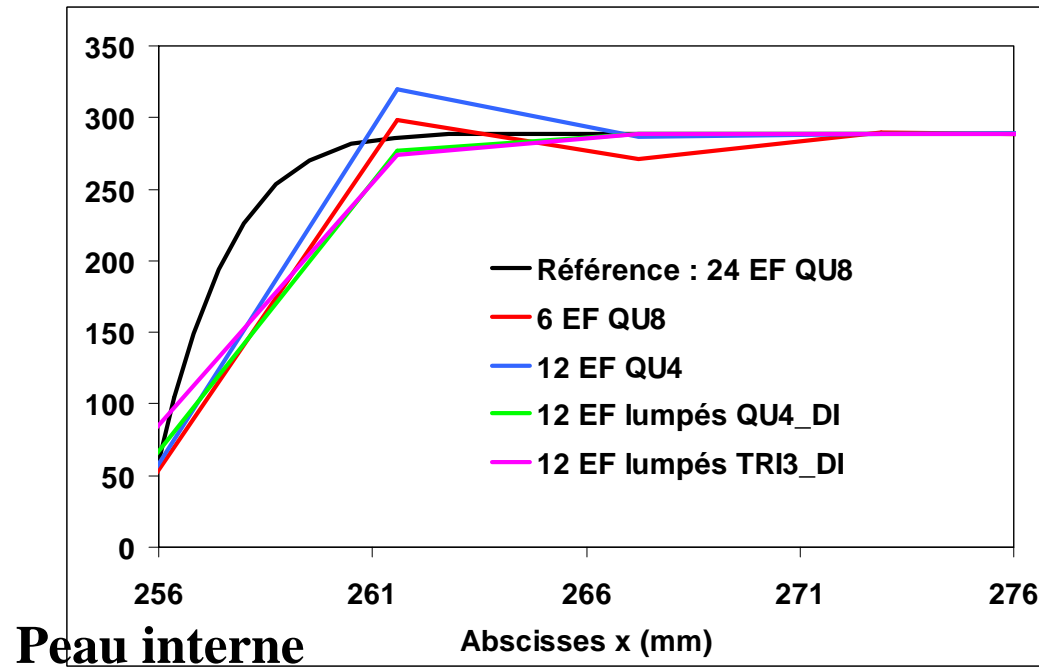
- **Comparer**
 - **QU4/QU8 ou HEX8/HEX20**
 - **TRI3/TRI6 ou TETRA4/TETRA10 pour utilisation d'HOMARD**
 - **éléments sous intégrés**
- **Etudes sur des cas simples en 2D et 3D**
 - **En thermique transitoire**
 - **Chaînage thermomécanique**
 - **En mécanique non linéaire**

Thermique transitoire : cylindre soumis à un choc thermique



On passe de 289°C à 20°C
en 1s en peau interne
Modélisation PLAN

- Utiliser les éléments lumpés
 - Modélisation XXX_DIAG
 - Si pas de temps mal adapté à la discrétisation spatiale,
T peut osciller + $T > T^{\max}$
 - EF linéaire : $\Delta t_{\min} \leq \Delta t \leq \Delta t_{\max}$
- Utiliser les triangles ou tétraèdres pour HOMARD



Chaînage thermomécanique

- **Thermique : Eléments finis linéaires (lumpés)**
 - **Mécanique**
 - **Eléments finis quadratiques**
 - **Le chaînage P1/P2 évite les contraintes parasites**
- Température P1 => ε^{Th} linéaire**
Déplacement P2 => $\varepsilon^{\text{mécanique}}$ linéaire
- **EF sous intégrés si les maillages thermique et mécanique différents**
 - **Température linéaire sur le maillage thermique mais quadratique sur le maillage mécanique**
 - **Triangles ou tétraèdres pour HOMARD si maillage pas trop grossier**

En mécanique non linéaire : barrage soumis à son poids + pression

- Utiliser des éléments quadratiques
- Les éléments sous intégrés donnent de bons résultats

Incompressibilité plastique



Eléments sous intégrés

Avantage : rapide

Inconvénient

- Apparition de modes parasites
- Uniquement pour les quadrangles ou cubes



Eléments mixtes (S. Michel-Ponnelle)

Remplace l'ancienne modélisation _INCO

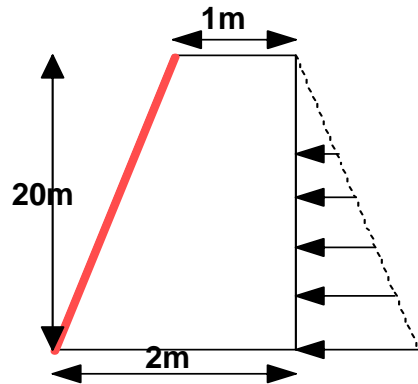
Avantage

- Traite la quasi-incompressibilité
- pour tous les éléments

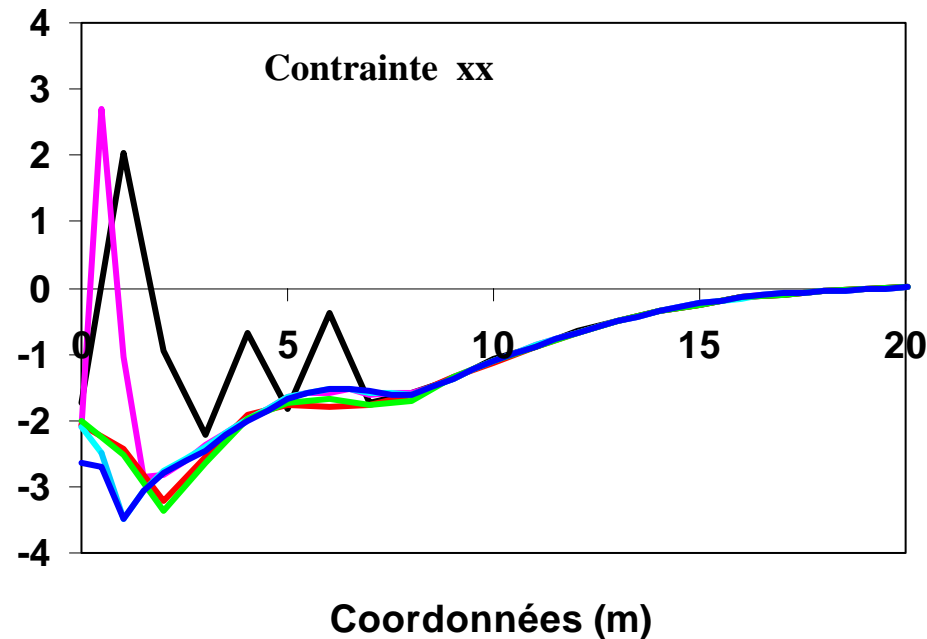
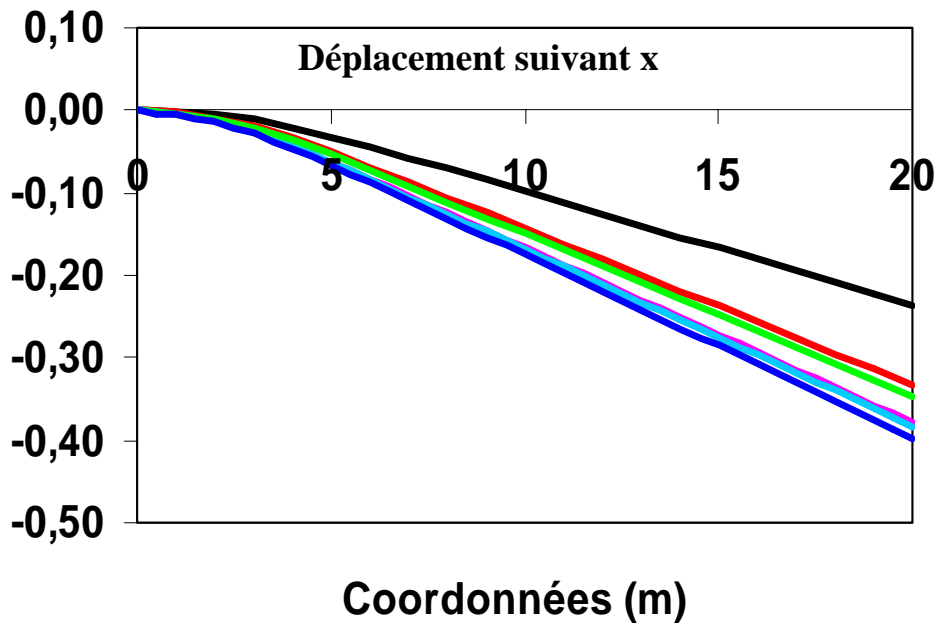
Inconvénient : couteux

- Utilisation des triangles ou tétraèdres pour HOMARD
 - Si le maillage n'est pas trop grossier

En mécanique non linéaire : barrage soumis à son poids + pression



- 40 EF TRI6 = 105 nœuds et 120 Pts de Gauss
- 160 EF TRI6 = 369 nœuds et 480 Pts de Gauss
- 20 EF QU8 = 85 nœuds et 180 Pts de Gauss
- 80 EF QU8 = 289 nœuds et 720 Pts de Gauss
- 20 EF QU8_SI = 85 nœuds et 80 Pts de Gauss
- 80 EF QU8_SI = 289 nœuds et 320 Pts de Gauss



Conclusion

- **Estimateurs d'erreur en mécanique**
 - **Faire les exemples du CRECO avec le Code_Aster**
 - **Essayer le second estimateur de Zhu-Zienkiewicz**
 - **Extension en non linéaire**
 - **Note de synthèse pour conseils d'utilisation**
- **Choix sur le type d'éléments finis**
 - **Note HI à sortir sur les conseils**