

Etude à la ruine d'un joint Canopy

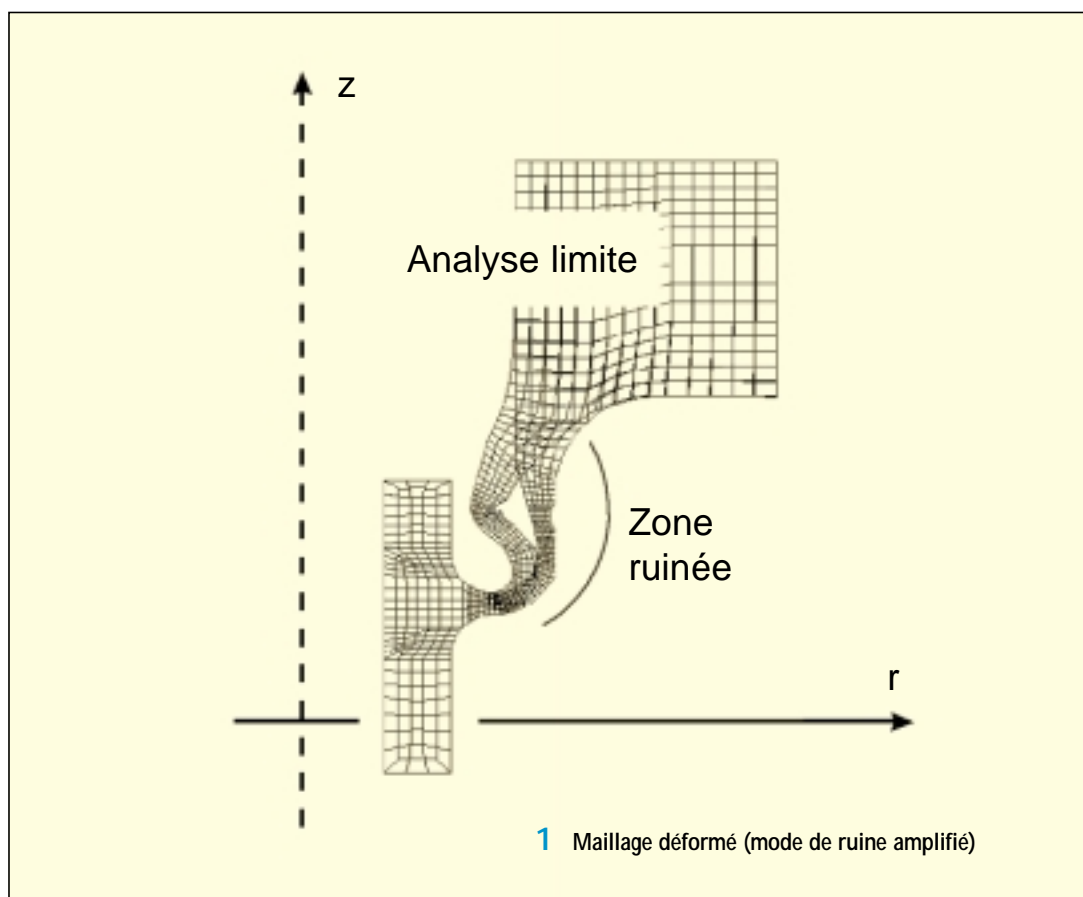
Les couvercles des cuves des réacteurs REP supportent l'appareillage de commande de la réaction nucléaire : les "grappes", des thermo-couples..., qui pénètrent à l'intérieur de la cuve via des traversées étanches dans les couvercles. A ce niveau, les brides de fixation des pièces sont reliées par des pièces soudées servant à leur étanchéité. A l'occasion de réparations, il a été nécessaire de qualifier la tenue de ce joint dit "Canopy" sous la pression exercée par l'outil de mise en place (environ 35,5 MPa). Une étude de contre-expertise, réalisée avec le *Code_Aster*, eut pour but de calculer la charge limite en pression (exercée sur le bord externe) du joint Canopy, sur une géométrie "saine" et sur une autre affectée d'un défaut en sous-épaisseur localisée.

Cette méthode d'analyse permet d'accéder directement à la valeur caractéristique de chargement correspondant à la ruine plastique des composants (modes d'éclatement et de collapse en prenant éventuellement en compte la présence de fissures). Les seules données nécessaires sont : la géométrie, la limite de résistance du matériau constitutif (la valeur de la charge limite étant directement proportionnelle à la limite de résistance), la direction du chargement variable et l'éventuel chargement permanent appliqué. Le critère de résistance adapté à la ruine plastique des métaux est celui de Huber-von Mises, le *Code_Aster* permettant de traiter des cas 2D, 3D, axisymétrique, ce qui est le cas du joint Canopy. Les maillages sont 2D axisymétriques, comportant

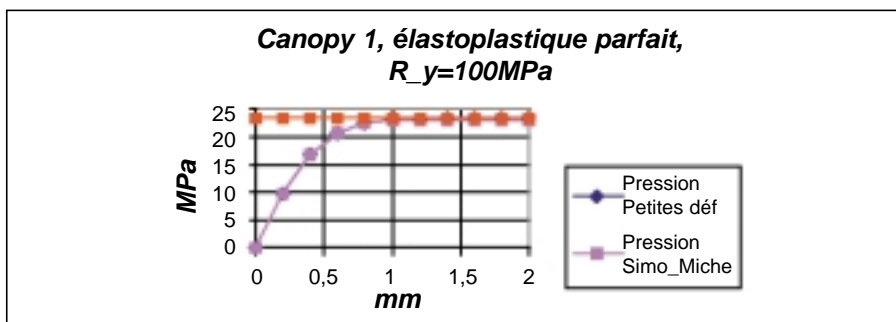
environ 600 éléments finis Q8, 2000 nœuds.

Le calcul de la charge limite est conduit par une méthode de régularisation par rapport à la loi de comportement Norton-Hoff (qualifiée lors d'un benchmark européen) où n est le coefficient de régularisation ; quand n tend vers l'infini on retrouve un comportement élasto-plastique parfait (*ASTER échos* n°29, janvier 99). Il a été réalisé avec une limite de résistance unitaire, mais on a ensuite utilisé les valeurs des limites d'élasticité R_y et de rupture R_m du matériau homogène constitutif pour fournir la conclusion (1).

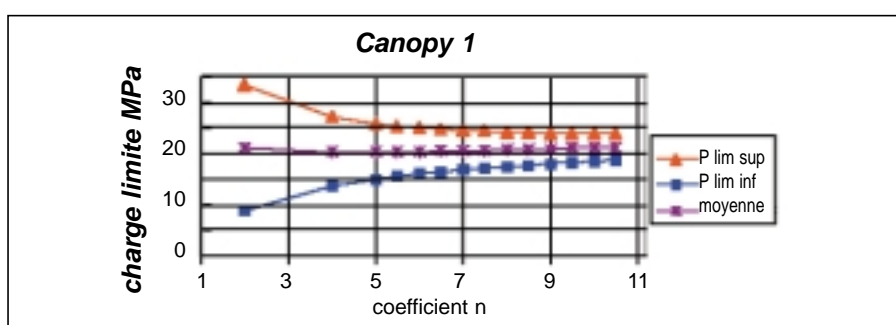
Pour qualifier l'applicabilité de cette méthode d'analyse, on réalisa aussi une simulation en élastoplasticité incrémentale



Etude à la ruine d'un joint Canopy (suite)



2 Courbe enfoncement-pression en plasticité parfaite incrémentale



3 Convergence des bornes sup et inf en analyse limite régularisée

en grandes transformations (avec la modélisation 'SIMO_MIEHE' et un pilotage par longueur d'arc), qui a eu pour but de prendre en compte l'écroûssage du matériau au cours du processus (ce qui est impossible en analyse limite) et de s'assurer de l'absence d'effets provenant des changements de géométrie sur la tenue ultime (flambage ...).

Conclusions

En absence d'écroûssage, les simulations en petites déformations élastoplastiques et en grandes déformations (de type SIMO_MIEHE), avec les pilotages adéquats, mènent à des résultats très proches en enfoncement-pression (2) et l'analyse limite, sans même chercher absolument à avoir une convergence totale (3), fournit un encadrement également très proche, la valeur de la borne supérieure étant très satisfaisante (Tableau 1).

Enfoncement	Petites déformations élastoplastiques	Grandes déformations élastoplastiques SIMO_MIEHE	Analyse limite régularisée borne inférieure atteinte	Analyse limite régularisée borne supérieure atteinte
1,0 mm	23,04 MPa	23,01 MPa	18,72 MPa	23,84 MPa
2,0 mm	23,29 MPa	23,20 MPa		
moyenne : 21,28 MPa				

1 Pressions atteintes en approches incrémentales élastoplastiques parfaites - analyse limite (pour Ry = 100 MPa)

Avec écroûssage, l'encadrement obtenu en employant Ry et Rm comme limites de résistance en analyse limite est tout à fait satisfaisant, par comparaison à l'analyse incrémentale arrêtée volontairement avant ruine (voir Tableau 2).

Grandes déformations élastoplastiques SIMO_MIEHE	Analyse limite régularisée pour Ry	Analyse limite régularisée pour Rm
≥ 56,4 MPa	41,5 MPa	110,0 MPa

2 Pressions atteintes en approche incrémentale élastoplastique SIMO_MIEHE avec écroûssage - bornes en analyse limite.

La présence du défaut localisé ne modifie pas le comportement global à la ruine, excepté une réduction des charges limites de l'ordre de -15% (tant en grandes déformations, qu'en analyse limite) : le coefficient de sécurité de 2,5 exigé est donc assuré.

Les temps de calcul Code_Aster des approches par analyse limite ou par grandes transformations élastoplastiques SIMO_MIEHE, avec pilotage en longueur d'arc, sont équivalents : on peut facilement confronter les approches. ■