

Détermination par imagerie mécanique de modèles de zone cohésive pour la fissuration

V. Richefeu, A. Chrysochoos, V. Huon, Y. Monerie, R. Peyroux, B. Wattrisse

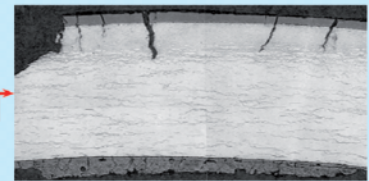
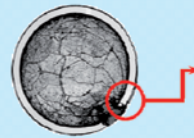
Laboratoire de Mécanique et Génie Civil UMR 5508 CNRS Université Montpellier II

Laboratoire MIST, Micromécanique et Intégrité des Structures, IRSN-CNRS-UMI

Contexte et Objectifs

La simulation numérique du comportement des gaines de combustible sous chargement thermomécanique rapide est un problème difficile faisant intervenir plusieurs échelles de description et un matériau constitutif dont les propriétés évoluent lors de la vie en réacteur, passant d'un matériau homogène (le Zircaloy) à un matériau hétérogène à gradient de propriétés (plaquettes d'hydrures). La prévision de l'endommagement, de la fissuration, puis de la déchirure éventuelle de la gaine nécessitent des modèles de comportement adaptés à cette complexité.

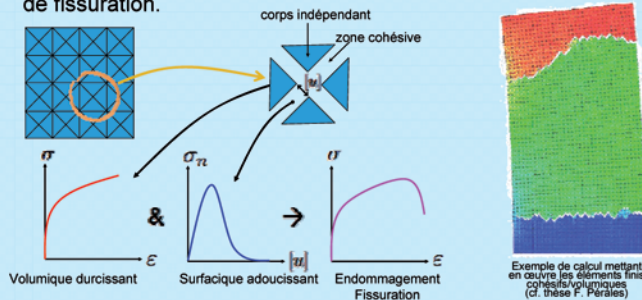
Les modèles de zones cohésives, associés à la méthode des éléments finis, constituent un outil particulièrement commode pour rendre compte de certains mécanismes d'endommagement et de fissuration dans ces matériaux. L'objectif est ici d'étudier le bien fondé d'une telle décomposition dans le cadre des phénomènes d'endommagement et de fissuration, et de mettre en place un protocole expérimental d'identification des lois de cohésion en vue de leur intégration dans les codes de calcul.



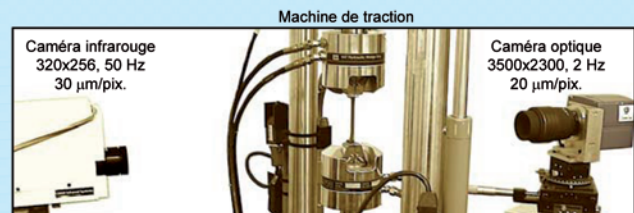
Microstructure d'une gaine de Zircaloy irradiée et fissurée

Éléments finis cohésifs / volumiques

Cet outil numérique est particulièrement commode pour rendre compte de certains mécanismes d'endommagement et de fissuration.



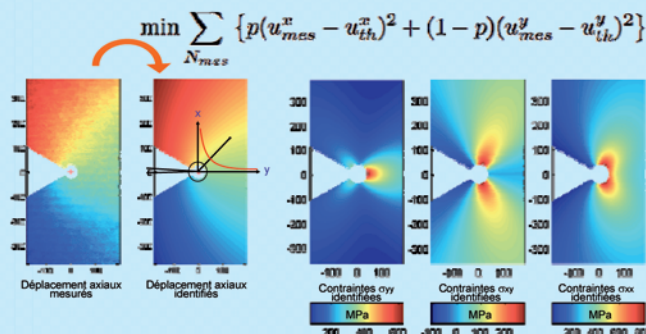
Imagerie mécanique



Dispositif expérimental permettant, via une technique de corrélations d'images, de mesurer les déplacements de point matériels sur la surface d'un échantillon filmé par caméra optique. Ces données déjà très riches peuvent être couplées à des mesures de champs thermiques acquises par caméra infrarouge.

Approche 1 : mécanique linéaire de la rupture

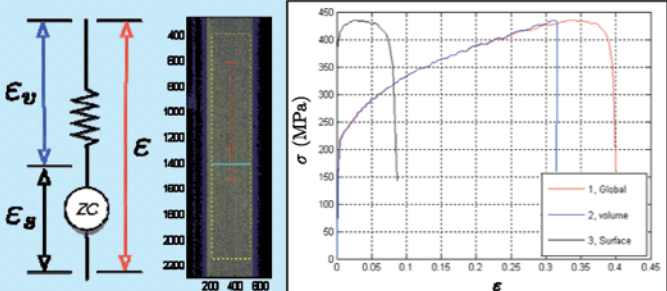
L'identification est menée en se basant sur les champs de déplacement prédits par la mécanique linéaire de la rupture.



Ces données permettent d'extraire un modèle de zone cohésive. Néanmoins, une certaine dépendance avec la géométrie persiste. La question d'une longueur caractéristique se pose également.

Approche 2 : concentration de l'endommagement

L'approche s'appuie sur un modèle rhéologique série d'un comportement volumique et d'un comportement surfacique concentrant l'endommagement.



Le principe est d'évaluer un comportement global (à grande échelle) et un comportement volumique (suffisamment loin de la zone de localisation), et d'en déduire une loi de zone cohésive.

V. Richefeu, A. Chrysochoos, V. Huon, Y. Monerie, R. Peyroux, B. Wattrisse

Le travail présenté s'inscrit dans le cadre de la modélisation et de la prévision des accidents majeurs, et traite plus particulièrement de la rupture de la gaine de combustible. La modélisation de ce dernier phénomène nécessite la prise en considération de plusieurs échelles de description, allant de celle de la gaine (le centimètre) à celle des plaquettes d'hydrures (le micron) qui constituent les hétérogénéités du matériau.

Les modèles de zones cohésives, associés à la méthode des éléments finis, constituent un outil numérique particulièrement commode pour rendre compte de certains mécanismes d'endommagement et de fissuration dans ces matériaux. Le comportement du matériau est alors décrit par le comportement volumique de chacun des corps auquel vient se superposer un comportement surfacique de la zone cohésive ; cette double description permet a priori une modélisation des phénomènes d'endommagement aussi bien que de fissuration. Ce découpage des comportements en parties "volumique" et "surfacique" est licite dans le cas de l'analyse de la fissuration des bimatériaux, i.e. lorsqu'il existe de manière sous-jacente à la zone cohésive un "troisième corps" ou une "interphase". Cependant, dans le cas de la fissuration d'un matériau volumique unique, la pertinence de ce découpage est moins claire. L'objectif est ici d'étudier le bien fondé d'une telle décomposition dans le cadre des phénomènes d'endommagement et de fissuration, puis de mettre en place un protocole expérimental d'identification des lois de cohésion en vue de leur intégration dans les codes de calcul.

Une identification expérimentale a d'abord été menée à partir de la mesure des champs cinématiques 2D sur des éprouvettes pré-entaillées et en se basant sur les champs de déplacement prédits par la mécanique linéaire de la rupture. Des outils de traitement d'images ont ainsi été mis en place dans le but d'identifier les champs de contraintes en faisant l'hypothèse de déformations réversibles. Cette hypothèse limite néanmoins l'identification aux matériaux élastiques fragiles ou au cas d'une plasticité confinée en pointe de fissure.

Une seconde approche expérimentale plus simple (unidimensionnelle) mais plus riche (de l'amorçage de la fissuration à la ruine complète) a alors été proposée. L'idée est de s'appuyer sur un modèle rhéologique série d'un comportement volumique durcissant et d'un comportement surfacique adoucissant concentrant l'endommagement. Le principe de l'approche est d'évaluer à partir des mesures expérimentales un comportement global (à grande échelle) et un comportement volumique (suffisamment loin de la zone de localisation), et d'en déduire une loi de zone cohésive. La stratégie d'identification doit être fondée sur un minimum d'hypothèses, afin d'appréhender au mieux la physique des lois de cohésion. Ce dernier aspect est fondamental car il constitue un moyen pertinent de fonder les modèles de zones cohésives sur des bases physiques solides.

Les lois de zone cohésive identifiées jusqu'ici présentent des traits de ressemblance notables avec celles qui sont empiriquement utilisées dans la littérature internationale (lois en forme de "trapèze" pour les matériaux ductiles, et de "triangle" pour les matériaux fragiles). Les profils et cinétiques d'endommagement sont actuellement évalués avec comme objectif de lever l'hypothèse d'une transformation isochorique.

● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●