■ Saïd Taheri (IMA/MMN)
■ Éric Lorentz (IMA/MMN)

Modélisation micro-macro de l'essai COTHAA

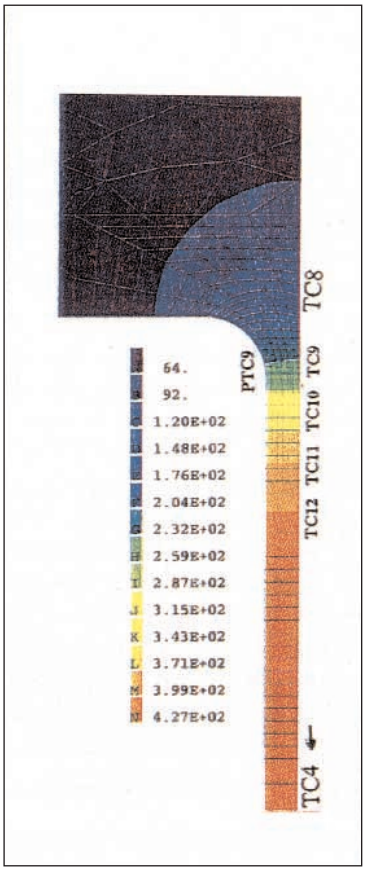
L'idée de base des approches micromécaniques est la prise en compte d'informations microstructurales pour modéliser les mécanismes élémentaires de la déformation inélastique. Elles constituent une alternative à la construction de modèles phénoménologiques. La démarche générale est de construire une relation de comportement macroscopique à partir d'une description simplifiée de la microstructure, de manière à prendre en compte l'hétérogénéité du matériau considéré. L'hétérogénéité considérée dans ce travail concerne l'existence de grains de différentes orientations cristallographiques qui constituent les matériaux métalliques polycristallins. Les matériaux cubiques à faces centrées étudiés ici, dans le cadre de ce modèle polycristallin développé par l'École des Mines de Paris, sont représentés par 40 orientations équiprobables. Il est important de noter qu'avec ce modèle on tient compte de la distorsion de la surface de plasticité avec moins de paramètres (13) que certains modèles phénoménologiques qui n'en tiennent pas compte.

On présente ici un calcul qui fait partie du benchmark COTHAA (collaboration CEA-Framatome-EDF) ayant pour but de tester différents modèles et d'évaluer leurs aptitudes à décrire le phénomène de déformation progressive. Le test soumet une éprouvette axisymétrique en acier 316L comportant une discontinuité d'épaisseur, à un chargement mécanique (pression interne) et à un chargement thermique cyclique (chauffage par effet Joule jusqu'à une température de consigne, puis refroidissement) créant un choc thermique au niveau de la discontinuité. Ce calcul fait référence à plusieurs expériences réalisées au CEA pour lesquelles on dispose de mesures expérimentales concernant le déplacement progressif radial mesuré entre chaque cycle thermique.

Le maillage (1) est composé de 544 éléments quadratiques. Les épaisseurs de l'éprouvette sont de 2,6 mm et 19,1 mm, la discontinuité d'épaisseur se trouve entre la cote 180 mm et 185 mm (rayon du congé 5 mm). Le rayon moyen dans la partie mince est de l'ordre de 60 mm. La température de consigne est 450°C et le chauffage dure 18 s (maximum de température atteint à cet instant). La durée de refroidissement par convection est de l'ordre de 1500 s pour chaque cycle, et la température de référence est 50°C. La seule mesure expérimentale est le déplacement sur la surface externe à la fin de chaque cycle après la décharge en pression. Une quarantaine de cycles thermiques sont ainsi appliqués.

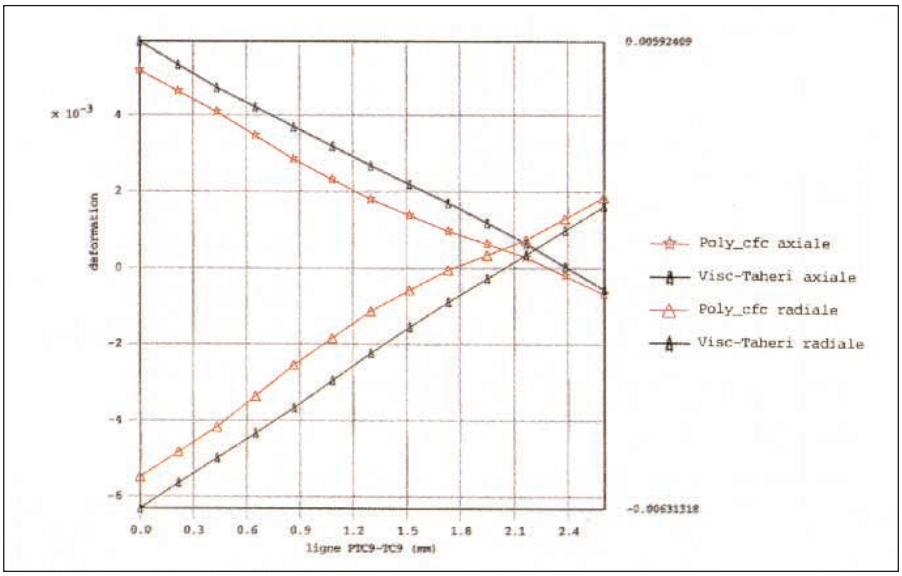
Les paramètres du modèle polycristallin du matériau, développé par le Centre des Matériaux de l'École des Mines de Paris, sont identifiés à l'aide du logiciel SIDOLO, à trois températures différentes : 20, 250 et 450°C. Ils ont été obtenus à partir de données expérimentales uniaxiales (essais de traction et de fatigue sur éprouvettes lisses) et biaxiales (essais de torsion sur tubes minces).

1 Isovaleurs de température à 18 s



Les simulations sont réalisées avec la version de développement du Code_Aster. La résolution du système local (expression de la relation de comportement) est réalisée avec une méthode explicite. Le calcul micro-macro (comportement 'POLY_CFC') coûte actuellement 20 fois plus cher que l'utilisation du modèle élasto-plastique développé au département «Mécanique et Modèles Numériques» (comportement 'VISC_TAHERI' sans viscosité), mais ce temps de calcul est susceptible d'être réduit.

La figure (1) montre les isovaleurs de température à 18 s (où le chargement thermique est maximal). La figure (2) présente à la fin du cinquième cycle des comparaisons (pour certaines composantes

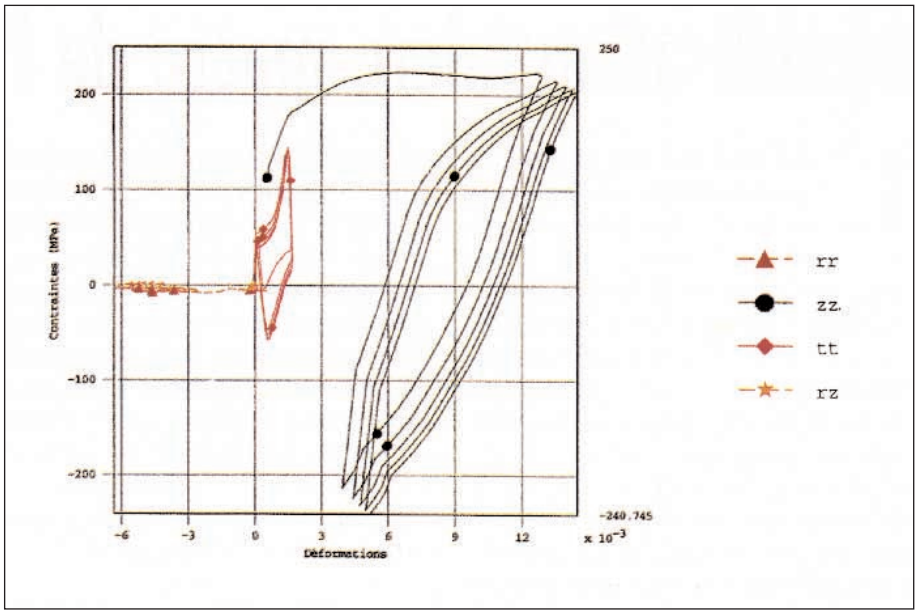


2 Déformations dans le congé à la fin du cinquième cycle

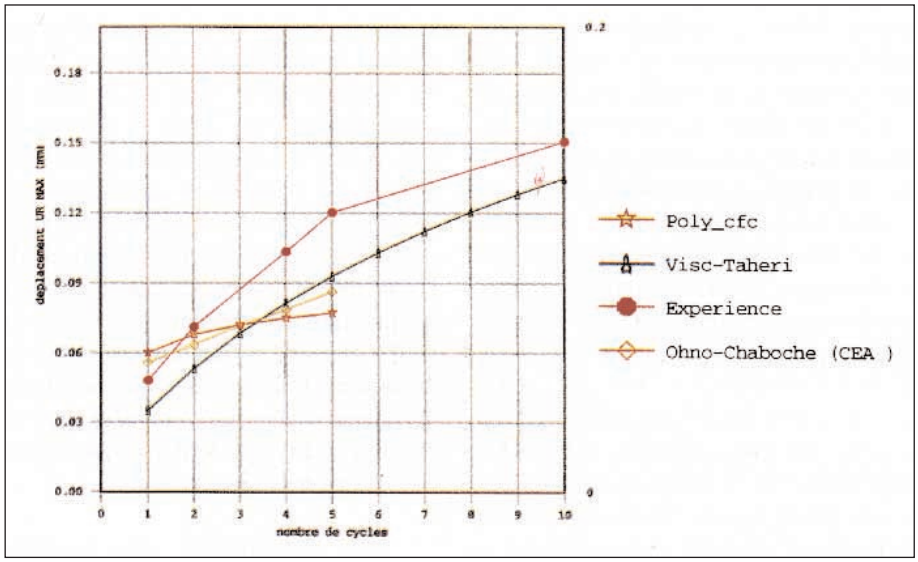
des tenseurs de déformations dans le congé) avec le modèle MMN dont les constantes sont identifiées par les mêmes essais. Sur la figure (3), on donne les relations contrainte-déformation pour les quatre composantes au cours des 5 cycles.

Au cours de 10 cycles, on compare sur la figure (4) les déplacements maximaux expérimentaux avec ceux fournis par le modèle polycristallin et le modèle MMN, ainsi qu'avec le modèle de Chaboche-Ohno (CEA Cadarache), modèle visco-plastique non disponible dans le Code_Aster, comportant 21 paramètres identifiés dans les mêmes conditions. La figure (5) montre les déplacements radiaux sur l'extérieur du maillage (entre les repères TC4 et TC8) pour ces trois modèles. La sous-estimation du déplacement maximal obtenu expérimentalement et le mauvais résultat dans la partie mince du maillage peuvent s'expliquer par le fait que les essais de caractérisation sont incohérents (certains sont sur le matériau hypertrempé et d'autres non) : la courbe de traction du matériau de l'éprouvette COTHAA n'a pas été utilisée pour les identifications.

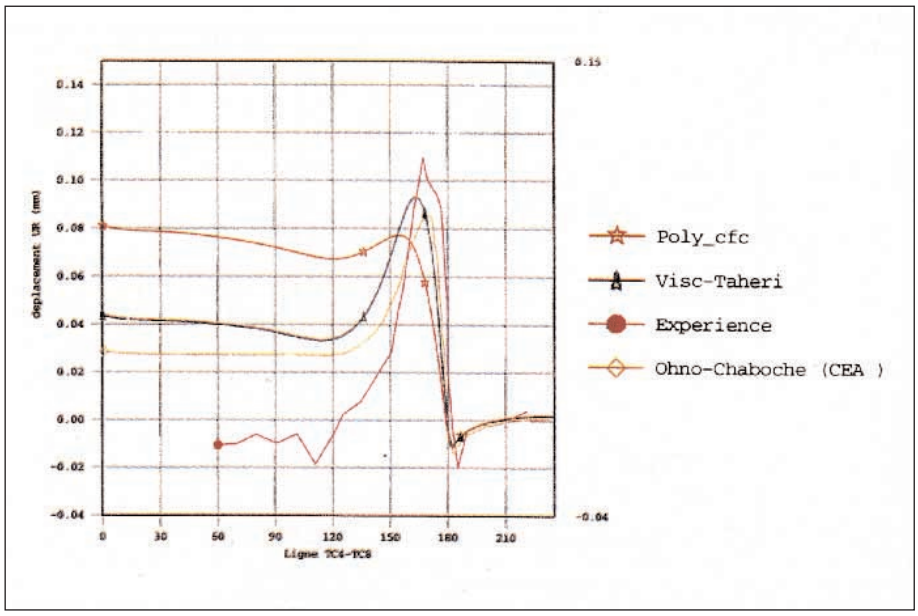
En conclusion, malgré la complexité du modèle, des résultats proches de l'expérience sont obtenus. Néanmoins dans le cas traité le modèle micro-macro ne semble pas présenter d'avantage particulier par rapport à un modèle phénomé-nologique, tout du moins pour le nombre de cycles traités, probablement parce que l'acier 316L a une structure cristalline cubique à faces centrées contenant beaucoup de symétries. L'avantage du modèle polycristallin pourra être plus net dans le cas des matériaux à structure hexagonale compacte où la distorsion de la surface de plasticité est plus importante, et cet avantage sera indéniable si le matériau est recuit après écrouissage, ce qui lui donne une nouvelle texture.



3 **Relations contrainte-déformation au cours des cinq cycles**



4 **Déplacement radial maximal sur l'extérieur du maillage en fonction du nombre de cycles**



5 **Déplacement radial sur l'extérieur du maillage**