

Chapitre IV :

PLASTICITÉ ET VISCOPLASTICITÉ

La première partie traite la modélisation phénoménologique et mathématique des solides plastiques selon la classification schématique du chapitre 2 : solide rigide parfaitement plastique ; élastique, parfaitement solide en plastique ; solide élastoplastique. On peut dire que les premiers travaux scientifiques sur la plasticité remontent aux mémoires de Tresca en 1864 sur le critère de contrainte de cisaillement maximum. Bien que la loi d'écoulement isotrope ait été formulée dès 1871 par St. Venant et Levy, ses applications aux structures ont dû attendre environ 1950 lorsque des théorèmes limites ont été découverts. Depuis 1970, la disponibilité d'ordinateurs rapides et volumineux a conduit à l'application de la théorie à des problèmes pratiques. Le chargement proportionnel (où les contraintes principales ne tournent en aucun point d'une structure) fournit un large champ d'application pour les théories basées sur l'écrouissage isotrope.

L'écrouissage, comme nous l'avons vu au chapitre 1, est presque toujours une anisotropie. Cet aspect de plasticité doit être pris en compte dès que le chargement n'est plus proportionnel et surtout sous charges cycliques. Prager, vers 1950, a donné la première formulation simple de l'anisotropie, à savoir l'écrouissage cinématique, sur laquelle reposent la plupart des théories actuelles.

Dans la deuxième partie, nous arrivons à des problèmes liés à la croissance temporelle des déformations permanentes, c'est-à-dire à l'étude des solides élastoviscoplastiques parfaitement viscoplastiques, parfaitement élastiques, viscoplastiques et durcissants, décrits schématiquement au chapitre 2. Les dates importantes dans le développement de la modélisation mathématique de la viscoplasticité est :

1910, avec la représentation du fluage primaire par la loi d'Andrade ;

1929, avec la loi de Norton qui lie le taux de fluage secondaire au stress ;

1934, avec la généralisation par Odqvist de la loi de Norton au cas multiaxial.

Le premier Symposium IUTAM 'Creep in Structures' organisé par Hoff a eu lieu en 1960. Il est devenu le point de départ d'un grand développement de la viscoplasticité avec les travaux de Hoff, Rabotnov, Perzyna, Hult et Lemaitre pour les lois de durcissement isotrope, et ceux de Kratochvil, Malinin et Khadjinsky, Ponter et Leckie et Chaboche pour les lois de durcissement cinématique.

Ces travaux réalisent aujourd'hui tout leur potentiel au vu des possibilités offertes par les ordinateurs modernes pour l'analyse de structures soumises à un fluage à haute température. Certains des principes de base de ces méthodes sont exposés à la fin de ce chapitre, qui est essentiellement consacré à la formulation et à l'identification des lois de comportement.

Le formalisme utilisé est celui de la thermodynamique des processus irréversibles, guidé par les aspects phénoménologiques décrits au début du chapitre. Des lois de comportement multiaxiales particulières sont présentées en détail en termes de modélisation, d'identification et de caractéristiques particulières du matériau : viscoplasticité parfaite, viscoplasticité avec écrouissage isotrope et viscoplasticité avec écrouissage cinématique. Ces lois sont étudiées et développées ici dans le cadre de l'hypothèse de petite déformation.

1. Plasticité :

1.1. Domaine de validité et d'utilisation :

1.2. Aspects phénoménologiques :

Comportement uniaxial - Critères de plasticité multiaxiale.

1.3. Formulation des lois constitutives générales :

Hypothèse de partition - Choix des variables thermodynamiques - Surface de chargement et potentiel de dissipation.

1.4. Lois d'écoulement particulières :

Différents types de critères et lois de flux - Règles d'écrouissage isotrope - Règles d'écrouissage cinématique linéaire - Règles de flux sous chargements cycliques ou arbitraires - Classification des différents modèles.

1.5. Charge proportionnelle :

Définition - Loi de Hencky-Mises intégrée. Contrainte équivalente et souche - Théorème d'existence pour le chargement proportionnel.

1.6. Éléments des méthodes de calcul en plasticité :

Analyse structurelle - Analyse des limites - Méthode globale approximative de l'énergie uniforme.

2. Viscoplasticité :

2.1. Domaine de validité et d'utilisation :

2.2. Aspects phénoménologiques :

Résultats issus des essais de durcissement - Résultats issus d'essais de fluage - Résultats issus des tests de relaxation - Loi de durcissement par viscosité - Influence de la température - Résultats issus d'essais cycliques - Résultats issus d'essais multiaxiaux.

2.3. 6.3 Formulation générale des équations constitutives :

Partition des souches - Choix des variables thermodynamiques - Potentiel de dissipation.

2.4. 6.4 Équations constitutives particulières :

Lois de la viscoplasticité parfaite - Lois de viscoplasticité avec écrouissage isotrope - Loi de viscoplasticité avec écrouissage cinématique - Modélisation d'effets particuliers.

2.5. 6.5 Éléments des méthodes d'analyse structurale viscoplastique :

Schéma général de l'analyse viscoplastique - Méthodes de linéarisation étape par étape.