

<p style="text-align: center;">MECANIQUE DES MATERIAUX SOLIDES Jean LEMAITRE & Jean-Louis CHABOCHE</p>
--

Impressions de lecture

par Jean-Claude MASSON, IRCN

Ce livre paru aux éditions Dunod en 1985 présente, en un seul volume et quelque 550 pages réparties en huit chapitres, tout ce que vous avez toujours voulu savoir – sans jamais oser le demander et surtout sans jamais le trouver – sur la rhéologie et les modèles de matériaux. Il complète en cela deux ouvrages de base plus anciens, à savoir ceux de B. Persoz, *Introduction à la rhéologie*, paru chez Dunod en 1960, et de J. Mandel, *Propriétés mécaniques des matériaux*, paru chez Eyrolles en 1978.

Datant déjà de quelques années mais toujours d'actualité, il nous a paru utile, comme nous l'avions déjà fait oralement lors de la journée Club SAP du 19.11.85 sur le calcul non linéaire des structures, de vous en vanter à nouveau les mérites et ce, au seuil de la journée Φ^2 AS sur l'endommagement et les critères de tenue des structures.

Mécanique des matériaux solides est en effet un livre dans lequel les auteurs, Jean Lemaitre, professeur à Paris VI et à l'ENS de Cachan, et Jean-Louis Chaboche, Directeur scientifique à l'ONERA, ont mis un point d'honneur à pouvoir être lus par d'autres qu'eux mêmes, que leurs lecteurs soient concepteurs et analystes de structures, calculateurs ou développeurs de logiciels.

Livre à plusieurs niveaux de lecture, il est tout à la fois ouvrage de base, ouvrage de référence et manuel.

Ainsi, les trois premiers chapitres sont-ils consacrés à un rappel des mécanismes physiques de la déformation et de la rupture des matériaux, principalement métalliques (*définitions, modes, types, échelles*), puis à des rappels de mécanique et de thermodynamique nécessaires à la compréhension des modèles de comportement présentés (*théorème des puissances virtuelles, déformations et contraintes, invariants associés, lois et principes, méthode de l'état local, variables d'état et potentiels associés*), enfin à un classement des solides réels suivant leurs comportements rhéologiques (*écrouissage, fluage, relaxation*) avec une première schématisation des effets cycliques, du vieillissement et de la rupture (*endommagement et amorces de fissures*).

Muni de ces bases, le lecteur peut aborder les chapitres suivants, chacun traitant plus en profondeur un type de comportement particulier et présentant les aspects phénoménologiques, les aspects thermodynamiques, les modèles généraux puis particuliers de comportement, les formules associées, les essais correspondants.

L'élasticité est présentée sous ses formes isotrope, orthotrope et isotrope transverse avec ses méthodes statiques et dynamiques d'identification, la thermoélasticité avec les méthodes d'identification dites des raideurs comparées et de la contrainte d'origine thermique, et la viscoélasticité avec les différents modèles analogiques tels que Kelvin-Voigt et Maxwell simple et généralisé.

La plasticité est traitée de façon plus développée avec ses aspects d'écroutissement et de cyclage, ses critères tridimensionnels isotropes (*exemple des critères de Von Mises et de Tresca*), ou anisotropes (*exemple des critères de Hill et de Tsai*), ses surfaces de charge et ses lois d'écoulement particulières. Une distinction claire est faite entre les critères d'écoulement et les critères d'écroutissement qui peuvent être isotropes ou anisotropes indépendamment les uns des autres. Quelques notions d'analyse limite avec les théorèmes dits de borne inférieure et de borne supérieure complètent ce chapitre.

La viscoplasticité et le fluage sont d'abord décrits à partir des résultats d'essais sous leurs formes classiques, primaire, secondaire et tertiaire avec une présentation de la loi de Norton pour différents matériaux, puis sous la forme de lois d'écroutissement en fonction de la vitesse de déformation, de la température et enfin sous cyclage, avec les différents modèles et formulations associés. Citons la description d'effets plus particuliers tels que la recouvrance, la restauration, les changements de phase et le durcissement, le vieillissement.

L'endommagement et la fissuration, domaines de prédilection des auteurs, enfin, constituent les deux derniers chapitres. Ces deux comportements sont décrits de façon très fouillée et très claire à la fois, de manière à bien montrer les différentes échelles de détérioration progressive du matériau et les modèles correspondants :

- Dislocations et clivages des cristaux au niveau microscopique, décrits au premier chapitre.
- Apparition progressive de cavités et de micro-fissures et croissance progressive jusqu'à des dimensions de l'ordre du millimètre pour les métaux : domaine de l'endommagement.
- Coalescence progressive des cavités, génération et propagation des fissures macroscopiques conduisant à la rupture : domaine de la fissuration..

L'endommagement y est présenté d'abord sous ses aspects phénoménologiques : définition de la variable d'endommagement, notion de contrainte effective, essais statiques et dynamiques associés, lois élémentaires associées pour les endommagements respectivement par ductilité, fluage (*Kachanov*), et fatigue (*Wöhler-Miner*, *Manson-Coffin notamment*), lois tridimensionnelles et critères associés (*taux de restitution énergétique, dit des 3 invariants, Sines, Crossland, Dang-Van pour la limite de fatigue*).

Sont ensuite abordés les aspects thermodynamiques et les critères correspondants. Citons la notion de contrainte effective par l'équivalence en déformation, proposée par J.-L. Chaboche et J. Lemaitre, et la variable tridimensionnelle d'endommagement associée, puis les critères généraux correspondant aux endommagements isotrope et anisotrope. Enfin, les critères propres à chaque type d'endommagement déjà cité (ductilité, fluage et fatigue), unidirectionnels, tridirectionnels isotropes et anisotropes, de cumul et d'interaction, linéaires et non linéaires.

Vient enfin la fissuration. Après un rappel historique :

- Griffith (1920), N.Q. Son, J. Lemaitre et J.-L. Chaboche (1970 et suivantes) pour l'approche globale (phénoménologique puis thermodynamique, pour les auteurs notamment),
- G.R. Irwin (1956) pour l'approche semi-locale,
- Rice (1968) et H.D. Bui (1973) pour les intégrales de contour,

les auteurs en présentent l'état de l'art au travers de leurs travaux et de l'importante littérature sur le sujet :

- Modes I, II, III respectivement d'ouverture, de cisaillements plan et anti-plan ; avec les solutions en déplacement et contraintes fonction des facteurs d'intensité K_I , K_{II} , K_{III} de contraintes ;
- Les intégrales de contour J (Rice) et I (Bui) dans le domaine élastique et les taux de restitution d'énergie (G) correspondants ;
- Les analyses possibles dans les domaines plastique et visco-plastique et les intégrales de contour correspondantes ;
- Des valeurs de facteurs d'intensité de contraintes pour des situations-types de fissuration ;
- Des lois expérimentales pour les ruptures fragile, ductile, par fatigue (Loi de Paris) ;
- L'approche thermodynamique pour les déterminations de G (courant, réduit, au seuil de fissuration) ;
- Plusieurs modèles de propagation de fissure suivant les types de rupture.

Lecture passionnante et utile s'il en est. Relecture et travail chapitre après chapitre pour mesurer toutes les finesses de l'ouvrage. Il permet ainsi de se cultiver, puis d'approfondir la connaissance que l'on a des mécanismes de détérioration progressive des métaux sous chargements croissants ou cycliques, mécaniques et thermiques, de réutiliser certains modèles de comportement en vue de les introduire dans une maquette informatique de logiciel des structures.

Cet ouvrage est également un manuel très pratique pour retrouver, grâce à l'index en fin de volume, qui des définitions, qui des lois, qui des valeurs ou des courbes de paramètres fonction de la charge ou de la température, pour les matériaux usuels rencontrés dans la construction mécanique : aciers au carbone et inoxydables, alliages légers, quelques alliages réfractaires.

Que dire de plus d'un livre écrit par des alchimistes des matériaux en quelque cinq années et demi ? Qu'il est en outre agréable à lire de par sa forme : une mise en page sobre et aérée, une typographie simple, des figures claires et des photographies, pardon, des micrographies lisibles, un repérage des chapitres décliné avec mesure.

Ajoutons des notations tensorielles intrinsèques sobres (lettres grasses pour les ordres égaux ou supérieurs à 2, maigres surmontées d'une flèche pour les vecteurs, maigres simples pour les scalaires) et des opérateurs clairement définis, en particulier les différents produits tensoriels.

Et pour finir, une coquetterie des auteurs. Les noms de Jean Lemaitre et Jean-Louis Chaboche ne figurent pas dans l'index. A vous, amis de Φ^2AS , de retrouver au fil des pages la ou les lois qui portent leurs noms.

Bonne lecture donc, avec papier, crayon et gomme.

Il est une heure moins le quart, je m'en offre encore un quart d'heure ... Quel sacré bouquin !

