

Jean MANDEL (1907 – 1982)



Né le 3 mars 1907 à Ivry sur Seine. Ancien élève de l'Ecole polytechnique (promotion 1926), et de l'Ecole des Mines de Paris, il a consacré l'essentiel de son activité scientifique à la Mécanique des Solides, la Plasticité et la Rupture. A ce titre, ses apports à la Mécanique des sols ont été très importants. Dans beaucoup de domaines il a fait œuvre de pionnier.

En service à Saint-Etienne, il est nommé professeur de Résistance des Matériaux, à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne en 1932. La guerre arrive, il est artilleur. Blessé en 1940, il conservera sa vie durant le morceau d'acier d'un éclat d'obus dans sa chair. L'Etat lui décerne la Croix de Guerre.

De retour à la vie civile, il enseigne de nouveau à Saint-Etienne. En 1942, il est maître de conférences à l'Ecole Polytechnique ; en 1948, professeur à l'Ecole des Mines de Paris, puis, de 1951 à 1973, professeur à l'Ecole Polytechnique. Il a laissé un cours de Construction, des cours de Résistance des Matériaux, des cours de Mécanique, un cours de Science des Matériaux.

En 1961, il crée le Laboratoire de Mécanique des Solides (LMS) de l'Ecole Polytechnique, devenu depuis Laboratoire commun à l'Ecole Polytechnique, à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris et à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Son oeuvre est vaste et protéiforme, Jean Mandel apportera des contributions majeures et qui font toujours référence à la Mécanique des roches et des sols tout autant que des métaux, des polymères ou des composites : rhéologie, viscoélasticité, élasto-plasticité et viscoplasticité, rupture, modélisation et calcul des structures, homogénéisation des matériaux hétérogènes, dynamique, tribologie...

Sa bibliographie compte près de 160 titres, dont 50 notes aux Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, ce nombre élevé démontre l'aspect fondamentalement original des recherches de Jean Mandel, toute de rigueur et de précision, concision et nouveauté. Seulement une vingtaine de ces articles sont rédigés avec des co-auteurs. Jean Mandel est avant tout un chercheur et un découvreur solitaire, même s'il ne ménage pas son temps pour aider les étudiants et chercheurs qui venaient lui demander des conseils.

Ses travaux sur les lois de comportement l'amènent très tôt à réfléchir sur la notion de Rhéologie et ce n'est pas par hasard s'il fonde en 1964 le Groupe Français de Rhéologie et s'il en est le premier Président (1964-1967), de même que son activité d'Ingénieur des Mines l'amènera à présider le Comité Français de Mécanique des Roches (1967-1970).

Dans le domaine de la Mécanique des sols, il a fait faire des avancées décisives et on peut voir, dès le début de ses travaux, son souci de l'application. Il s'intéresse aux écoulements des infiltrations dans les sols, qui sont gouvernés par une équation de Laplace. Dans les années d'avant-guerre, le calcul numérique est exécuté à la main et les techniques expérimentales et analogiques en sont à leur début. Il est donc essentiel de disposer de solutions explicites. Jean Mandel fournit la formulation de l'écoulement émis par une source à l'extrémité d'un tube avec différentes géométries. Ces résultats sont à la base d'un essai technologique encore utilisé actuellement pour la mesure de la perméabilité des sols in situ et appelé « l'essai Mandel-Lefranc ». Il présente ses résultats dès le 1^{er} Congrès International de Mécanique des Sols à Harvard, en 1936. Puis, il donne une condition de renard pour les fouilles ceinturées de palplanches, c'est-à-dire les conditions de profondeur de la fiche pour éviter la formation de sables mouvants dans les fonds de fouilles.

Son oeuvre majeure est la publication en 1942 de sa thèse de doctorat sur les « Équilibres par tranches planes des solides à la limite d'écoulement ». C'est un travail de pionnier et un travail capital, largement en avance sur son temps. Jean Mandel y traite de l'équilibre plastique des corps à courbe intrinsèque quelconque, ce qui contient évidemment les critères de Coulomb et de Tresca. Il en déduira, au cours de sa vie, un ensemble d'applications pratiques correspondant d'abord à des problèmes immédiatement résolubles à partir de son premier travail, ensuite à des problèmes nouveaux que la technique apporte, enfin à des problèmes où le traitement numérique est tel que seule la puissance des ordinateurs permet d'en donner une solution utile parce que complète et ramenée au niveau d'abaques. On peut citer les problèmes suivants :

- le problème de la filière ;
- l'écrasement entre les plateaux d'une presse ;
- l'équilibre des silos ;
- l'interférence des fondations superficielles ;
- la force portante des fondations sur milieux bi-couches (avec Jean Salençon) ;
- l'équilibre des tunnels et des cavités souterraines (avec Bernard Halphen, puis avec Yannick d'Escatha).

Dans le cadre de l'élasticité linéaire, Jean Mandel a résolu le problème de la charge ponctuelle appliquée sur un milieu composé de deux couches ce qui est une situation plus réaliste en Génie Civil que le corps semi-infini qu'avait étudié Boussinesq. Par des intégrations plus ou moins difficiles, cette solution donne accès à différentes répartitions de charge sur des surfaces de formes diverses. La solution proposée permet aussi de traiter les problèmes de propagation d'ondes dans de tels milieux.

Dans le domaine du fluage, ces apports sont également considérables. Utilisant la transformation de Carson, Jean Mandel montre que la théorie de la viscoélasticité linéaire peut être ramenée à la théorie de l'élasticité linéaire. Lorsque les propriétés de viscoélasticité dépendent de l'âge, c'est-à-dire lorsque les corps vieillissent, mais toujours en restant dans le domaine linéaire, il introduit des opérateurs qui permettent de se ramener à nouveau aux équations de l'élasticité.

En Mécanique des roches, il n'a pas son pareil pour discerner, dans une situation physique donnée, la théorie qu'il faut employer, c'est-à-dire la présence d'eau, comme en Mécanique des sols, ou si certains éléments doivent être traités comme des poutres ou des dalles, c'est-à-dire en Résistance des Matériaux, ou encore si certains phénomènes doivent être considérés comme des instabilités : c'est par exemple le cas du flambage dans certains coups de toit. Il a traité complètement l'équilibre des cavités souterraines servant au stockage des gaz (c'est-à-dire soumis à une pression interne) ou des liquides (pression hydrostatique). Enfin, il a étudié les conditions de similitude en Mécanique des solides, sols, roches ou métal, avec ou sans fluide interstitiel, avec ou sans viscosité et ce travail a été à la base des nombreuses études sur modèles réduits réalisées au Laboratoire de Mécanique des Solides.

L'oeuvre de Jean Mandel fourmille d'études ponctuelles ou générales, par exemple sur la thermodynamique des liaisons eau-sol dans le cas des milieux non saturés, ce qu'on a appelé ultérieurement la succion, sur les propagations d'ondes, sur les contacts dans les milieux granulaires, sur les bornes de l'élasticité des mélanges, sur l'anisotropie élastique, etc.

Jean Mandel est aussi un expérimentateur de talent. En plasticité, on lui doit la vérification expérimentale de la validité des relations de Prandtl-Reuss en opposition à la théorie de Hencky. Il étudie la torsion et la flexion d'un cylindre élastoplastique en adoptant pour le métal un critère de Tresca et en calculant les déplacements. L'étude expérimentale consiste à superposer traction et torsion d'un fil à différent niveau de chargement relatif et de vérifier que les accroissements de déformations sont fonction du tenseur des contraintes et non pas de l'accroissement des contraintes.

En plasticité théorique, il étudie les propagations d'ondes et des surfaces de discontinuité avec des conditions très larges d'anisotropie et d'écroutissage. Il montre l'existence de trois célérités séparées par les célérités des ondes élastiques auxquelles elles sont au plus égales et il étend pour le milieu parfaitement plastique la théorie classique de Hugoniot pour les fluides.

La réflexion sur les lois de comportement fait l'objet d'un mouvement scientifique très important dans cette deuxième partie du 20^{ème} siècle, Jean Mandel y participe pleinement et cela dans deux directions : la thermodynamique et le rattachement du comportement à la structure de la matière, ce

qui sera appelé le passage « micro-macro » (du microscopique au macroscopique). En thermodynamique, il donne les relations générales liant les déformations et l'entropie aux dérivées de l'enthalpie libre. Il exploite le principe de non-dualité entre les forces et les déformations : il n'y a pas de phénomène dual de la viscosité ; ou encore un changement brusque de la vitesse de chargement ne provoque pas de déformation instantanée. Il étudie alors les ondes ordinaires de discontinuité dans les milieux viscoélastiques. En viscoplasticité, dans un domaine où les connaissances relèvent de l'empirisme, il établit un cadre physiquement correct et mathématiquement cohérent où la plasticité classique s'insère comme un cas particulier. Enfin, il propose une distinction entre solide et liquide d'après l'effet à longue échéance, évanescence ou non, d'un échelon de déformation.

Pour le rattachement du comportement à la micro-structure, il s'intéresse essentiellement au cas des métaux. On sait que la plasticité du métal doit être recherchée dans les glissements intracristallins qui suivent la loi de Schmidt et plus généralement la théorie des dislocations. Jean Mandel montre comment passer du monocristal au polycristal et donne des relations entre la déformation permanente globale du polycristal et les déformations plastiques des monocristaux. Le travail absorbé dans la déformation plastique est divisé en deux parties : l'une dissipée en chaleur et l'autre transformée en énergie élastique bloquée dans les cristaux. Une partie de l'écroutissage peut alors être due aux contraintes résiduelles, comme dans une structure, et les équations de comportement doivent en tenir compte.

En viscoplasticité, il décompose la transformation complète en transformation plastique et transformation élastique et introduit une configuration intermédiaire relâchée, il utilise un trièdre directeur qui permet de savoir où l'on se trouve dans un milieu matériel qui s'écoule et qui, éventuellement, ne reste pas isotrope. Enfin, il emploie des variables cachées pour caractériser l'écroutissage, ce qui permet de présenter des relations de comportement de formes différentielles en évitant ainsi les difficultés de la représentation fonctionnelle. Ses tout derniers travaux portent sur les grandes transformations.

Jean Mandel mène également des travaux remarquables sur les instabilités, le flambage des poutres et des plaques dans ou sur un solide élastique résistant, ce qui correspond au problème du pieu dans un terrain ou de la dalle sur le sol.

L'œuvre scientifique de Jean Mandel est extrêmement riche, avec ce balancement qui va de la théorie vers l'application, du fondamental jusqu'au cas particulier. Il n'aimera rien tant que de partir du cas particulier que la technique nous pose pour réfléchir, examiner, traiter, exposer complètement et simplement le problème abstrait, définir ce qui est à résoudre, et résoudre avec toute la rigueur et la précision mathématique. Jean Mandel montrera toute sa vie la nécessité constante de réunir l'expérimentation et la théorie; la théorie et le calcul; le calcul et la vérification expérimentale.

(d'après Pierre Habib
Conférence générale – « Vie et œuvre de Jean Mandel »,
17^{ème} colloque du Groupe Français de Rhéologie, Paris 1982,
Cahiers du Groupe Français de Rhéologie, tome 6, n° 3, 1982)

Éléments bibliographiques dans le domaine de la Géotechnique

Mandel J. (1962) Essais de traction et torsion sur tubes et fils métalliques. *Revue Française de Mécanique*, n° 4, 1962.

Mandel J. (1962) Bases physiques et équations fondamentales de la théorie de la plasticité. *Séminaire de Plasticité 1961* (Pub. Sc et Tech. du Ministère de l'Air, Paris 1962).

Mandel J. (1962) Problèmes de déformation plane (et de contrainte plane pour les corps parfaitement plastiques. *Séminaire de Plasticité 1961* (Pub. Sc. et Tech. du Ministère de l'Air. Paris 1962).

Mandel J., Parsy P. (1962) Quelques problèmes tridimensionnels de la théorie du corps parfaitement plastique. *Séminaire de Plasticité, 1961* (Pub. Sc. et Tech. du Ministère de l'Air, Paris 1962).

Mandel J. (1962) Ondes plastiques dans un milieu indéfini à trois dimensions. *Journal de Mécanique*, vol. 1 n° 1. mars 1962.

Mandel J. (1962) Essais sur modèles réduits en Mécanique des terrains. Etude des conditions de Similitude. *Revue de l'Industrie Minérale*, vol. 44, n° 3, septembre 1962.

- Mandel J., Dantu P., Habib P. (1963) La Mécanique des Solides. *N° Spécial, La Jaune et la Rouge*, mars 1963.
- Mandel J. (1963) Propagation des surfaces de discontinuité dans un milieu élastoplastique. *Symposium held at Brown University, Providence*, avril 3-5 1963.
- Mandel J., Habib P., Bui H.D. (1963) Essais de traction et torsion sur tubes et fils métalliques. *4^{ème} Congrès international de Rhéologie*, Brown University, Providence, Rhode Island, août 1963.
- Mandel J., Parsy F. (1963) Surfaces caractéristiques des équations de l'équilibre plastique pour un milieu rigide parfaitement plastique. *Journal de Mécanique*, vol. 2, n° 3, septembre 1963
- Mandel J. (1963) Interférence plastique de fondations superficielles. *International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Budapest, septembre 1963.
- Mandel J. (1964) Sur une généralisation de la théorie du potentiel plastique de Koiter. *C. R. Ac. Sc.* 17 février 1964.
- Mandel J. (1964) Contribution théorique à l'étude de l'écroissage et des lois d'écoulement plastique. *11^{ème} Congrès Int. de Mécanique Appliquée*, Munich.
- Mandel J. (1964) Conditions de stabilité et Postulat de Drucker. *Symposium International IUTAM*, Grenoble, mars 1964.
- Mandel J., Pham (1965) Force concentrée agissant au sein d'un semi-espace élastique limité par un plan. *C. R. Ac. Sc.* 26, avril 1965.
- Mandel J. (1965) Sur l'unicité du champ de contraintes lors de l'équilibre limite dans un milieu rigide plastique obéissant au critère de la scission maximale. *C.R. Ac. Sc.* 5 juillet 1965
- Mandel J. (1965) Généralisation de la théorie de plasticité de W:T. Koiter. *Int. Journal of Solids and Structures*, vol. 1, n° 3, juillet 1965.
- Mandel J. (1965) Energie élastique et travail dissipé dans les modèles. *Cahiers du Groupe Français de Rhéologie*, tome 1, n° 1, septembre 1965.
- Mandel J. (1965) Interférence plastique des semelles filantes. *6^{ème} Congrès Int. de Mécanique des Sols*, Montréal, septembre 1965.
- Mandel J. (1966) Sur les équations des vitesses pour les sols idéaux et le concept du double glissement. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, vol. 14.
- Mandel J. (1967) Application de la Thermodynamique aux milieux viscoélastiques à élasticité nulle ou restreinte. *C. R. Ac. Sc.* 16, janvier 1967.
- Mandel J., Brun L. (1967) Sur les ondes ordinaires dans les milieux viscoélastiques. *C.R. Ac. Sc.* 27, février 1967.
- Mandel J. (1967) Application de la Thermodynamique aux systèmes viscoélastiques linéaires à paramètres cachés. *Cahiers du Groupe Français de Rhéologie*, tome 1, n° 4, avril 1967
- Mandel J. (1967) Résistance au roulement d'un cylindre indéformable sur un massif parfaitement plastique. *Numéro Spécial du Journal G.A.M.I.*
- Mandel J. (1967) Application de la Thermodynamique aux milieux dont les déformations instantanées sont élastiques ou nulles. *11^{ème} Conférence annuelle de Bielsko-Biala*, 22 septembre - 1^{er} octobre 1967, *Arch. Mech. Sto.*, vol. 2 -20. p. 181.
- Mandel J., Brun L. (1968) Thermodynamique et ondes dans les milieux viscoélastiques. *Journal of Mech. & Physics of Solids*, janvier 1968.
- Mandel J. (1968) Sur diverses conséquences d'un principe restreignant les formes possibles pour les équations de comportement. *12^{ème} Congrès International de Mécanique Appliquée*, Stanford, août 1968.
- Mandel J. (1968) Sur un principe restreignant les formes possibles pour les équations constitutives. *5^{ème} Congrès International de Rhéologie*, Kyoto.
- Mandel J., Salençon J. (1969) Poinçonnement d'un bicouche à interface lisse en déformation plane. *C. R. Ac. Sc.*, 17 février 1969, tome 268.
- Mandel J. (1969) Thermodynamique et ondes dans les milieux viscoplastiques. *Journal of the Mech. & Physics of Solids*, vol.17, n° 3, juin 1969.
- D'Escatha Y., Mandel J. (1971) Profondeur critique d'éboulement d'un souterrain. *C. R. Ac. Sc.*, 13 septembre 1971, tome 273, pp. 470-473.