

Semi-plénière par le Docteur Michel Jean

Ex Directeur de Recherche CNRS

Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Marseille.

"Contributions de Jean-Jacques Moreau à la Mécanique non Régulière . Applications aux matériaux granulaires"

Résumé : Jean-Jacques Moreau est le cofondateur avec R.T. Rockafellar de l'Analyse Convexe, outil mathématique indispensable et particulièrement fertile pour traiter les problèmes de la mécanique non régulière. L'article de Jean-Jacques Moreau « On unilateral constraints, friction and plasticity, 1974, IUTAM/IMU Marseille » fait date aussi bien du point de vue des mathématiques que de la mécanique. Un problème typique de la mécanique non régulière est le contact unilatéral où l'on doit faire face à l'impénétrabilité, ce qui se décrit avec une multi-application non différentiable et pouvant prendre des valeurs infinies. L'analyse convexe permet de traiter de telles multi-applications. Par ailleurs J.J. Moreau a écrit de nombreux articles concernant les mesures sur la droite réelle et les fonctions à variations localement bornées, outil idéal pour traiter une mécanique en présence de discontinuités de vitesse survenant lors des chocs. Un autre concept est le « problème de rafle » qui trouve de nombreuses applications y compris en mécanique du contact.

En 1984 J.J. Moreau décide de mettre à l'épreuve ses concepts au moyen d'une méthode numérique dérivée des formulations en Analyse Convexe, méthode Contact Dynamics (CD). Historiquement le premier algorithme sera appliqué à l'étude fine du choc entre deux corps rigides. La méthode est rapidement étendue aux collections de corps rigides en présence de contact unilatéral et de frottement de Coulomb, tels que les matériaux granulaires et les édifices composés de blocs. Une des caractéristiques de la méthode CD est qu'il s'agit d'une méthode complètement implicite. Cette méthode se distingue ainsi des méthodes explicites de la dynamique moléculaire (par exemple la méthode de P. Cundall & al.) méthodes praticables seulement si le contact frottant est régi par des lois sous formes d'applications (et non pas de multi-applications) autrement dit si ces lois sont régulières ou régularisées. J.J. Moreau avait son propre style de programmation. Il fournissait volontiers aux utilisateurs qui le demandaient des versions clés en main. Il a abordé un certain nombre de questions sujettes à controverse, qu'il a élucidées et présentées dans des articles mais aussi dans des films pédagogiques fabriqués entièrement par lui ; parmi ces questions, le fonctionnement des avalanches, la ségrégation des particules sous l'effet de vibrations, le blocage et l'indétermination, les effets de voûte sous un tas. Il s'est particulièrement intéressé à la notion de contrainte dans les matériaux granulaires. Il a montré que c'était un concept pertinent comme le tenseur de Cauchy dans les milieux continus. La définition usuelle produit un tenseur légèrement non symétrique. Vers 2008 il a donné la définition exacte de ce que doit être le tenseur de contrainte, tenseur alors symétrique. Cette définition s'étend à

n'importe quelle collection d'objets. L'équation d'équilibre pour la collection s'écrit $\text{div } \sigma = f$, comme pour un milieu continu.

De nombreuses contributions et références se trouvent dans les ouvrages :

Micromechanics of granular materials, ed. Bernard Cambou, Michel Jean and Farhang Radjaï, ISTE 2009.

Et la dernière édition française,

Matériaux granulaires : modélisation et simulation numérique, sous la direction de Bernard Cambou, Michel Jean, Farhang Radjaï, 2012 Lavoisier.

Biographie : Jean-Jacques Moreau (1923-2014), mathématicien et mécanicien, a été chercheur au CNRS, puis Professeur à l'Université de Poitiers, puis Professeur à l'Université de Montpellier depuis les années 1958. Il est le cofondateur avec Olivier Maissonneuve du Laboratoire de Mécanique et Génie Civil à Montpellier. Il s'est intéressé au début de sa carrière à la mécanique des fluides. Il a apporté des contributions importantes et des résultats originaux, comme l'invariant d'hélicité en dynamique des fluides parfaits (1962). Jean-Jacques Moreau est surtout connu pour être l'inventeur dans les années 1960 de l'Analyse Convexe (parallèlement avec R.T. Rockafellar, qui avait d'autres motivations que les motivations mécaniques de J.J. Moreau). L'Analyse Convexe se révèle un outil indispensable et particulièrement fertile pour traiter la Mécanique non Régulière, c'est-à-dire une mécanique qui fait face à des lois de comportement non différentiables, comme on en trouve en présence de contact et de frottement. En 1984 J.J. Moreau opère une révolution culturelle tout à fait inattendue de la part de quelqu'un considéré comme un théoricien invétéré, par ailleurs parfaitement au fait des problèmes d'ingénieurs. Il décide de tester ses concepts en pratiquant le calcul numérique donnant naissance à la méthode Contact Dynamics (CD). Il développe une intense activité aussi bien en tant que mécanicien que numéricien en s'intéressant en particulier à la mécanique des matériaux granulaires où il a exhibé des résultats originaux et inattendus. C'était une personnalité rigoureuse, amicale, pince sans rire et d'une culture immense.

On peut trouver des détails bibliographiques dans l'hommage qui lui a été rendu par la SMAI, smai.emath.fr/img/pdf/matapli103pd446f.pdf.

Biographie : Michel Jean a fait toute sa carrière de chercheur en mécanique au CNRS de 1962 jusqu'à 2000, d'abord au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique à Marseille (LMA) puis de 1984 à 1995 au Laboratoire de Mécanique et Génie Civil à Montpellier (LMGC) puis à nouveau au LMA. Au LMGC, ayant un penchant pour les mathématiques, il est sensible à la démarche de J.J. Moreau et s'engage dans le calcul numérique des problèmes en présence de contact et de frottement. Il développe la méthode numérique CD dédiée aux corps rigides et la généralise au traitement des corps déformables (méthode NSCD). La méthode NSCD permet d'aborder des

problèmes industriels tels que la mise en forme des matériaux, le comportement des machines tournantes sous fort balourd, etc. La méthode NSCD a fait l'objet de développements numériques importants, maintenant à l'initiative et sous la responsabilité de F. Dubois dans un code de calcul nommé LMGC90.