

Introduction

La mécanique est vraisemblablement l'une des premières pensées scientifiques qui se soit imposée à l'esprit de l'Homme lorsqu'il voulut, par exemple, utiliser un levier pour soulever la pierre qui devait servir à l'édification de son abri. Puis, au cours du temps, la machine est venue, d'abord pour aider l'Homme dans ses tâches, ensuite même, pour le remplacer, cela grâce à la mécanique, à son développement et à la capacité qu'elle offre à décrire le mouvement des corps, et par conséquent à concevoir le fonctionnement de ces machines.

En outre, sans qu'il en ait eu conscience, l'idée de la mécanique s'imposa aussi à l'Homme lorsqu'il s'intéressa au cycle des saisons, notamment pour assurer sa subsistance en cultivant lorsque l'idée lui en vint. Les phénomènes astraux occupèrent de plus en plus sa pensée, car il eut toujours le pressentiment de leur influence sur sa vie ; et petit à petit, il apprit au cours des siècles à les analyser, à les comprendre, à les formaliser.

Puis vint Newton et ses lois, et les équations du mouvement qui en résultent ! Leur puissance incontestable – même si les équations des trajectoires spatiales, conçues sur cette base, sont nettement plus complexes – s'est encore récemment manifestée avec la sonde Rosetta qui parcourut l'espace pendant plusieurs années pour aller à des distances phénoménales se placer en orbite de la comète Chury et y déposer son module atterrisseur Philae, chargé de la scruter et de l'analyser. Et le pari fut réussi ! Elle fut encore prouvée, ces temps-ci, avec la « découverte théorique » d'une planète aux confins du système solaire par l'observation des trajectoires des corps astraux avoisinants sur lesquels l'influence de sa présence était flagrante.

Les équations du mouvement d'un corps solide ont ainsi quelque chose de fascinant, de magique presque, bien que la magie ait peu à y faire, simplement la science des hommes.

Au Conservatoire national des arts et métiers (CNAM), cette science est enseignée à un public d'origines très diverses. Aussi Michel Cazin, qui anima la chaire de mécanique pendant plus de deux décennies, eut-il à cœur de proposer à son auditoire un enseignement clair et mathématiquement bien structuré, qui fut toujours bien accueilli que ce soit à Paris ou dans tous les centres de province où il était diffusé. Ainsi, nous qui avons œuvré à ses côtés en s'inspirant de ses idées et de son approche du sujet qu'il a constamment cherchées à améliorer, voulions-nous que cette manière de concevoir l'enseignement de la mécanique ne soit pas oubliée, au bénéfice des générations à venir. Telle est l'ambition de cette série de mécanique des solides indéformables.

Afin de bien distinguer les étapes essentielles du développement du formalisme qui conduit à l'établissement des équations du mouvement, ce qui est en quelque sorte le cœur de la discipline, avec les grands types d'application que l'on en a, cette série se répartit en quatre à cinq volumes dont le premier est le présent ouvrage.

Ce volume 1 réunit ce qui concerne les éléments nécessaires à l'établissement des équations du mouvement, à savoir comment situer dans l'espace le solide dont on veut décrire le mouvement, comment exprimer sa cinématique qui traduit ce mouvement en termes de champs de vitesse et d'accélération, et comment caractériser ses propriétés de masse, d'inertie et d'énergie.

Le volume 2 est particulier. Tout au long du développement du formalisme, le mécanicien fait appel à des outils mathématiques divers – les vecteurs, les torseurs par exemple – dont il doit savoir se servir. Les exemples vécus sont nombreux où, pour les avoir un peu oubliés, le praticien a besoin d'informations pour bien utiliser certains de ces outils et aboutir au résultat recherché ; or il arrive que ces informations, lorsqu'il les trouve, ne soient pas toujours sous une forme directement exploitable et qu'il faille un temps d'adaptation pour bien en faire usage. Le volume 2 rassemble donc un certain nombre d'outils mathématiques utiles sous une forme directement utilisable dans l'application de cette série d'ouvrages.

Le volume 3 sera consacré d'abord à la mise en place du solide dans son environnement, avec la prise en compte des efforts qui s'y manifestent, à l'introduction du principe fondamental de la dynamique, aux équations du mouvement qui en découlent, qu'elles en soient l'expression directe ou qu'elles soient issues de la prise en compte de la dimension énergétique du mouvement. L'ensemble de cet exposé sera précédé d'un formulaire méthodologique qui reprendra les principales formules élaborées dans le volume 1, afin de guider le mécanicien dans la préparation du matériau nécessaire à l'établissement des équations du mouvement.

Ces équations seront ensuite exploitées, dans ce volume et dans les suivants, pour l'étude des petits mouvements et des vibrations d'un solide, ou des conditions de stationnarité d'un mouvement, ainsi que pour exprimer le mouvement des systèmes de solides et introduire la robotique.

Pour en revenir au présent volume, il comprend donc trois chapitres principaux, illustrés par un certain nombre d'exercices qui prennent place soit à l'intérieur de chaque chapitre pour permettre une application directe de ce qui vient d'y être développé, soit à la fin de ce chapitre lors qu'il paraît utile d'approfondir l'exploitation de son contenu.

Le premier chapitre, axé sur la situation des solides, identifie les principaux types de repères susceptibles d'être utilisés et montre comment on y identifie le solide, comment on en décrit la position et l'orientation, et son évolution au cours du mouvement. La détermination de repères locaux liés à des courbes ou des surfaces sera développée dans les chapitres correspondants du volume 2. Ce chapitre aborde aussi le cas où une rotation autour d'un axe est à prendre en compte pour définir la situation d'un solide ; la rotation vectorielle sera développée plus largement dans le volume 2.

Le deuxième chapitre introduit les descripteurs du mouvement que sont la vitesse et l'accélération pour s'intéresser ensuite longuement à l'expression des champs de vitesse et d'accélération d'un solide en mouvement, sous forme torsorielle notamment, car la notation torsorielle s'avère un outil particulièrement intéressant en mécanique du solide. Il examine la formulation de ces champs dans les cas particuliers du mouvement plan sur plan, avec les notions très physiques de base et de roulante, la composition des mouvements lorsqu'interviennent des repères mobiles les uns par rapport aux autres, et lorsque des solides sont en contact au cours de leur mouvement en caractérisant, en termes de déplacements et de vitesses, la nature de ce contact.

Le troisième chapitre introduit les propriétés cinétiques d'un solide qui jouent un rôle primordial dans la manière dont se produit son mouvement, à savoir sa masse et son inertie. Il introduit les deux notions essentielles de torseur cinétique et de torseur dynamique qui amalgament les deux aspects cinématique et cinétique en un même concept ; l'expression de ces deux torseurs est une des dernières étapes à franchir vers le principe fondamental de la dynamique, la dernière étant la dimension énergétique du mouvement. Ce chapitre aborde donc pour finir cet aspect énergétique en définissant et développant le concept d'énergie cinétique d'un solide en mouvement, en insistant sur la forme torsorielle que prendra son expression ce qui facilitera son utilisation par la suite.

Pour conclure cette introduction, cette série de mécanique des solides indéformables telle qu'elle a été décrite ci-dessus se veut un outil indispensable au service de celui qui,

comme l'étudiant, veut acquérir une connaissance suffisamment rigoureuse de la discipline, ou de celui qui, dans l'exercice de sa profession, éprouve le besoin de développer sa propre approche du problème qu'il doit traiter. Certes les moyens informatiques répondent la plupart du temps à la résolution des problèmes qui se posent à l'ingénieur, mais le besoin de sortir parfois du cadre qu'ils imposent fait aussi partie des préoccupations du praticien qui apprécie alors de disposer d'un outil qui peut guider ses pas.

Nous avons voulu le concevoir dans cet esprit ; la réaction des auditeurs du CNAM recueillie tout au long de nos années d'enseignement nous y a incités.