

**Université des Sciences et de la Technologie
Houari Boumediene**

Faculté de Physique

VIBRATIONS ET ONDES MECANIQUES

Cours & Exercices

Pr. DJELOUAH Hakim

Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene
Faculté de Physique

Licence de Physique - L2 - S3

Module : Physique 3

Vibrations et Ondes Mécaniques

Cours & Exercices

H. Djelouah

Année Universitaire 2011-2012

Avant-Propos

Au sujet de ce manuel

Ce manuel a été écrit à l'intention des étudiants de deuxième année des filières scientifiques et techniques des universités et écoles d'ingénieurs d'Algérie. Il correspond au programme officiel du module *Vibrations et Ondes mécaniques* enseigné en deuxième année (L2-S3) des filières *ST-Sciences et Technique* et *SM-Sciences de la Matière*.

Les objectifs assignés par ce programme portent sur l'initiation des étudiants de deuxième année aux phénomènes de vibrations mécaniques et de propagation des ondes mécaniques. Ce manuel essaie de répondre au mieux aux recommandations du programme officiel.

L'utilisation du formalisme de Lagrange est clairement spécifiée dans le programme officiel. Nous avons essayé d'introduire le formalisme de Lagrange le plus simplement possible dans le cas particulier d'un système à une particule possédant un degré de liberté. La classification des différents types de liaison n'est pas abordée. Il nous a semblé opportun d'insister sur la notion de force généralisée et d'introduire, dans le cas des systèmes dissipatifs, la notion de fonction dissipation. La généralisation aux systèmes à plusieurs degrés de liberté est énoncée sans démonstration.

L'étude des oscillations est volontairement restreinte aux oscillations de faible amplitude. Cette démarche est présentée dans le chapitre intitulé *Oscillations libres des systèmes à un degré de liberté*. De plus, les seules forces de frottement prises en compte sont les forces de frottement de viscosité proportionnelles à la vitesse.

Les notions de résonance et d'impédance mécanique font l'objet du chapitre suivant consacré aux oscillations forcées des systèmes à un degré de liberté. L'étude des systèmes oscillatoires à plusieurs degrés de liberté est restreinte aux systèmes possédant deux degrés de liberté. La méthode matricielle de recherche des modes n'est pas utilisée en raison des connaissances pré-requises en calcul matriciel. Nous avons opté pour une démarche basée sur la superposition de solutions particulières sinusoïdales. L'étude des oscillations forcées des systèmes à deux degrés de liberté permet de consolider les notions de résonance et d'impédance et d'introduire le phénomène d'anti-résonance. Les analogies entre les systèmes électriques et mécaniques sont présentées dans une annexe.

Le programme officiel recommande d'introduire la propagation des ondes mécaniques en utilisant le modèle de la chaîne linéaire et assurer ensuite le passage du milieu discret au milieu continu ; nous avons estimé que cette démarche, bien que très intéressante, n'était pas adaptée au niveau de nos étudiants car elle introduit la notion d'onde par des concepts relativement difficiles tels que la notion de dispersion. Pour cela nous avons préféré introduire la propagation des ondes mécaniques à travers le modèle plus classique de la corde vibrante qui permet de mettre en évidence la différence entre vitesse de vibration et vitesse de propagation. Pour des raisons pédagogiques, nous avons préféré établir l'équation de propagation à l'aide du formalisme de Newton plutôt qu'en utilisant le formalisme de Lagrange. L'équation de propagation est résolue par la méthode de d'Alembert présentée dans un chapitre intitulé *Généralités sur les phénomènes de propagation*. La méthode de Fourier est présentée lors de la résolution du problème des oscillations libres d'une corde de longueur finie. Les notions d'impédance, de modes propres et de résonance sont définies dans ce chapitre.

La propagation des ondes élastiques dans les solides est abordée dans le chapitre suivant où, volontairement, nous avons préféré commencer par les systèmes continus non dispersifs puis aborder le modèle de la chaîne linéaire et finir avec le passage à la limite d'un milieu discret vers un milieu continu.

La propagation des ondes acoustiques dans les fluides est abordée dans le dernier chapitre. Les notions d'intensité acoustique et de niveau sonore sont présentées dans des cas simples. L'effet Doppler est introduit de façon assez sommaire.

Semaine	Cours	Travaux Dirigés
1	Equations différentielles	Rappels de mécanique
2	Formalisme de Lagrange	Equations différentielles
3	Oscillations libres des systèmes non amortis à 1 degré de liberté	Formalisme de Lagrange
4	Oscillations libres des systèmes amortis à 1 degré de liberté	Oscillations libres des systèmes non amortis à 1 degré de liberté
5	Oscillations forcées des systèmes à un degré de liberté	Oscillations libres des systèmes amortis à 1 degré de liberté
6	Oscillations libres des systèmes à deux degré de liberté	Oscillations forcées des systèmes à un degré de liberté
7	Oscillations forcées des systèmes à deux degrés de liberté	Oscillations libres des systèmes à deux degré de liberté
8	Généralités sur les ondes	Oscillations forcées des systèmes à deux degrés de liberté
9	Cordes vibrantes	Généralités sur les ondes
10	Ondes acoustiques dans les fluides	Cordes vibrantes
11	Ondes dans les milieux discrets	Ondes acoustiques dans les fluides
12	Ondes élastiques dans les solides	Ondes dans les milieux discrets

TABLE 1: Proposition de progression des enseignements

Afin de combler les lacunes éventuelles des étudiants venant de première année, il nous a semblé nécessaire de consacrer un chapitre entier (Annexe) à la résolution des équations différentielles du second ordre à coefficients constants.

Enfin, une bibliographie sommaire présente les principaux ouvrages utilisés pour la confection de ce manuel.

Gestion du temps pédagogique

Le contenu de ce programme est prévu pour être enseigné pendant un semestre de 15 semaines, à raison de deux cours hebdomadaires de 1h30mn et une séance de travaux dirigés de 1h30mn par semaine. Toutefois pour diverses raisons, la durée réelle de l'enseignement par semestre est de 12-13 semaines. Afin de couvrir la plus grande partie du programme officiel pendant cette durée une gestion rigoureuse du temps pédagogique ainsi qu'une coordination-synchronisation entre les cours et les travaux dirigés sont indispensables. Nous recommandons la progression ci-dessus (Tableau 1) dans laquelle la durée *réelle* du semestre (12-13 semaines) est répartie équitablement entre les vibrations mécaniques et les ondes mécaniques.

Ce manuel est le fruit d'une longue pratique pédagogique dans cette matière et résulte de longues discussions avec les collègues qui ont eu à assurer cet enseignement. Les exercices proposés dans ce manuel ont été confectionnés à partir d'une compilation des séries d'exercices et des sujets d'examens proposés par les collègues qui enseignent le module *Vibrations et Ondes Mécaniques* à la Faculté de Physique de l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.

En parallèle un enseignement de travaux pratiques est dispensé dans un autre module à raison d'une séance de 3 heures toutes les deux semaines. Les collègues en charge du module de travaux pratiques essaient de synchroniser le contenu de leur enseignement avec le contenu dispensé en cours et en travaux dirigés.