

# MECA-H-303 Cinématique et dynamique des machines

## *Dynamique et vibrations (A. Deraemaeker)*

---

### **Liste des questions théoriques de l'examen de janvier 2022**

#### **Cinématique**

1. Définir les notions de boucle fermée et de contrainte redondante. Donner la formule permettant de calculer le nombre de degrés de liberté d'un mécanisme. Que devient cette formule pour un mécanisme plan ?
2. Décrire les différents types de joints dans le plan (schéma et équation des contraintes)
3. Etablir la formule reliant la vitesse de rotation de deux arbres liés par un joint universel. Démontrer que ce joint peut être rendu homocinétique en utilisant un deuxième joint universel.

#### **Dynamique newtonienne et Lagrange**

4. Etablir les équations du mouvement d'un pendule par la méthode newtonienne et via le formalisme de Lagrange. Quelle est la méthode la plus simple ?
5. Dériver le principe des travaux virtuels et l'appliquer à un moteur mono-piston afin de calculer la force nécessaire à appliquer au piston pour obtenir l'équilibre statique.
6. Dériver le principe d'Alembert et le principe d'Hamilton et définir la notion de Lagrangien. Calculer le Lagrangien pour un pendule.
7. Dériver les équations de Lagrange sans contraintes et établir à l'aide de celles-ci les équations du mouvement pour un pendule avec masse attachée à l'extrémité d'un ressort.
8. Etablir l'équation du mouvement d'un moteur mono-piston à l'aide des équations de Lagrange. En supposant qu'aucune force n'est exercée par le piston, quelle est l'expression du couple nécessaire pour que le moteur tourne à une vitesse constante ?
9. Dériver les équations de Lagrange avec contraintes, et utiliser celles-ci pour montrer le lien entre les multiplicateurs de Lagrange et les forces de réactions entre solides pour le moteur mono-piston.

#### **Systemes à 1 degré de liberté**

10. Etablir l'équation du mouvement d'un système à 1 degré de liberté non amorti. Donner la solution générale, l'expression de la fréquence propre et la solution particulière de cette équation. Représenter le module et la phase de la réponse fréquentielle (Diagramme de Bode). Que peut-on déduire de ce diagramme ?

11. Etablir l'équation du mouvement d'un système à 1 degré de liberté amorti. Donner la solution générale et la solution particulière de cette équation. Représenter le module et la phase de la réponse fréquentielle en utilisant les variables réduites, pour différentes valeurs de l'amortissement. Expliquer l'influence de l'amortissement sur l'amplitude et sur la phase.
12. Etablir la réponse impulsionnelle d'un système à 1 degré de liberté amorti et tracer celles-ci pour différentes valeurs de l'amortissement. Expliquer comment la valeur de l'amortissement influence cette réponse.
13. Etablir la réponse fréquentielle d'un système à 1 degré de liberté amorti excité par un balourd. Représenter le module et la phase de cette réponse fréquentielle. Expliquer la signification physique de cette courbe.
14. Ecrire les équations du mouvement d'un système à 1 degré de liberté excité par sa base. Quel est le lien avec un système excité par une force ?

### **Systèmes à plusieurs degrés de liberté**

15. Etablir les équations du mouvement d'un système à 2 degrés de liberté sans amortissement (2 masses et 3 ressorts identiques). Calculer les fréquences propres et représenter les modes propres correspondant.
16. Sur la base des équations du mouvement d'un système à 2 degrés de liberté, établir l'expression de la réponse forcée (force appliquée sur la masse 2) et tracer le diagramme de Bode pour chaque degré de liberté. Indiquer les résonances et anti-résonances.
17. Etablir les équations du mouvement d'un système à 2 degrés de liberté avec amortissement (2 masses, 3 ressorts et trois amortisseurs identiques). Etablir l'expression de la réponse forcée (force appliquée sur la masse 2), et tracer le diagramme de Bode pour chaque degré de liberté.
18. Etablir les équations qui permettent le dimensionnement de cet absorbeur pour un système à un degré de liberté, pour différentes valeurs de l'amortissement. Commenter l'effet de l'amortissement sur les résonances et anti-résonances.
19. Etablir les équations du mouvement pour un système à 2 degrés de liberté excité par la base. Montrer le lien avec les équations du mouvement pour un système excité par une force.
20. Etablir les équations du mouvement pour un absorbeur dynamique de vibration non amorti. Tracer le diagramme de Bode pour le système primaire, et expliquer l'effet de l'absorbeur dynamique.
21. Etablir les équations du mouvement pour un absorbeur dynamique de vibration amorti. Tracer le diagramme de Bode pour le système primaire, et expliquer l'effet de l'absorbeur dynamique. Expliquer comment optimiser les paramètres de l'absorbeur dynamique.

### **Isolation des vibrations**

22. Expliquer le problème de l'isolation directe des vibrations. A l'aide d'un modèle simplifié à 1ddl, écrire les équations du mouvement et établir l'expression du facteur d'isolation. Tracer le facteur d'isolation en fonction de la fréquence de l'excitation et identifier le domaine d'isolation.

- Expliquer l'effet de l'amortissement. Donner deux exemples de problèmes d'isolation directe.
23. Expliquer le problème de l'isolation inverse des vibrations. A l'aide d'un modèle simplifié à 1ddl, écrire les équations du mouvement et établir l'expression de la transmissibilité. Tracer la transmissibilité en fonction de la fréquence de l'excitation et identifier le domaine d'isolation. Expliquer l'effet de l'amortissement. Donner deux exemples de problèmes d'isolation inverse.

### **Dynamique des rotors**

24. Etablir la réponse libre et la réponse forcée d'un arbre en rotation décrit par le modèle de Jeffcott sans amortissement en utilisant les coordonnées complexes. Définir la notion de vitesse critique. Quelles sont les méthodes qui permettent de déterminer la vitesse critique d'un arbre en rotation ?
25. Etablir les équations du mouvement d'un arbre en rotation en présence d'amortissement visqueux (linéaire et de rotation). A partir de l'expression de la réponse libre, tracer le diagramme de Campbell pour différentes valeurs de l'amortissement. Discuter des conditions de stabilité du système.
26. Donner la forme générale de la réponse forcée d'un arbre en rotation, avec amortissement (linéaire et de rotation), en utilisant les coordonnées complexes. Tracer l'amplitude et la phase de la réponse forcée. Discuter de l'influence des deux types d'amortissement.