

LINMA1170 – Projet : Optimisation de forme d'un diapason

Le projet de cette année consiste à concevoir une pièce mécanique dont la fréquence propre correspond à une note donnée.

Pour le devoir 3, vous avez calculé les fréquences propres d'une pièce mécanique. Pour une pièce donnée, avec une géométrie donnée, vous êtes donc capables d'en étudier la réponse à une excitation.

Pour rappel, la fréquence propre d'une pièce mécanique est obtenue en résolvant le problème aux valeurs propres généralisé suivant :

$$\mathbf{K}\mathbf{u} = \omega^2 \mathbf{M}\mathbf{u},$$

où \mathbf{M} et \mathbf{K} sont les *matrices de masse et de raideur*, respectivement, $\omega = 2\pi f$ est la fréquence angulaire du mode de vibration et \mathbf{u} l'amplitude du mode, exprimé en tout point par un déplacement vectoriel.

A l'aide du programme que vous avez obtenu pour le devoir 3, nous vous demandons donc **de réaliser un code qui génère une pièce vibrant à une fréquence imposée**. En d'autres mots, en jouant sur différents paramètres géométriques d'optimisation, générez une pièce qui résonne à la fréquence imposée. Le problème peut donc être formulé de la manière suivante :

Trouver β_1, \dots, β_n tels que $f(\beta_1, \dots, \beta_n) = f_{\text{target}}$,

où β_i , $i = 1, \dots, n$ sont des paramètres d'optimisation liés à la géométrie de la pièce, et f_{target} est la fréquence propre recherchée.

Ce qui est demandé

Nous vous laissons la liberté sur le choix de la méthode pour résoudre le problème d'optimisation. Un exemple très simple pourrait être une méthode de bisection sur les différents paramètres. Chaque nom de groupe correspond à une note. Nous aimerions voir apparaître dans votre rapport le design qui produit cette note.

Ces exigences de base pourront vous rapporter jusqu'à 12 points sur 20.

Plusieurs *améliorations* vous sont proposées :

1. (max. 8 points) En plus de la fréquence fondamentale, imposer que les modes propres suivants correspondent à des harmoniques de la fondamentale, ou bien des intervalles précis (quarte ou quinte). Il faudra alors réfléchir sur la géométrie...
2. (max. 8 points) Imposer des contraintes sur la géométrie de l'objet. Par exemple, imposer que l'objet possède une masse précise. Vous pourrez alors construire une gamme de diapasons avec une masse constante, ce qui est souhaitable en pratique.

3. (max. 6 points) Une belle visualisation de l'oscillation des modes propres.
4. (max. 6 points) La rapidité de votre code : il y a plein de manières d'optimiser le calcul des modes propres. Vous pouvez chercher un algorithme qui ne nécessite pas d'inverser de matrice, utiliser les routines BLAS, ou encore paralléliser votre code avec OpenMP par exemple.
5. ...

Les points affichés sont donnés à titre indicatif et vous donnent une idée de ce que vous pouvez obtenir si l'amélioration est faite parfaitement. Vous avez donc le choix d'explorer le projet en largeur ou en profondeur.

Vous aurez compris que vous avez une grande liberté sur ce que vous faites avec ce projet. Pour l'évaluation nous valorisons la créativité, la rigueur dans la démarche et l'analyse, et le soin apporté à vos codes et votre rapport.

Ce qui est donné

- Une correction basique du devoir 3 vous est donnée. Celle-ci permet, de façon non-optimisée, d'obtenir la fréquence fondamentale pour une géométrie donnée. Celui-ci utilise la *power iteration* pour le calcul de la première valeur propre. Vous êtes évidemment libres d'utiliser votre implémentation.
- Nous vous fournissons également un script en C qui génère une géométrie sur base de quelques paramètres de design (la longueur des branches du diapason, l'épaisseur des branches,...). Inspirez-vous de cette fonction pour générer votre géométrie. Par ailleurs, dans le cours LEPL1110 - *Introduction aux éléments finis*, vous avez appris comment générer une géométrie à l'aide de fonctions définies dans l'API de GMSH. Vous êtes donc libres de générer toute forme géométrique que vous voulez, tant qu'elle est réaliste et tenable en main.

Quelques points d'attention

- Les valeurs propres sont sensibles à la discrétisation de la géométrie. Assurez-vous d'avoir un maillage suffisamment raffiné. À vous de voir quelle est le raffinement nécessaire.
- Certains modes de vibration font vibrer le diapason d'un seul tenant : ce sont les modes *asymétriques*. Ceux-ci ne sont pas intéressants car ils seront amortis immédiatement et donc inaudibles. Une manière élégante (mais pas obligatoire !) d'éliminer ces modes est d'imposer fortement la symétrie, en ne modélisant que la moitié du diapason, et en imposant sur l'axe de symétrie un déplacement vertical nul.

Points pratiques

- Le projet se fait par 2 (inscription sur Moodle).

- Votre rapport fera max. 5 pages. Un document type “README” est également le bienvenu pour expliquer le fonctionnement de votre code.
- Deadline : vendredi 19 mai à 23h59.
- Rassemblez tous vos codes en un zip, mais laissez votre rapport hors du zip.
- Une petite défense orale aura lieu durant l’examen : vous ferez une démonstration de votre projet (pas de présentation).
- Les tuteurs vous aideront lors des séances de TP à partir du mardi 25 avril. Sur demande, nous pouvons prévoir des entrevues par groupe avec les assistants. Veuillez nous envoyer un mail aux adresses suivantes:

matteo.couplet@uclouvain.be,

miguel.delecourt@uclouvain.be,

thomas.leyssens@uclouvain.be