

Récupération d'énergie par dispositifs piézoélectriques vibrants

Diaporama I bis: simulations avec Abaqus

PJT 1e année

C. Giraud-Audine, **O. Thomas**

olivier.thomas@ensam.eu

<https://lispen.artsetmetiers.fr/user/87>



<http://savoir.ensam.eu/moodle/course/view.php?id=5037>

Présentation et déroulement du projet

- ▷ **Objectif** : 30h pour comprendre et caractériser la récupération d'énergie vibratoire dans un cas "simple".

Présentation et déroulement du projet

- ▷ **Objectif** : 30h pour comprendre et caractériser la récupération d'énergie vibratoire dans un cas "simple".
- ▷ **Deux intervenants** : C. Giraud-Audine (CGA) et O. Thomas (OT)

Présentation et déroulement du projet

- ▷ **Objectif** : 30h pour comprendre et caractériser la récupération d'énergie vibratoire dans un cas "simple".
- ▷ **Deux intervenants** : C. Giraud-Audine (CGA) et O. Thomas (OT)
- ▷ **Déroulement** : Séances "apport de connaissance + calcul" / séances de mesures sur un dispositif de laboratoire
 - Séances 1 (4h, OT 6/11) : introduction + piézoélectricité + modélisation du système
 - Séances 2, 3 (4h, OT/CGA 12/11, 17/11) : caractérisation dynamique expérimentale simulations numériques éléments-finis
 - Séance 4 (4h, OT 24/11) : optimisation dynamique du récupérateur
 - Séances 5, 6 (4h, CGA 1/12, 9/12) : étude expérimentale de la récupération d'énergie
 - Séance 7 (4h, CGA/OT 6/01) : bilan, corrélations calcul / essai
 - Séance 8 (2h, CGA/OT 13/01) : soutenance finale

Présentation et déroulement du projet

- ▷ **Objectif** : 30h pour comprendre et caractériser la récupération d'énergie vibratoire dans un cas "simple".
- ▷ **Deux intervenants** : C. Giraud-Audine (CGA) et O. Thomas (OT)
- ▷ **Déroulement** : Séances "apport de connaissance + calcul" / séances de mesures sur un dispositif de laboratoire
 - Séances 1 (4h, OT 6/11) : introduction + piézoélectricité + modélisation du système
 - Séances 2, 3 (4h, OT/CGA 12/11, 17/11) : caractérisation dynamique expérimentale simulations numériques éléments-finis
 - Séance 4 (4h, OT 24/11) : optimisation dynamique du récupérateur
 - Séances 5, 6 (4h, CGA 1/12, 9/12) : étude expérimentale de la récupération d'énergie
 - Séance 7 (4h, CGA/OT 6/01) : bilan, corrélations calcul / essai
 - Séance 8 (2h, CGA/OT 13/01) : soutenance finale
- ▷ **Évaluation** : rapports de TP + partie théorique + soutenance orale

Objectifs de la séance

▷ Rappel des séances précédentes

- Modélisations simples d'une poutre piézoélectrique pour expliquer :
 - les effets piézoélectriques direct et inverse
 - le sens physique des paramètres (ω_0 , ξ ...)
 - les fréquences propres en CC \neq CO ; le facteur de couplage électromécanique κ .
- Vérification en TP (oscillations libres en CO et CC, estimation de ξ et κ)

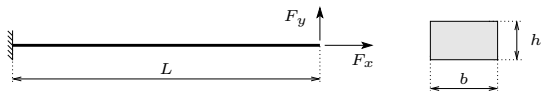
▷ Aujourd'hui

- Simulation numériques avec Abaqus

▷ Séances suivante

- Optimisation du système couplé poutre piézoélectrique / circuit électronique pour maximiser la récupération d'énergie
- Vérification expérimentale
- Séances de travail + rédaction de rapport

Travail demandé

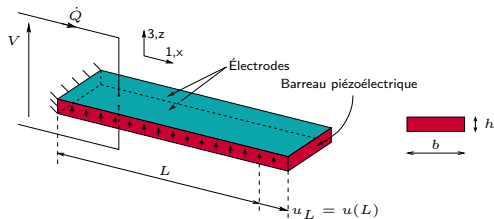


Dimensions	Longueur	$L = 200 \text{ mm}$
	Largeur de section	$b = 20 \text{ mm}$
	Épaisseur de section	$h = 2 \text{ mm}$
Matériau (Acier)	Masse volumique	$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$
	Module d'Young	$E = 210 \text{ GPa}$
	Coefficient de Poisson	$\nu = 0.3$

On considère la poutre encastée / libre définie ci-dessus.

1. Calculer la réponse de cette poutre par la méthode des éléments finis (au moyen d'Abaqus) lorsqu'elle est soumise à une force $F_y = 10 \text{ N}$ ($F_x = 0$).
2. Analyser la solution obtenue et la comparer à la solution analytique (on comparera le déplacement de la section en $x = L$) revue à la séance précédente (p. 15 du diaporama 1).

Barreau piézoélectrique



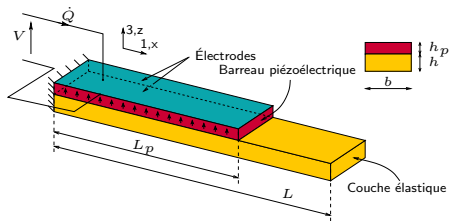
Dimensions	Longueur	$L = 200 \text{ mm}$
	Largeur de section	$b = 20 \text{ mm}$
	Épaisseur de section	$h = 2 \text{ mm}$
Matériau (PIC151)	Masse volumique	$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$
	Module d'Young	$Y = 1/s_{11}^E = 66.7 \text{ GPa}$
	Coefficient de Poisson	$\nu = 0.3$
	Coefficients piézoélectriques	$d_{31} = -210 \text{ pC/N}$
		$d_{33} = 500 \text{ pC/N}$
	$d_{15} = 600 \text{ pC/N}$	
	Permittivité	$\epsilon_{33}^\sigma = 2400\epsilon_0 = 21.25 \text{ nF/m}$

Barreau piézoélectrique

On considère la poutre encastree / libre piézoélectrique définie à la page précédente.

1. Calculer la réponse de cette poutre par la méthode des éléments finis (au moyen d'Abaqus) lorsqu'elle est soumise à une différence de potentiel $V = 10 \text{ V}$.
2. Analyser la solution obtenue et la comparer à la solution analytique (on comparera le déplacement de la section en $x = L$) vue à la séance précédente (p. 22 du diaporama 1).

Bimorphe piézoélectrique en flexion



Dimensions	Longueurs	$L_p = 200 \text{ mm}, L = 260 \text{ mm}$
	Largeur de section	$b = 20 \text{ mm}$
	Épaisseurs de section	$h_p = 2 \text{ mm}, h = 4 \text{ mm}$
Matériau élastique (acier)	Masse volumique	$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$
	Module d'Young	$Y = 210 \text{ GPa}$
Matériau piezo (PIC151)	Masse volumique	$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$
	Module d'Young	$Y = 1/s_{11}^E = 66.7 \text{ GPa}$
	Coefficient de Poisson	$\nu = 0.3$
	Coefficients piézoélectriques	$d_{31} = -210 \text{ pC/N}$
		$d_{33} = 500 \text{ pC/N}$
$d_{15} = 600 \text{ pC/N}$		
Permittivité	$\epsilon_{33}^\sigma = 2400\epsilon_0 = 21.25 \text{ nF/m}$	

Bimorphe piézoélectrique en flexion statique

On considère la poutre de la page précédente, composée d'une couche élastique en acier avec un patch piézoélectrique collé sur sa face supérieure.

1. Avec le tutoriel 3, calculer la réponse de cette poutre par la méthode des éléments finis (au moyen d'Abaqus) lorsque la couche piézoélectrique est soumise à une différence de potentiel $V = \pm 10$ V. Réfléchir s'il faut $V = +10$ V ou $V = -10$ V pour faire fléchir la poutre vers le haut.
2. Analyser la solution obtenue, en terme de déformée de flexion (on comparera le déplacement de la section en $x = L_p$) vue à la séance précédente (p. 25 du diaporama 1), c'est à dire une poutre soumise à un moment piézoélectrique à l'extrémité du patch. Comme le calcul analytique est valable pour une épaisseur de patch négligeable devant celle de la poutre, pour une meilleure comparaison, on peut refaire un calcul Abaqus avec un patch d'épaisseur $h_p = 0.2$ mm.
3. Avec le tutoriel 4, calculer la première fréquence propre de flexion avec les électrodes en court-circuit f_{cc} et ensuite avec les électrodes en circuit-ouvert f_{co} . Vérifier l'équipotentialité (le potentiel électrique est nommé EPOT dans Abaqus) sur les électrodes et la valeur de ce potentiel en CC et en CO. En déduire le facteur de couplage électromécanique :

$$\kappa = \sqrt{\frac{f_{co}^2 - f_{cc}^2}{f_{cc}^2}}$$