

# Un absorbeur NES piézoélectrique composé d'une source tension non linéaire : théorie et expériences

Kevin Dekemele, Christophe Giraud-Audine, Olivier Thomas

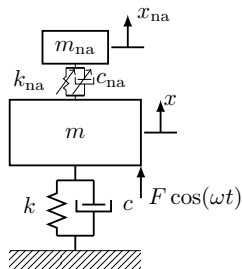
ENSAM & UGent

November 9, 2023



C'est quoi?

- ▶ Absorbeur dynamique avec **une raideur non linéaire**
- ▶ A une fréquence propre variable

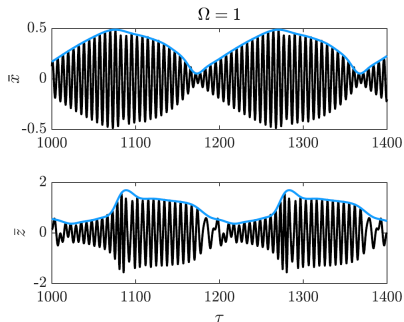
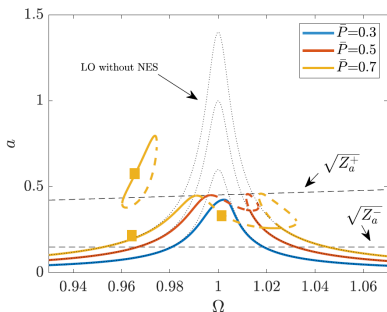


$$x'' + \varepsilon \xi x' + x + \varepsilon(z'' + x'') = \varepsilon P \cos(\Omega \tau)$$
$$(z'' + x'') + \xi_{na} z' + \gamma z^3 = 0$$

- ▶ Temps adimensionné  $\tau = \omega_n t$  ( $' = \frac{d}{d\tau}$ )

# NES Mécanique: les comportements typiques

- ▶ Saturation de l'amplitude de vibration de la structure principale
- ▶ SMR: Réponse quasi-périodique
- ▶ Courbe résonance (dé)at(t)achée

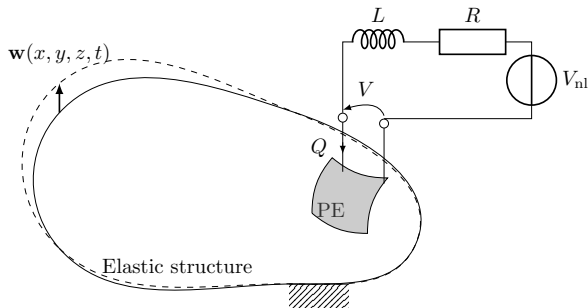


# Les circuit non linéaire: expériences

## Pas de comportements de NES ou des autres buts

- ▶ Ampli Op: Cube de la Charge (Silva et al, 2018): Pas de comportements NES
- ▶ Numérique: Cube de la Charge (Raze et al, 2019): Principe de similarité, imiter structure principale non linéaire
- ▶ Ampli Op: Tension caré (Shami et al, 2022): Résonance interne (1:2)
- ▶ Numérique: Bobine non linéaire (Alfamhi et al, 2023): Résonance courbée

# NES piézoélectrique



$$\ddot{q}_i + 2\zeta_i\omega_i\dot{q}_i + \omega_i^2 q_i + \frac{\theta_i}{m_i C_{pi}} Q = \frac{F_i}{m_i} \cos(\omega t)$$
$$\ddot{Q} + 2\zeta_e\omega_e\dot{Q} + \omega_e^2 Q + \frac{\theta_i}{L C_{pi}} q_i + \frac{V_{nl}}{L} = 0$$
(1)

Où  $V_{nl} = \beta_c V^3$

# Changement de variables

En introduisant  $\bar{q}_i = \sqrt{m_i} q_i$ ,  $\bar{Q} = \sqrt{L} Q$ ,  $\bar{V} = r_i (k_i \bar{q}_i + r_i \bar{Q})$  et temps adimensionné  $\tau = \omega_i t$ :

$$\begin{aligned} \ddot{\bar{q}}_i + 2\zeta_i \dot{\bar{q}}_i + (1 - k_i^2) \bar{q}_i + \frac{k_i}{r_i} \bar{V}_i &= \bar{F}_i \cos(\Omega \tau) \\ \ddot{\bar{V}} - r_i k_i \ddot{\bar{q}} + 2\zeta_e r_i \left( \dot{\bar{V}} - r_i k_i \dot{\bar{q}} \right) + r_i^2 \bar{V} + r_i^2 \gamma_3 \bar{V}^3 &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Où

$$r_i = \frac{\omega_e}{\omega_i} \quad \bar{F}_i = \frac{F_i}{\omega_i^2 \sqrt{m_i}} \quad \gamma_3 = \frac{\beta_c \omega_i^2}{C_p} \quad \Omega = \frac{\omega}{\omega_i} \quad k_i^2 = \frac{\theta_i^2}{\omega_i^2 C_{pi} m_i} \quad (3)$$

## Harmonic balancing

Où  $a$  = amplitude  $\bar{q}$  et  $b$  = amplitude  $\bar{V}$ :

$$k_i^2 r_i^2 (\Omega^4 + (2\zeta_e r_i \Omega)^2) a^2 = \left( (2\zeta_e r_i \Omega)^2 + \left( (\Omega^2 - r_i^2) - r_i^2 \gamma \frac{3}{4} b^2 \right)^2 \right) b^2$$

$$\left( \left( \frac{3}{4} (1 - k_i^2 - \Omega^2) \right)^2 + (2\zeta_i \Omega \frac{3}{4})^2 \right) r_i^4 \gamma^2 b^6$$

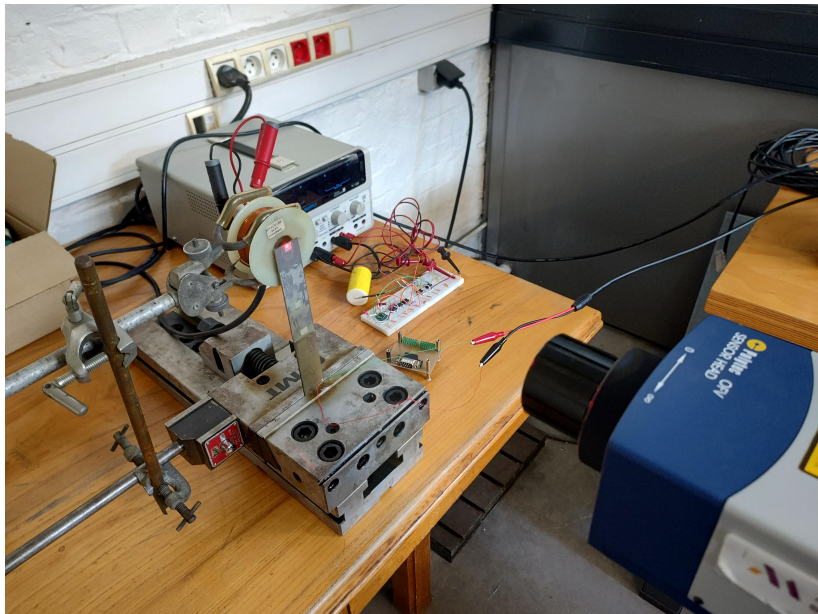
$$\left( \frac{3}{2} (1 - k_i^2 - \Omega^2) ((1 - k_i^2 - \Omega^2)(r_i^2 - \Omega^2) - 4\zeta_i \zeta_e \Omega^2 r_i - k_i^2 \Omega^2) \right.$$

$$\left. + 3\zeta_i \Omega ((1 - \Omega^2)(2\Omega \zeta_e r_i) + (2\zeta_i \Omega)(r_i^2 - \Omega^2)) \right) r_i^2 \gamma b^4$$

$$+ \left( ((1 - k_i^2 - \Omega^2)(r_i^2 - \Omega^2) - 4\zeta_i \zeta_e \Omega^2 r_i - k_i^2 \Omega^2)^2 \right.$$

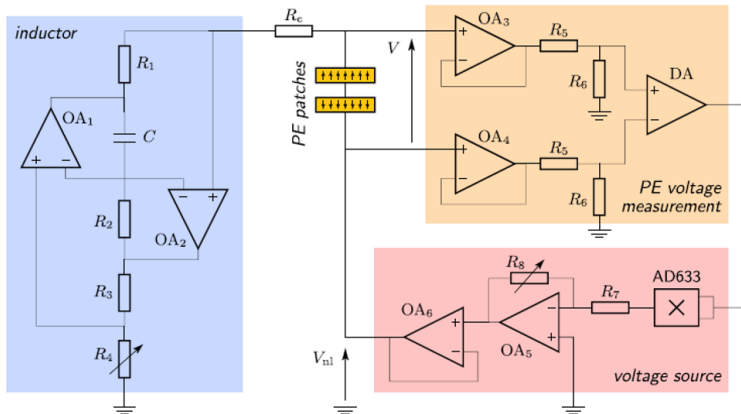
$$\left. + ((1 - \Omega^2)(2\Omega \zeta_e r_i) + (2\zeta_i \Omega)(r_i^2 - \Omega^2))^2 \right) b^2 - \bar{F}_i^2 ((2\Omega \zeta_e r_i)^2 + \Omega^4)(r_i k_i)^2 = 0$$

# Les expériences

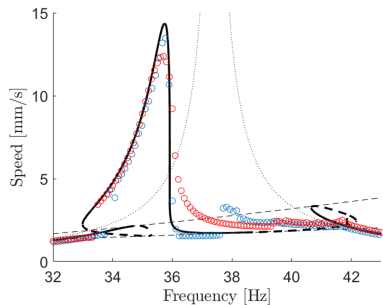
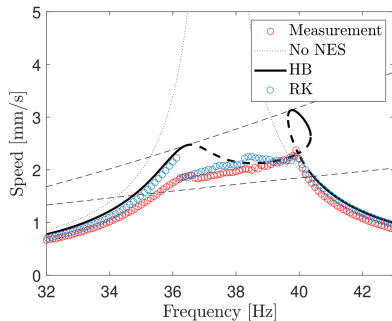




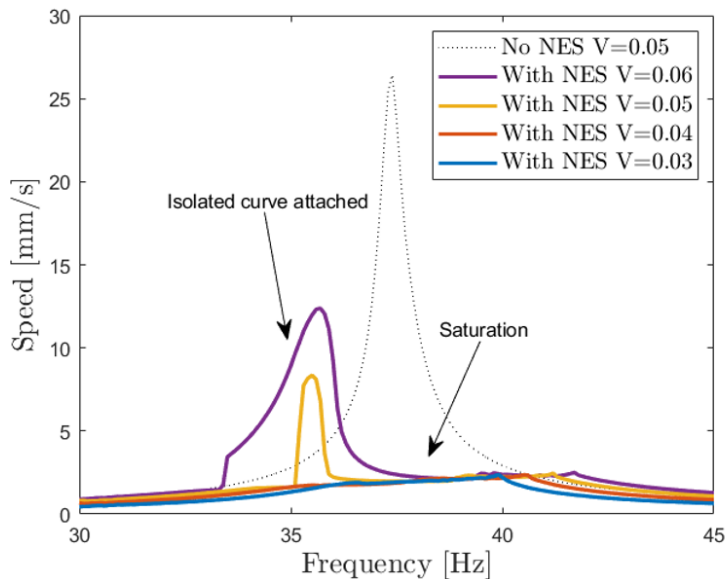
# Les expériences: le circuit



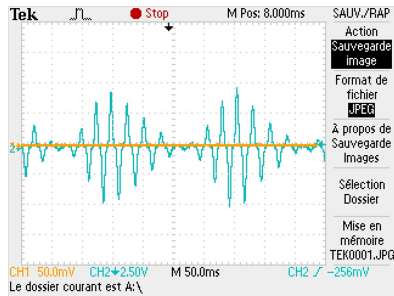
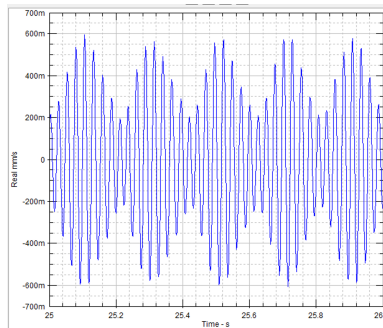
# Comparer les mesures & la théorie



# Courbe résonance attachée



# La réponse quasi-périodique



# La conclusion et des activités futures

- ▶ Réussi à réaliser un circuit source tension non linéaire: NES piézoélectrique
- ▶ Les mêmes comportements d'une NES mécanique
- ▶ Futur: Réaliser autre circuit
- ▶ Futur: Étudier les cas multi-frequence