



GdR EX-MODELI



*Étude numérique et expérimentale d'un NES
vibroacoustique bistable.*

Doctorante :

Islem BOUZID

Encadrants :

M. Pierre-Olivier MATTEI

M. Renaud CÔTE

M. Tahar FAKHFAKH

M. Mohamed HADDAR

1. Contexte scientifique

Absorbeur non linéaire vibroacoustique : NES membrane

- Absorbeur non linéaire vibroacoustique : fine membrane circulaire viscoélastique
- Milieu primaire acoustique : tube
- Couplage : boîte de couplage
- Excitation sinusoïdale : haut-parleur

Modèle adimensionnel système [Bellet, 2010]

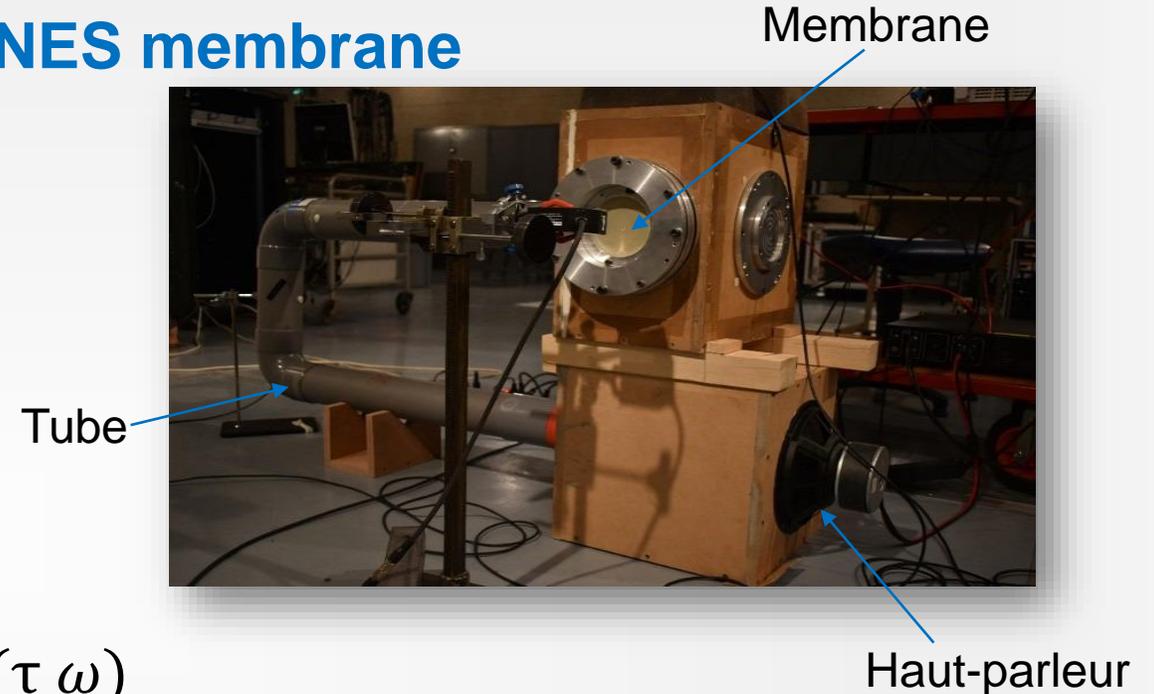
Tube : $u'' + u + \lambda u' + \beta(u - q) = F \cos(\tau \omega)$

Membrane : $\gamma q'' + k_1 q + k_{nl} q^3 + c_\eta \omega_t (1 + 2q^2) q' + \beta(q - u) = 0$

u et q : déplacements de l'air en bout de tube et au centre de la membrane.

F et $\omega = \frac{\Omega}{\omega_t}$: amplitude et pulsation d'excitation.

ω_t pulsation de resonance du tube. β terme de couplage. γ masse dynamique. λ et $c_\eta \omega_t$ les amortissements linéaires. $2c_\eta \omega_t$ amortissement non linéaire de membrane. k_1 et k_{nl} raideurs linéaire et cubique de la membrane.



1. Contexte scientifique

Absorbeur non linéaire vibroacoustique : NES membrane

- + **Avantage** : efficace pour une large plage de fréquence.
- **Limitation** : plage d'efficacité réduite et limitée aux forts niveaux

Idée pour améliorer l'efficacité de ces NES membrane ?

Solution à base **d'absorbeur bistable vibroacoustique**

Membrane bistable

- Physiquement : imposer une précontrainte de flambement
- Modèle : raideur linéaire négative

$$\text{Membrane bistable : } \gamma q'' + k_1 q + k_{n1} q^3 + c_\eta \omega_t (1 + 2q^2) q' = 0, \quad k_1 < 0$$

1. Contexte scientifique

Efficacité de membrane bistable ?

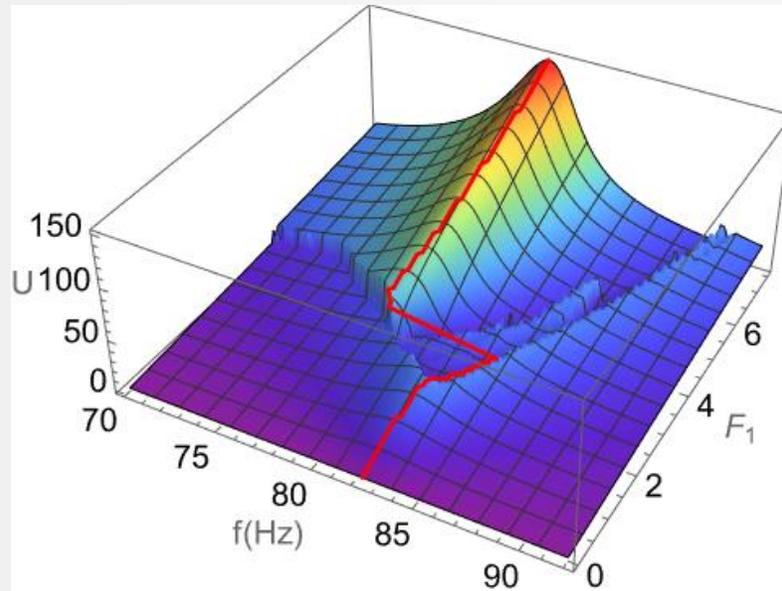
Objectif :

- Etude comparative de l'efficacité d'atténuation entre les membranes bistables et monostables.
 - Méthode d'optimisation numérique
 - Paramètre d'optimisation : **raideur linéaire de la membrane**
- Validation expérimentale

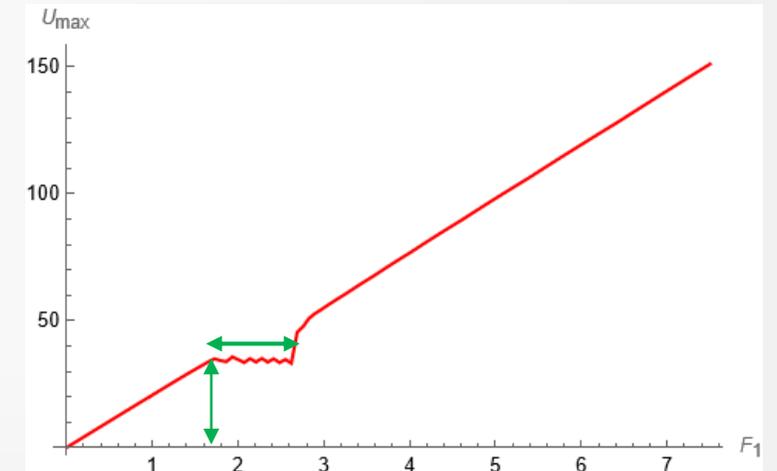
2. Méthode d'optimisation

Courbe de crête

Déplacement de l'air en bout de tube en fonction de l'amplitude et la fréquence d'excitation



Courbe de crête de déplacement de l'air en bout de tube

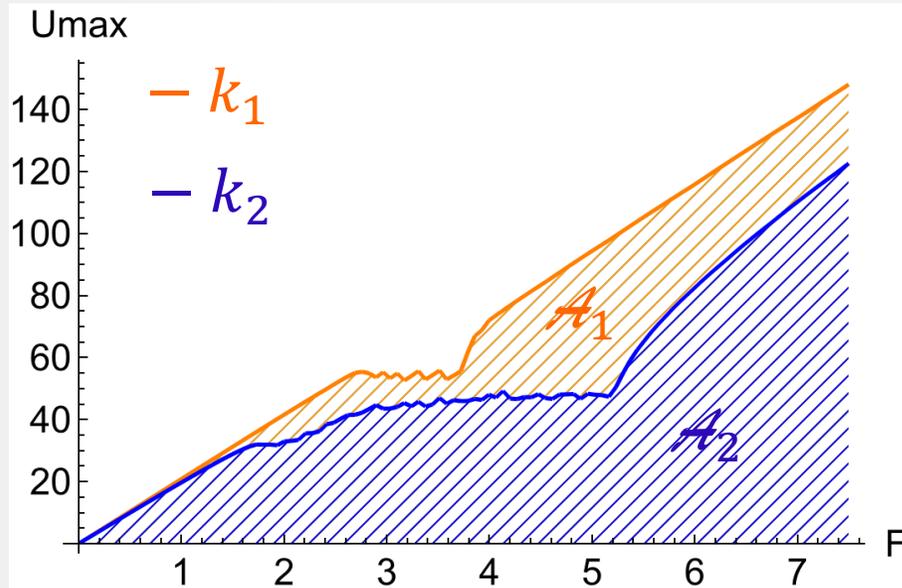


Courbe de crête : caractérisation du pompage énergétique

- Seuil d'activation
- Profondeur de plateau du pompage

2. Méthode d'optimisation

Variation de la courbe de crête en fonction de la raideur linéaire de la membrane



Courbes de crête du tube pour deux valeurs de raideur linéaire

- La membrane de raideur linéaire k_2 est plus efficace.
- L'aire A_2 est plus petite

Méthode d'optimisation : minimiser l'aire sous la courbe de crête en variant la valeur de raideur linéaire de la membrane.

2. Méthode d'optimisation

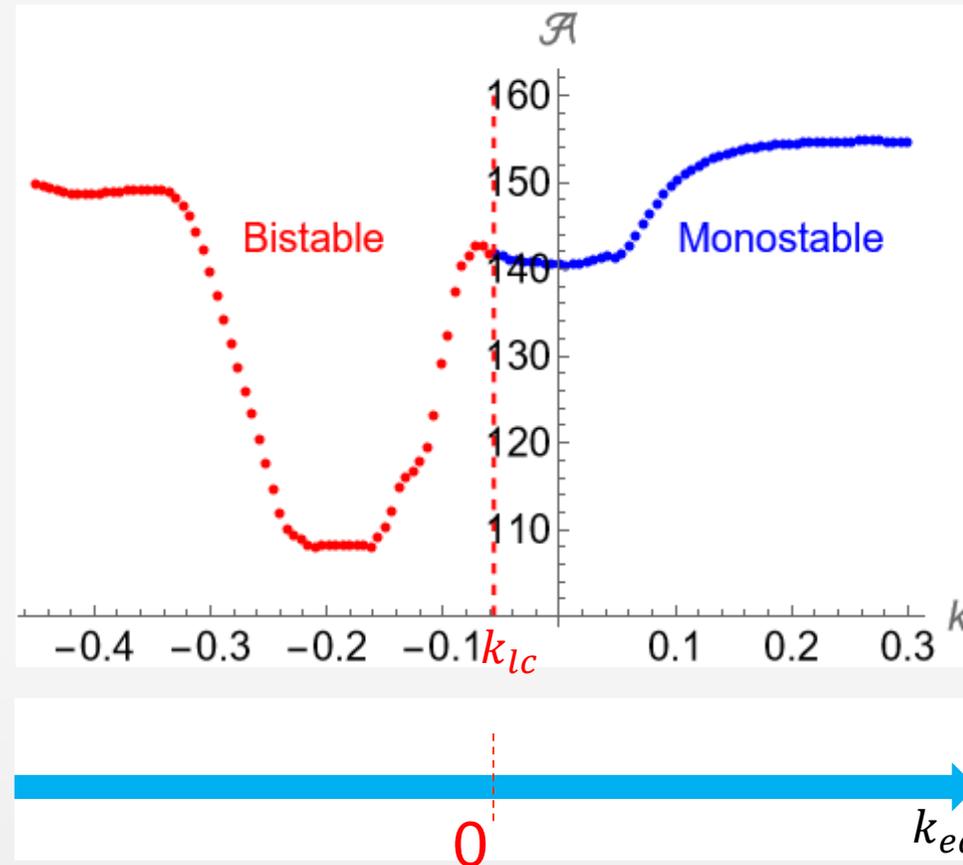
Démarche suivie

- Plage de raideur linéaire : $k_1 \in [-0,45 ; 0,3]$ avec 130 pas
- Calcul de la réponse fréquentielle du tube :
 - Fréquence d'excitation [70 Hz ; 92 Hz] avec 110 pas (autour de la fréquence de résonance de tube)
 - Force adimensionnée d'excitation F [0,01 ; 7,5] avec 110 pas
 - Résolution numérique d'équations différentielles
 - valeur RMS
- Calcul de l'aire de la courbe de crête

3. Résultat

Variation de l'aire sous la courbe de crête en fonction de k_l

Résultat pour une membrane d'épaisseur $h_m = 0,22 \text{ mm}$ et de rayon $R_m = 5 \text{ cm}$



$$k_{lc} = -\frac{\beta}{1 + \beta}$$

β : Coefficient de couplage tube membrane

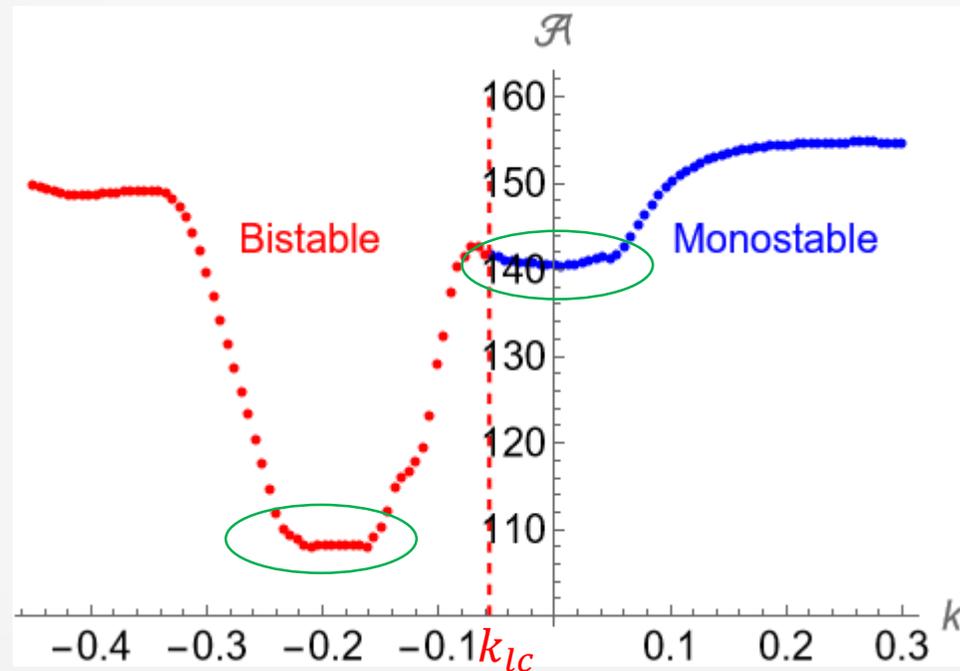
$$k_{eq} = k_l + \frac{\beta}{1 + \beta}$$

➤ L'atténuation est significativement plus importante par l'utilisation d'une membrane bistable.

3. Résultat

Variation de l'aire sous la courbe de crête en fonction de k_1

Résultat pour une membrane d'épaisseur $h_m = 0,22 \text{ mm}$ et de rayon $R_m = 5 \text{ cm}$

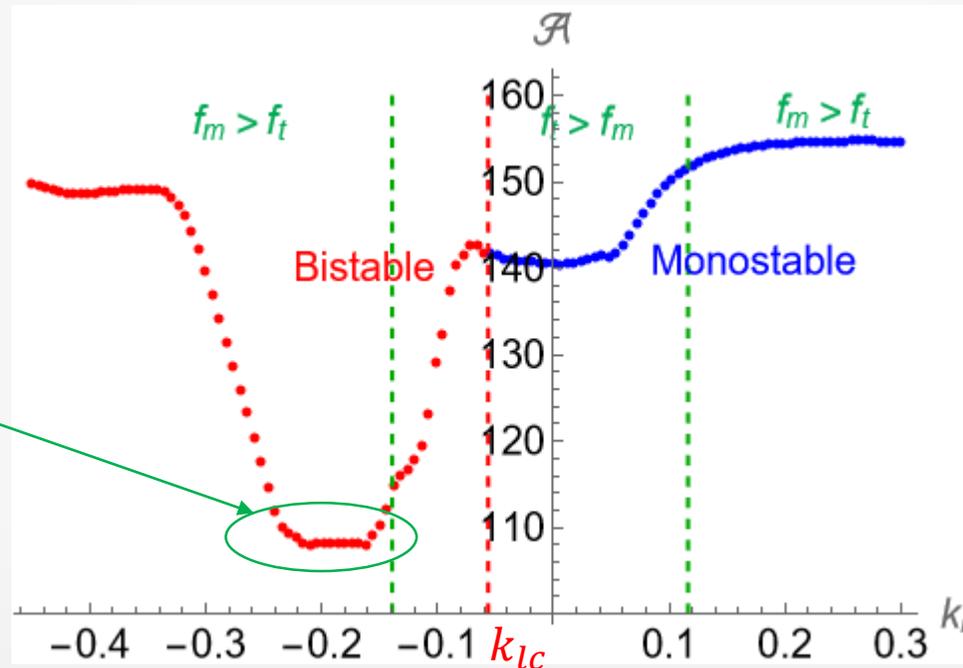


- Optimum large : robustesse des NESs membranes.

3. Résultat

Variation de l'aire sous la courbe de crête en fonction de k_1

Résultat pour une membrane d'épaisseur $h_m = 0,22 \text{ mm}$ et de rayon $R_m = 5 \text{ cm}$

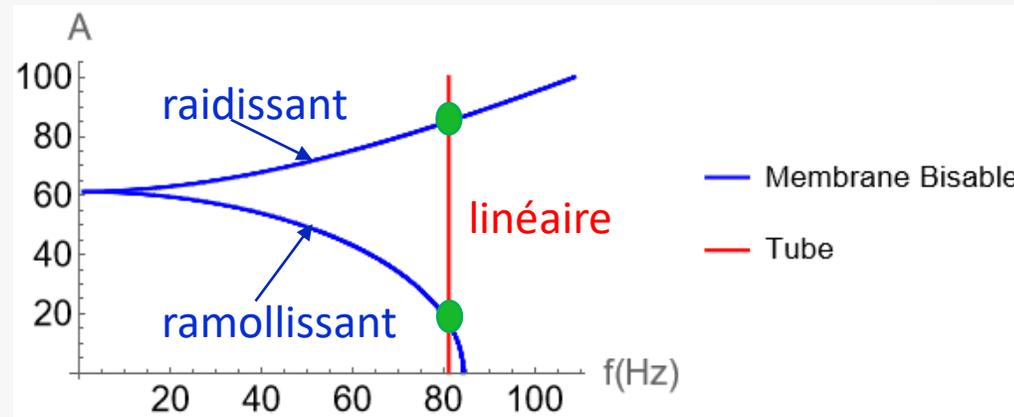


Comportement optimal

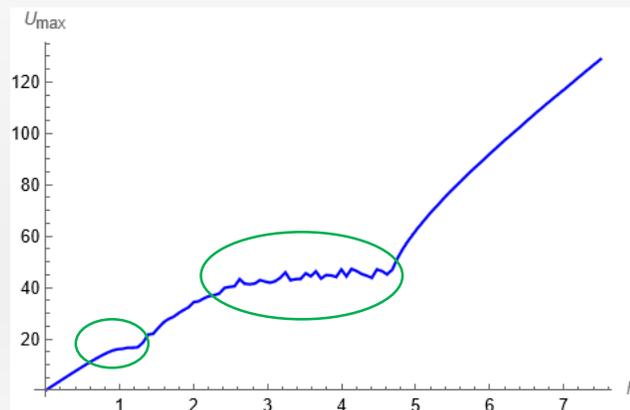
3. Résultat

Comportement optimal : membrane bistable $f_m > f_t$

Courbes caractéristiques de la membrane bistable et du tube ($f_m > f_t$) (courbe amplitude-fréquence).



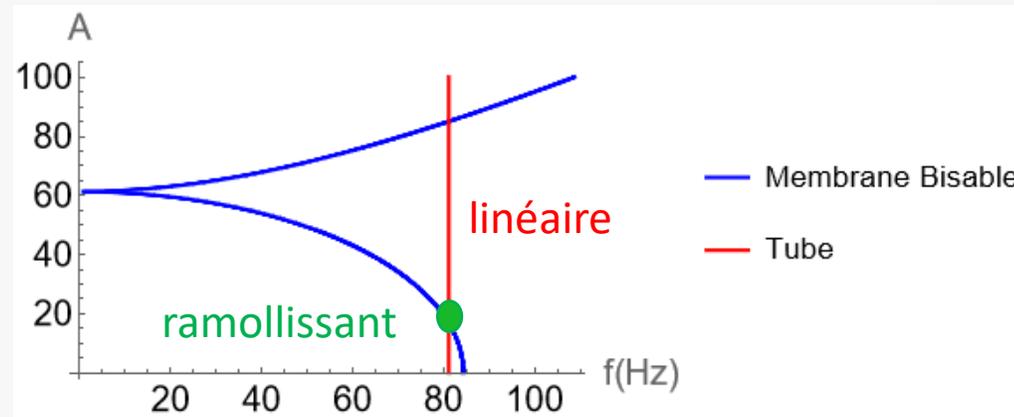
Courbe de crête : deux plateaux de pompage énergétique



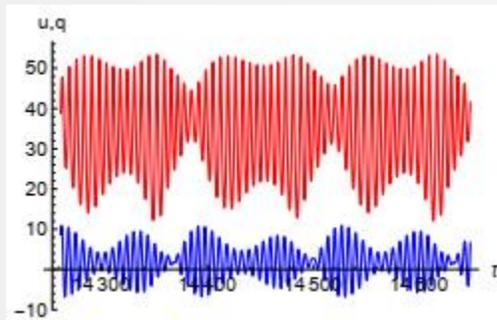
3. Résultat

Comportement optimal : membrane bistable $f_m > f_t$

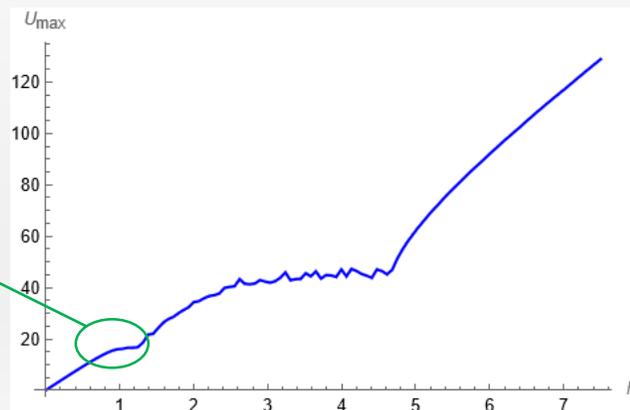
Courbes caractéristiques de la membrane bistable et du tube ($f_m > f_t$) (courbe amplitude-fréquence).



Courbe de crête : deux plateaux de pompage énergétique



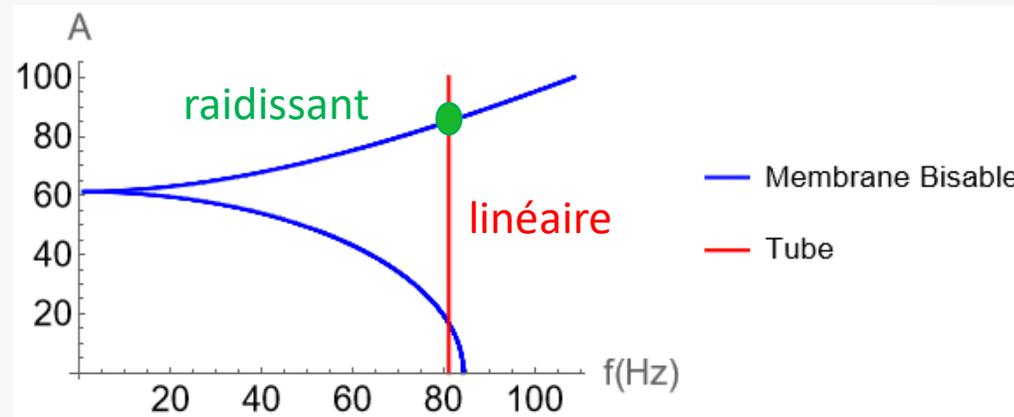
Dynamique du système : réponse fortement modulé intrapuits



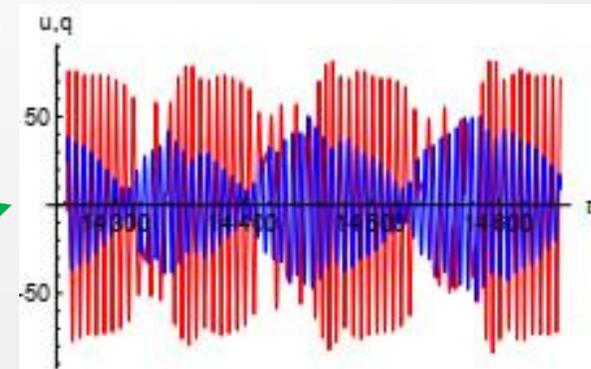
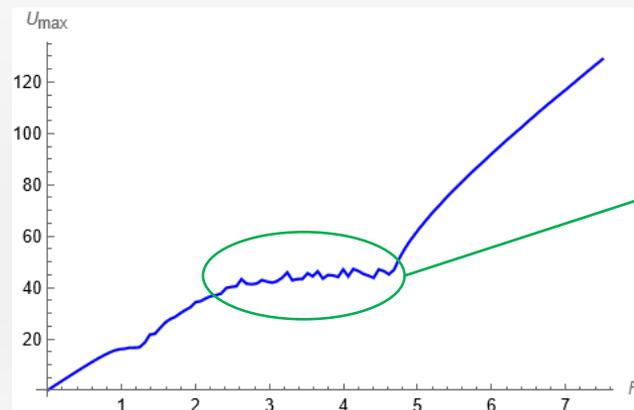
3. Résultat

Comportement optimal : membrane bistable $f_m > f_t$

Courbes caractéristiques de la membrane bistable et du tube ($f_m > f_t$) (courbe amplitude-fréquence).



Courbe de crête : deux plateaux de pompage énergétique



Dynamique du système : réponse chaotique fortement modulé interpuits

4. Validation expérimentale

Démarche suivie

- Réponse fréquentielle du tube
 - **Série d'essais expérimentaux (36h) :**
 - Fréquence d'excitation [70 Hz ; 92 Hz] avec 60 pas
 - Tension sinusoïdale appliquée à la borne du haut-parleur [0,01V ; 1,5V] avec 60 pas
 - Mesure de la pression au milieu du tube par un **microphone** ↔ déplacement de l'air en bout de tube
 - Valeur RMS



Photo du montage expérimental

4. Validation expérimentale

Configurations de membranes utilisées expérimentalement

- Varier la précontrainte (de flambement ou de traction)
- Fixer l'épaisseur $h_m = 0,24 \text{ mm}$ et le rayon $R_m = 4 \text{ cm}$

- Les différentes configurations de membranes bistables :

δ_m (mm)	1,9	4	4,5	4,6	5,9	7,5	8,2
k_1	-0,077	-0,15	-0,17	-0,18	-0,25	-0,38	-0,44

δ_m : flèche de flambement.

- Les différentes configurations de membranes monostables :

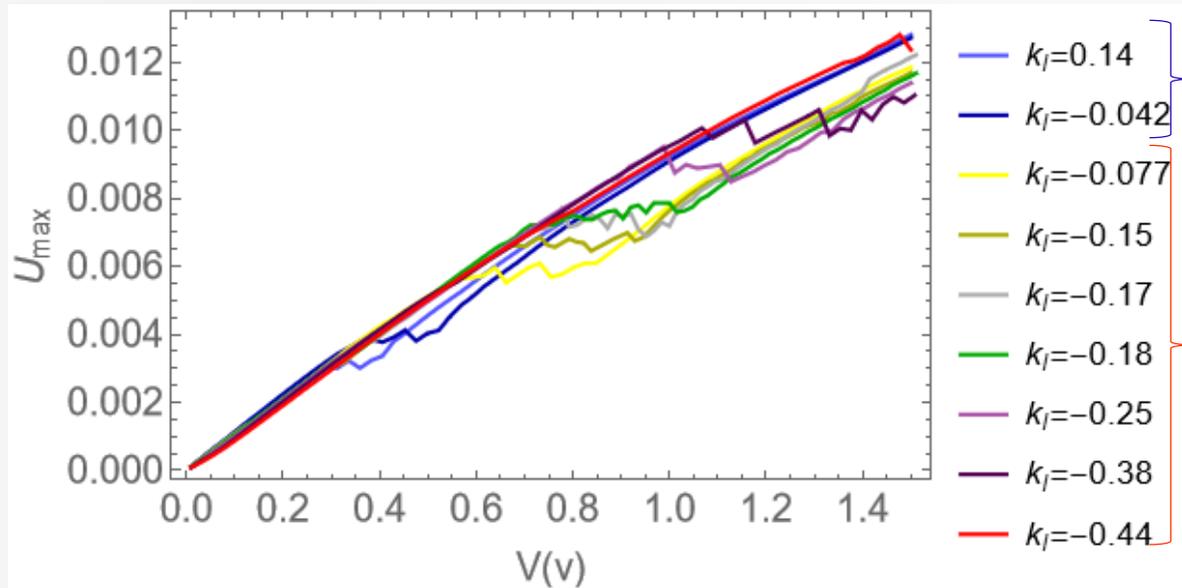
f_m (Hz)	64,8	17,5
k_1	0,14	-0,024

f_m : fréquence propre de la membrane.

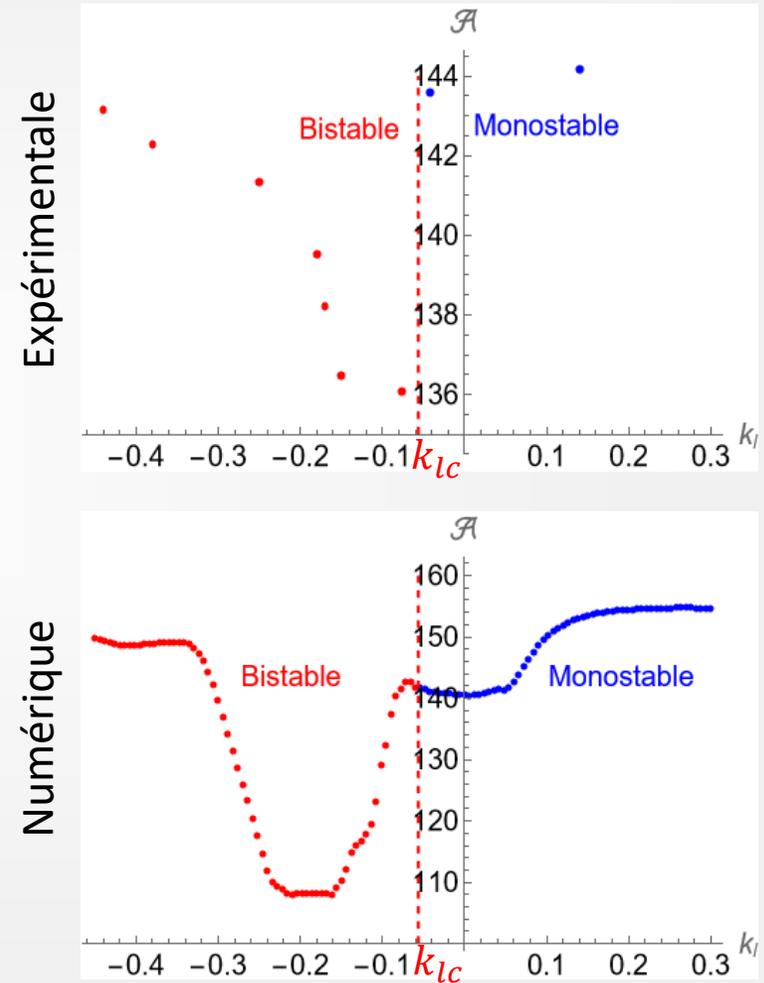
4. Validation expérimentale

Résultats

Les différentes courbes de crêtes déterminées expérimentalement



Variation de l'aire sous la courbe de crête en fonction de k_l



✓ Validation Expérimentale

5. Conclusion

- ✓ Une solution à base d'une membrane bistable permet d'améliorer la performance de notre système.
- ✓ Le comportement optimal est observé lorsque la fréquence propre de la membrane est supérieure à celle de tube : deux zones de pompage énergétique.
- ✓ Résultats numériques et expérimentaux concordants malgré un modèle de membrane très simplifié.
- ✓ Etude analytique du système bistable : solutions périodiques, bifurcations et variété invariante interpuits et intrapuits.

Merci pour votre attention