

# Conception et modélisation d'une micro-machine Stirling



Sylvie BEGOT<sup>(1\*)</sup> & Muluken Z. GETIE<sup>(1,2)</sup> & Alpha DIALLO<sup>(3)</sup> & François LANZETTA<sup>(1)</sup> & Magali BARTHES<sup>(3)</sup> et Michel de Labachellerie<sup>(3)</sup>

## Contexte et objectifs

### Contexte :

- Recherche de solutions de production d'énergie renouvelable locale et de faible puissance [1]
- Alimentation de capteurs, Internet des Objets, ...
- Utilisation de la chaleur fatale

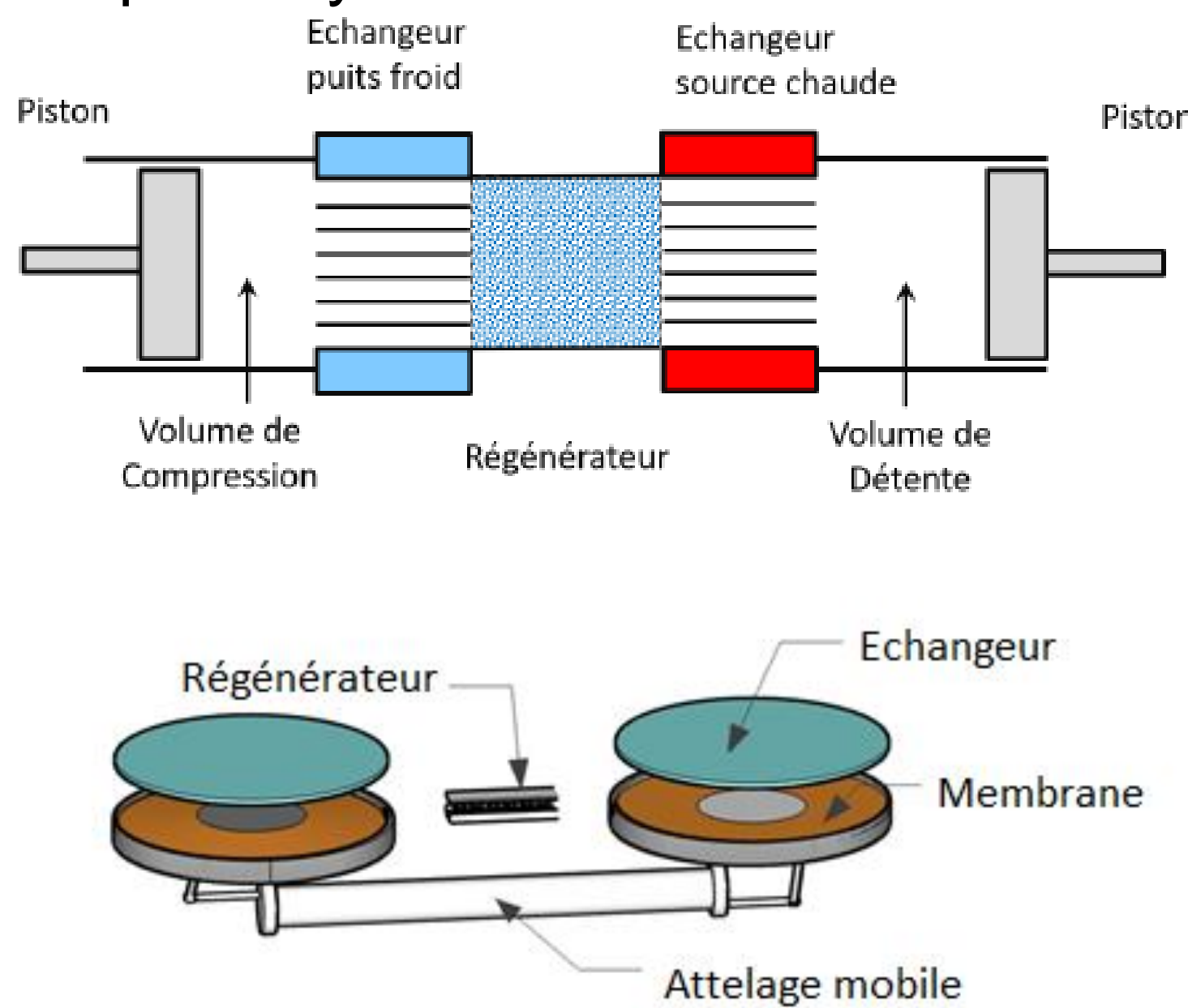
### Objectif :

- Evaluer le potentiel de machines Stirling fabriquées en micro-technologie et fonctionnant en récupération de chaleur à basse température
- Développement d'un prototype fonctionnel

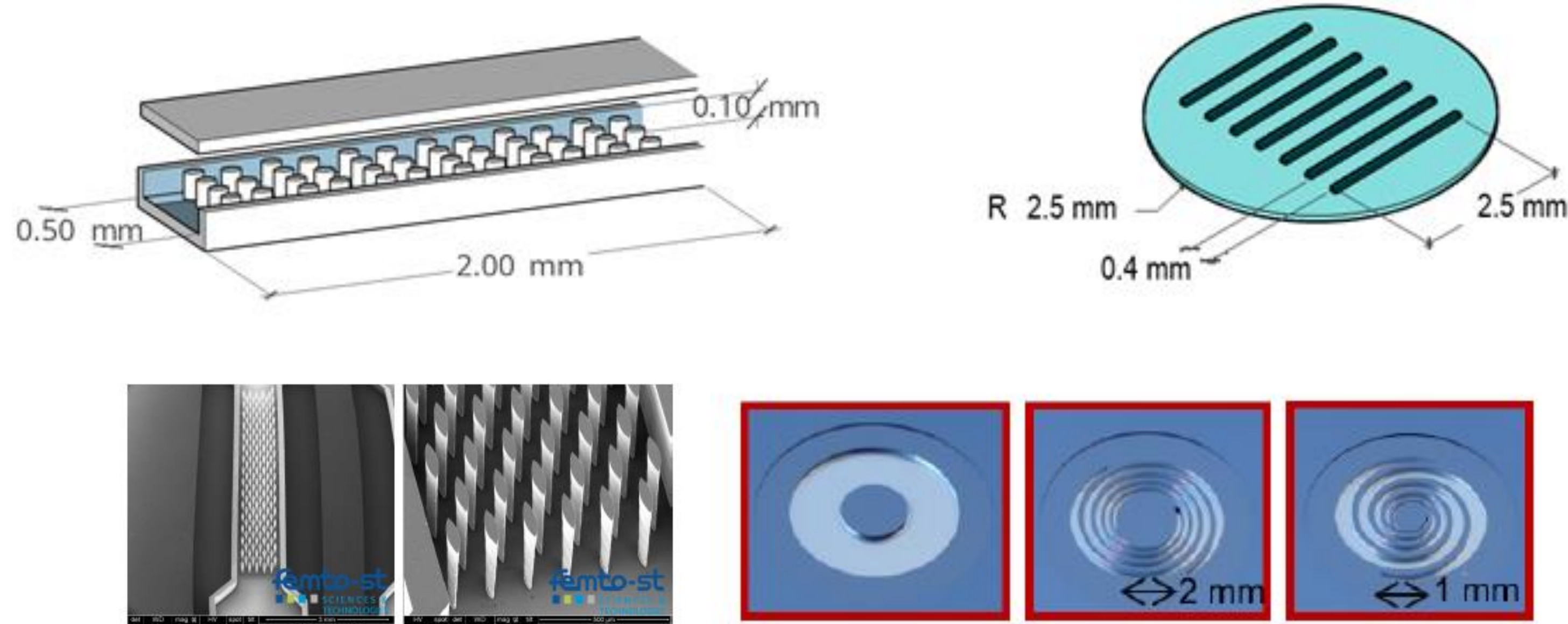
## Conception et modélisation

### Choix technologiques initiaux

- Structure de type Alpha : symétrie des chambres



- 2 chambres de compression et détente
- Pistons remplacés par des membranes [2]
- Plaques gravées comme échangeurs
- Régénérateur réalisé à l'aide de piliers gravés en silicium sur un substrat verre [3]
- Matériaux : silicium pour les parties où la conductivité thermique est nécessaire, verre pour les autres



### Modélisation

- Modélisation « adiabatique avec pertes » du type de celle proposée par Urieli et Berchowitz [4]
- Prise en compte des pertes dans le régénérateur

$$Q_{rl} = mC_p(1 - \epsilon)(T_c - T_e) \quad \epsilon \text{ efficacité du régénérateur}$$

$$\epsilon = \frac{NTU}{NTU + 1} \quad NTU : \text{nombre d'unités de transfert}$$

$$NTU = St \frac{A_{wg,r}}{2A_r} \quad St : \text{nombre de Stanton}$$

$$St = \frac{f_r}{2RePr} \quad A_{wg,r}, A_r, V_r : \text{surface mouillée, section de passage et volume du régénérateur}$$

$$f_r = 6.745Re^{-0.82} \quad f_r : \text{coefficient de frottement de Fanning}$$

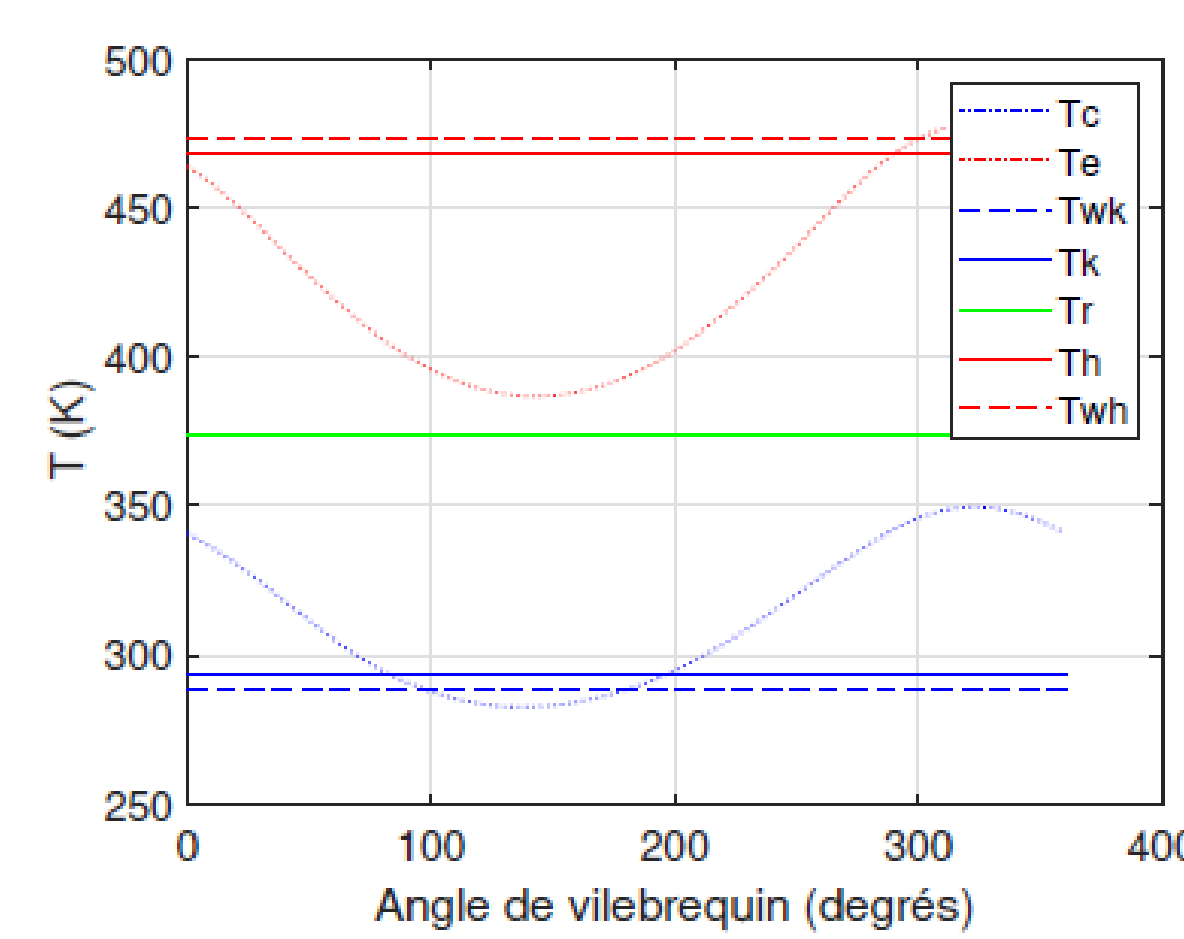
$$d_{H,r} = \frac{4\psi V_r}{A_{wg,r}} \quad \psi : \text{porosité du régénérateur}$$

$$d_{H,r} : \text{diamètre hydraulique du régénérateur}$$

### Résultats de modélisation

#### Cas test analysé :

- Machine de 2 mW
- Diamètre membrane 5 mm ; volume balayé 2,75 mm<sup>3</sup>
- Pression 0,15 MPa ; températures 473 K et 288 K ; air ; 100 Hz



Evolution des températures au cours du cycle

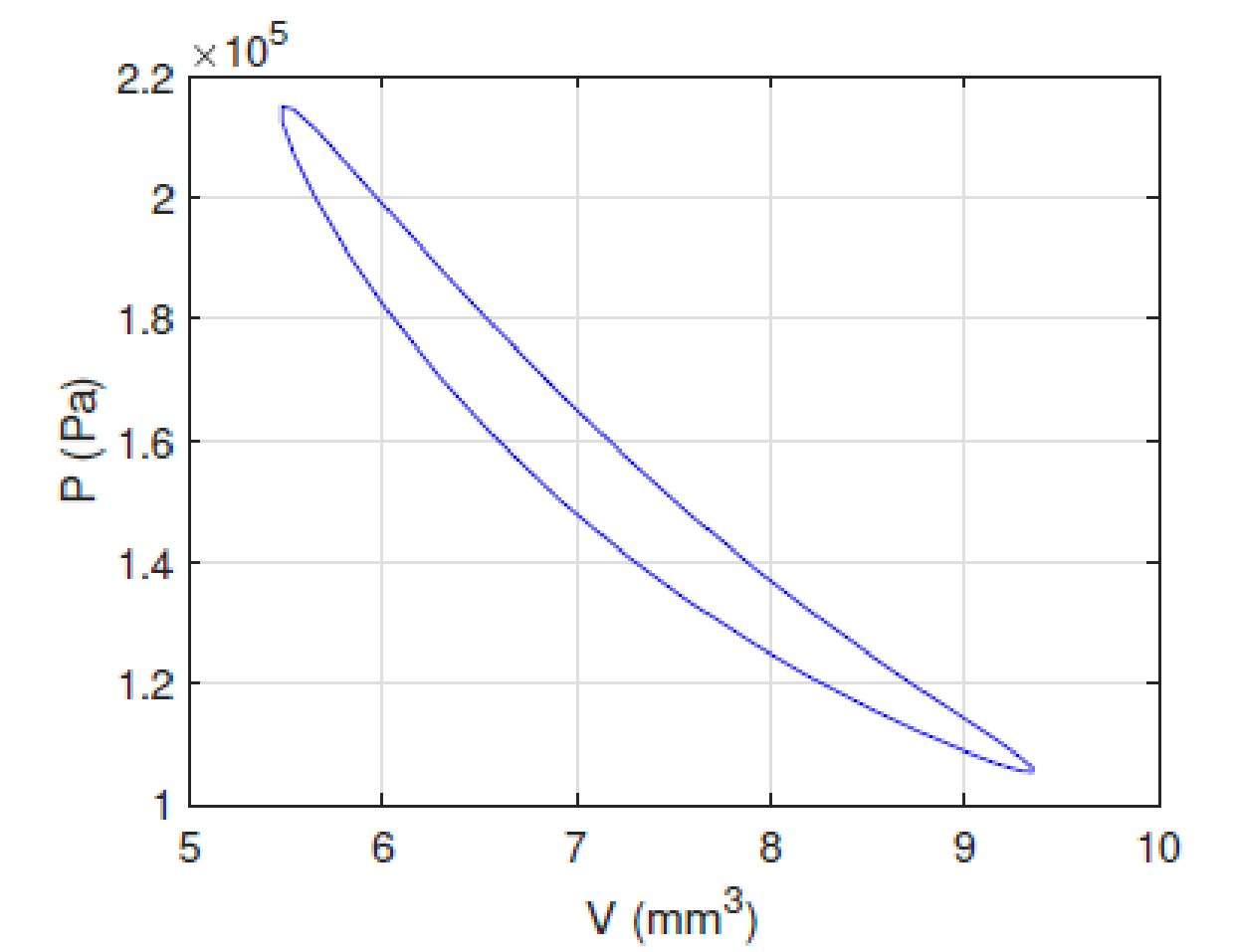
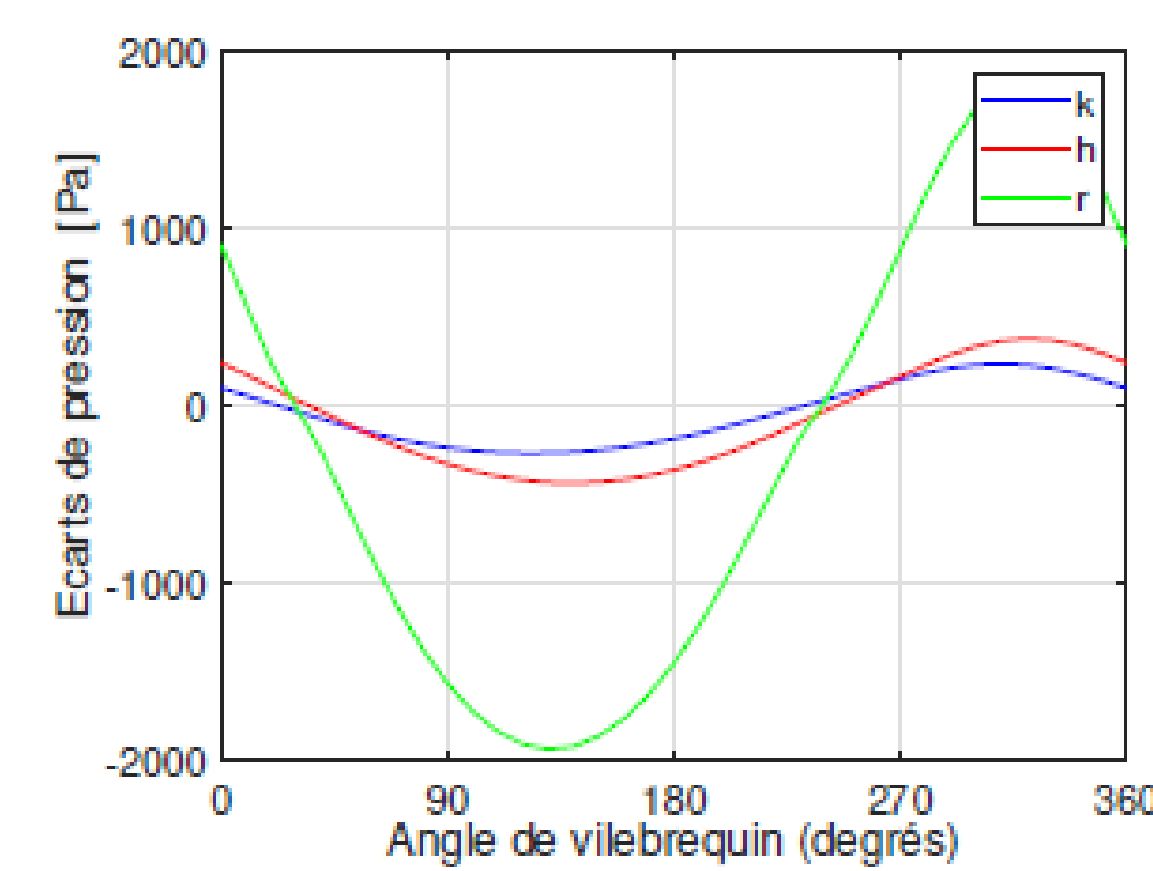
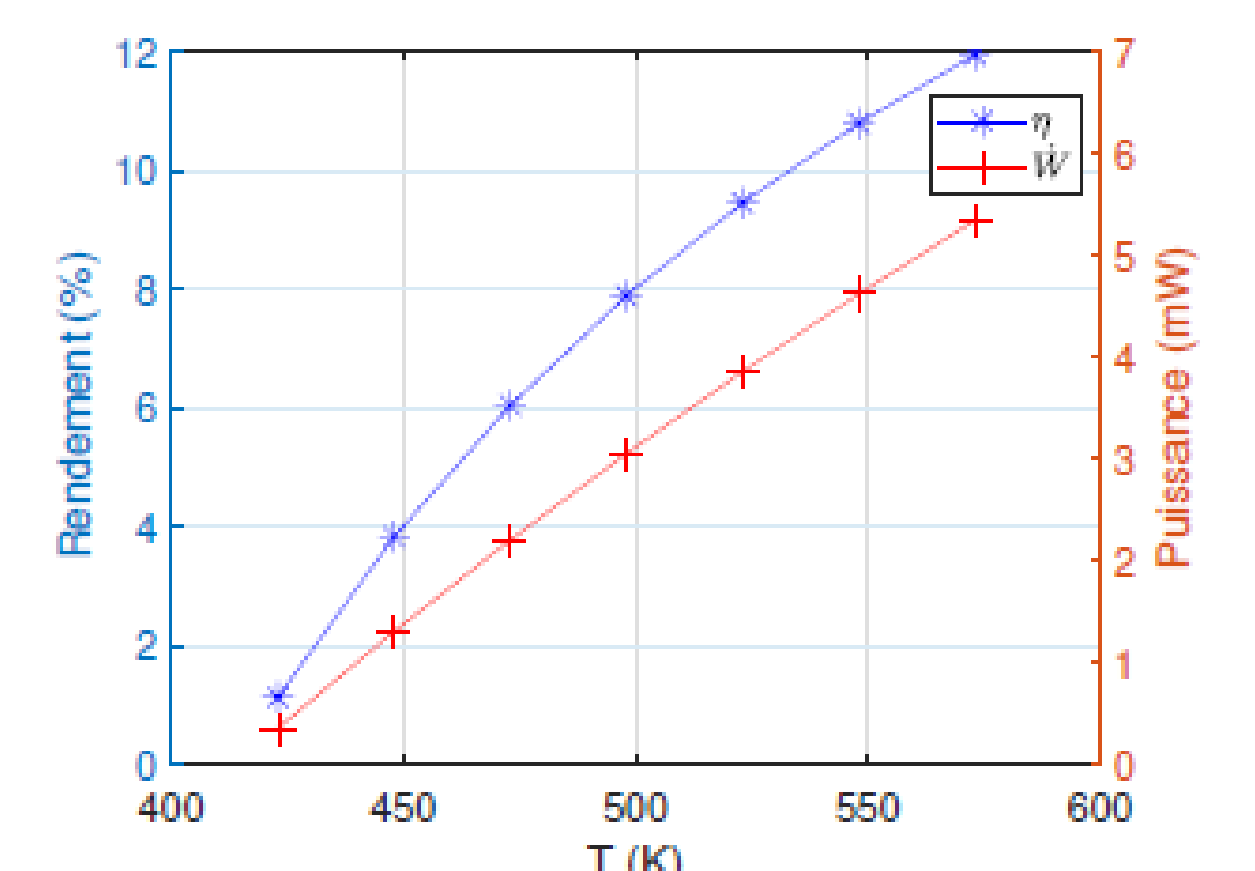


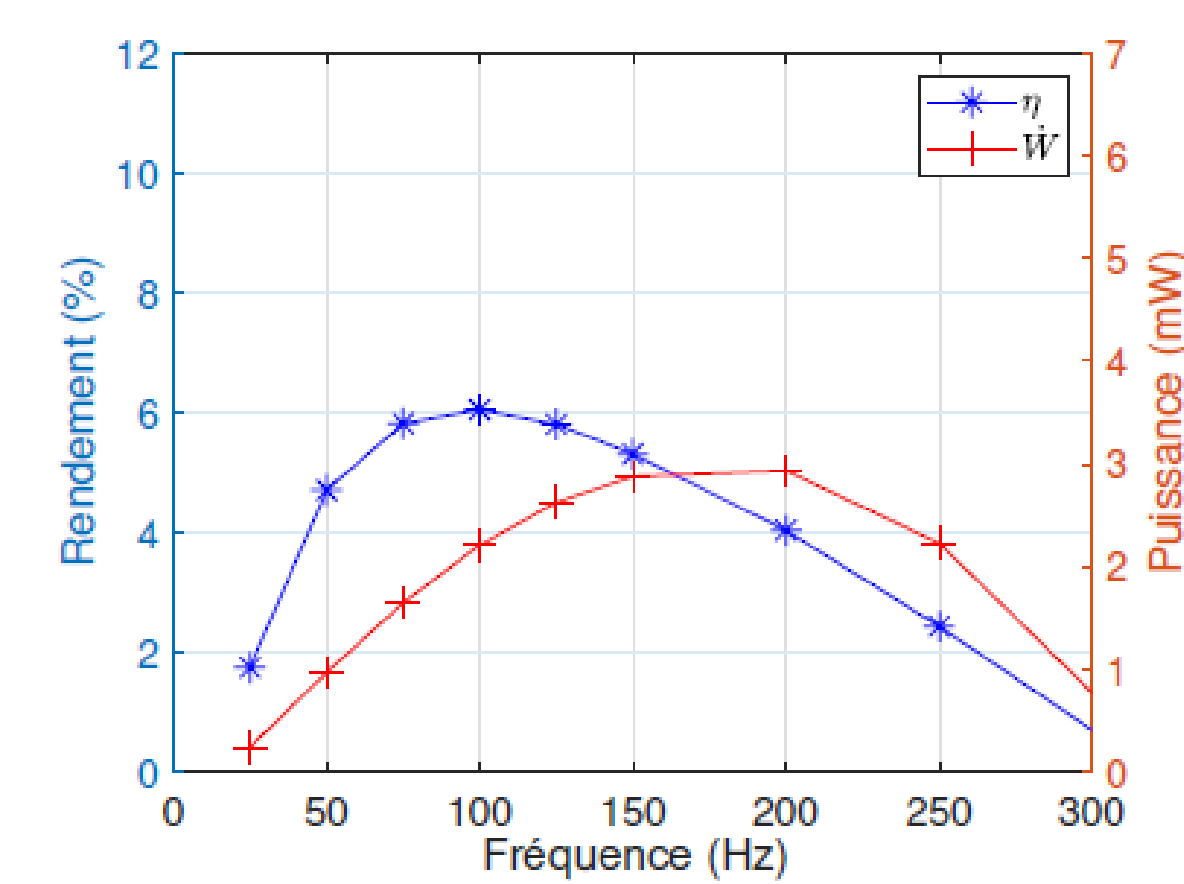
Diagramme indicateur



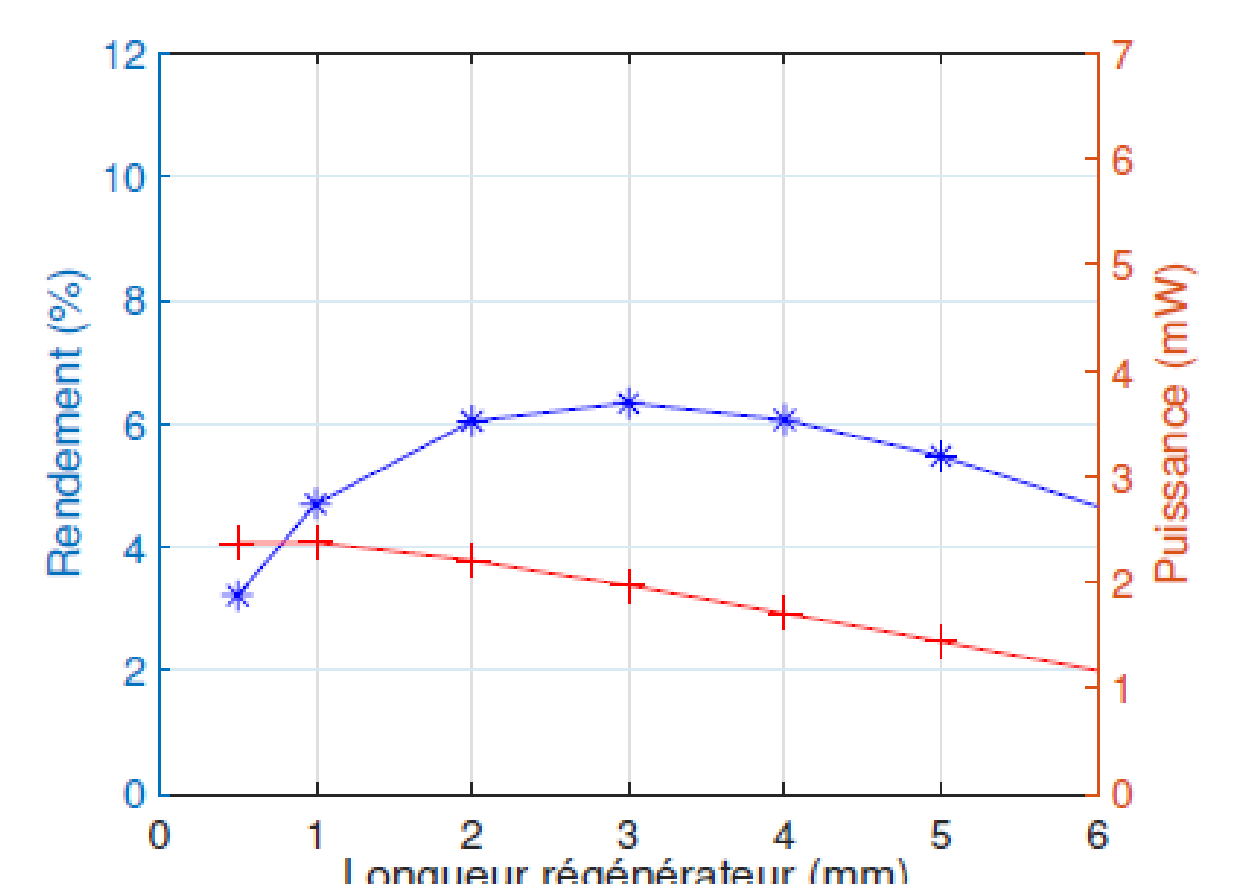
Evolution des écarts de pression dans les échangeurs au cours du cycle



Evolution du rendement et de la puissance avec la température de la source chaude



Evolution du rendement et de la puissance avec la fréquence



Evolution du rendement et de la puissance avec la longueur du régénérateur

## Conclusion et Perspectives

- Modélisation et dimensionnement d'une micro-machine Stirling de 2 mW
- Fréquence de fonctionnement optimale : 150 Hz
- Importance des pertes par conduction à cette échelle
- Fabrication des différents éléments et leur assemblage

## Références

- [1] : G. Chen, S. Hanson, D. Blaauw, and D. Sylvester, "Circuit design advances for wireless sensing applications," Proceedings of the IEEE, vol. 98, no. 11, pp. 1808–1827, 2010
- [2] : A. Diallo, Contribution to the design and construction of a thermal micromachine with Stirling cycle. Thèse de l'Université Bourgogne Franche-Comté, 2019.
- [3] : E. Dellali, S. Bégot, F. Lanzetta, E. Gavignet, R. Chutani, and J. Rauch, "Design, fabrication and CFD modeling of a Stirling engine microregenerator," in 17th ISEC, 24th-26th August, Newcastle upon Tyne, UK, pp. 190 – 200, 2016
- [4] : I. Urieli and D. M. Berchowitz, Stirling cycle engine analysis. Bristol : Adam Hilger, 1984.