

Conception et modélisation d'une micro-machine Stirling

Sylvie BEGOT^(1*) & Muluken Z. GETIE^(1,2) & Alpha DIALLO⁽³⁾ & François LANZETTA⁽¹⁾ & Magali BARTHES⁽³⁾ et Michel de LABACHELERIE⁽³⁾

⁽¹⁾ FEMTO-ST, Univ. Bourgogne Franche-Comte, CNRS, Département Energie, 2 avenue Jean Moulin – 90000 Belfort, France

⁽²⁾ Bahir Dar Energy Center, Bahir Dar Institute of Technology, Bahir Dar University, Ethiopia

⁽³⁾ FEMTO-ST, Univ. Bourgogne Franche-Comte, CNRS, Département MN2S, 5b Avenue des Montboucons, – 25000 Besançon, France



Contexte :

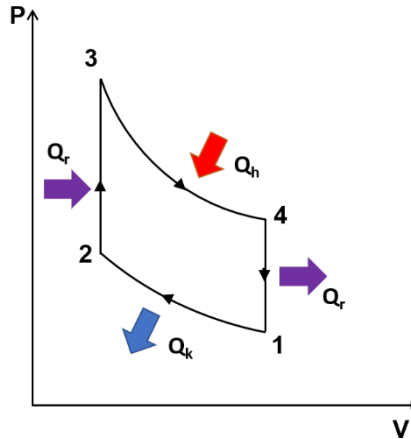
- Recherche de solutions de production d'énergie renouvelable locale et de faible puissance
- Alimentation de capteurs, Internet des Objets, ...
- Utilisation de la chaleur fatale

Objectif :

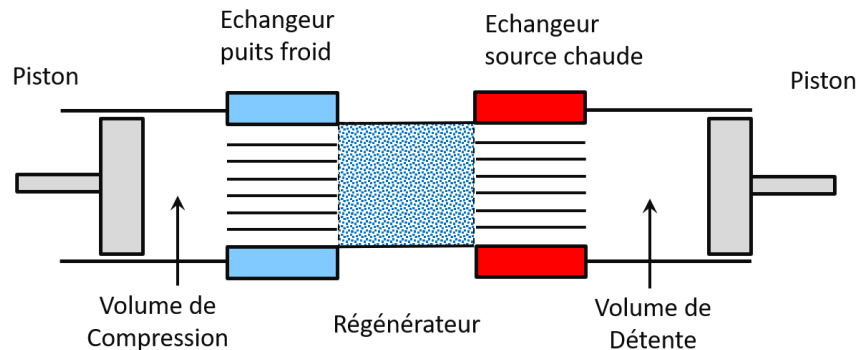
- _Evaluer le potentiel de machines Stirling fabriquées en micro-technologie et fonctionnant en récupération de chaleur à basse température
- Développement d'un prototype fonctionnel

Machine Stirling :

- Machine à apport de chaleur externe
- Cycle théorique : 2 isothermes et 2 isochores



- Taille habituelle : quelques cm de diamètre de piston
- Configuration Alpha

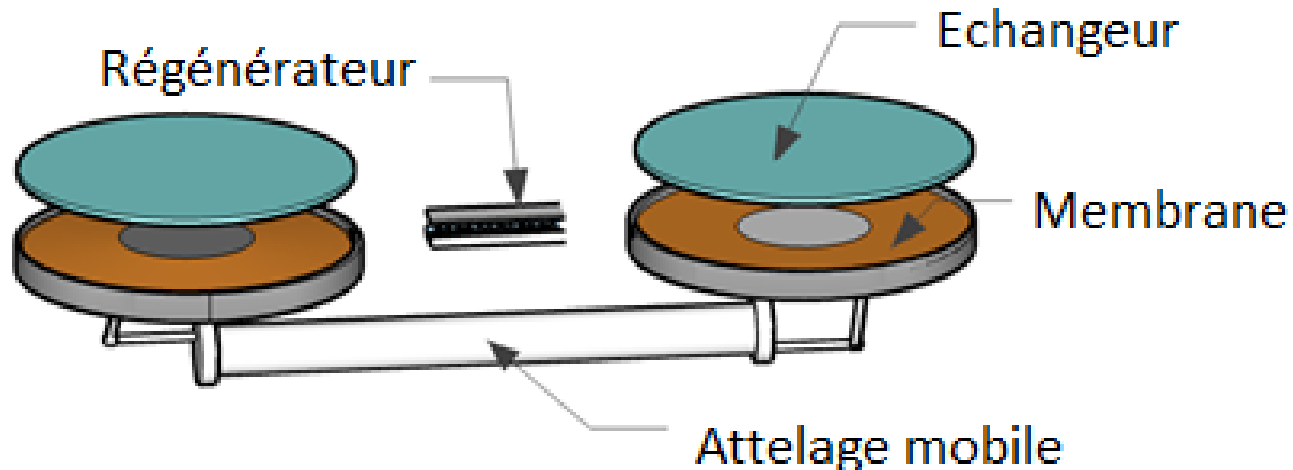


Micro-Machine

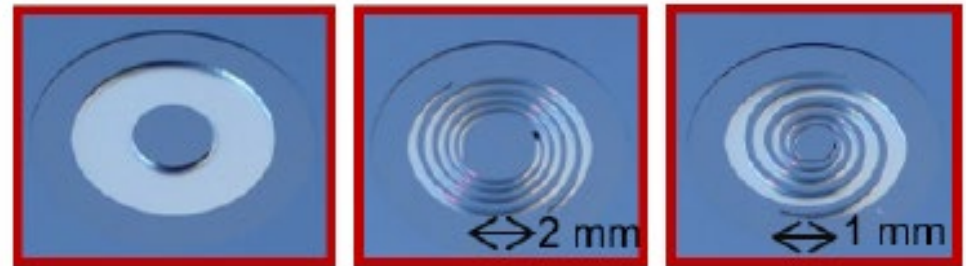
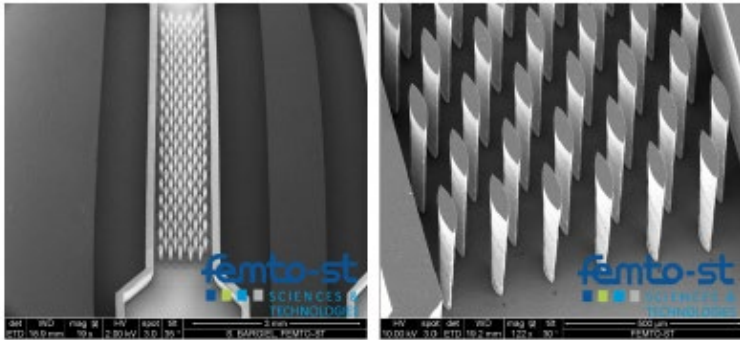
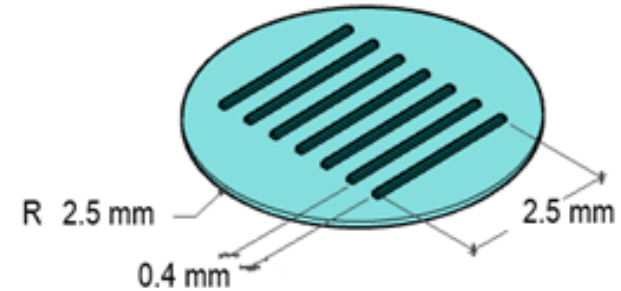
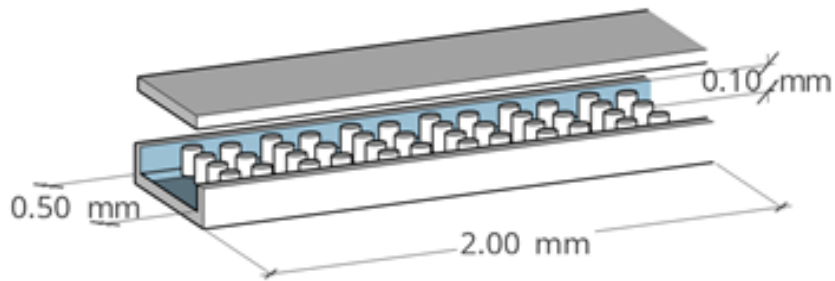
- Adaptés à la fabrication par lots en salle blanche
- Technologies micro-électronique et MEMS

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
- Prise en compte des pertes dans le régénérateur

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

$$\epsilon = \frac{NTU}{NTU + 1}$$

NTU : nombre d'unités de transfert

$$NTU = St \frac{A_{wg,r}}{2A_r}$$

St : nombre de Stanton

$A_{wg,r}$, A_r , V_r : surface mouillée, section de passage et volume du régénérateur

$$St = \frac{f_r}{2RePr}$$

f_r : coefficient de frottement de Fanning

$$f_r = 6.745Re^{-0.82}$$

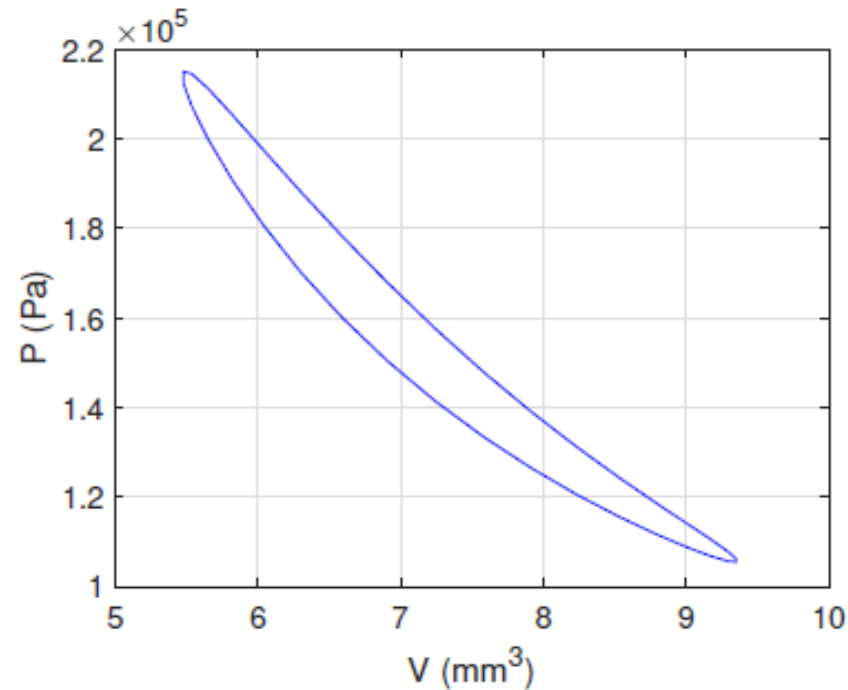
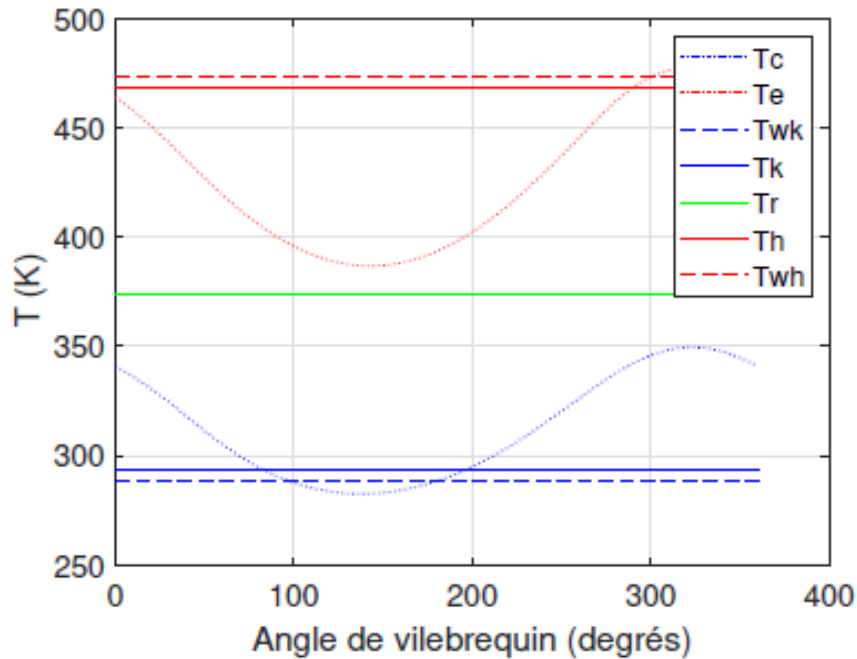
ψ : porosité du régénérateur

$$d_{H,r} = \frac{4\psi V_r}{A_{wg,r}}$$

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

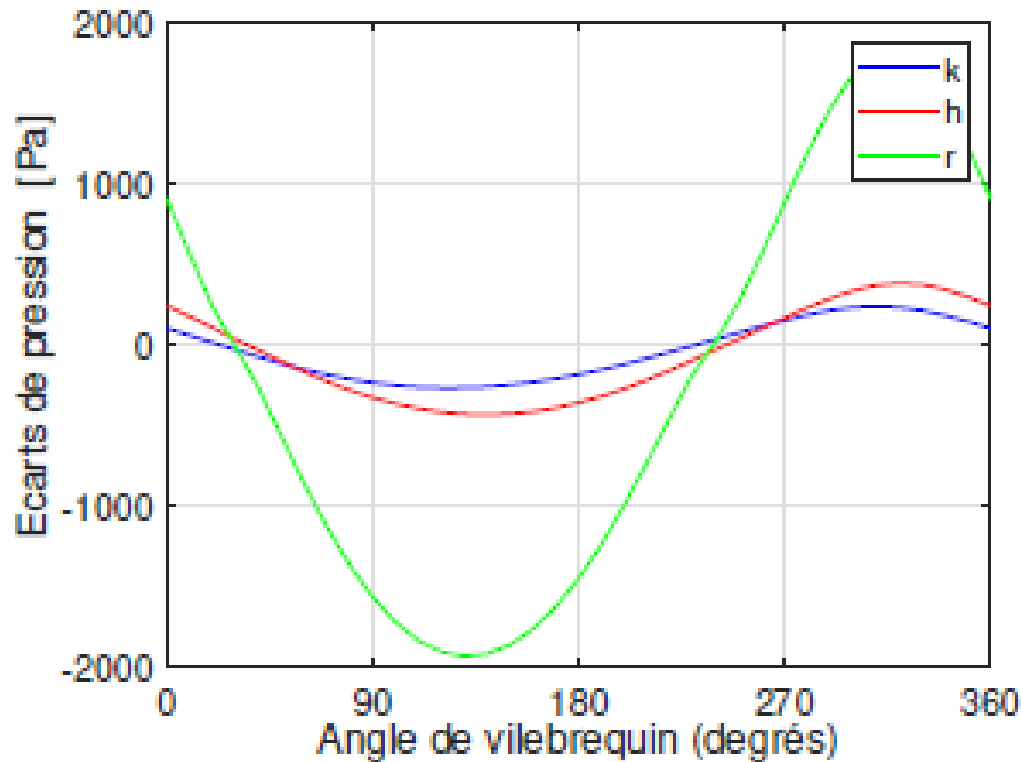
Cas test analysé

- Machine de 2 mW
- Diamètre membrane 5 mm ; volume balayé 2,75 mm³
- Pression 0,15 MPa ; températures 473 K et 288 K ; air ; 100 Hz



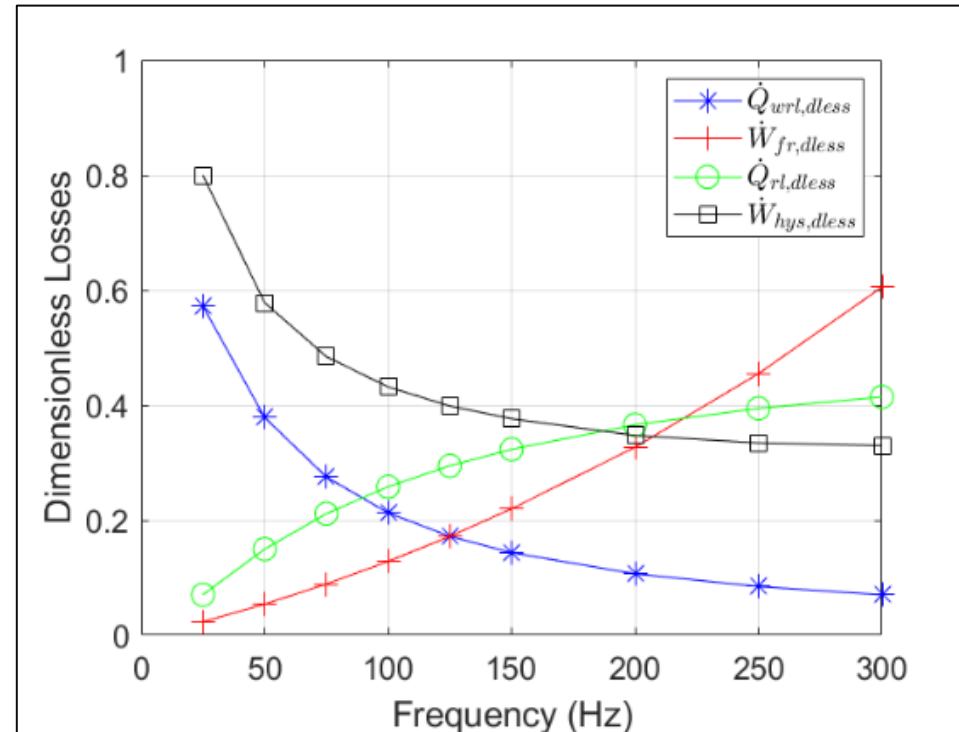
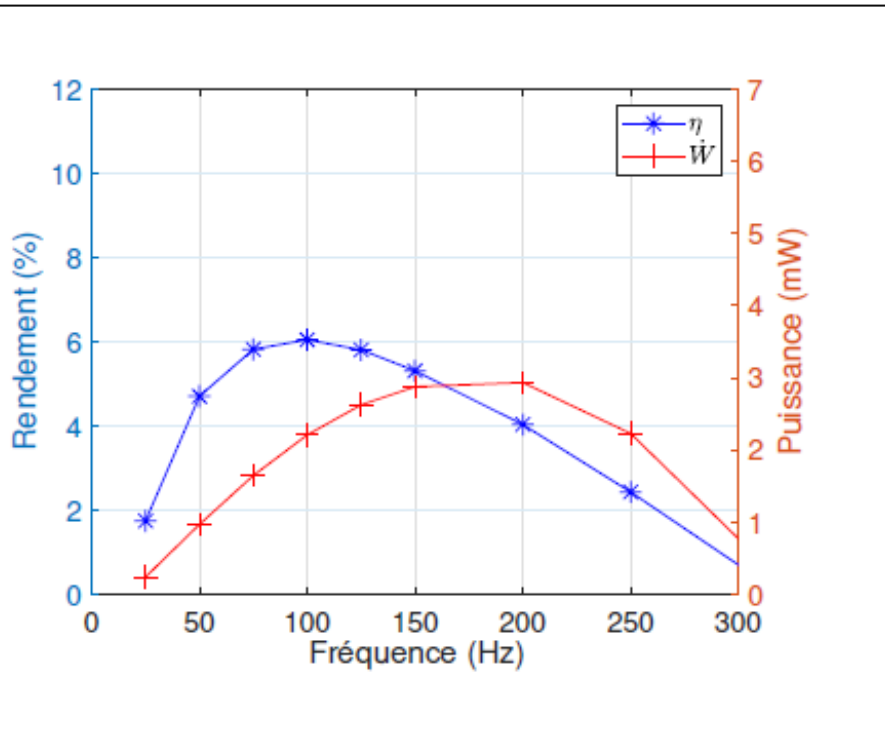
Cas test analysé

- Machine de 2 mW
- Diamètre membrane 5 mm ; volume balayé 2,75 mm³
- Pression 0,15 MPa ; températures 473 K et 288 K ; air ; 100 Hz

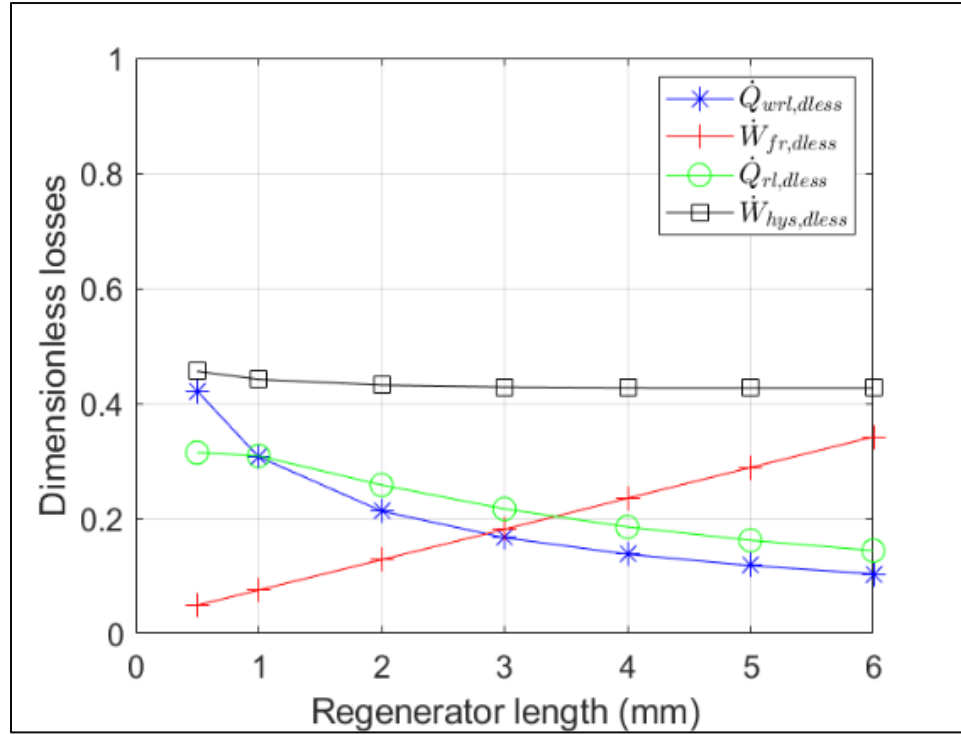
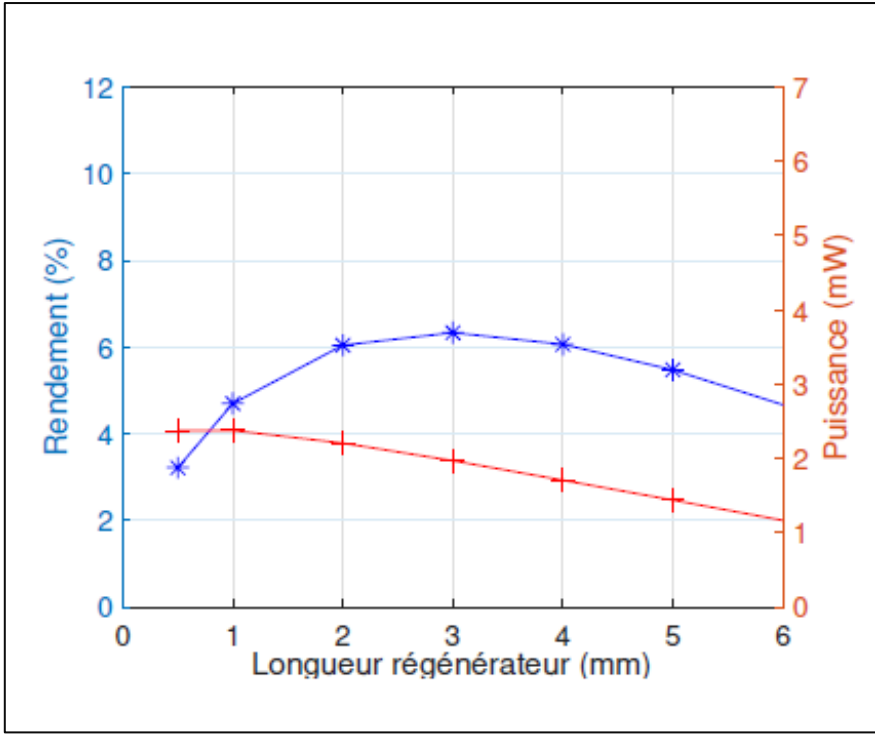


Etude paramétrique : influence de la fréquence

- Fréquence optimale : environ 150 Hz contre 50 Hz pour machines macroscopiques



Etude paramétrique : influence de 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