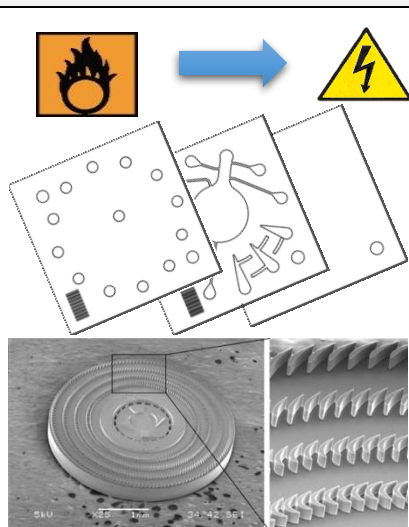


MEMS énergétiques pour la récupération de chaleur en électricité, incluant des micromoteurs Stirling, microturbines Rankine, et moteurs à évaporation pulsée

Mots-clefs : MEMS, Récupération d'énergie, Microfluidique.



Porteurs du projet : Luc Fréchette (LN2), Ali Belarouci (LN2).

Étudiants impliqués : Marc-André Hachey, Étienne Léveillé, Gholamreza Mirshekari, Albert Tessier-Poirier, Amrid Amnache, Thomas Monin, Mohamed Omri, Gabriel Vézina, Mohktar Liamini.

Partenaires industriels : GM Canada, STMicro.

Autres partenaires académiques : Martin Brouillette (UdeS), Stéphane Moreau (UdeS), Fabien Formosa (U. S.M.B.), François Lanzetta (FEMTO-ST), Michel de la Bachelerie (FEMTO-ST), Sylvie Begot (FEMTO-ST), Adrien Badel (U. S.M.B.), Srikar Vengallatore (McGill)

Période du projet : 2004 – en cours



Description du projet et contexte:

La chaleur perdue est une des ressources renouvelables les plus abondantes. Elle est dégagée des machines, des procédés industriels, des appareils électriques, des véhicules et des bâtiments pour être simplement rejetée dans l'atmosphère. Cette chaleur représente environ 45% de toute l'énergie consommée, soit des TW de puissance perdue. Utiliser cette énergie est par contre difficile et peu économiquement viable puisque la chaleur perdue est souvent distribuée et à faible température. Des ressources importantes seraient donc requises pour collecter et transporter cette chaleur vers des centrales thermiques et ainsi la revaloriser. De plus, les basses températures mènent à de faibles efficacités de conversion, réduisant de plus sa valeur économique. Une approche alternative consiste à récupérer et convertir cette chaleur localement, près de la source à l'aide de technologies MEMS à faible coût. Les microsystèmes énergétiques, ou Power MEMS, sont des micromoteurs et centrales sur une puce permettant cette conversion locale et distribuée.

Nous développons plusieurs microsystèmes énergétiques pour la récupération de chaleur, visant des plages de flux de chaleur du $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ à $10 \text{ W}/\text{cm}^2$, et des températures de 50°C jusqu'à 400°C , et tous fabriqués par des méthodes de microfabrication collectives planaires.

a) **Microturbine Rankine :** Pour les hautes puissances et températures, nous développons des microturbines implémentant le cycle à vapeur Rankine. Le MEMS incorpore une microturbine de 4 mm de diamètre avec un millier de pales formées par gravure profonde dans le Si, ainsi qu'une micropompe visqueuse à spirales et des paliers à lubrification liquide.

b) **Micromoteur Stirling (projet MISTIC, avec Univ. S.M.B. et FEMTO-ST) :** Pour la récupération de chaleur à température modérée ($150\text{-}200^\circ\text{C}$), nous développons une implémentation planaire à base de membranes du cycle Stirling. Le dispositif comporte une multitude de chambres reliées par des conduits microfluidiques et des membranes piézoélectriques, qui sont mises en mouvement par le chauffage et refroidissement alternatif du fluide

c) **Micromoteur à changement de phase pulsé :** Alors que les approches précédentes sont la miniaturisation de cycles communs à grande échelle, nous avons aussi inventé un nouveau cycle particulier adapté à l'échelle micro. Il s'agit de l'évaporation et la condensation pulsée d'un liquide reformé dans une

chambre. Lors de l'évaporation, la pression augmente dans la chambre, activant une membrane piézoélectrique afin de produire de l'électricité. Le fluide se déplace aussi à cause de la pression, l'emmenant en contact avec une zone froide qui induit une condensation de la vapeur et une réduction de la pression interne. Ce principe de micromoteur fut découvert et breveté dans le cadre des travaux de l'UMI avec STMicroelectronics, et fait maintenant l'objet de développement afin de réaliser une version planaire microfabriquée du moteur.

Résultats remarquables et publications associées :

Au cours des dernières années, nous avons poursuivi le développement des microturbines en Si, avec un effort particulier sur l'intégration de matériaux d'isolation thermique requis pour éventuellement opérer ces micromachines à haute température. Nous avons aussi initié les activités sur les deux autres types de micro moteurs thermiques décrit ci-haut. D'une part nous avons proposé une nouvelle configuration planaire pour implémenter le cycle Stirling et nous avons défini les principes d'échelle pour la miniaturisation de ce cycle :

Formosa, F., Fréchette, L.G., *Scaling laws for free piston Stirling engine design: Benefits and challenges of miniaturization*, Energy, vol. 57, p. 796-808, 08/2013.

D'autre part, nous avons développé un micromoteur basé sur l'évaporation explosive périodique d'un liquide dans une microchambre.

Léveillé, É., Mirshekari, G., Monfray, S., Skotnicki, T., et Fréchette, L.G., *A Microfluidic Heat Engine Based on Explosive Evaporation*. In Proc. 12th Int'l Workshop on Micro and Nanotech. for Power Generat. and Energy Convers. Apps (PowerMEMS 2012), Atlanta, GA, USA, Dec. 2-5, 2012.

Monfray, S., Puscasu, O., Savelli, G., Soupremanien, U., Ollier, E., Guerin, C., Fréchette, L.G., Léveillé, E., Mirshekari, G., Maitre, C., Coronel, P., Domanski, K., Grabiec, P., Ancey, P., Guyomar, D., Bottarel, V., Ricotti, G., Boeuf, F., Gaillard, F., Skotnicki, T., *Innovative thermal energy harvesting for zero power electronics*. In Proc. 2012 IEEE Silicon Nanoelectronics Workshop, Hilton Hawaiian Village, Honolulu, HI, USA, June 10-11, 2012.

Lors de ces travaux, nous avons aussi découvert un principe d'opération particulièrement adapté à l'échelle microscopique, qui fut le sujet d'une demande de brevet conjointe avec STMicroelectronics. Le principe fut démontré expérimentalement, mais n'est pas encore publié.

Financement :

CRSNG, programme RDC avec GM Canada

ANRT – Thèse CIFRE avec STMicroelectronics (Thomas Monin)

CRSNG, programme Découverte

ANR, programme SEED, projet MISTIC (mené par F. Formosa)