

## Réalisation et étude d'un moteur Stirling alpha

La compréhension et l'étude d'un moteur Stirling nécessitent d'avoir recours à deux des domaines de la physique qui me passionnent : la thermodynamique et la mécanique. En outre, la réalisation pratique d'un prototype de moteur de ce type m'est apparue comme un véritable challenge que j'ai trouvé intéressant de relever.

La réduction des émissions de dioxyde de carbone au profit de l'utilisation de sources d'énergie renouvelables est un enjeu de santé publique, particulièrement dans les zones urbaines. Pour cette raison, le moteur Stirling, qui peut être combiné à des sources d'énergie plus propres, connaît ces dernières années un regain d'intérêt.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*PHYSIQUE (Physique de la Matière), PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Energie</i>	<i>Energy</i>
<i>Moteur thermodynamique</i>	<i>Thermodynamic engine</i>
<i>Frottements</i>	<i>Friction</i>
<i>Bilan énergétique</i>	<i>Energy balance</i>
<i>Modélisation informatique</i>	<i>Computer modelling</i>

### Bibliographie commentée

Même si la trajectoire générale de réduction des émissions des gaz à effet de serre est encourageante en France sur les vingt dernières années, la possibilité d'atteindre l'objectif de zéro émission nette de dioxyde de carbone à l'horizon 2050 reste un défi qui nécessitera des changements comportementaux et technologiques dans l'ensemble des domaines de l'activité humaine. [1]

Dans le domaine de la production d'énergie mécanique ou de la cryogénisation, l'une des pistes potentielles est la réhabilitation du moteur Stirling, qui n'utilise pas le principe de la combustion interne comme les moteurs à explosion classiques et ne produit donc pas d'échanges de gaz à effet de serre avec l'extérieur. Basé sur le principe d'un cycle thermodynamique utilisant une source chaude et une source froide, il est qualifié de moteur à combustion externe ou de moteur à air chaud et il peut être alimenté par une source de chaleur externe telle que l'énergie géothermique ou solaire, entre autres. Ce cycle étant inversible, il peut également fonctionner comme une pompe à chaleur et produire par exemple de l'énergie frigorifique. [2]

Dans sa version alpha, il est constitué de deux cylindres jouant le rôle d'enceintes de compression et de détente et dont les pistons entraînent des bielles permettant la génération d'énergie mécanique avec des rendements théoriques élevés, proches du cycle idéal de Carnot avec l'utilisation

complémentaire d'un régénérateur de chaleur. [3]

Inventé en 1826 par le pasteur Robert Stirling comme une réponse à l'utilisation des moteurs à vapeur dont les chaudières présentaient des risques d'explosion, il est matérialisé pour la première fois en 1843 par son frère James, ingénieur dans une fonderie, et en 1947 William Thomson, le futur Lord Kelvin, l'explique de manière scientifique et réalise un prototype conservé au Musée National d'Ecosse. Malgré quelques timides applications au pompage de l'eau ou à la production d'électricité, il faudra attendre les années 1930 pour voir le groupe néerlandais Philips s'intéresser sérieusement au moteur Stirling, avec la réalisation d'une pompe à chaleur cryogénique de 200 chevaux et celle, en 1953, d'un groupe électrogène de 180 W. Dans les années 1980, le sous-marin français à grande autonomie (SAGA) utilisait pour la première fois deux moteurs Stirling pour leur caractère silencieux, et quelques années après la marine suédoise améliorait leur autonomie pour atteindre plusieurs semaines de plongée. Au début des années 2000, la société taïwanaise MSI présentait un ventilateur de refroidissement pour micro-processeur entraîné par un micro-moteur Stirling. [4]

C'est même un moteur Stirling qui bat le record d'efficacité pour la conversion solaire-électricité en 2008, en atteignant un rendement de 31,25% grâce à l'utilisation d'un miroir parabolique comme concentrateur solaire. [5]

Dans le domaine de la construction de bâtiments à autonomie énergétique, des systèmes de cogénération à base de moteurs Stirling sont également envisagés, toujours sur la base de l'énergie solaire. [6]

Enfin, la NASA a depuis longtemps considéré l'utilisation de moteurs Stirling comme un atout du fait de leur rendement, leur simplicité et leur solidité. Ainsi le rover Curiosity circulant sur Mars depuis 2012 utilise ce type de moteurs pour produire de l'électricité et différents projets sont aujourd'hui menés pour améliorer encore leur adéquation avec les contraintes de l'exploration spatiale : l'Advanced Stirling Convertor (ASC), le Robust Stirling Convertor (RSC) ou encore le Kilopower Reactor Using Stirling Technology (KRUSTY) envisagé pour alimenter la future base lunaire Artemis. [7]

Plus de deux siècles après son apparition, dans une époque qui nous voit confrontés à beaucoup de problèmes en termes d'énergie et d'écologie, l'heure du succès du moteur Stirling est peut-être en train de sonner, à la fois sur la terre et en dehors de la terre...

## **Problématique retenue**

Comment réaliser, modéliser et étudier un moteur de Stirling alpha ?

## **Objectifs du TIPE**

- Réaliser un prototype de moteur de Stirling alpha avec deux pistons cylindriques constitués de seringues en verre, actionnant un volant d'inertie en médium
- Modéliser le mieux possible le fonctionnement de ce moteur d'un point de vue théorique

- Etudier ce moteur expérimental : mesures de températures, de vitesses de rotation, de volumes et de pressions, et réalisation de bilans énergétiques
- Développer des programmes en Python afin de représenter les cycles théoriques et expérimentaux et de calculer les grandeurs énergétiques associées
- Analyser les résultats obtenus et conclure plus généralement quant à l'utilisation du moteur Stirling

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] CENTRE INTERPROFESSIONNEL TECHNIQUE D'ETUDES DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE : Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France : *CITEPA (juin 2022)*
- [2] WIKIPEDIA : Moteur Stirling : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur\\_Stirling](https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Stirling) (17/10/2022)
- [3] OLIVIER PERROT : Cours de thermodynamique, 2ème semestre : *I.U.T. de Saint-Omer (2010-2011)*
- [4] PIERRE GRAS : Le moteur Stirling : <http://www.moteurstirling.com/index.php> (17/10/2022)
- [5] SANDIA : Stirling Energy Systems set new world record for solar-to-grid conversion efficiency : <https://newsreleases.sandia.gov/releases/2008/solargrid.html> (15/01/2023)
- [6] NICOLAS LANCIAUX : Contribution au développement d'un moteur Stirling : de la cogénération dans le bâtiment à l'autonomie énergétique : *Thèse de doctorat de l'Université d'Evry-Val d'Essonne (2015)*
- [7] NASA : Radioisotope Power Systems : <https://rps.nasa.gov> (15/01/2023)

## DOT

- [1] *Recherche en septembre du thème de travail aboutissant au choix du moteur de Stirling alpha et établissement générique du contenu*
- [2] *Réalisation entre octobre et décembre du montage expérimental : éléments mécaniques (bielles et volants d'inertie) en médium, roulements à billes et pistons cylindriques constitués par des cylindres en verre*
- [3] *Premières expérimentations infructueuses début janvier, améliorations progressives jusqu'au fonctionnement, permettant ainsi la prise des premières mesures de température, de vitesse et d'estimation de la puissance du moteur*
- [4] *Constatation d'écarts mesurés trop importants avec la théorie de base : élaboration en février d'une modélisation améliorée prenant en compte la course des pistons et le volume mort*
- [5] *Nouvelles améliorations apportées au moteur en mars aboutissant à une version finale beaucoup plus efficace, reprise de l'ensemble des tests puis réalisation des mesures de pression*
- [6] *Développement en mars et avril de programmes en Python pour traçage des courbes expérimentales et des cycles thermodynamiques*
- [7] *Elaboration en mai de la présentation orale et des conclusions*