

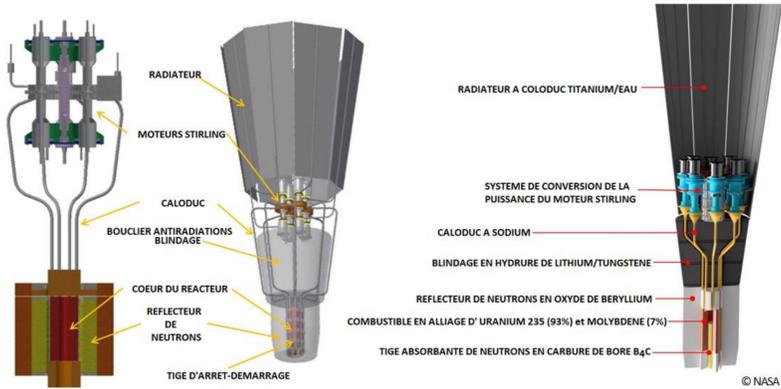
Introduction : La nouvelle course à la lune ainsi que le souhait dans les décennies à venir d'installer une base sur celle-ci pose la question suivante : « Comment avoir une source d'énergie sûre, durable et facilement exploitable ? ».

La NASA (National Aeronautics and Space Administration / Administration Nationale de l'Aéronautique et de l'Espace) pour qui ce défi est essentiel a mis en place en 2012 un projet de développement de réacteurs nucléaires portatifs de petite puissance (dix kilowatts soit 90 fois moins que celle d'un réacteur à eau pressurisée) pour l'exploration spatiale. Ce projet ayant pour nom « Kilopower Reactor Using Stirling Technology » (KRUSTY) a pour but d'utiliser la chaleur de la réaction de fission nucléaire du réacteur pour produire de l'électricité.

Le réacteur Kilopower, une centrale nucléaire de « poche » pour alimenter une base lunaire ?

Conception du réacteur Kilopower:

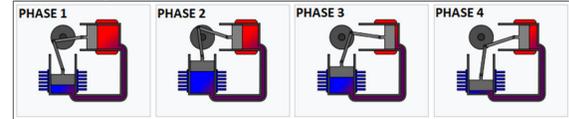
Le réacteur n'est que du calibre d'un rouleau de papier essuie tout, la chaleur produite par fission nucléaire est ensuite transférée par un caloduc à vapeur de sodium et fait alors tourner des moteurs Stirling pour produire l'électricité.



7 Composants:

- Un cœur cylindrique en alliage d'uranium 235 et de molybdène (7%)
- Un réflecteur de neutrons en oxyde de béryllium afin de réduire la masse critique
- Un caloduc à sodium dont la conductivité thermique est élevée pour transférer la chaleur du réacteur vers les moteurs
- Un bouclier antiradiations en hydrure de lithium et tungstène
- Une tige de contrôle absorbante de neutrons en carbure de bore afin de réguler la population neutronique (et donc la réactivité)
- Un système de conversion de la puissance Stirling
- Un radiateur à caloduc titanium/eau pour évacuer l'excès de chaleur

Principe de fonctionnement du moteur Stirling



Phase 1 : La vapeur de sodium du caloduc est chauffée par le réacteur nucléaire

Conséquences:

Le gaz (ici sodium) occupe de plus en plus de place et repousse le piston chaud au fond de sa course (vers la gauche).

Une fois arrivé en butée, l'expansion du gaz va vers le cylindre froid et repousse le piston froid (vers le haut). Ces mouvements sont transmis à la roue.

Phase 2 : Le gaz est maintenant à son volume maximal.

Conséquences:

La roue transmet son mouvement au piston chaud (vers la droite), ce qui envoie la plus grande partie du gaz vers le cylindre froid, où il va se refroidir.

La chaleur est alors dissipée via les caloducs en partie haute de la mini-centrale.

Phase 3 : Presque tout le gaz est à présent dans le cylindre froid et le refroidissement du gaz continue.

Conséquences:

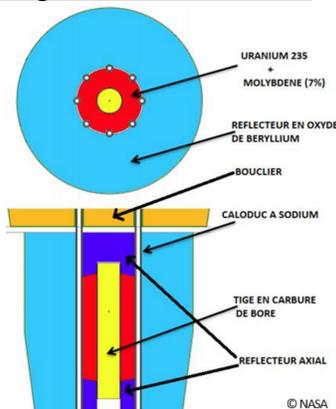
La pression du gaz est à son minimum. Il se contracte et le piston froid redescend.

Phase 4 : Le gaz est à son volume minimum et le piston chaud est tiré vers la gauche par la roue et les transmissions.

Conséquences:

Le gaz est ainsi aspiré dans le cylindre chaud. Comme il se réchauffe, son volume augmente et le cycle recommence.

Design du cœur du réacteur



Caractéristiques du réacteur:

- Diamètre du cylindre: ~ 11 cm
- Longueur: 25 cm
- Poids: ~ 35 kg

Constitution du noyau

- 93 % d'U235 hautement enrichi
- 7 % de Molybdène

Conception du noyau

- Noyau solide

But de cette constitution du noyau:

- Produire un équilibre optimal entre les propriétés neutroniques, thermiques et métallurgiques

But de cette conception du noyau:

- Fournir une puissance thermique suffisante
- Réduire la géométrie et la masse du carburant
- Réduire la géométrie et la masse du réflecteur radial
- Réduire la géométrie et la masse du bouclier
- Donner au système une puissance spécifique (W/kg) élevée

Principe d'autorégulation du réacteur Kilopower

Les moteurs Stirling consomment plus de puissance

La puissance résiduelle augmente

La puissance du réacteur augmente

Le réacteur se rétracte, moins de neutrons s'échappent, la réactivité augmente

Les moteurs Stirling consomment moins de puissance

La puissance résiduelle diminue

La puissance du réacteur diminue

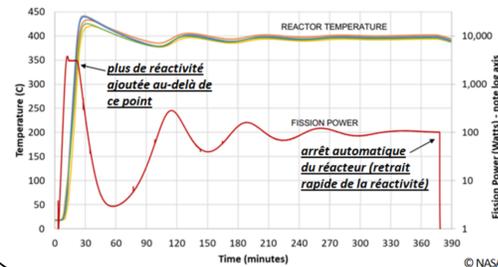
Le réacteur s'étend, plus de neutrons s'échappent, la réactivité diminue

La température du réacteur baisse

La température du réacteur augmente

Le réacteur doit rester à une température constante, de sorte que si la demande de puissance du réacteur augmente alors la puissance résiduelle augmentera afin maintenir le réacteur à la température désirée (et inversement si la demande de puissance diminue).

Données de températures et de puissances de krusty insertion de réactivité à 60%



Dans le cas ci-contre, la réactivité a été réglée pour que le combustible garde une température de 400 °C

Quelques avantages des moteurs stirling:

- Rendement élevé
- Fiabilité
- Technologie simple
- REX solide

Les éléments de sûreté:

Contrôler la réactivité

- Tige de contrôle en carbure de bore
- Réflecteur de neutrons en oxyde de béryllium

Contrôler le refroidissement du combustible

- Caloducs

Contrôler le confinement des produits radioactifs

- Bouclier/Blindage antiradiations

Conclusion: Le projet KRUSTY est un tout nouveau concept de réacteur à fission. Son réacteur Kilopower de part sa compacité, sa légèreté, sa simplicité et la fiabilité des équipements avec lesquels il interagit font de lui un candidat idéal pour alimenter en énergie des équipements et des installations lunaires. On peut donc en conclure que d'après l'ensemble des tests déjà réalisés par la NASA, ce projet novateur permettra un jour d'avoir accès à une énergie sûre, durable et facilement exploitable sur la lune et pourquoi pas au-delà?

Sources: <https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/kilopower> https://www.researchgate.net/publication/325206837_DESIGN_OF_THE_KRUSTY_REACTOR
https://www.researchgate.net/publication/325206569_PREDICTED_PERFORMANCE_OF_THE_KRUSTY_REACTOR
https://www.researchgate.net/publication/332872986_RESULTS_OF_THE_KRUSTY_WARM_CRITICAL_EXPERIMENTS