

RTG

Radio-isotopic Thermal Generator

Projet accompagné par l'Andra dans le cadre du programme « Nucléaire de Demain » des Investissements d'avenir - Sélectionné lors de l'appel à projets Andra « Optimisation de la gestion des déchets radioactifs de démantèlement », organisé en coopération avec l'ANR.

Durée : 30 mois

Démarrage du projet :
05/2017

Montant total projet :
2,4 M€

**Dont aide du programme
Investissements d'Avenir** :
1,2 M€

Forme de l'aide : Subvention
avec modalités de retour
sur investissement pour l'État

Localisation(s) :
Courbevoie (92),
Grenoble (38),
Nancy (54)

Coordinateur : Orano

Partenaires :

- Orano,
- HotBlock OnBoard,
- Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée (LEMTA)
CNRS/Université de Lorraine

Contact : Etienne FOURCY,
etienne.fourcy@orano.group

CONTEXTE

Cigéo (Centre industriel de stockage géologique) est le projet de centre de stockage profond (à -500 mètres environ de profondeur) pour les déchets français les plus radioactifs, à vie longue. Le stockage Cigéo sera exploité pendant une centaine d'années. À ce titre, le système d'observation et de surveillance de ce stockage nécessitera l'alimentation électrique de capteurs installés à 500 mètres de profondeur, dans les alvéoles de stockage des déchets radioactifs. Pour cela, les recherches actuelles privilégient des systèmes autonomes par rapport à des dispositifs par câbles qui imposeraient non seulement une intrusivité importante du fait du passage des câbles au travers de différentes barrières du stockage (alvéoles, scellements et roche environnante), mais également des risques d'altération des câbles dans le temps (coupure notamment).

Les batteries nucléaires ont attiré l'intérêt des chercheurs depuis les premières phases du développement nucléaire en particulier du fait de leur longue durée de vie potentielle et de leur autonomie. Ces dernières décennies, la technologie dominante a été celle des Générateurs Thermoélectriques à Radio-isotopes (RTG en anglais) qui convertissent la chaleur issue de la désintégration des radio-isotopes en électricité via « l'effet Seebeck ». Les RTG ont déjà été employés avec succès lors de missions spatiales mais également pour des applications terrestres (approvisionnement en énergie de certains phares, de balises costales ou de stations météo à distance). Dans ces systèmes, différents isotopes comme le plutonium 238 et surtout le strontium 90 ont été utilisés comme sources de chaleur. Ces deux éléments sont toutefois difficiles à obtenir et peuvent présenter un risque de prolifération.

Dans le cadre de ses activités de retraitement du combustible nucléaire usé, Orano (anciennement Areva) est amené à récupérer notamment de l'américium 241 : ce radioélément constitue une source de puissance thermique bien moindre que le plutonium 238 mais sa demi-vie est en revanche beaucoup plus étendue, assurant une production d'énergie à long terme.

OBJECTIFS

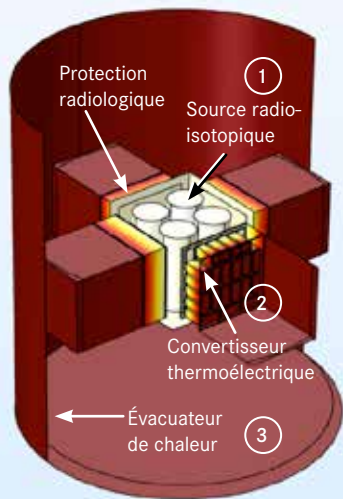
Le projet RTG est un projet de recherche industrielle dont l'objectif principal est de concevoir et fabriquer un prototype inactif (c'est-à-dire avec une source radioactive simulée) de générateur autonome isotopique (« RTG ») fonctionnant avec de l'américium 241.

L'américium 241 n'a jamais été utilisé pour constituer la source chaude d'un RTG si bien que la réalisation de ce nouveau RTG requiert en amont de repenser la conception des systèmes déjà existants. Il sera ainsi nécessaire d'étudier les transferts thermiques entre le RTG et son environnement, le vieillissement et la robustesse de l'équipement, les possibilités d'améliorer le rendement énergétique, les moyens d'accumuler l'électricité produite entre deux mesures ou transmissions, les conditions d'extraction sélective de l'américium à La Hague, puis de sa transformation... La sécurité et la protection des intervenants et de l'environnement seront bien entendu également étudiées.

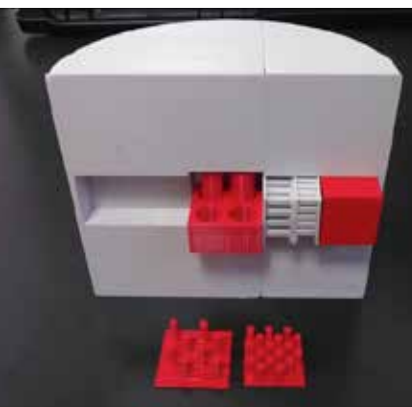
DÉROULEMENT

Un RTG est constitué de trois sous-ensembles principaux (**Figure 1**) :

1. Une source radio-isotopique (américium 241). Ce sous-ensemble est le plus souvent constitué du radio-isotope sous forme de matériau



► Figure 1 : Sous-ensembles du RTG



► Figure 2 : Modèle de RTG réalisé par impression 3D - à des fins d'illustration seulement

composite et d'un revêtement de protection en respect avec la réglementation.

2. Des convertisseurs thermoélectriques (transformation de la chaleur émise par les radioéléments en électricité) disposés entre la source radio-isotopique (1) et le dissipateur de chaleur (3)

3. Un dissipateur de chaleur afin d'évacuer la puissance thermique non convertie en électricité (environ 95 %). Un isolant thermique placé entre la source radio-isotopique et le dissipateur de chaleur permettra de minimiser les pertes.

La première étape du projet sera de concevoir un convertisseur thermoélectrique (2) fonctionnant à l'américium, en travaillant en particulier sur les matériaux à utiliser pour permettre une transformation optimale de la chaleur émise en électricité (métaux semi-conducteurs). En effet, ces matériaux sont sensibles à la température de fonctionnement.

Dans un deuxième temps, l'assemblage des thermocouples entre eux sera modélisé pour aboutir au schéma du système complet.

Puis, selon les spécifications fournies par cette étape de conception, la fabrication de la source d'américium (1) sera étudiée (séparation de l'américium, transformation et façonnage). Le projet définira également les tests (actifs, dans un laboratoire à définir ayant la capacité technique et administrative de manipuler des quantités significatives de matière) qu'il conviendra de mener pour valider le vieillissement du système dans un environnement chauffant et irradiant.

Enfin, sur la base des études de conception, un prototype inactif (avec une source thermique électrique simulant des pastilles d'américium) du système complet sera produit, et pourra servir à des tests de validation.

Ces 4 étapes seront réalisées sur une durée globale de 30 mois.

RÉSULTATS ATTENDUS

Innovation

La conversion thermoélectrique est un phénomène connu depuis plus d'un siècle, mais

son faible rendement a restreint son utilisation à quelques marchés de niche.

L'innovation de ce projet est double : elle réside d'une part dans une conception nouvelle et complète des sous-systèmes du RTG - en particulier du fait de l'utilisation de l'Américium 241 (source qui n'a jamais été étudiée pour la réalisation d'un RTG). D'autre part, les performances attendues du produit seront entièrement revues afin de disposer d'un rendement optimal sur une durée encore plus importante que les modèles réalisés dans le passé.

Impact économique

Ce projet est réalisé avec le concours de la PME HotBlock OnBoard et contribue ainsi à son développement vers les marchés du transport et des applications industrielles en général puisqu'il s'agit d'améliorer la récupération d'énergie thermique.

Toutefois, il n'est pas prévu à ce stade de mettre en place de générateurs à l'américium pour le stockage des déchets radioactifs.

Impact pour la gestion des déchets radioactifs

L'américium, aujourd'hui considéré comme déchet, trouverait ici une utilisation au sein du stockage Cigéo auquel il est destiné dans tous les cas. Le projet RTG propose ainsi de valoriser ce radioélément dans le secteur nucléaire.

Le succès du projet permettrait de proposer une solution d'alimentation en énergie de Cigéo pendant sa phase de surveillance.

APPLICATION ET VALORISATION

Le secteur spatial attend depuis longtemps le développement de générateurs à l'américium, plus lourds que ceux fonctionnant au plutonium 238 mais probablement moins chers. Des premiers échanges avec l'Agence Spatiale Européenne (ESA) sont en cours en vue d'une possible exploitation pour des missions spatiales.

D'autres agences de gestion de stockage de déchets radioactifs, à l'étranger, pourraient également être intéressées par cette application.