



Electricité de France R&D
Département OSIRIS
7 boulevard Gaspard Monge
92120 PALAISEAU

Proposition de stage

« Optimisation du problème de cycle de combustible nucléaire par des algorithmes de recherche arborescente »

Descriptif :

Les approches de type MCTS (**Monte-Carlo Tree Search**) constituent un sous-domaine des méthodes d'**Intelligence Artificielle**. Les MCTS sont adaptés à la recherche de solutions de très bonne qualité pour des problèmes mathématiques présentant un très grand espace de recherche. Il s'agit notamment de problèmes pour lesquels les méthodes exactes sont inopérantes tandis que les heuristiques ne peuvent fournir de solutions de très bonne qualité. Ces méthodes MCTS [1], qui datent du milieu des années 2000, ont récemment connu un regain de popularité dû à leur emploi, en combinaison avec des réseaux de neurones et du Q-Learning, dans le logiciel **ALPHAGO** de Google/DeepMind qui a battu le champion du monde de Go.

Le principe de ces algorithmes est une exploration partielle de l'arbre de recherche associé au problème, en intégrant des méthodes d'apprentissage interne, cet apprentissage étant basé sur des méthodes de type bandit-manchoth ou variantes (mise à jour de probabilité de tirage par l'expérience), afin d'essayer de privilégier l'exploration des sous-arbres qui ont les meilleures chances de contenir de très bonne solutions. Ce type de méthode a pu être testé sur des problèmes logistiques combinatoires (problèmes apparentés aux problèmes de voyageur de commerce), notamment la variante NRPA des MCTS [2][3].

La gestion de la composition des recharges de combustible pour les tranches nucléaires constitue un problème d'optimisation combinatoire de grande taille. Il est aujourd'hui difficilement traité par des méthodes de programmation linéaire en nombres entiers peu efficaces pour une telle taille de problème ou par des solveurs du commerce proposant des heuristiques. Des linéarisations ont été nécessaires dans la modélisation actuelle du réenrichissement du combustible URT retraité.

Or un intérêt des MCTS pour ce type de problème est de pouvoir traiter explicitement les non-linéarités. Ils permettent également de prendre en compte des critères d'optimisation multi-objectifs lexicographiques, ce qui est le cas ici car on cherche à maximiser ou minimiser des quantités de différents types de combustibles pour différents pas de temps, avec des niveaux de priorité adaptés. Le problème comportant des variables entières, le stage nécessitera d'adapter la méthode à un problème à variables mixtes (continues et discrètes). Les tirages faits lors des simulations de Monte-Carlo devront ainsi prendre en compte non seulement des lois de probabilités discrètes mais aussi des densités de probabilité, avec possiblement des **probabilités conditionnelles** pour tenir compte de l'éventuelle dépendance des variables ;

Déroulement du stage :

Un premier travail de bibliographie sera nécessaire, puis une adaptation de la méthode et une formulation tenant compte des contraintes spécifiques du problème. Enfin une implémentation et des tests numériques devront être effectués, sur des données représentatives des problèmes réels à résoudre. Une suite sous forme de thèse pourrait être envisagée.

Références :

- [1] Tristan Cazenave, 'Nested Monte-Carlo Search', in IJCAI , ed., Craig Boutilier, pp. 456–461, (2009)
- [2] Application of the Nested Rollout Policy Adaptation Algorithm to the Traveling Salesman Problem with Time Windows", Tristan Cazenave, Fabien Teytaud. LION 2012, pp. 42-54, LNCS 7219, Paris, January 2012.



Electricité de France R&D
Département OSIRIS
7 boulevard Gaspard Monge
92120 PALAISEAU

- [3] Christopher D. Rosin, 'Nested rollout policy adaptation for Monte Carlo Tree Search', in IJCAI , pp. 649–654, (2011).

Conditions matérielles :

- Le stagiaire sera encadré par J-Y. Lucas, Chercheur Expert à EDF, Triboulet Thomas, Ingénieur Chercheur à EDF et Tristan Cazenave, professeur au LAMSADE, Paris Dauphine.
- Lieu du stage : EDF R&D ; Palaiseau.
- Durée : 4 à 6 mois. Rémunération suivant diplôme.
- Profil : niveau Master en ou 3ème année école d'ingénieurs
- Compétences : Optimisation et statistique, autonomie en programmation (C/C++, java ou python).

Renseignements complémentaires :

Jean-Yves LUCAS tél : 01.78.19.39.27
Thomas TRIBOULET tél : 01.78.19.39.10

E-mail : jean-yves.lucas@edf.fr
E-mail : thomas.triboulet@edf.fr