

# Etablissement de plans de chargement des cœurs de Réacteurs à Eau Pressurisée (REP) à l'aide de méthodes avancées

Contact : Nicolas Slosse ([nicolas.slosse@tractebel.engie.com](mailto:nicolas.slosse@tractebel.engie.com)), Pierre-Etienne Labeau ([pierre.etienne.labeau@ulb.be](mailto:pierre.etienne.labeau@ulb.be))

La réalisation de plans de chargement des cœurs des réacteurs à eau pressurisée fait l'objet d'un soin particulier de la part de l'ingénieur afin de garantir la sûreté en fonctionnement du réacteur, ainsi que d'obtenir les performances économiques attendues en termes de durée de cycle, d'épuisement de décharge, etc.

L'approche traditionnelle, consistant à réaliser ces plans de chargement « à la main », repose essentiellement sur une approche de type « essai-erreur » qui est par essence chronophage et potentiellement sous-optimale.

Compte tenu de ce constat, plusieurs approches basées sur des méthodes d'optimisation méta-heuristiques (telles que le recuit simulé ou les algorithmes génétiques) ont été proposées dans les années 1990/2000 par différents centres de recherches. Bien que ces méthodes soient maintenant intégrées dans la plupart des logiciels d'aide à la réalisation de plans de chargement (par exemple le logiciel ROSA développé par NRG<sup>1</sup>), elles sont loin de donner satisfaction et restent associées à de longs temps de calcul (typiquement plusieurs heures, voire davantage). De plus, celles-ci n'offrent en général pas de garantie de convergence.

Le but de ce mémoire est de revisiter cette thématique à l'aide des outils disponibles en 2023, et en particulier d'étudier les possibilités offertes par :

- L'emploi de modèles de substitution (*surrogate models*)
- La programmation par contrainte

L'emploi d'un modèle de substitution permet de remplacer la très coûteuse résolution de l'équation de diffusion pour le cœur complet par une fonction plus simple dont le coût d'évaluation est quasiment nul, moyennant une perte de précision qui doit se montrer acceptable. Cette fonction peut être un réseau de neurones ou un polynôme dont les paramètres sont ajustés sur base d'un grand nombre de données générées en amont. Le développement d'un modèle de substitution rapide et précis peut se montrer déterminant par rapport à la stratégie d'optimisation mise en place.

La programmation par contrainte est une méthode d'optimisation faisant partie de la famille des méthodes déterministes au même titre que la programmation linéaire (méthode du SIMPLEX). Par rapport à cette dernière, la programmation par contrainte possède l'avantage-clef de pouvoir s'attaquer à des problèmes d'optimisation incluant n'importe quel type de non-linéarité, et donc de pouvoir intégrer un ou plusieurs modèle(s) de substitution. Par ailleurs, cette méthode a été récemment testée dans le cadre d'un exercice portant sur l'optimisation du plan de chargement de conteneurs de combustible usagé. Pour cet exemple précis, elle s'est montrée bien plus efficace que la programmation linéaire traditionnelle (gain de performance d'un facteur 100), l'algorithme génétique s'étant montré quant à lui incapable de fournir une réponse valide en un temps acceptable pour ce type d'exercices.

---

<sup>1</sup> Nuclear Research and Consultancy Group, l'équivalent néerlandais du SCK-CEN.