

Planification et gestion des flux de déchets issus du démantèlement d'installations nucléaires

Anne-Laure Ladier¹, Samuel Vercraene¹, Vincent Cheutet¹, Rémi Dachicourt²

¹ Université de Lyon, INSA Lyon, laboratoire DISP EA 4570

{anne-laure.ladier, samuel.vercraene, vincent.cheutet}@insa-lyon.fr

² Altran Research, Aix-en-Provence

remi.dachicourt@altran.com

Mots-clés : *Démantèlement, industrie nucléaire, planification, planification de projet sous contrainte de ressource, planification de projet stochastique, simulation à événements discrets*

1 Introduction

De nombreuses installations nucléaires, en France et dans le monde, sont arrivées en fin de vie ou sur le point d'y arriver. Leur démantèlement et l'élimination de toute trace de présence de matières radioactives sur le site (« retour à l'herbe ») représente donc un enjeu majeur du secteur de l'énergie. Ce processus génère des déchets qu'il faut gérer depuis leur dépose jusqu'au stockage via les filières appropriées ; la chaîne logistique des déchets est donc complexe et génère des problématiques de planification et de gestion spécifiques à l'industrie du nucléaire.

Notre objectif à moyen terme est de développer un outil « métier » d'aide à décision, destiné à aider les grands donneurs d'ordre du nucléaire pour la planification et la gestion des flux de déchets issus du démantèlement. L'outil sera utilisé en phase d'avant-projet pour planifier et tester la chaîne en amont de la phase de réalisation des travaux, puis pour le pilotage et la gestion des opérations de démantèlement.

Le travail détaillé ici correspond à une étude préliminaire visant à :

- expliciter le problème et les contraintes métier spécifiques à l'industrie du nucléaire, qui sont peu abordées pour le moment dans la littérature ;
- identifier les problèmes qu'il est possible de traiter par programmation mathématique, et les résoudre grâce à des techniques adaptées ;
- modéliser la chaîne logistique des déchets afin de pouvoir simuler les flux.

2 Problème de planification déterministe

Le démantèlement génère des déchets, que l'on regroupe en lots en fonction de leur nature, provenance, caractéristiques physico-chimiques et radiologiques. Connaissant ces caractéristiques, un expert peut déterminer la chaîne de traitement à mettre en place pour traiter puis évacuer les déchets [3]. Cette chaîne, de type *flow shop*, est composée de différentes unités de traitement (UT) : voir l'exemple de chaîne à la figure 1. Avant le traitement proprement dit,

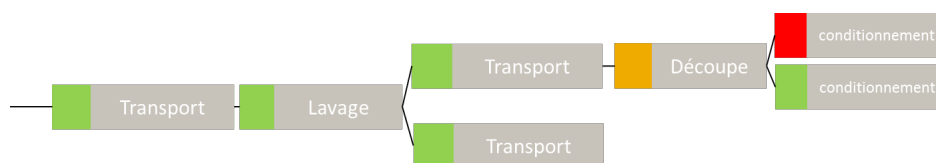


FIG. 1 – Chaîne de traitement utilisant quatre UT (transport, lavage, découpe, conditionnement)

le lot de déchets doit nécessairement passer dans une zone d’entreposage tampon spécifique à l’UT, dont la capacité est limitée. Le temps de traitement du lot sur une chaîne de traitement dépend du nombre d’équipes affectées aux UTs, de la taille du lot, et de la cadence de traitement pour chaque UT. L’objectif est de planifier le traitement d’un ensemble de lots de déchets en déterminant à partir du volume des lots à traiter, le temps passé par chaque lot sur sa chaîne de traitement, et le nombre d’équipes à affecter à chaque UT. On cherche à séquencer les opérations et à déterminer le temps nécessaire au traitement de l’ensemble des lots de déchets.

La première étape de notre travail consiste donc à formuler ce problème comme un cas particulier de planification de projet sous contraintes de ressources [1], minimisant le *makespan*. La résolution se fera sur des jeux de données fournis par notre partenaire industriel.

3 Problème de planification stochastique

Les données concernant la volumétrie, ou encore les caractéristiques physico-chimiques ou radiologiques, ne sont en réalité que des estimations : elles ne peuvent pas être connues avec précision tant que les opérations n’ont pas commencé. Découvrir un nouveau volume de déchets nécessite d’adapter la chaîne de traitement ou de renvoyer les déchets découverts vers une chaîne adaptée à leurs caractéristiques. En conséquence, les durées de chacune des activités (temps de traitement de chaque lot sur une chaîne) sont stochastiques. On cherche ainsi à établir un planning le plus robuste possible à des modifications sur les données d’entrée, en particulier les volumes et caractéristiques des déchets.

La seconde étape de notre travail consiste donc à adapter le modèle formulé précédemment afin de prendre en compte le fait que certaines données d’entrée sont stochastiques [2], et de mettre en place des méthodes de résolution adaptées.

4 Simulation de la chaîne de traitement des déchets

Un modèle de simulation à événements discrets (utilisant FlexSim, www.flexsim.com) est en cours de développement pour permettre de représenter les flux sur l’ensemble de la chaîne de traitement, et d’y ajouter la dimension stochastique. L’intérêt est multiple :

- permettre d’évaluer, par la pratique et avec différents niveaux de variabilité des données d’entrée, la robustesse des plannings obtenus par programmation mathématique ;
- présenter le planning « en action » sous une forme immédiatement compréhensible par les experts métier
- permettre de calculer l’ensemble des indicateurs de performance pertinents pour les planificateurs (état de remplissage des espaces d’entreposage tampon, quantité de consommables nécessaires, quantité de déchets produits...);
- fournir une aide à la décision pour la replanification « en temps réel », qui peut s’avérer nécessaire au fil de l’eau mais n’est pas nécessairement possible par programmation mathématique, à cause de temps de calcul trop importants.

Références

- [1] Christian ARTIGUES, Sophie DEMASSEY et Emmanuel NÉRON : *Resource-Constrained Project Scheduling : Models, Algorithms, Extensions and Applications*. ISTE. Wiley, 2013.
- [2] Willy HERROELEN et Roel LEUS : Project scheduling under uncertainty : Survey and research potentials. *European Journal of Operational Research*, 165(2):289–306, 2005.
- [3] Kwan-Seong JEONG, Byung-Seon CHOI, Jei-Kwon MOON, Dong-Jun HYUN, Jong-Hwan LEE, Geun-Ho KIM, Ho-Sang HWANG, Seong-Young JEONG et Jung-Jun LEE : Risk reduction approach to decommissioning hazards of nuclear facilities. *Annals of Nuclear Energy*, 63:382–386, 2014.