

Optimisation de la planification des maintenances dans les ouvrages hydrauliques

Quentin Jacquet^{1,2}, Sandie Balaguer², Wim Van Ackooij²

¹ ENSTA Paris, 91120 Palaiseau, France
quentin.jacquet@ensta-paris.fr

² EDF Lab, 91120 Palaiseau, France
{prenom.nom}@edf.fr

Mots-clés : *Planning de maintenance, énergie hydraulique, optimisation discrète, décomposition de Benders, méthode des faisceaux*

1 Contexte

L'énergie hydraulique est utilisée en France depuis plusieurs décennies et elle est devenue au fil du temps indispensable. En effet, outre sa fonction de régulateur du réseau, elle contribue aujourd'hui en grande partie à la création d'énergie verte. Cependant, l'efficacité des usines dépend fortement du soin accordé aux installations et de l'expertise dans leur exploitation. Aussi, chaque année et dans chaque usine des différentes vallées hydrauliques, une série de maintenances est à prévoir. Le travail réalisé durant ce stage a pour but de trouver le planning optimal de ces maintenances permettant de ne pas trop perturber la production hydroélectrique et *in fine* d'espérer le gain le plus important possible.

2 Aperçu de la littérature

Le problème de planification des maintenances n'est pas spécifique à l'hydraulique et apparaît en réalité dans tous les secteurs de la production d'énergie. On pourra se référer à [2] pour une revue de la littérature. Sur le cas précis de l'hydraulique, de récents travaux ont été effectués. La modélisation de [5] est assez similaire, tant au niveau du modèle que de sa résolution par décomposition mais les apports en eaux sont supposés être déterministes. A l'inverse, [3] prend en compte cette incertitude par une approche "multi-stages" mais la méthode ne permet pas de prendre en compte aussi finement les contraintes métiers sur la planification. Notre travail cherche alors à réunir ces deux aspects pour obtenir un modèle plus réaliste.

3 Travail effectué

On appelle *Actif* le gain annuel (en espérance) issu de la production hydroélectrique d'une vallée. Nous souhaitons alors maximiser cet actif en respectant les impératifs de maintenances. EDF dispose déjà d'un outil de programmation dynamique permettant le calcul de l'actif mais pour un planning de maintenance donné. On va alors se servir de cette outil comme oracle pour élaborer des méthodes de type plans sécants. Un premier travail théorique a été de déterminer sous quelles conditions l'actif décrivait une fonction concave du planning puis de calculer le sous-gradient associé. On pourrait alors résumer les preuves de terminaison des algorithmes par la proposition suivante

Théorème 1 *Pour la modélisation de base, les algorithmes de coupes proposés convergent globalement en un nombre fini d'itérations.*

L’algorithme des plans sécants étant connu pour être plutôt lent (voir [4]), nous nous tournons alors vers une méthode des faisceaux où dans le cadre unifié de [1], nous testons plusieurs régularisations. Le tableau 1 montre une réduction de plus de la moitié du nombre d’itérations avec les méthodes stabilisées, et dans tous les cas un gain par rapport à la solution trouvée manuellement.

Méthode	Actif	Gain (rel)	Nb iter
Manuellement	84.44	-	-
Plans sécants	84.84	0.47%	>70
Faisceaux - 1ère régularisation	84.86	0.51%	30
Faisceaux - 2ème régularisation	84.87	0.51%	27

TAB. 1 – Résultats sur la vallée de l’Ain

Les résultats avec les méthodes stabilisées sont très satisfaisants, cependant ils impliquent de résoudre à chaque itération un problème MIQP¹. En travaillant sur le modèle et par une reformulation astucieuse du problème, on peut réécrire de manière exacte notre problème par une formulation linéaire en nombre entiers, et ainsi s’affranchir de l’utilisation d’un solveur commercial puissant.

4 Conclusions et perspectives

Ce travail montre comment les méthodes de coupes, couplées avec un outil de programmation dynamique, permettent le calcul de plannings optimaux. Par des modélisations de plus en plus affinées, on aboutit à une convergence en un nombre faible d’itérations et des plannings optimaux de très bonnes qualités sur les deux vallées de test. Les recherches vont continuer sur ce sujet pour permettre de livrer un outil complet et opérationnel. Pour cela, il convient de traiter l’ajout de contraintes supplémentaires qui brisent la régularité du problème. Certaines approches ont déjà été abordées dans ce stage, notamment pour gérer les vallées avec pompes, et il convient d’en poursuivre l’étude.

Références

- [1] Antonio FRANGIONI. “Generalized Bundle Methods”. In : *SIAM Journal on Optimization* 13 (jan. 2002). DOI : 10.1137/S1052623498342186.
- [2] Aurelien FROGER et al. “Maintenance scheduling in the electricity industry : A literature review”. In : *European Journal of Operational Research* 251 (juin 2016), p. 695-706. DOI : 10.1016/j.ejor.2015.08.045.
- [3] Arild HELSETH, Marte FODSTAD et Birger MO. “Optimal Hydropower Maintenance Scheduling in Liberalized Markets”. In : *IEEE Transactions on Power Systems* PP (mai 2018), p. 1-1. DOI : 10.1109/TPWRS.2018.2840043.
- [4] Yurii NESTEROV. *Introductory Lectures on Convex Optimization. A Basic Course*. 2004. DOI : 10.1007/978-1-4419-8853-9.
- [5] Jesus A. R. SARASTY. “Mixed-integer programming approaches for hydropower generator maintenance scheduling”. Thèse de doct. Université de Montréal, 2018.

1. Problème quadratique en nombres entiers