

Modèle pour la minimisation du coût de l'énergie en utilisant des niveaux de marnage avec des créneaux supplémentaires

David Wu¹, Viet Hung Nguyen², Michel Minoux¹

¹ Sorbonne Université, LIP6, Paris, France
{david.wu,michel.minoux}@lip6.fr

² Université Clermont Auvergne, LIMOS, Aubière, France
vhnguyen@isima.fr

Mots-clés : réseau d'eau, niveau de marnage, programmation en nombres entiers.

1 Introduction

Nous abordons le problème de la minimisation du coût énergétique généré par les opérations de pompage pour alimenter un château d'eau surélevé, satisfaisant les demandes des consommateurs, à partir d'une source dans des systèmes de distribution d'eau (SDE).

Les petits SDE ruraux favorisent l'utilisation d'un contrôleur simple comme celui des *niveaux de marnage*, où pour chaque château d'eau, les pompes se mettent automatiquement en marche ou à l'arrêt lorsque le niveau d'eau atteint une valeur donnée. Le niveau de déclenchement des pompes est appelé *marnage bas* et le niveau d'arrêt des pompes est appelé *marnage haut*. Ainsi, seules quelques variables de décision sont nécessaires pour décrire la gestion.

Les marnages connus dans la littérature sont le Niveau de Marnage Fixe (noté NMF) et le Niveau de Marnage avec Différentiation Temporelle (noté NMDT), dans lequel un couple de marnage haut et bas est défini par période dite *heures pleines* (HP, de 6 à 22 heures) ou *heures creuses* (HC, de 22 à 6 heures) [1]. Pour atteindre un profit maximal (en gardant un nombre correct de changements d'état des pompes), le Niveau de Marnage avec Différentiation Temporelle utilisant des Créneaux Supplémentaires (NMDTCS) subdivise les périodes et utilise deux couples de marnages par période (HP ou HC) [2]. En générale, durant la première partie le couple de marnage minimise la quantité pompée, puis durant la deuxième partie l'autre couple de marnage guide le niveau d'eau au plus bas (resp. haut) à la fin de HP (resp. HC). Pour HP et pour HC, la durée des deux parties est une variable à déterminer.

2 Modèle pour NMDTCS

Le problème NMDTCS est seulement résolu par une énumération totale ou des algorithmes évolutionnistes [2]. Pour un marnage donnée il est facile de calculer le coût électrique associé, mais les contraintes d'un modèle de programmation en nombre entier sont compliquées à exprimer sans simplification. Nous proposons un premier modèle de programmation en nombre entier pour la minimisation de NMDTCS pour un château d'eau équipé d'une seule pompe sur une journée.

Soient T la période d'étude, x_t le booléen d'état ON/OFF de la pompe en $t \in T$, q_t le débit de la pompe en $t \in T$, v_t le volume d'eau dans le château d'eau en $t \in T$. Compte tenu des notations précédentes, la gestion de base d'un château d'eau peut être formulée comme suit :

$$\min \sum_{t \in T} C_t * PC(x_t, q_t) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } v_{t+1} = v_t + q_t - D_t, \forall t \quad (2)$$

$$q_t = Q * x_{pt}, \forall t \quad (3)$$

L'objectif (1) minimise le coût énergétique du pompage où C_t est le prix de l'électricité et PC est la puissance consommée. La conservation de flot est assurée par (2), où D_t est la demande. Le débit fourni est garanti par (3), où Q est le débit maximal de la pompe.

Soit mb_c (resp. mh_c) le marnage bas (resp. haut) de la période temporelle (HP ou HC) en volume (pas en hauteur d'eau). Soient les booléens l_t et u_t indiquant si le niveau d'eau est inférieur ou supérieur aux marnages en question à la fin de t . Ainsi, suivant l_t et u_t on obtient l'état de la pompe à t comme suit :

$$-l_t * \underline{v} \leq (v_t - D_t) - mb_t \leq (1 - l_t) * \underline{v}, \forall t \quad (4)$$

$$-u_t * \bar{v} \leq mh_t - (v_t + Q - D_t) \leq (1 - u_t) * \bar{v}, \forall t \quad (5)$$

$$x_{t-1} + l_t - u_t \leq 2x_t \leq x_{t-1} + l_t - u_t + 1, \forall t \quad (6)$$

Où \underline{v} et \bar{v} sont les volumes minimal et maximal qu'on s'autorise dans le château d'eau. Si $l_t = 1$ ou $u_t = 1$ alors la pompe se lance ou s'éteint, sinon on garde l'état d'avant.

Le NMDRCS définit des nouvelles périodes, appelées *fin-pleine* et *fin-creuse*, de durées Dfp et Dfc . Soit est_t^{fp} (resp. est_t^{fc}) le booléen indiquant si t fait parti de *fin-pleine* (resp. *fin-creuse*) au sein d'une instance d'heure pleine (resp. heure creuse), et respecte les contraintes :

$$\sum_{t \in T[HP][k]} est_t^{fp} = Dfp, \forall k \in HP \quad (7)$$

$$\sum_{t \in T[HC][k]} est_t^{fc} = Dfc, \forall k \in HC \quad (8)$$

$$est_t^{fp} \leq est_t^{fp} + 1, \forall k \in HP \forall t \in T[k][HP] \quad (9)$$

$$est_t^{fc} \leq est_t^{fc} + 1, \forall k \in HC \forall t \in T[k][HC] \quad (10)$$

Où $T[HC]$ (resp. $T[HP]$) est l'ensemble des pas de temps qui sont en HC (resp. HP), k est la k^{eme} instance de HC (resp. HP) et $T[HC][k]$ (resp. $T[HP][k]$) est l'ensemble des pas de temps de la k^{eme} instance de HC (resp. HP).

Dans NMDRCS le marnage de t dépend de si t fait partie d'une des nouvelles périodes créées, le marnage est obtenu par les contraintes quadratiques suivantes, facilement linéarisable :

$$mb_t = \underline{v}, \forall t \in T[HP] \quad (11)$$

$$mb_t = (1 - est_t^{fc}) * \underline{v} + est_t^{fc} * mb_{fc}, \forall t \in T[HC] \quad (12)$$

$$mh_t = (1 - est_t^{fp}) * \bar{v} + est_t^{fp} * mh_{fp}, \forall t \in T[HP] \quad (13)$$

$$mh_t = \bar{v}, \forall t \in T[HC] \quad (14)$$

Ainsi, une gestion avec NMDTCS est définie par le modèle (1-13).

3 Conclusions et perspectives

Ce premier modèle de NMDTCS permet de faire des premières comparaisons avec les autres méthodes. Nous présenterons des résultats numériques sur des données réelles qui montrent que l'utilisation du modèle améliore fortement la résolution du problème par rapport à l'énumération complète.

L'évolution du modèle doit pouvoir gérer une période d'étude T plus longue, un pas de temps t plus fin, autoriser l'(dés)activation de la pompe au milieu d'un pas de temps t et/ou la gestion de plusieurs pompes. Par la suite, une version robuste du problème peut aussi être étudiée.

Références

- [1] Angela Marchi, Angus R Simpson, and Martin F Lambert. Optimization of pump operation using rule-based controls in EPANET2 : a new ETTAR toolkit and correction of energy computation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, page 38, 2016.
- [2] Claudia Quintiliani and Enrico Creaco. Using Additional Time Slots for Improving Pump Control Optimization Based on Trigger Levels. *Water Resources Management*, 33(9) :3175–3186, July 2019.