

Optimisation de réseaux d'eaux polluées

Marianne Boix, Ludovic Montastruc, Catherine Azzaro-Pantel,
Luc Pibouleau, Serge Domenech

LGC-CNRS-INPT ; Université de Toulouse ; 4, Allée Emile Monso, BP 84234, F-31432 Toulouse, France
Marianne.Boix@ensiacet.fr

Mots-Clés : *allocation, réseaux d'eaux, optimisation multicritère, MILP, méthode lexicographique.*

L'eau est utilisée dans de nombreux procédés des branches les plus diverses de l'industrie. Ces dernières années, la pénurie naissante des ressources en eau et les problèmes de pollution environnementale s'aggravant, économiser l'eau fraîche et réduire le rejet des eaux usées font partie des objectifs premiers de l'industrie des procédés. De plus, la croissance économique et l'industrialisation ont pour conséquence une consommation toujours plus excessive d'eau. Suite aux problèmes liés à l'environnement, les règlements en matière de rejet d'eaux industrielles usées (concentrations, normes) sont sévères et obligent les industriels à traiter leurs effluents. Les nouvelles directives européennes sont de plus en plus draconiennes : on envisage un rejet zéro d'ici 2020 (directives 2455/2001/CE et 2000/60/CE).

Certains composés, qui seront appelés polluants dans le texte, sont ajoutés à l'eau au cours d'une étape d'un procédé et doivent ainsi être ôtés par tout un processus de traitement avant que les eaux usées ne soient rejetées dans l'environnement. De plus, au sein des industries aussi diverses soient-elles, l'eau est nécessaire pour laver les équipements et les systèmes de filtration. L'industrie des procédés est la plus grande consommatrice d'eau fraîche. La consommation globale d'eau fraîche a été multipliée par 4 dans les cinquante dernières années. En 2000, 5000 Km³ d'eau fraîche ont été utilisés dont 70% pour l'agriculture, 20 % pour l'industrie et 10% pour les usages domestiques. L'industrie papetière et les raffineries de pétrole sont les plus consommatrices d'eau et d'énergie. De tous les consommateurs d'eau, le plus grand impact environnemental est dû aux industries, à cause de la variété, du volume et de la toxicité des polluants et, dans la plupart des cas, par l'absence d'un traitement approprié avant les rejets.

Des réseaux optimaux en termes d'utilisation d'eau peuvent considérablement réduire la consommation des eaux et leur rejet lorsqu'elles sont usées. Ceci est très important, notamment dans les pays en voie de développement. De ce fait, on trouve une grande quantité de travaux relevant de cette thématique au cours des quinze dernières années. Indépendamment de l'efficacité du processus de traitement, la minimisation de l'eau entrant dans un réseau industriel, appelée eau fraîche, est d'une grande importance tant au niveau environnemental qu'économique. Des gains significatifs peuvent être obtenus en optimisant un réseau d'eau constitué de procédés demandeurs d'eau et d'unités de traitement (ou de régénération). Enfin, un circuit fermé, impliquant un rejet zéro d'eaux usées, pourra être atteint à terme.

Les problèmes de réseaux d'eau ont été résolus par différentes techniques. Elles incluent des méthodes graphiques, en impliquant souvent l'analyse du pincement hydraulique, des résolutions par le biais de programmation mathématique et enfin la synthèse des réseaux d'échangeurs de masse.

Dans cet article, seuls les réseaux d'eau monopolluant ont été résolus. Cependant, une stratégie

originale de traitement des réseaux d'eau multipolluants est formulée de façon linéaire après un choix adéquat des variables. Le problème mixte résultant (les variables binaires traduisent la présence ou l'absence de connexions dans le réseau) est naturellement résolu par une méthode MILP (Mixed Integer Linear Programming). Cette approche est efficace car elle ne nécessite pas d'initialisation particulière. De plus, l'optimisation des réseaux est de plus en plus orientée vers les écoparks ce qui signifie que le nombre de variables peut augmenter considérablement, ce qui pénalise beaucoup moins une méthode linéaire qu'une procédure non linéaire de type MINLP (Mixed Integer Non Linear Programming).

Le problème est abordé sous forme de boîtes noires dans le but de généralisation des cas traités. On appelle réseau en " boîtes noires " une représentation où il est possible de travailler sans se soucier du rôle qu'a chaque procédé au sein du réseau afin de rendre l'approche générique. Seuls quelques paramètres seront fixés mais ceux-ci pourront changer en fonction du cas traité.

Dans l'exemple présenté, le réseau est composé de 10 procédés, 1 unité de régénération et 1 polluant. Le fait d'augmenter le nombre de procédés a pour effet d'augmenter considérablement le nombre d'équations, de contraintes et de variables. Le problème MILP contient 143 variables discrètes, 332 variables continues et 351 équations (contraintes du problème).

Le logiciel choisi pour l'optimisation est le logiciel GAMS© (General Algebraic Modeling System) qui permet une description du modèle indépendante des solutions algorithmiques. De plus, des problèmes de grande taille peuvent s'écrire de façon compacte et des changements dans le programme sont relativement simples à effectuer grâce à un fichier d'entrée interprété. Un autre avantage est de pouvoir changer de solveur selon la nature du problème ou de méthode de résolution sans pour autant changer la structure et l'écriture du programme. Le solveur CPLEX a été utilisé pour résoudre le problème MILP.

Les trois critères que l'on optimise simultanément sont :

- F1 : le débit d'eau fraîche entrant dans le réseau,
- F2 : le débit d'eau à l'entrée des unités de régénération,
- F3 : le nombre d'interconnexions dans le réseau.

En fait, le nombre d'interconnexions variant dans l'intervalle restreint [11,120], on effectue des optimisations bicritères (F1,F2) paramétrées par le nombre d'interconnexions. Cette optimisation est réalisée avec une méthode lexicographique, fondement des méthodes multiobjectif, ϵ -contrainte.

Pour conclure, il est important de noter que les valeurs déterminées au cours de l'optimisation sont les mêmes que celles reportées dans la littérature, la méthode utilisée est donc validée. Enfin, les résultats de cet exemple peuvent être résumés en deux points essentiels :

- la réduction du front de Pareto au fur et à mesure que le nombre de connexions diminue,
- des solutions représentées par des points espacés sur une même droite lorsque le nombre de connexions est réduit, donc lorsque le système est plus contraint.

Cette deuxième remarque met en évidence le fait que lorsque le système est de plus en plus contraint, la discrétisation du front de Pareto apparaît traduisant la diminution du nombre de structures faisables. Enfin, soulignons que cette approche sans initialisation est capable de traiter des problèmes de grande taille, et pourra être dans un futur proche, étendue à l'optimisation de réseaux écoparks, ainsi qu'au traitement de problèmes multi-polluants.