

# Étude de l'apport de bassins contrôlés pour la diminution des inondations suite aux crues \*

Ghita BENCHEIKH<sup>1</sup>, Ayoub TAHIRI<sup>2</sup>, Pascale CHIRON<sup>1</sup>, Bernard ARCHIMEDE<sup>1</sup>, Francis MARTIGNAC<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ecole nationale des ingénieurs, LGP, Tarbes, France

{ghita.bencheikh,pascale.chiron,bernard.archimede}@enit.fr

<sup>2</sup> Compagnie d'aménagement des Coteaux de Gascogne, Tarbes, France

{a.tahiri,f.martignac}@cacg.fr

**Mots-clés :** *Réseaux de transport, problème de flot, optimisation.*

## 1 Introduction

Ce travail concerne la minimisation des inondations par l'utilisation de réservoirs d'écrêtement de crues disposés le long d'une rivière. Au cours de l'évolution de la crue, il est nécessaire de trouver à quel instant quelle quantité stocker ou restituer de chaque réservoir afin de maintenir le débit de la rivière en dessous d'un seuil prédéfini. La théorie des graphes a été utilisée comme outil de modélisation afin de traiter ce problème comme un problème de flot.

## 2 Gestion des réservoirs

Le système rivière-réservoirs est constitué d'un ensemble de  $n$  réservoirs de capacités fixes  $U_i$  répartis géométriquement sur un tronçon de rivière. La résolution du problème est réalisée sur un horizon de temps prédéfini  $1, \dots, H$ . A chaque itération,  $t$ , il s'agit de déterminer la quantité d'eau à stocker/restituer de chaque réservoir, afin d'éviter, lorsque le débit d'entrée est supérieur à un seuil  $Q_{lam}$ , le débordement au niveau de la zone à risques<sup>1</sup>. Ce problème est non déterministe, c'est pourquoi, sans tenir compte de l'évolution future, seul le débit arrivant à  $t$  est considéré [Nouasse, 2015]. Or, les réservoirs sont de capacités finies et ne peuvent couvrir n'importe quelle crue, il se peut qu'ils seaturent avant que la crue arrive à son pic. Pour remédier à ce problème non déterministe, et afin que les décisions prises à chaque itération soient pertinentes, nous supposons connaître à  $t$ , l'estimation des débits entrants durant tout l'intervalle  $I_t = [t, t + k]$  (avec  $k \ll H$ ). Dans ce cas, le sous-problème correspondant est déterministe, et peut ainsi être résolu par une méthode telle que celle que nous présentons dans la section 2.2.

### 2.1 Modélisation

Le système est modélisé à l'aide d'un graphe dynamique  $G = (V, A, \tau', C, U)$ . Avec :

$V = W \cup S \cup P$  : l'ensemble des sommets du graphe, tels que  $S$  et  $P$  représentent l'amont et l'aval de la rivière et  $W$  l'ensemble des réservoirs.

$A$  : l'ensemble des arcs orientés représentant les débits.

$\tau' = \tau \cup \xi$  : l'ensemble des temps de transfert, avec  $\tau$  le temps de transfert d'un réservoir au réservoir suivant et  $\xi$  le temps nécessaire pour que l'eau passe de la porte d'entrée à la porte de sortie d'un réservoir donné.

---

\*Ce travail a bénéficié d'un financement partiel de la Communauté d'Agglomération du Grand Tarbes

1. zone habitée par des humains

$C = C_x \cup C_s$  : l'ensemble des coûts de transport sur l'arc  $e \in A$ , avec  $C_x$  : le coût de débordement d'une unité d'eau et  $C_s$  le coût de stockage dans les réservoirs.

$U$  : l'ensemble des capacités.

Dans ce graphe, le problème de minimisation des inondations se traduit par la recherche d'un flot maximal à coût minimum avec contraintes additionnelles. Nous proposons, après transformation du graphe dynamique en un graphe statique, [Martin, 2008], une formulation mathématique de ce problème sous forme d'un programme linéaire en nombres entiers mixtes ainsi qu'une méthode de résolution.

## 2.2 Méthode de recherche du seuil optimal

Lorsque les prévisions nous informent de l'arrivée d'une crue telle que les réservoirs ne peuvent y faire face, il n'est pas judicieux de commencer le stockage dès que le débit entrant dépasse le seuil  $Q_{lam}$ . Ainsi, nous cherchons, à chaque itération, dans l'intervalle  $[Q_{lam}, Q_{max}^2]$ , le seuil,  $Q'_{lam}$ , à partir duquel il faudrait commencer le stockage pour que les réservoirs puissent absorber le pic de crue. Afin d'utiliser au mieux les réservoirs, nous vérifions également si dans l'intervalle de temps nous pouvons effectuer la restitution d'une quantité d'eau rendant ainsi de l'espace disponible pour un futur stockage.

## 3 Emulation du comportement de la rivière

En réalité des phénomènes purement hydrauliques contribuent aux variations des débits dans les biefs<sup>3</sup> et des temps de transfert. En l'absence de mesures, afin de disposer de valeurs réalistes, nous utilisons le logiciel hydraulique SIC [Baume, 2005] pour émuler le système rivière-réservoirs. A chaque pas de temps, SIC évalue les valeurs des débits devant chaque porte et dans la rivière. Ces valeurs sont utilisées en entrée par nos algorithmes afin d'élaborer en sortie le niveau d'ouverture des portes que SIC appliquera à l'itération suivante.

Plusieurs expériences basées sur la modélisation de la zone de Bastillac située dans la ville de Tarbes, pour laquelle un projet d'implantation de réservoir est à l'étude, ont été réalisées. Les instances générées correspondent aux données mesurées lors d'une précédente crue centennale. Afin de juger le comportement du modèle, d'autres instances générées aléatoirement ont été étudiées (pics de crue et capacité du réservoir multiples, etc.).

## 4 Conclusions et perspectives

Les résultats obtenus sur les instances générées ont mis en évidence l'intérêt et les performances de notre approche comparée à la modélisation proposée dans [Nouasse, 2015]. Des améliorations telles que l'étude de l'impact de la taille de la fenêtre temporelle de prédiction des débits, ou l'étude et la proposition de fonctions de coût de stockage dans le but de protéger les biens présents dans les réservoirs feront l'objet de futurs travaux.

## Références

- [Nouasse, 2015] Houda NOUASSE. Gestion supervisée de systèmes étendus à retards variables cas des réseaux hydrauliques. *Thèse*, Université de Toulouse 2015.
- [Martin, 2008] Martin Skutella An Introduction to Network Flows Over Time.
- [Baume, 2005] Baume, Jean-Pierre and Malaterre, Pierre-Olivier and Belaud, Gilles and Le Guennec, Benoit SIC : a 1D hydrodynamic model for river and irrigation canal modeling and regulation *Métodos numéricos em recursos hidricos, Citeseer 1–81*

---

2. le débit maximum sur la fenêtre temporelle  $I_t$

3. portion de rivière