

Conduite optimale de réseaux de bassins

David FIORELLI¹, Georges SCHUTZ¹

¹Centre de Recherche Public Henri Tudor,
Laboratoire de Technologies Industrielles

29, avenue John F. Kennedy. L-1855 Luxembourg-Kirchberg, Luxembourg.

david.fiorelli@tudor.lu, georges.schutz@tudor.lu

Résumé— Cet article présente une approche pertinente de contrôle en temps réel basé sur une optimisation multi-objectifs qui est appliqué d'une part à un réseau d'eau potable et d'autre part à un réseau d'assainissement au Grand-Duché du Luxembourg. L'idée suggérée est inspirée de la commande prédictive en résolvant à chaque pas de temps un problème d'optimisation. L'accent sera mis sur la détermination de la fonction de coût et le rôle positif et négatif des différents objectifs la composant. Les bénéfices de l'approche proposée seront mis en avant en comparaison avec des approches classiques. L'influence et la sensibilité à l'exactitude des prévisions utilisées par le contrôleur seront également discutées. Enfin une solution d'implémentation pour la mise en œuvre d'un tel contrôle sera présentée.

Mots-clés— Réseaux de réservoirs, commande prédictive, optimisation multi-objectifs, fonction de coût

I. INTRODUCTION

Nous présentons dans ce papier un contrôle basé sur des critères d'optimisation pour des réseaux de réservoirs d'eau. Inspirée de la commande prédictive ce type de stratégie est innovante dans la gestion de réseaux d'eau urbains. La faculté de pouvoir agréger plusieurs objectifs se révèle en effet pertinente pour répondre au mieux à ce type de problèmes. Deux applications ont été étudiées pour lesquelles d'ailleurs la mise en œuvre de ce type de contrôle est en cours de réalisation. Le premier cas est le contrôle des débits effluents des 24 bassins de rétention d'eaux usées et d'eaux pluviales composant un réseau d'assainissement actuellement en construction dans la région Nord-Ouest du Grand-Duché de Luxembourg. Pour le second cas, il s'agit de réguler l'approvisionnement des réservoirs d'un réseau d'eau potable géré par une petite commune luxembourgeoise.

L'approche de contrôle testée sur simulateur est inspirée de la technique de la commande prédictive en résolvant à chaque pas de temps un problème d'optimisation. Le but est de minimiser un critère de performance sur un horizon de prédiction fini en tenant compte des contraintes sur les variables du système [1].

La section II présentera le réseau d'assainissement et le réseau d'eau potable sur lesquels l'approche de contrôle a été évaluée. La section III décrira la formulation mathématique du problème d'optimisation. Les résultats obtenus seront discutés dans la section IV et enfin la section V présentera une solution d'implémentation pour la mise en œuvre d'un tel contrôle.

II. PRESENTATION DES APPLICATIONS

A. Le réseau d'assainissement autour du lac de la Haute-Sûre

Le lac de la Haute-Sûre est situé au Nord-Ouest du Luxembourg. La production d'eau potable à partir de ce lac bénéficie au 2/3 de la population du Grand-Duché ce qui explique pourquoi la qualité des eaux du lac est d'une importance vitale pour ce petit pays. Le nouveau réseau d'égout unitaire (mélange eaux usées domestiques et eaux pluviales) en construction autour du lac composera un ensemble de canalisation reliant 24 déversoirs d'orage vers une station d'épuration (STEP) centrale située en aval du barrage (Fig. 1). La capacité des bassins de rétention variera de 20 à 270m³ et le temps de transport pourra atteindre 2 heures pour les réservoirs les plus éloignés de la STEP. Les principaux objectifs sont d'éviter les déversements des eaux usées directement dans le lac et de réguler le débit à la STEP.

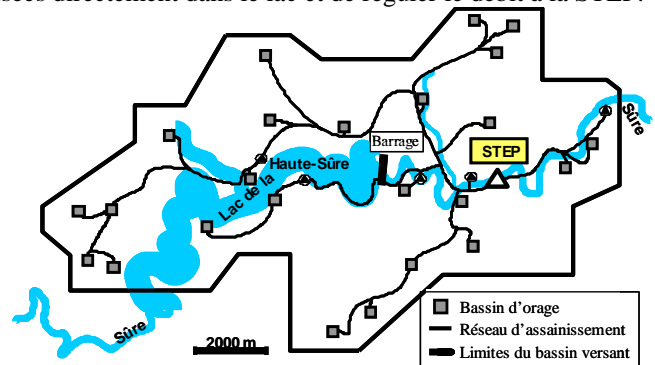


Fig. 1. Le futur réseau d'assainissement

B. Le réseau d'eau potable géré par Wormeldange (L)

La commune de Wormeldange, située dans la région viticole luxembourgeoise sur les rives de la Moselle, gère un réseau composé de 5 réservoirs (Fig. 2) lui permettant d'alimenter en eau potable les 13 villages l'entourant. L'eau potable produite à partir du lac de la Haute-Sûre lui est fournie par un syndicat de distribution d'eau (SIDERE) auquel la commune réserve un certain volume d'eau journalier qu'elle souhaite le plus petit possible sans pour autant devoir le dépasser en cas de pic de consommation.

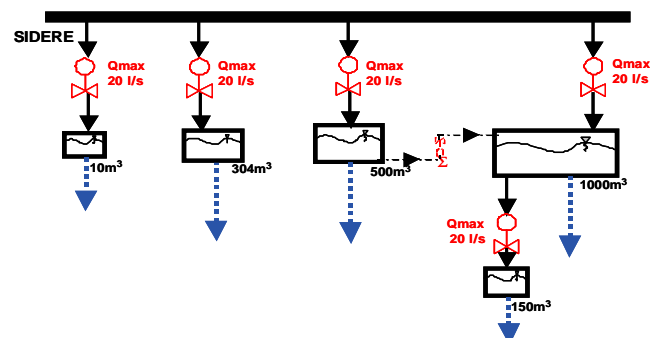


Fig. 2. Le réseau d'eau potable à Wormeldange

III. METHODES

A. Formulation du problème

La commande prédictive repose sur l'existence d'un modèle du processus à piloter. Dans la mesure du possible, un modèle simplifié et linéaire est même souhaitable afin de limiter une trop grande complexité dans la formulation et dans la résolution du problème d'optimisation. [2] a montré que l'usage de fonctions de transfert simples et linéaires est suffisant pour représenter et prendre en compte le comportement de ces systèmes dans ces applications d'autant plus que le pas de temps choisi, 10 ou 15 minutes, autorise une certaine approximation. Chaque bassin ou réservoir est donc modélisé par son équation de conservation de masse (7) et chaque conduite est modélisée par un retard pur représentant son temps de parcours moyen d (5, 9).

Le point essentiel de la stratégie de contrôle présentée réside dans l'établissement de la fonction objective que devra minimiser l'algorithme d'optimisation. Cette fonction de coût est composée des critères, souvent en partie contradictoires, dont le contrôleur devra réaliser le compromis par le biais de coefficients de pondération. L'avantage d'une approche multi-objectifs, par comparaison aux stratégies usuellement employées pour ce type d'application, est de pouvoir décrire explicitement les différents objectifs souhaités et d'intégrer en plus les désirs des gérants des systèmes en amont et en aval du processus à contrôler. Par exemple, si l'administration communale gérant son réseau d'eau potable souhaite uniquement ne pas dépasser la quantité d'eau qu'elle a réservée par jour auprès du syndicat fournisseur, ce dernier aimerait dans la mesure du possible alimenter les bassins le plus constamment possible. De même, si du côté du réseau d'assainissement il est préférable de vider les bassins de rétention le plus rapidement possible, le gestionnaire de la STEP aimerait lui recevoir un débit constant à l'entrée de sa station de façon à rendre plus efficace le traitement de l'eau.

Les objectifs composant la fonction de coût sont très similaires dans les deux applications même si les flux convoyés sont totalement différents (eau usée et eau potable)! On retrouve donc des objectifs traditionnels pour un contrôle d'un réseau de bassins de stockage [3-5] tel que :

- Une répartition homogène dans les réservoirs
- Une conservation d'un débit constant

auxquels se rajoutent des objectifs spécifiques liés à l'application étudiée : par exemple minimisation des déversements pour le réseau d'assainissement ou minimisation des temps de séjours dans les bassins d'eau potable

Cependant, bien qu'il soit facile d'énoncer linguistiquement les objectifs à prendre en compte dans la fonction de coût, les traduire en une expression mathématique et les agréger sous forme d'un problème d'optimisation à un objectif (1) n'est pas toujours chose évidente particulièrement pour le choix des facteurs de pondération liés à chacun d'entre eux.

Pour le réseau d'assainissement par exemple la fonction de coût J est la somme pondérée de trois objectifs :

- distribution homogène des volumes d'eau dans le réseau φ_1 (4)
- débit constant à l'entrée de la station d'épuration φ_2 (5)
- éviter les déversements φ_3 (6)

minimiser

$$J = \sum_{n=t}^{t+Hp} \lambda \varphi_1(n) + \beta \varphi_2(n) + \alpha \varphi_3(n) \quad (1)$$

sous les contraintes

$$c_i(\mathbf{x}) = 0 \quad i \in E \quad (2)$$

$$c_i(\mathbf{x}) \geq 0 \quad i \in I \quad (3)$$

où

$$\varphi_1(n) = \sum_{i=1}^N \left\| V_i(n) - \frac{V_i \max}{\sum_{i=1}^N V_i \max} \sum_{i=1}^N V_i(n) \right\| \quad (4)$$

$$\varphi_2(n) = \left\| y_{ref}(n) - \sum_i^{N_k^*} Out_i(n - d_{i,k}) \right\| \quad (5)$$

$$\varphi_3(n) = \sum_{i=1}^N \| Ov_i(n) - NL \| \quad (6)$$

Avec λ , β et α les coefficients des pondération des objectifs, n les instants pour chaque pas de temps de 10 minutes dans l'horizon de prédiction Hp , i l'indice du bassin, N le nombre total de bassins, $V_i(n)$ le volume d'eau dans le bassin i à l'instant n , $V_i \max$ le volume maximal du bassin i , $Out_i(n)$ le volume sortant du bassin i à l'instant n , N_k^* les indices des bassins s'écoulant directement vers la STEP, $d_{i,k}$ le temps moyen d'écoulement du bassin i vers la STEP, $y_{ref}(n)$ la valeur de référence pour le débit à l'entrée de la STEP à l'instant n , $Ov_i(n)$ le volume déversé au bassin i à l'instant n et NL une constante négative introduite dans le but de préserver la linéarité du problème. En effet, dans le but de prendre en compte les volumes déversés tout en gardant le problème linéaire [5] propose l'astuce suivante. Les volumes déversés sont manipulés dans la procédure d'optimisation comme des variables indépendantes ce qui n'est pas le cas dans la réalité. Dans la fonction objectif ils sont pénalisés de telle manière que leurs valeurs optimales seraient négatives s'il n'y avait pas de contraintes. Ainsi les contraintes de positivités (8) empêcheront ces volumes de devenir négatifs et fixeront ainsi la "meilleure" valeur pour les déversements à être 0. Donc les déversements n'interviendront uniquement au moment où les équations de bilans des bassins (7) ensemble avec les contraintes sur la capacité maximale des bassins et le débit maximum des pompes (8, 9) ne laisseront plus d'autres choix.

L'ensemble des contraintes d'égalité (2) représentent les équations de conservation de masse pour chaque bassin et pour chaque pas de temps tout au long de l'horizon de prédiction.

$$V_i(n+1) = V_i(n) + In_i(n) - Out_i(n) - Ov_i(n) \quad (7)$$

pour $i = 1 \dots N$ et $n = t, t+1, \dots, t+Hp$

L'ensemble des contraintes d'inégalité (3) permet de prendre en compte les limitations physiques des bassins, des pompes et de l'ensemble N_p des conduites (8, 9).

$$\begin{aligned} 0 &\leq V_i(n) \leq V_i \max \\ 0 &\leq Out_i(n) \leq Out_i \max \\ 0 &\leq Ov_i(n) \end{aligned} \quad (8)$$

$$Q_{pipe_j}(n) = \sum_k^{N_j^*} Out_k(n - d_{k,j}) \leq Q_{pipe_j} \max \quad (9)$$

pour $i = 1 \dots N$; $j \in N_p$ et $n = t, t+1, \dots, t+Hp$

Pour calculer la solution de ce problème d'optimisation nous avons utilisé la boîte à outils CVX développé par [6] permettant de résoudre aisément dans Matlab® des problèmes d'optimisation convexes.

B. Application sur les réseaux de bassins étudiés

Pour le réseau d'assainissement, l'efficacité et les performances du contrôleur ont été évaluées en simulant le comportement du réseau face à une pluie réelle mesurée par un pluviomètre installé sur ce bassin versant. La période de pluie retenue, d'une durée d'environ un mois, peut être divisée intuitivement en quatre parties différenciées entre elles par la durée et l'intensité des événements pluvieux (Fig. 5). Les caractéristiques des débits arrivant dans le réseau par rapport au débit de temps sec (DWF) sont inscrits dans la Table I. La relation pluie-écoulement à l'entrée des bassins du réseau d'égout est obtenue par un modèle hydraulique détaillé développé dans le logiciel Infoworks™. L'horizon de prédiction a été fixé à 2 heures correspondant au temps de parcours moyen entre la STEP et le bassin le plus éloigné.

TABLE I
CARACTERISTIQUES DES EVENEMENTS PLUVIEUX

orage très intense (3 jours)	250x DWF sur 30min
pluie courte et faible (6 jours)	3x DWF sur 6h et 1h
pluie longue et forte (10 jours)	5x DWF sur 10h et 15h 7x DWF sur 9h, 9x DWF sur 4h
pluie longue et faible (9 jours)	2x DWF sur 16h, 5x DWF sur 4h, 5h 7h et 8h

Pour le réseau d'eau potable, des scénarios de consommation générés en fonction des consommations journalières estimées puis modulés par un profil journalier type ont été simulés (Fig. 3). Des journées de pics de consommation arrivant par exemple lors d'événements tel que le remplissage d'une piscine communale ou en période de vendange ont été introduits dans ces scénarios pour tester le contrôleur. La taille de l'horizon de prédiction est dans ce cas variable se réduisant au fil de la journée de 24h à 15 minutes. En effet, ici le problème est segmenté par journée puisque le

contrôleur doit réguler l'approvisionnement des réservoirs en fonction d'un niveau de consigne pour chaque réservoir qui est recalculé à chaque journée, et le principal objectif est d'essayer de ne pas devoir apporter par journée plus que le volume réservé auprès du syndicat fournisseur d'eau. Idéalement le contrôleur prédictif doit faire en sorte que les volumes dans les bassins varient de façon homogène entre les valeurs initiales (en début de journée) et les volumes de consigne recalculés tous les jours en fonction de la consommation supposée pour cette journée (Fig. 4).

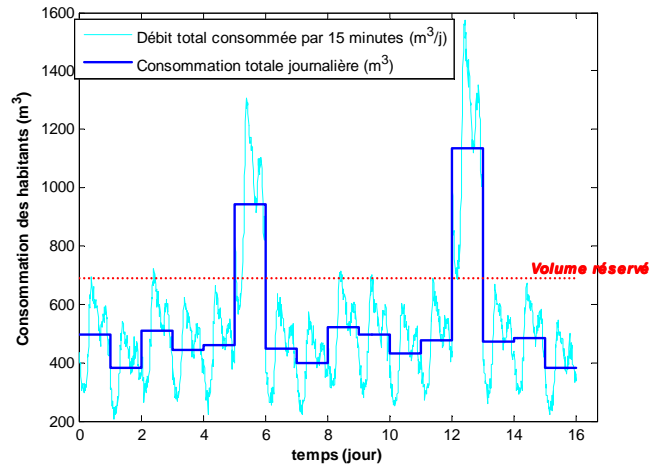


Fig. 3. exemple de scénario de consommation

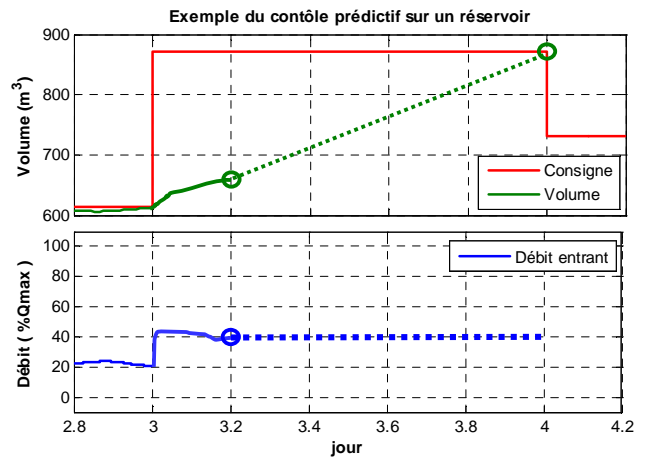


Fig. 4. évolution du volume souhaitée idéalement dans un réservoir

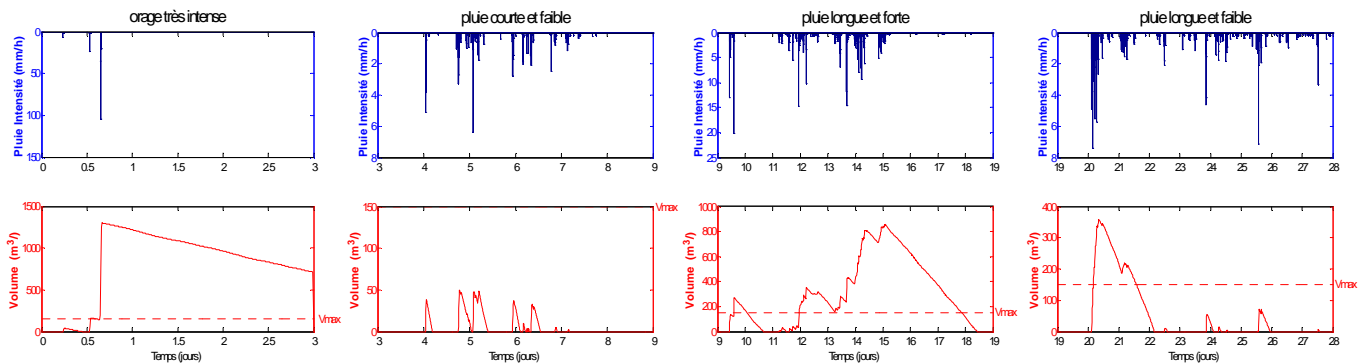


Fig. 5. Intensité de la pluie (par période de 10 minutes) et volume virtuel dans le bassin à Liefrange

IV RÉSULTATS ET DISCUSSION

A. Sur le réseau d'assainissement

Un des avantages de notre approche de contrôle optimal multi-objectifs et la possibilité de pondérer chaque terme de la fonction de coût et ainsi de donner plus ou moins d'importance aux différents critères. Cependant la recherche du meilleur compromis entre ces objectifs en partie contradictoire n'est pas triviale et demande une réflexion approfondie sur les effets bénéfiques mais aussi négatifs de chaque critère de manière directe ou indirecte.

La Table II indique les performances en simulation du contrôleur pour différentes pondération et selon les caractéristiques de la période pluvieuse. Deux indicateurs ont été choisis pour l'évaluation : l'erreur moyenne absolue entre le débit arrivant à la STEP et la valeur de référence choisie ainsi que le volume total déversé à travers le réseau. L'efficacité du contrôleur à minimiser les déversements est indiquée en pourcentage par rapport à une performance théorique limite tenant compte des contraintes physiques du réseau d'assainissement et obtenue à posteriori en utilisant uniquement l'objectif « éviter les déversements » ($\lambda=0$; $\beta=0$ et $\alpha=1$) dans la fonction coût (1) avec un horizon de prédiction "infini" ($H_p \rightarrow \infty$).

Dans ces simulations la pluie est considérée homogène sur l'ensemble du réseau et les futurs débits s'écoulant dans chaque bassin sont supposés connus par le contrôleur. La valeur de référence prise en compte pour "réguler" le débit à l'entrée de la STEP est de $360\text{m}^3/\text{h}$ correspondant à un peu moins de 70% du débit maximum pouvant être accepté. ($\lambda=1$; $\beta=1$ et $\alpha=5$) sont les coefficients qui, après une approche heuristique, semble être les plus favorables.

TABLE II
PERFORMANCES POUR DIFFÉRENTES VALEURS DES POIDS α , β , λ

Poids des différents objectifs α β λ	Erreur $ Q-Q_{ref} $ (m^3)	Total des déversements par période de pluie (m^3 ou % par rapport à la limite théorique)			
		intense	courte et faible	longue et forte	longue et faible
limite théorique		17144	0.0	10684	2730
<i>contrôle initial</i> ^a	18.5	+3%	0.0	+52%	+85%
0 1 0	15.8	+8%	0.3	+114%	+121%
0 0 1	19.1	+5%	0.0	+44%	+82%
1 0 0	19.9	+2%	0.0	+11%	+21%
1 0 1	20.1	+3%	0.0	+18%	+23%
5 0 1	20.1	+2%	0.0	+12%	+12%
1 1 1	17.1	+2%	0.0	+58%	+15%
5 1 1	17.8	+1%	0.0	+34%	+1%
α_i^b 1 1	17.8	+1%	0.0	+34%	+1%

^aSystème sans contrôle où les débits des bassins sont fixes

^b $\alpha_i \in \{1; 3; 5\}$ pour pénaliser différemment les déversements en fonction des bassins

Chaque critère minimise directement ou indirectement le volume total des déversements, qui est l'objectif principal. La logique voudrait donc que la combinaison de ces objectifs donne de meilleures performances ce que tend d'ailleurs à confirmer les résultats dans la Table II. Toutefois, ce n'est pas nécessairement le cas notamment pour des situations spécifiques. C'est le cas ici pour la période pluvieuse longue et forte pour laquelle l'optimisation multi-objectifs donne un très mauvais résultat. Dans cette situation, l'objectif régulant le débit à l'entrée de la STEP autour d'une valeur de référence

a un effet néfaste. En effet, entre deux averses cette consigne limite la rapidité à libérer de la capacité de stockage dans le réseau ce qui se révèle préjudiciable à l'approche d'un prochain événement pluvieux (Fig. 6).

Chaque critère implique donc des bienfaits mais procure aussi des effets secondaires. Ces effets sont détaillés dans [7]. Par exemple, le critère de l'homogénéité est moins adéquat lorsque l'eau de pluie n'arrive pas de manière homogène dans les bassins, ce qui est évidemment le cas pour des bassins éloignés les uns des autres. De même, le critère le plus explicite "éviter les déversements" permet de pénaliser plus ou moins le déversement à chaque bassin en fonction de la sensibilité du milieu récepteur mais son efficacité est limitée par la capacité à prévoir les futurs pics de débits causés par de futures averses.

Enfin, cette approche de contrôle optimisant une fonction de coût sur un certain horizon de prédiction, la faculté à avoir une prévision de qualité joue un rôle prépondérant dans l'efficacité du contrôleur. La sensibilité de ce contrôleur en fonction de la précision des prévisions a donc été analysée. Pour l'approche mono-objectif ($\lambda=0$; $\beta=0$ et $\alpha=1$) la meilleure solution est de prévoir sur l'horizon de prédiction des débits arrivant dans les bassins constants et égaux à la capacité maximale des pompes de sortie et conduites en aval. Pour l'approche multi-objectifs le choix est moins évident et dépend du type de pluie (durée et intensité). Toutefois, quelque soit l'erreur commise sur les prévisions, l'approche basée sur une optimisation réduit de manière significative les volumes déversés comparé au système de contrôle initial avec des débits effluant des bassins vers la STEP fixes qui ont été définis lors de l'étude de dimensionnement du réseau.

Finalement, s'il semble qu'une grande précision des futurs événements pluvieux n'est pas fondamentale, il serait toutefois opportun de pouvoir quantifier à l'avance la force et la durée de la période de pluie imminente afin d'ajuster à bon escient les coefficients des différents objectifs composant la fonction de coût.

Lors d'un orage intense, l'importance et la soudaineté des volumes d'eau à traiter sont tels que cela laisse très peu de pouvoir d'action à un contrôleur quel qu'il soit.

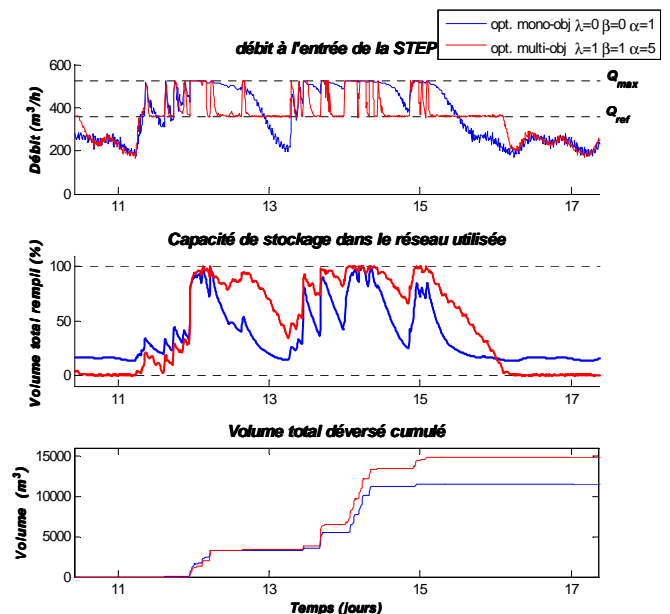


Fig. 6. comparaison du contrôle optimal mono- et multi-objectifs durant une période de pluie longue et forte

A. Sur le réseau d'eau potable

La gestion de stock dans un réseau de réservoirs d'eau potable est souvent assez primaire notamment pour les petites infrastructures comme c'est le cas actuellement à Wormeldange. C'est généralement un contrôle mécanique réalisé par un flotteur qui assure que les bassins soit constamment remplis et de pouvoir posséder ainsi du maximum d'eau en réserve. Le problème est que par ce principe, l'effet tampon des réservoirs n'est pas du tout utilisé puisque les pics de consommation des usagers se répercutent directement sur les besoins d'approvisionnement ce qui entraîne des coûts non négligeable puisque le prix de l'eau achetée par la commune auprès du syndicat fournisseur est fonction du volume qui lui est réservée et tout dépassement est pénalisé lourdement.

La commune de Wormeldange, de sa propre initiative a souhaité moderniser sa politique de gestion d'eau potable et a réfléchi à des solutions de contrôle moins rudimentaires. L'idée fut alors de réguler le niveau de chaque réservoir non plus au maximum mais autour d'une valeur de consigne variable recalculée pour chaque journée en fonction de la consommation; cette régulation étant réalisée classiquement par un régulateur standard PID. Si les objectifs de la commune étaient en partie atteints (Fig. 7): atténuation des pics de consommation sur le volume journalier à acheter auprès du syndicat d'alimentation et réduction du temps de séjour de l'eau dans les réservoirs, la commande des vannes d'alimentation n'étaient pas acceptable vis à vis du syndicat

fournisseur comme par exemple lorsque le débit maximum doit être fourni en même temps à chaque réservoir.

En agrégeant dans une fonction de coût les objectifs des différents acteurs mis en cause et en contrôlant le système en faisant en sorte d'optimiser l'ensemble de ces critères selon un bon compromis, on réussit à obtenir un résultat satisfaisant pour l'ensemble des partenaires et même bien meilleur qu'avec un simple contrôle PID puisque dans ce cas tous les pics de consommation sont complètement atténués (Fig. 7).

Cependant contrairement à un contrôle local du type PID, notre approche de contrôle optimisé prend en compte le réseau de réservoirs dans sa globalité est la question de la robustesse doit être posée. En effet en cas de panne de communication vers un réservoir le contrôleur doit rester cohérent et l'ensemble du réseau ne doit pas pâtir du dysfonctionnement d'un capteur. Des solutions de replis doivent donc être réfléchies et instaurées en cas de problèmes trop critiques.

Par contre l'approche par optimisation d'une fonction de coût se révèle plus flexible au changement de configuration du réseau et le transfert de cette approche sur un autre réseau est également facilité puisque les objectifs restent identiques et sont indépendants du nombre de réservoir, des jonctions entre réservoirs...

Il convient également d'ajouter que la complexité mathématique d'une telle approche est plus difficilement appréhendable par un gestionnaire non automaticien ou non mathématicien qu'une méthode de contrôle industriel plus classique.

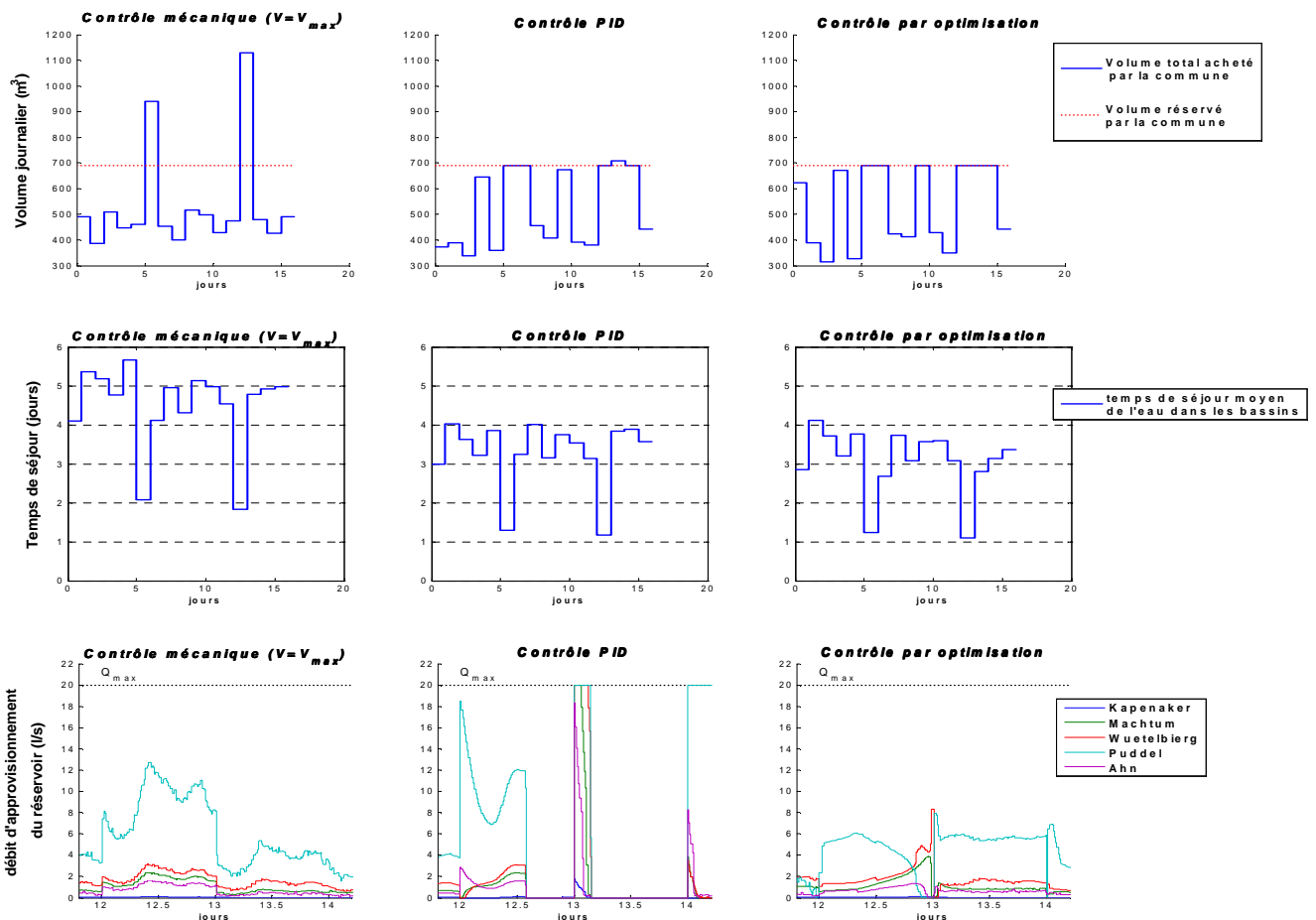


Fig. 7. comparaison des différentes stratégie de contrôle

Peu de firmes d'automatisation sont capables d'offrir à leurs clients des stratégies de contrôle basé sur une résolution d'un problème d'optimisation. C'est pourquoi il est du rôle d'un centre de recherche faisant la promotion de l'innovation auprès d'institutions privées ou publiques, de devoir réfléchir aux possibilités de mettre en œuvre une telle approche.

Une idée de la structure informatique et des flux d'informations nécessaires pour la réalisation d'un tel contrôle en ligne est affichée sur la Fig. 8 dans le cas du réseau d'assainissement Le bassin avec ses mesures de débits d'entrée et de sortie, son volume d'eau, sa pompe d'évacuation (resp. sa vanne motorisée d'alimentation pour le réseau d'eau potable) représente une partie du réseau global qu'il faudra contrôler. Pour communiquer avec ces éléments, les mesures ainsi que les consignes des organes de commande sont gérées par des Automates Programmables Industriels (PLC en anglais) répartis sur tout le réseau et qui sont interconnectés par un réseau de communication relié à un système de commande de processus (PCS en anglais) centralisé. Sur ce poste centralisé un serveur OPC (OLE for Process Control est un standard industriel) est actif afin d'offrir des possibilités de connections avec d'autres serveurs OPC ou clients OPC. L'idée d'implémenter le contrôle de l'ensemble du réseau sur un ordinateur indépendant qui est connecté à un réseau OPC donne plus de flexibilité pour la mise en œuvre du contrôle comme le fait de ne pas devoir être dépendant d'un logiciel ou d'un matériel spécifique imposé par un système déjà en place.

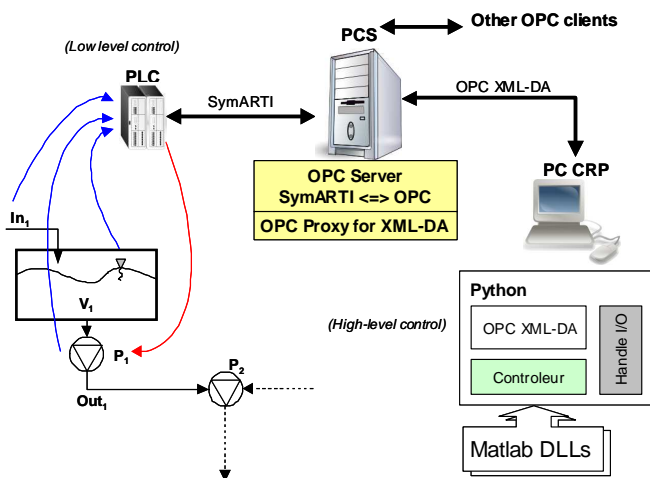


Fig. 8. Structure informatique et protocole de communication pour un contrôle en ligne

Le développement de l'algorithme de contrôle est réalisé dans l'environnement Matlab®. Matlab® donne la possibilité de construire des C-DLLs contenant les fonctionnalités classiques implémentées en Matlab®. L'avantage est que l'usage de ces DLLs est possible sans posséder de licence Matlab® !

Evidemment il est possible d'incorporer ces DLLs dans un autre environnement de développement qui fournit une telle possibilité mais Matlab® utilise en C une structure qui lui est propre est bien spécifique appelée « mxArray » pour uniformiser l'information (type de tableau, dimension, données associées, structure, objet ...). Pour manipuler ces « mxArray » et leurs contenus Matlab® a bien sûr des fonctionnalités en langage C. Mais pour rester indépendant du

cadre Matlab® et de leur propre structure de données, l'application (C, Python, Java...) accèdera aux fonctionnalités de la DLL Matlab® à travers une interface dédiée. Cette interface, qui fait le lien avec les DLL Matlab®, pourra être fournie en tant que code source ou comme DLL en C.

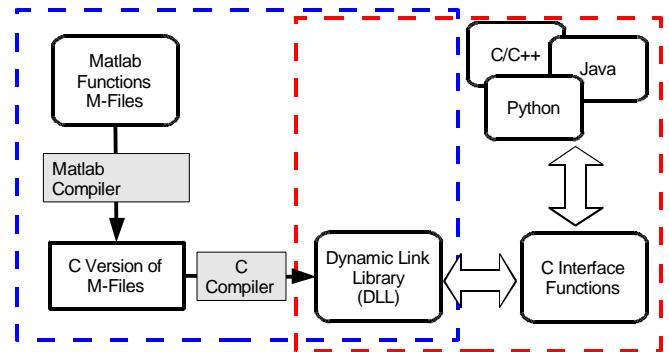


Fig. 9. D'un développement en Matlab® vers une application C,Java, Python ou autres...

IV. CONCLUSION

Une approche de contrôle prédictif a été analysée pour répondre à une tâche de gestion de stock d'eau dans un réseau de réservoirs. Plus performant que le contrôle PID standard, son concept qui est de trouver le meilleur compromis de plusieurs objectifs est également plus simple à comprendre cependant, sa formulation mathématique ainsi que sa résolution est beaucoup plus complexe. Une autre difficulté de cette approche basée sur une optimisation multi-critères est de régler la pondération des différents objectifs d'autant qu'elle peut s'avérer de devoir être adaptée en fonction de la situation. Dans notre cas d'étude, des travaux seront menés prochainement pour rechercher les solutions Pareto optimales paramétrées par exemple par la durée et l'intensité de la prochaine période pluvieuse.

Des projets de recherche en cours examinent la robustesse de cette approche face aux dysfonctionnements et panne de communication ou de capteur, et travaillent sur l'élaboration de solutions de replis. Enfin un transfert technologique vers des sociétés d'automatisation est envisagé en vue de l'implémentation.

REFERENCES

- [1] Maciejowski J.M. *Predictive control with constraints*. Prentice Hall, Pearson Education Limited, Harlow, UK, 2002.
- [2] Gillé S., Fiorelli D., Henry E., Klepizewski K. Optimal operation of a sewer network. 11th International Conference on Urban Drainage. 11ICUD, Edinburgh, UK, 31 aout – 5 septembre 2008.
- [3] Cembrano G., Wells G., Quevedo J., Pérez R., Argelaguet R. Optimal control of a water distribution network in a supervisory control system. *Control Engineering Practice*, vol. 8, pp. 1177-1188, 2000.
- [4] Marinaki M., Papageorgiou M. Central flow control in sewer networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 123, pp. 274-283, 1997.
- [5] Gelormino M., Ricker N. Model-predictive control of a combined sewer system. *Int. J. Control*, vol. 59, n° 3, pp. 793-816, 1994.
- [6] Grant M., Boyd S. CVX: Matlab software for disciplined convex programming, web page and software available <http://stanford.edu/~boyd/cvx>, december 2008.
- [7] Fiorelli D., Schutz G. Real-time control of a sewer network using a multi-goal objective function. 17th Mediterranean Conference on Control and Automation. MED'09, Thessaloniki, Grèce, 24-26 juin 2009.