

# Partenariats Public Privé et Recherche Opérationnelle

Thierry Benoist et Bruno Martin  
Bouygues e-lab  
32 avenue Hoche  
75008 Paris  
{tbenoist, bmartin}@bouygues.com

## Introduction

Depuis juin 2004 les collectivités publiques françaises ont la possibilité de confier la construction et la maintenance d'équipements publics à une entreprise privée, via un contrat de partenariat de longue durée. De tels PPP (*Partenariat Public Privé* ou *Public Private Partnership*) sont également en plein essor au Royaume-Uni. L'objectif de ces collaborations est de permettre à l'Etat de « rendre aux citoyens un meilleur service à un meilleur coût » [Breton & Copé, 2005]. Cette formule permet de faciliter le financement de projets d'envergure, de répartir les risques entre public et privé et d'optimiser le coût global du service. L'objet de cet article est de souligner le rôle non négligeable que peut jouer la Recherche Opérationnelle dans ce contexte. Pour étayer cette affirmation, nous nous appuyerons sur des exemples concrets que le e-lab a eu l'occasion d'aborder au sein du groupe Bouygues, en particulier la rénovation et la maintenance d'un réseau routier et la problématique de l'éclairage public.

## Une approche par coût global

Un des intérêts des PPP est de partager l'investissement et les risques avec un partenaire privé. Ainsi au Royaume-Uni il est possible pour une ville de payer un loyer fixe même si le montant des travaux initiaux est important<sup>1</sup>. De plus, l'entreprise s'engage dans l'appel d'offre sur le montant annuel de l'entretien des équipements pour toute la période (15 à 25 ans). Cela permet de transférer une partie des risques à l'entreprise partenaire, « chacun supportant les risques qu'il maîtrise le mieux » selon le site du Ministère des finances. Ainsi les incertitudes sur la fiabilité des équipements installés ou sur les évolutions technologiques à venir (par exemple, l'évolution de la consommation électriques des lampes), sont gérées par l'entreprise, qui est plus à même de les apprécier. Bien entendu, les évolutions des coûts de certains matériaux pourront être prises en compte dans le contrat par une indexation du prix sur un indice approprié. Comme tout mécanisme d'assurance ce transfert a bien sûr un coût qui est intégré au prix global et l'entreprise peut elle-même s'assurer à son tour.

Un autre avantage essentiel des PPP est l'optimisation du coût global du projet. En effet placer la construction et la maintenance sous la responsabilité du même acteur peut conduire naturellement à des choix plus pertinents lors de la construction puisque l'entreprise en tirera les bénéfices lors de la phase de maintenance. Installer des ascenseurs de meilleure qualité sera donc finalement rentable à long terme grâce aux économies d'entretien générées. Nous verrons dans cet article une illustration de ce principe vertueux dans le cas de l'éclairage public.

Néanmoins ce mécanisme d'optimisation du coût global nécessite d'explicitier dans l'appel d'offre les objectifs à atteindre et les compromis entre le coût et la qualité de service. En effet

---

<sup>1</sup> Cette pratique est strictement encadrée en France où les travaux doivent être payés au moment où ils sont effectués afin d'éviter que le PPP ne représente une dette « cachée » pour la collectivité.

la logique économique est pour l'entreprise de maximiser son profit tout en respectant ses engagements. La formulation de ces engagements est donc capitale pour le bon déroulement de la concession. Pour employer des termes qui nous sont familiers, la modélisation des contraintes est de la responsabilité du concédant alors que la minimisation du coût est de la responsabilité du concessionnaire. A l'inverse une gestion directe par la collectivité peut être vue comme l'application d'un algorithme de prise de décisions qui intègre à la fois les contraintes et l'objectif. L'avantage de la mise en concession est alors l'optimisation globale avec le risque qu'une faille dans la modélisation mène à une solution « sous-optimale » par rapport aux contraintes et objectifs réels.

Cette phase de rédaction de l'appel d'offre est complexe et nécessite souvent (en particulier au Royaume-Uni) l'intervention d'un consultant spécialisé. Le contrat précise alors le mode de calcul de la qualité de service fournie, les objectifs qui devront être atteints et les pénalités qui s'appliqueront (pénalités financières et/ou accumulation de points pouvant mener à la cassure du contrat). Pour donner une idée de la précision de ces exigences, citons le cas de la ville de Portsmouth dans laquelle chaque fermeture de voie pour réparation donne lieu au paiement d'une pénalité journalière par le concessionnaire, ceci afin de l'inciter à minimiser les perturbations de la circulation.

La forme du contrat est rarement figée, les concurrents sont même parfois explicitement encouragés à proposer des variantes. En France, c'est le cas en particulier quand le pouvoir adjudicateur n'est objectivement pas en mesure de définir les moyens techniques pouvant répondre à ses besoins ou le montage juridique et financier du projet. On parle alors de « dialogue compétitif ».

Remarquons enfin que, pour l'entreprise remportant le contrat, le transfert aux équipes responsables du pilotage opérationnel du projet de cette vision du coût global mêlant les aspects techniques et financiers est une phase critique pour que l'opération soit effectivement rentable au final.

## **Un problème de modélisation et d'optimisation**

Plusieurs questions soulevées dans le paragraphe précédent relèvent de la Recherche Opérationnelle, en effet le compromis à trouver entre le prix et la qualité de service est typiquement un problème d'optimisation sous contraintes.

Du point de vue de la mairie tout d'abord, il s'agit pour un budget global donné de définir dans l'appel d'offre un jeu de contraintes et de pénalités amenant « mécaniquement » l'entreprise partenaire à offrir le meilleur service possible au citoyen. Comme nous l'avons souligné, cette modélisation du problème est aussi complexe qu'importante. Deux écueils sont à éviter : des exigences trop fortes qui conduiront à des propositions trop chères ou des exigences trop faibles qui conduiront à des propositions de mauvaise qualité. Pour calibrer ce modèle il peut être utile de modéliser approximativement les coûts de construction et de maintenance pour anticiper les conséquences de telle ou telle formulation.

Les entreprises répondant à l'appel d'offre ont également un travail de modélisation à effectuer puisqu'elles doivent enrichir le modèle pour prendre en compte leurs propres options techniques, leurs coûts et le montage financier du projet. Il peut aussi être utile d'intégrer des contraintes implicites que l'on sait indispensables pour produire une solution acceptable par la ville, c'est-à-dire formaliser l'exigence de « best value management ». Notons ici que les délais généralement courts ainsi que la possibilité d'un échec limitent le

temps qui peut être consacré à cette étude et impose donc de choisir la bonne granularité de modélisation. Par exemple pour dimensionner une flotte de véhicules de salage, peut importe de prendre en compte les sens interdit dans le calcul des tournées. Un défi important à relever ici consiste à combiner les aspects opérationnels et financiers du problème. Une fois ce modèle déterminé, l'importance de la recherche de la solution de coût minimal est renforcé par la mise en compétition inhérente au fonctionnement de l'appel d'offre. La Recherche Opérationnelle, *science of better*, a ici clairement un rôle à jouer.

Avant d'entrer dans le détail de deux types de PPP, énumérons ici les apports de la RO dans ce type de contexte. Elle sert bien sûr à optimiser mais disposer d'un outil permet aussi d'évaluer très rapidement des variantes du contrat ou des scénarios d'analyses de risque. C'est aussi un outil commercial qui prouve le souci d'optimiser le service rendu au client, et permet de montrer des solutions complètes. La ville peut ainsi apprécier de voir un planning précisant quelles routes seront rénovées chaque année, même si ce niveau de détail n'était pas exigé des candidats. Enfin c'est un outil de négociation puisqu'une fois accepté par les deux parties ce modèle sert de référence et les discussions ne portent plus directement sur le prix mais sur les paramètres du modèle (niveaux des contraintes et des pénalités) le prix n'étant alors qu'une conséquence du calcul.

## **Deux exemples**

### **Maintenance d'un réseau routier**

Plusieurs villes du Royaume Uni, pour remettre à niveau et maintenir en bon état d'usage leur réseau routier, proposent au secteur privé, en concession, et pour une période de 25 ans, l'intégralité de leur voirie. L'état du réseau est caractérisé par la moyenne pondéré des indices (portance, adhérence, visuel) des sections de routes qui le composent. On compte ainsi, pour une ville de 200000 habitants plus de 1000 sections ainsi notées par ces 3 indices. Charge au concessionnaire de maintenir l'ensemble du réseau à une moyenne définie contractuellement et pour chaque année par la ville. Toute défaillance se traduit par une pénalité proportionnelle à l'écart à la qualité de service requise. Une succession de défaillances peut entraîner la remise en cause du contrat. Localement, une route est également sujette à pénalité forfaitaire si un seuil critique n'est pas atteint par ses indices.

Afin de répondre a un tel appel d'offre, il est important de prendre en compte, non seulement le profil de dégradation de l'état d'une route au cours du temps mais aussi la nécessaire coordination des opérations de maintenance sur les différentes routes de façon à maintenir le niveau du réseau à un niveau optimal pour le concessionnaire, étant donné le jeu de règles et de pénalités défini par la mairie. Pour une telle décision, qui engage l'entreprise pour 25 ans, il est donc opportun de réaliser une planification prévisionnelle optimisée afin d'estimer le prix au plus juste.

Une route, prise isolément, voit ses indices baisser « naturellement » au cours du temps, c'est-à-dire au fil des véhicules qui l'empruntent. Il existe un ensemble d'opérations, plus ou moins lourdes et plus ou moins coûteuses qui peuvent remettre certains des indices à leur niveau maximal. L'objectif du concessionnaire est de mettre en place une stratégie de maintenance, minimisant la somme des pénalités et des coûts des opérations.

Les notes moyennes minimales étant les seules contraintes couplantes, leur relaxation lagrangienne amène à considérer  $n$  sous problèmes indépendants (un par route). En pratique, le nombre d'opérations de maintenance n'excède pas trois ou quatre sur les 25 ans et l'on constate qu'il y a moins de 30000 solutions possibles pour chaque section de route. L'énumération exhaustive s'avère alors la solution la plus pragmatique pour résoudre ces problèmes locaux (1/100ème de seconde par route). En quelque sorte, le mécanisme de coordination lagrangienne va consister à « subventionner » les opérations à certaines dates, pour remonter le niveau moyen des routes à cette date, et favoriser la satisfaction de la contrainte. Après convergence (un millier d'itérations), la relaxation lagrangienne fournit une borne inférieure du coût total pour le concessionnaire, information précieuse dans le cadre d'un appel d'offre : il ne faut surtout pas proposer un prix inférieur à cette borne. Néanmoins, pour pouvoir présenter à la mairie un plan prévisionnel de maintenance sur 25 ans, il est nécessaire d'obtenir des solutions réalisables. De telles solutions sont généralement découvertes au cours des itérations lagrangiennes. Dans le cas contraire, la structure du problème autoriserait une « primalisation » par augmentation artificielle des multiplicateurs lagrangiens: s'ils sont choisis suffisamment grands, les solutions générées sont très coûteuses mais satisfont les contraintes de notes moyennes. Sur l'instance considérée, ces solutions sont à 6% de la borne inférieure après 1000 itérations.

Afin d'obtenir de meilleures solutions, nous utilisons une technique de recherche locale (le shuffle) consistant à reconstruire une partie de la solution en considérant le reste comme figé. Ici il s'agit pour chaque route de choisir sa stratégie de maintenance optimale du point de vue de l'objectif global du problème, en fonction des stratégies choisies pour les autres routes. Nous recherchons cette stratégie améliorante par énumération exhaustive comme pour la résolution des sous problèmes perturbés. Cette procédure est appliquée en boucle sur toutes les routes jusqu'à constater que plus aucune route ne peut choisir une meilleure stratégie que la sienne (point fixe): la solution est alors un optimum local pour le voisinage considéré (modification d'une route à la fois). Cette technique peut s'utiliser à partir de n'importe quelle solution primale et produit des solutions de grande qualité : à partir d'une solution quelconque on arrive à 2% de la borne inférieure.

L'intérêt de la relaxation lagrangienne dans la génération des plans de maintenance semble donc nul puisqu'une technique de recherche locale obtient de bien meilleurs résultats ? Au contraire la combinaison des deux techniques permet de diviser l'écart primal-dual par trois par rapport à une utilisation isolée de la recherche locale. Utiliser comme solution initiale la meilleure solution découverte par la relaxation lagrangienne est une très bonne heuristique [Benoist et al. 2002a].

Cette technique a été utilisée dans le cadre de l'appel d'offre lancé par la ville de Portsmouth et obtenu par Colas en Juillet 2004 pour 400 millions de livres Sterling.

### **Eclairage public et consommation électrique**

L'éclairage public a des caractéristiques propres qui changent la nature du problème d'optimisation. Un point lumineux est composé d'un support, d'un luminaire, d'une lampe et éventuellement d'un ballast qui va gérer l'alimentation électrique de la lampe. A l'exception des lampes qui doivent être changées régulièrement (typiquement tous les 4 ans), les autres équipements ont une durée de vie de 20 à 30 ans qui est généralement supérieure à la durée du contrat. Avec une seule intervention lourde sur les points lumineux (au cours du contrat, les

supports sont remplacés au plus une fois), la problématique de la planification est beaucoup plus simple puisqu'elle se résume à indiquer dans quel ordre les rues doivent être traitées et à quelles dates tous les points lumineux vétustes doivent avoir été remplacés. Bien entendu, une fois que l'équipe est sur place avec son matériel, il est nettement préférable de remplacer tous les points lumineux de la rue plutôt que de papillonner dans toute la ville. Par ailleurs, la consommation électrique, qui est à la charge du concessionnaire, constitue une part très significative du coût opérationnel d'un réseau d'éclairage public. L'évolution de la technologie des lampes a permis de réduire considérablement la consommation des lampes. Certains ballasts permettent même d'adapter la puissance d'une lampe en fonction de son vieillissement afin de garantir l'éclairage en minimisant la consommation. Les contrats PPP sont alors particulièrement intéressants. En effet, en remplaçant rapidement toutes les lampes, il est possible de remettre à neuf le parc d'éclairage public sans augmenter le budget annuel de la mairie. Il s'agit de financer les travaux grâce aux économies réalisées sur la consommation d'énergie. Il faut pour cela que la mairie s'engage sur une durée de contrat soit suffisamment longue.

Si le principe est simple (faire rapidement les travaux qui permettent les plus importantes économies d'énergie), il doit être simulé de façon précise pour pouvoir chiffrer la réponse à l'appel d'offre. En effet, la date des travaux sur une rue modifie le coût actualisé des travaux, la facture totale d'électricité, ainsi que le coût de la maintenance. Or le coût de la maintenance augmente de façon non linéaire avec l'âge des équipements, de même l'actualisation n'est pas linéaire en fonction de la date des travaux. De plus, certains équipements sont dans un état tellement vétuste au début du contrat qu'il faut les remplacer rapidement sans attendre les travaux de la rue.

Dans ce contexte, le chiffrage du coût global de la remise en état puis de l'entretien d'un réseau électrique passe par la simulation pour chaque point lumineux de l'ensemble des opérations qui seront faites. C'est en fonction de ces informations que le coût de la maintenance corrective (remplacement en cas de panne) ainsi que le coût de la consommation électrique peuvent être calculés. De plus, il n'est pas évident de choisir la meilleure stratégie lorsqu'il s'agit de mettre en place une stratégie préventive (remplacement systématique des lampes plutôt que d'attendre les pannes) ou de choisir un équipement plus onéreux mais plus fiable plutôt qu'un équipement économique. Le problème d'optimisation consiste à trouver l'ordre dans lequel il faut planifier les travaux sur les rues ainsi que la meilleure option de remplacement pour chaque rue (qui dépend éventuellement de la date des travaux, plus ils sont réalisés tard, moins il est intéressant d'investir dans du matériel plus cher) de telle sorte que le coût global soit minimisé. La contrainte porte sur le profil d'investissement, c'est-à-dire le lissage des coûts des travaux dans le temps.

La recherche opérationnelle permet de choisir la meilleure option pour chaque rue, d'optimiser l'ordre des travaux et d'automatiser le lissage des travaux sur la période. Nous avons utilisé une dichotomie pour lisser les travaux en simulant pour chaque point lumineux l'ensemble des coûts des travaux (d'installation et de maintenance préventive et curative), le prix de l'énergie ainsi que les frais financiers qui dépendent des dates d'engagement des dépenses. Il s'agit d'un gain de temps considérable (quelques heures pour tester une hypothèse contre plusieurs jours à la main). Là encore, la possibilité de tester et donc de proposer des variantes peut être un avantage décisif pour remporter l'appel d'offre.

## Conclusion

Comme nous l'avons illustré par ces deux exemples, la recherche opérationnelle est d'un grand secours dans le cadre du chiffrage de la réponse à des appels d'offres de Partenariats Public Privé, car elle est particulièrement adaptée aux principes d'optimisation du coût global qui président à ces contrats.

Une autre dimension complexe et critique dans ce contexte est la conception du montage financier du projet. De la même manière qu'elles peuvent aider le particulier à optimiser une combinaison d'emprunts immobiliers [Gardi et David, 2006], les mathématiques appliquées sont tout à fait appropriées pour la prise en compte des contraintes de financement et de couverture posées par les banques [Kisner et Price, 1999].

## Références

- T. Benoist, E. Gaudin, B. Rottembourg (2002). *Métissages de Techniques d'optimisation pour la planification de ressources*. In Génie Logiciel n° 63 pages 53-62, décembre 2002.
- T. Breton et J-F. Copé (2005), *Les contrats de partenariat, principes et méthodes*. MINEFI, Guide Pratique, mai 2005.
- F. Gardi, A. David (2006). *Optimisation de plans de financements immobiliers*. In Actes des JFPC 2006, les 2èmes Journées Francophones de Programmation par Contraintes, pp. 167-172. Nîmes, France.
- R. Kisner et H. W. Price (1999), *Financing Solar Thermal Power Plants*. In Proceedings of the ASME Renewable and Advanced Energy Systems for the 21st Century Conference, April 11-14, 1999, Maui, Hawaii.