

OPTIONS RÉELLES DANS LES PROJETS EN PARTENARIAT PUBLIC-PRIVÉ : UN SURVOL

Skander Ben Abdallah

Volume 95, Number 2-3, June–September 2019

Numéro spécial à la mémoire de Pierre Lasserre

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1076262ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1076262ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

HEC Montréal

ISSN

0001-771X (print)

1710-3991 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Ben Abdallah, S. (2019). OPTIONS RÉELLES DANS LES PROJETS EN PARTENARIAT PUBLIC-PRIVÉ : UN SURVOL. *L'Actualité économique*, 95(2-3), 323–346. <https://doi.org/10.7202/1076262ar>

Article abstract

Risk management in public-private partnership projects is based on risk-sharing mechanisms between public and private partners. These mechanisms create flexibility to better manage uncertainty and limit opportunistic reactions. Nevertheless, several projects around the world show that if this flexibility is not properly assessed, it may not be sufficiently attractive for the private partner or may constitute a heavy tax burden for the public authority and therefore an unjustified additional cost for the end consumer. The theory of real options is well suited for assessing flexibility despite some difficulty in its implementation and the diversity of approaches applied. This article is an overview of the most important risk-sharing mechanisms and real option approaches used to evaluate public-private partnership projects. It concludes with a critical analysis of the mechanisms and resolution approaches used for their evaluation and suggestions for new research directions.

OPTIONS RÉELLES DANS LES PROJETS EN PARTENARIAT PUBLIC-PRIVÉ : UN SURVOL

Skander BEN ABDALLAH

Département de management et technologie

École des sciences de la gestion, UQÀM

ben_abdallah.skander@uqam.ca

RÉSUMÉ – La gestion des risques dans les projets en partenariat public-privé se base sur des mécanismes de partage de risque entre les partenaires public et privé. Ces mécanismes créent de la flexibilité pour mieux gérer l'incertitude et limiter les réactions opportunistes. Néanmoins, plusieurs projets à travers le monde montrent que si cette flexibilité n'est pas correctement évaluée, elle peut ne pas être suffisamment attractive pour le partenaire privé ou peut constituer un lourd fardeau fiscal pour l'autorité publique et par conséquent un coût additionnel injustifié pour le consommateur final. La théorie des options réelles est bien appropriée pour l'évaluation de la flexibilité malgré une certaine difficulté dans sa mise en œuvre et la diversité des approches appliquées. Cet article est un survol des plus importants mécanismes de partage du risque et des approches d'options réelles employées pour l'évaluation des projets en partenariat public-privé. On conclut par une analyse critique des mécanismes et des approches de résolution utilisées pour leur évaluation et des suggestions pour de nouvelles orientations de recherche.

ABSTRACT – Risk management in public-private partnership projects is based on risk-sharing mechanisms between public and private partners. These mechanisms create flexibility to better manage uncertainty and limit opportunistic reactions. Nevertheless, several projects around the world show that if this flexibility is not properly assessed, it may not be sufficiently attractive for the private partner or may constitute a heavy tax burden for the public authority and therefore an unjustified additional cost for the end consumer. The theory of real options is well suited for assessing flexibility despite some difficulty in its implementation and the diversity of approaches applied. This article is an overview of the most important risk-sharing mechanisms and real option approaches used to evaluate public-private partnership projects. It concludes with a critical analysis of the mechanisms and resolution approaches used for their evaluation and suggestions for new research directions.

INTRODUCTION

Le besoin croissant en infrastructure nécessaire au développement économique a fait augmenter les investissements durant les dernières décennies dans les pro-

jets en partenariat public-privé (PPP) qui est devenu le principal mode de délivrer des projets d'infrastructure à travers le monde (Chen *et al.*, 2012). Or, un grand nombre d'études et d'enquêtes sur les projets en PPP a montré que l'efficacité économique des projets en PPP dépend en grande partie de la façon dont le risque a été géré et partagé entre les différents intervenants (Dong et Chiara, 2010).

Dans ce type de partenariat, des capitaux privés sont investis pour financer totalement ou partiellement les activités ayant trait à la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance des infrastructures publiques pour des durées qui peuvent atteindre 40 ans. Le but étant de permettre aux autorités publiques d'assurer l'offre de services publics sans déboursier à court terme les coûts d'investissement correspondants, de faire réaliser l'infrastructure selon les meilleures pratiques en vigueur, dans le respect des délais prescrits et des budgets alloués en profitant du savoir-faire technologique des entreprises privées, de leur capacité d'innover et d'assumer certains risques. Pour le partenaire privé, le but ultime est de générer un profit financier à long terme en compensation de l'investissement engagé et du risque encouru.

Les projets en PPP sont particulièrement attractifs pour les investisseurs privés puisqu'ils délivrent des structures qui sont des actifs réels et essentiels, avec des barrières naturelles à l'entrée même en absence de clauses de non-concurrence (Power *et al.*, 2016). Comme c'est le cas en finance de projet dont fait partie le PPP (Esty, 2004; Yescombe, 2013), le levier financier est particulièrement élevé, où la majorité des fonds de financement provient des banques et des institutions de financement sous la forme de prêts. Les revenus du projet servent alors au remboursement du principal de la dette et des intérêts, des coûts d'opération et des frais de maintenance et, éventuellement, à satisfaire les attentes des investisseurs privés en termes de rendement sur les capitaux privés investis. Étant donnée l'absence de garanties financières à la hauteur de la dette contractée, une propriété caractéristique de la finance de projet, les investisseurs sont particulièrement préoccupés par la variabilité des revenus du projet et par ses risques.

D'ailleurs, l'instabilité des revenus du projet et la variabilité des flux monétaires sont parmi les causes les plus citées des obstacles entravant la mise en œuvre de projets en PPP (Ye et Tiong, 2003). En effet, quand les risques du projet augmentent, les attentes des investisseurs sont à la hausse ce qui résulte en une augmentation du coût de financement du projet et pourraient nuire à sa faisabilité financière. Ainsi, le succès des projets en PPP dépend étroitement de la façon dont les risques du projet ont été atténués et partagés entre l'autorité publique et le partenaire privé (Ashuri *et al.*, 2012). Pour ce faire, il est largement accepté que ces risques doivent être alloués à la partie qui est capable de les gérer le plus adéquatement (Yescombe, 2013). À titre indicatif, le partenaire public assume généralement les risques liés à son intervention dans le projet, à la corruption, et à son processus décisionnel, tandis que le partenaire privé assume les risques liés à l'exécution du projet et à la qualité du service fourni (Chan *et al.*, 2011).

Le reste des risques devrait être partagé, comme par exemple les risques liés à la demande et aux forces majeures (Ke *et al.*, 2010), ou bien transféré aux assureurs (Yescombe, 2013). En effet, comme le remboursement de la dette et des intérêts sera assuré à partir des revenus de projet, et en l'absence de garanties financières, les créanciers ne se permettent de financer le projet que si la majorité des risques durant tout le cycle du projet, de la phase de construction à la clôture, dont en particulier les risques de marché, est adéquatement couverte. Ces risques, conjugués avec la crainte de comportement opportuniste de la part des partenaires, ont poussé les premiers développeurs de projets en PPP à tenter de concevoir des contrats aussi exhaustifs que possible. Or, il est bien connu qu'en plus de ne pas être efficace, la rigidité des contrats se fait au détriment de leur flexibilité, une source de valeur pour le projet en question qui devrait favoriser son succès (De Bettignies et Ross, 2009).

Plus concrètement, une manière d'atténuer les risques et de permettre aux partenaires de les gérer d'une manière collaborative est d'incorporer dans la gestion du projet le plus de flexibilité dans la manière et l'ordre de gérer les activités dans le futur selon le développement du projet et de son environnement. Dans ce sens, plusieurs mécanismes ont été conçus, dont on peut citer en particulier la garantie de revenu minimal (Alonso-Conde *et al.*, 2007), la garantie de demande minimale (Brandao et Saraiva, 2008) et la moindre valeur actualisée des revenus (Engel *et al.*, 1997). L'efficacité de ces mécanismes est le principal objet des récentes études sur le PPP (Attarzadeh *et al.*, 2017; Ford *et al.*, 2002; Galera et Soliño, 2010; Ribeiro *et al.*, 2013). Ces mesures sont conçues pour contribuer à stabiliser les revenus du projet pour le partenaire privé, mais créent des obligations futures pour le gouvernement qui doit les prévoir et les quantifier. Ne pas les prévoir et les évaluer correctement peut les transformer en un vrai fardeau supplémentaire pour le gouvernement (Hemming *et al.*, 2006; Podhraski, 2014).

Malgré que certaines mesures soient conçues dans le but de protéger l'intérêt du partenaire public, ces mécanismes ont renforcé, dans un certain sens, le doute quant à la bonne conduite des projets en PPP et leur intérêt pour les autorités publiques, alors que le soutien politique et l'appui communautaire figurent parmi les cinq facteurs nécessaires au succès des projets en PPP (Osei-Kyei et Chan, 2015). À titre d'exemple, un examen de la presse américaine a montré que le public est généralement assez sceptique quant aux projets en PPP, en particulier à cause de certaines mesures offertes par l'autorité publique telle que la provision de non-concurrence (Weaver, 2017). En Australie, Brown (2005) a montré que les premiers projets en PPP étaient légèrement en faveur du secteur privé, particulièrement en présence de mesures de partage de risque comme la garantie de revenu minimal. Il est alors nécessaire d'accorder une attention particulière à l'évaluation de ces mécanismes que ce soit du point de vue du partenaire privé ou des autorités publiques.

Il demeure que leur évaluation n'est pas possible avec les approches financières traditionnelles basées sur l'actualisation des flux monétaires et le calcul de

critères de rentabilité, dont la valeur actualisée nette. En revanche, la théorie des options réelles (Dixit et Pindyck, 1994) est bien appropriée pour l'évaluation de projets avec des sources de flexibilité et a été, depuis quelques décennies, intensivement explorée. Cet article passe en revue l'utilisation de la théorie des options réelles pour évaluer quantitativement les mécanismes de partage des risques entre l'autorité publique et le partenaire privé dans les projets en PPP. En effet, dans ce type de partenariat, les options se multiplient puisqu'il s'agit de la gouvernance de projets où des partenaires privés collaborent avec des autorités publiques dans un contexte d'incertitude. Bien que les options réelles soient présentes dans plusieurs types de projets en PPP et même en partenariat privé-privé, on se limite aux projets en PPP du type BOT ou BOOT¹ quand la demande est générique étant donné les enjeux majeurs que ce type de partenariat comporte, notamment pour l'autorité publique et le consommateur final. Précisément, quand la demande n'est pas générique, c'est-à-dire qu'il est possible d'identifier les consommateurs ou utilisateurs même avant la construction du projet, il est possible de signer des contrats de vente à long terme et de réduire considérablement le risque de marché, comme c'est le cas pour les projets de production d'énergie et d'extraction des ressources naturelles. Ce n'est pas le cas quand la demande est générique à l'instar des projets de transport routier où la demande ne peut pas être garantie par des contrats à long terme.

Cet article est organisé comme suit. On introduit l'approche des options réelles dans la section 1 et une revue de la littérature sur ses applications dans des projets en PPP à la section 2. La section 3 présente une discussion des mécanismes de partage de risque dans les projets en PPP et des approches de résolution des modèles d'analyse des options réelles. La section 4 offre une conclusion et des propositions de nouvelles orientations de recherche.

1. L'APPROCHE DES OPTIONS RÉELLES

L'approche des options réelles a ses racines en finance, notamment dans les travaux de Black et Scholes (1973) et Merton (1973) qui ont été les premiers à proposer une formule analytique permettant l'évaluation d'une option européenne. Par analogie, le terme « option réelle » a été introduit par Myers (1977) pour qualifier ingénieusement le caractère discrétionnaire des investissements futurs d'une firme, leur dépendance à des événements futurs et leur impact sur la valeur actuelle de la firme. Plus généralement, les options réelles portent sur les actifs qui ne sont pas purement financiers, comme les projets, les ressources naturelles et l'environnement. Rappelons qu'une option financière d'achat, respectivement de vente, est un contrat qui accorde à son détenteur le droit, mais pas l'obligation d'acheter, respectivement de vendre, une quantité spécifique de biens ou d'actions financières à un prix prédéterminé, et ce, à un moment donné (option européenne) ou durant une période bien déterminée dans le futur (option américaine). L'analyse des options financières consiste alors à évaluer ces options et à déterminer

1. De l'anglais « Build-Operate-Transfer » ou « Build-Own-Operate-Transfer ».

quand une option doit être exercée. Pour les options européennes, l'exercice de l'option est spécifié à une date explicite et il a lieu s'il procure un gain positif, sinon l'option n'est pas exercée et est définitivement perdue. Pour les options américaines, la date de l'exercice de l'option est elle-même une variable stochastique puisqu'elle est déterminée implicitement quand certaines conditions se concrétisent dans le futur. Ainsi, par analogie avec les options financières, une option réelle peut être définie comme étant le droit et non l'obligation de prendre certaines actions liées à des actifs réels à un moment précis ou durant une période bien déterminée dans le futur, dans le but de saisir une opportunité ou de réduire un risque. Cette action peut être possible grâce à des arrangements contractuels ou à des caractéristiques conceptuelles (De Neufville *et al.*, 2008; Wang et De Neufville, 2005). Par exemple, si le code urbain le permet, le propriétaire d'un terrain possède l'option (réelle, contractuelle) d'y construire une maison. Également, si les fondations d'une maison sont suffisamment solides, son propriétaire a l'option (réelles, conceptuelle) d'ajouter un autre étage. À titre d'exemple, on peut citer les options réelles suivantes, souvent présentes en gestion de projet ou des opérations : l'option de reporter l'investissement (Paddock *et al.*, 1988) ou d'investir séquentiellement (Majd et Pindyck, 1987), de suspendre ou d'abandonner un projet (Sachdeva et Vandenberg, 1993), d'étendre sa portée, d'augmenter ou de contracter sa capacité (Brealey *et al.*, 2012), d'adapter ses services ou biens produits à de nouvelles circonstances, d'alterner entre les facteurs de production (Margrabe, 1978), etc.

Dans les années 90, beaucoup d'intérêt a été accordé à l'emploi de cette approche dans l'évaluation des investissements (Borison, 2005). Depuis, la théorie des options réelles a été largement investiguée dans plusieurs domaines, dont l'exploitation minière (Slade, 2001), la gestion de l'énergie (Siddiqui et Fleten, 2010), la biodiversité (Kassar et Lasserre, 2004), l'exploitation forestière (Ben Abdallah et Lasserre, 2012), la recherche et développement (Oriani et Sobrero, 2008), le développement technologique et la technologie de l'information (Dos Santos, 1991) et plus généralement en gestion du risque (Boyer *et al.*, 2003), pour ne citer que quelques exemples. Dans cette littérature, Triantis et Borison (2001) expliquent que l'approche des options réelles est utilisée en tant que langage qui cadre qualitativement la prise de décision, ou plus largement comme outil d'organisation stratégique, mais est principalement employée comme un outil analytique qui permet de savoir s'il est utile de créer de la flexibilité en vue de gérer l'incertitude, c'est-à-dire si la valeur de la flexibilité que procure une option réelle est plus grande que son coût.

L'analogie entre les options financières et les options réelles est illustrée au tableau 1. Considérons par exemple la décision d'investir dans un projet quelconque et l'option de reporter cette décision, c'est-à-dire de choisir la date optimale d'investir. Il s'agit d'une option d'achat. À l'actif sous-jacent d'une option financière, comme le prix d'une action, correspond la valeur actualisée des flux monétaires du projet. Le prix de l'exercice de l'option financière est alors remplacé par le coût d'investissement du projet. Si l'option financière d'achat est exercée, le détenteur

gagne la différence entre la valeur de l'action et le coût de son exercice. Dans le cas du projet, l'investisseur acquiert au moment d'investir la valeur actualisée nette du projet.

En dépit de cette analogie immédiate entre les options réelles et les options financières, certaines différences cruciales existent (voir tableau 2). Par exemple, le détenteur d'une option financière connaît d'avance le coût d'exercice alors que, dans la majorité des cas, le coût d'investissement dans un projet n'est pas parfaitement connu au préalable. Aussi, le détenteur d'une option financière peut l'exercer pratiquement instantanément et cet exercice ne comporte en soi aucun risque, contrairement à l'investissement dans un projet qui comporte des risques importants, dont, par exemple, le risque de construction, et le risque de fluctuation des flux monétaires du projet. Pour plus de détails, le lecteur peut se référer à Haahtela (2012) et Rigopoulos (2015). Néanmoins, il faut se rappeler que l'objectif de l'analyse des options financières est fondamentalement différent de celui de l'analyse des options réelles. En effet, la première vise à évaluer avec une exactitude élevée la valeur d'options financières échangées dans le marché financier, alors que la seconde vise plutôt à aider à la prise de décision.

TABLEAU 1
ANALOGIE ENTRE LES OPTIONS RÉELLES ET FINANCIÈRES

Option financière	Option réelle
Actif sous-jacent : prix courant d'actions de sociétés ou de matières premières, cours de change, etc.	Actif sous-jacent : valeur présente du projet ou de l'actif (ex. une technologie) basée sur ses flux monétaires futurs
Prix de l'exercice	Coût de l'action (ex. investir, reporter, abandonner, étendre, etc.)
Échéance	Période durant laquelle l'action est possible (par exemple la durée de vie d'un pont si l'option est de l'élargir)
Volatilité des prix	Volatilité des flux monétaires
Dividende	Flux monétaire
Taux d'intérêt sans risque	Taux d'actualisation

NOTE : adapté de Luehrman (1998).

Dans le reste de cette section, on décrit les plus importantes approches qui ont été appliquées pour évaluer les options réelles dans les projets en PPP. Pour une revue plus exhaustive des méthodes d'évaluation des options financières en général, le lecteur peut se référer, par exemple, à Wilmott *et al.* (1995).

Tout d'abord, on peut distinguer les approches financières ou classiques, habituellement utilisées pour évaluer les options financières, qui sont aujourd'hui appliquées pour évaluer les options réelles (Borison, 2005; Rigopoulos, 2015). Ces approches financières se basent sur l'hypothèse de la complétude des marchés financiers, qui n'est pas forcément satisfaite quand il s'agit de projets réels comme des projets d'infrastructure. L'hypothèse de la complétude des marchés

TABLEAU 2

QUELQUES DIFFÉRENCES ENTRE LES OPTIONS RÉELLES ET FINANCIÈRES

Caractéristique	Option financière	Option réelle
Échéance	Courte période (mois)	Longue période (années)
Actif sous-jacent	Un marché existe	Il n'existe pas de marché
	Variabilité stable	Tend à décroître dans le temps
	N'est pas impacté par la gestion	Impacté par la gestion
Compétition	N'a pas d'influence sur le prix	Influence le prix
Évaluation	La précision est importante	La précision est moins importante
	Souvent une seule option	Souvent plusieurs options composées ou parallèles
	Le risque de marché est prépondérant	Le risque privé peut être prépondérant
	Le gain à l'exercice est connu	Le gain à l'exercice peut fluctuer
	Pas d'arbitrage	L'asymétrie d'information implique un arbitrage

NOTE : adapté de Haahela (2012).

financiers permet la construction d'un portefeuille sans risque qui permet d'évaluer une option financière en présence de risques dits publics ou de marché, par opposition aux risques privés, c'est-à-dire liés spécifiquement au projet ou à l'entreprise. Parmi les approches financières, on cite, en temps continu, les formules analytiques de Black et Scholes (1973) et McDonald et Siegel (1985) obtenues par la résolution d'équations aux dérivées partielles, et en temps discret, les modèles de Cox *et al.* (1979) obtenus par résolution numérique. À la limite, pour que ces approches soient applicables à l'évaluation des options réelles, il est nécessaire que le risque s'appliquant aux projets en question soit en grande partie public (Amram et Kulatilaka, 1998; Copeland et Antikarov, 2001; Dixit et Pindyck, 1994), comparativement au risque privé. Plus tard, on discutera que c'est possiblement le cas des projets en PPP étant donné que les risques spécifiques au projet sont pratiquement couverts.

Parmi les approches financières pour l'analyse des options réelles, la formule de Black et Scholes est la plus utilisée. Elle suppose que le processus suivi par l'actif sous-jacent est un mouvement brownien géométrique, une hypothèse qui est souvent implicite. La formule s'applique aux options européennes d'achat ou de vente, mais ne permet pas d'évaluer les options américaines. En effet, le détenteur d'une option américaine fait face à un problème d'arrêt optimal : il doit s'assurer que le gain est positif et maximal, c'est-à-dire que reporter l'exercice de l'option plus tard ne lui procure pas un meilleur gain.

L'approche binomiale (Cox *et al.*, 1979), qui peut être aussi trinomiale ou multinomiale, consiste à discrétiser l'actif financier sous-jacent et à modéliser son évolution par un arbre binomial. Les valeurs de l'option sont déduites sur le même arbre par induction arrière en appliquant l'approche neutre au risque.

Cette approche permet en fait de déduire les probabilités sur l'arbre pour pouvoir le « remonter » et se base sur l'hypothèse que l'actif sous-jacent suit un mouvement brownien. Comme on le verra dans la prochaine section, plusieurs approches d'analyse des options réelles utilisent l'approche neutre au risque et adoptent implicitement cette hypothèse.

Quand le risque est plutôt privé, il n'est pas possible de construire un portefeuille sans risque et d'en déduire la valeur de l'option. Parfois, on suppose que le risque spécifique au projet est couvert, par la diversité des investissements et qu'il est possible d'actualiser les flux monétaires à l'aide d'un taux sans risque puisque le bêta du projet est nul. Or, cette hypothèse de diversification des investissements n'est pas forcément satisfaite dans le cas de projets PPP. En revanche, on peut avancer que les risques spécifiques au projet sont couverts, conformément aux exigences des créanciers (exemple : le risque de construction est attribué au constructeur par un contrat clé en main). Néanmoins, quand le risque privé est présent, il existe d'autres approches qui ne se confondent pas intégralement aux approches financières. On cite en particulier l'approche « Marketed Asset Disclaimer » proposée par Copeland et Antikarov (2001) qui ne nécessite pas la constitution d'un portefeuille sans risque pour évaluer l'option. Selon cette approche, la valeur du projet sans flexibilité, qui est fortement corrélée à la valeur du projet avec flexibilité, fait partie d'un portefeuille fictif sans risque constitué pour dériver la valeur de l'option. La valeur du projet sans flexibilité est calculée en actualisant les flux monétaires du projet avec un taux approprié, déterminé par le modèle d'évaluation des actifs financiers. Ainsi, bien que l'approche MAD s'identifie à un arbre de décision, elle est correcte de point de vue économique puisque le raisonnement par induction arrière est fait par l'intermédiaire de probabilités neutres au risque en supposant que l'évolution de l'actif financier sous-jacent est décrite par un mouvement brownien.

Contrairement aux approches décrites ci-dessus, la simulation Monte-Carlo (Boyle, 1977) permet de considérer plusieurs sources d'incertitude. L'évaluation par simulation de Monte-Carlo se base sur la génération de plusieurs scénarios possibles de l'actif financier sous-jacent et la déduction de la valeur de l'option pour chaque scénario aux nœuds terminaux. La moyenne des valeurs obtenues constitue une approximation de la valeur de l'option. Il existe aussi une extension de l'approche de Monte-Carlo, l'approche de simulation-régression (Longstaff et Schwartz, 2001), permettant d'évaluer des options américaines en estimant l'espérance conditionnelle du gain futur à chaque nœud par une régression des moindres carrés.

En somme, l'approche classique ou purement financière de l'analyse des options réelles est acceptable quand il est possible de trouver un actif financier dont la valeur est connue et qui peut constituer, avec l'option à évaluer, un portefeuille sans risque. Ceci ne peut être possible que si le risque est public. Quand le risque est privé, il est possible d'utiliser les approches basées sur un arbre de décision comportant des probabilités subjectives. D'une manière générale, comme le risque

peut être à la fois public et privé, l'approche la plus acceptable est l'approche intégrée ou hybride, soit celle qui fait appel à l'approche appropriée à chaque type de risque (Borison, 2005; III et De Neufville, 2001).

2. ÉVALUATION DE LA FLEXIBILITÉ DANS LES PROJETS EN PARTENARIAT PUBLIC-PRIVÉ

Dans le contexte des projets en PPP, afin de mieux gérer les risques, la gouvernance du projet fait souvent appel à certains mécanismes créant de la flexibilité dans la gestion, voire même dans la conception du projet. Ces mécanismes sont souvent identifiés à des options réelles. Dans les prochaines sous-sections, on décrit les mécanismes les plus utilisés et la façon de les évaluer par la théorie des options réelles.

2.1 *La garantie de revenu minimal et le partage de l'excès du revenu*

Le mécanisme de partage des risques le plus appliqué dans les projets en PPP demeure la garantie de revenu minimal (GRM), accompagné souvent du partage de l'excès du revenu (PER).

La GRM consiste à ce que le gouvernement garantisse au partenaire privé un niveau minimal de revenu, net ou brut. Ce niveau est en général préalablement fixé dans l'entente de la concession et peut varier tout au long de la période de la concession. Ainsi, par exemple, le gouvernement subventionne annuellement le partenaire privé de la différence entre le niveau minimal garanti et le niveau du revenu réel du projet, si ce dernier est moins élevé à la fin de l'année. Il s'agit d'une série d'options de vente détenues par le partenaire privé, tel qu'illustré au graphique 1. Pour chaque période, l'option est définie comme suit :

$$\begin{aligned} \text{si } R \geq GRM, S = 0 \text{ et } RT = R, \\ \text{si } R < GRM, S = GRM - R \text{ et } RT = GRM, \end{aligned}$$

où R est le niveau du revenu réel du projet, soit le revenu du trafic dans le cas par exemple d'une autoroute à péage, S est la subvention du gouvernement et RT est le revenu total perçu par le partenaire privé ($RT = R + S$). Le niveau du GRM pour une année donnée est souvent défini comme étant un pourcentage de la valeur anticipée des flux monétaires du projet pour cette année. Bien entendu, il faut que le niveau de la garantie soit adéquatement choisi. Un niveau très élevé résulte en un fardeau supplémentaire pour l'autorité publique, alors qu'un niveau très faible peut n'être jamais atteint et s'avérer peu utile à inciter le partenaire privé. Il est à noter que la GRM peut être définie en termes de trafic (Brandao et Saraiva, 2008) ou d'ajustement du prix à l'utilisateur.

Afin d'inciter le partenaire privé à fournir l'effort nécessaire pour que la demande soit suffisamment élevée et ne pas se contenter de la subvention publique, soit d'un revenu égal au niveau de la GRM qui est indépendant de ses efforts dé-

ployés, il est préconisé que l'autorité publique ne rembourse qu'une partie de la différence. Ainsi, les revenus reçus par le partenaire privé demeurent dépendants des revenus du projet et donc des efforts déployés. Si $\alpha \in [0, 1]$ est le coefficient de partage alors la GRM est définie comme suit :

$$\begin{aligned} \text{si } R \geq RMG, S = 0 \text{ et } RT = R, \\ \text{si } R < RMG, S = \alpha(RMG - R) \text{ et } RT = \alpha RMG + (1 - \alpha)R. \end{aligned}$$

Généralement, quand l'autorité publique offre la GRM au partenaire privé, elle reçoit en contrepartie l'option de partage de l'excès du revenu (PER) qui s'applique quand le revenu du projet est élevé. Il s'agit là d'une série d'options d'achat détenues par l'autorité publique en vertu desquelles elle reçoit la totalité ou une partie des revenus au-delà d'un certain seuil. Encore une fois, pour inciter le partenaire privé à déployer les efforts nécessaires pour que la demande atteigne des niveaux supérieurs, il est judicieux de partager l'excès des revenus entre les deux partenaires plutôt que de le transférer intégralement à l'autorité publique. Ainsi, si RG est le revenu reçu par l'autorité publique et $\beta \in [0, 1]$ est le coefficient de partage :

$$\begin{aligned} \text{si } R \geq PER, RG = \beta(R - PER), \\ \text{si } R < PER, RG = 0. \end{aligned}$$

L'option d'achat associée au PER est illustrée au graphique 2.

Ashuri *et al.* (2012) appliquent la théorie des options réelles pour évaluer l'impact de la GRM et du PER sur le profil de risque du concessionnaire. Pour évaluer l'option réelle, les auteurs supposent que les revenus annuels du projet obéissent à un processus binomial qui fait l'objet d'une simulation de Monte-Carlo. La valeur du projet est alors calculée en utilisant l'approche neutre au risque (Hull, 2008). Les auteurs considèrent des niveaux de GRM décroissants dans le temps, qui disparaissent quelques années avant la fin de la concession. Les seuils associés à la GRM et au PER sont des pourcentages arbitraires des revenus anticipés du projet. Le taux de partage de l'excès des revenus (β) est également fixé d'une façon arbitraire.

Chiara *et al.* (2007) considèrent le cas où le partenaire privé peut exercer l'option associée à la GRM une seule fois (option bermudienne) ou plusieurs fois (options australiennes), et ce, à plusieurs dates préalablement fixées. L'évaluation s'appuie sur l'approche de simulation-régression et est illustrée sur un cas hypothétique.

Galera et Soliño (2010) développent un modèle d'options réelles pour évaluer la GRM dans les concessions de routes à péage où la variable stochastique est le trafic routier. En utilisant des données réelles, les auteurs montrent que l'hypothèse que l'évolution du trafic obéisse à un processus stochastique brownien ne peut pas être rejetée. Ils proposent la constitution d'un portefeuille sans risque

pour évaluer la valeur du projet en différenciant entre l'infrastructure, pour laquelle il n'y a pas de marché, et la concession, pour laquelle un marché peut exister dépendamment du contrat concessionnel.

La plupart des modèles d'options réelles appliqués à l'évaluation des projets où figurent la GRM et le PER considèrent des seuils arbitraires. En revanche, Carbonara *et al.* (2014) proposent un modèle d'options réelles où le niveau de la GRM est déterminé de façon endogène, de telle sorte à ce que, d'une part, il assure la rentabilité minimale du projet pour le partenaire privé, et, d'autre part, il limite le fardeau induit par la GRM pour le gouvernement à 50 % du coût d'investissement total. En effet, pour qu'un projet soit inscrit hors budget, une directive fiscale de l'Union européenne limite la somme des garanties du gouvernement à 50 % du coût d'investissement du projet. Ces contraintes permettent de déterminer un intervalle du niveau de la GRM et de dresser le profil de risque pour les partenaires public et privé, en termes de probabilité que l'objectif de l'un des deux partenaires ne soit pas atteint. Le niveau optimal de la GRM est défini comme étant celui qui minimise la différence entre les deux profils de risque des partenaires. La simulation Monte-Carlo est appliquée à un projet de construction d'une route à péage en Italie dont les revenus sont supposés obéir à un processus stochastique brownien géométrique. Les résultats suggèrent que le projet ne peut être rentable qu'avec la GRM.

GRAPHIQUE 1

LE REVENU MINIMAL GARANTI EST UNE OPTION DE VENTE DÉTENU PAR LE PARTENAIRE PRIVÉ

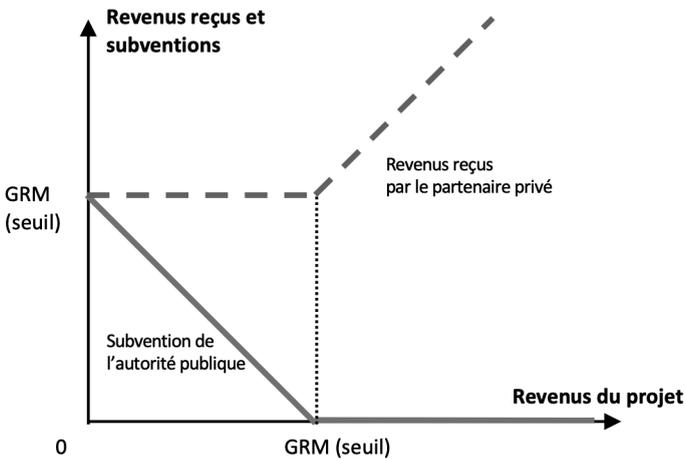


Fig.1 : Le revenu minimal garanti est une option de vente détenue par le partenaire privé

GRAPHIQUE 2

LE PARTAGE DE L'EXCÈS DES REVENUS EST UNE OPTION D'ACHAT DÉTENU PAR L'AUTORITÉ PUBLIQUE

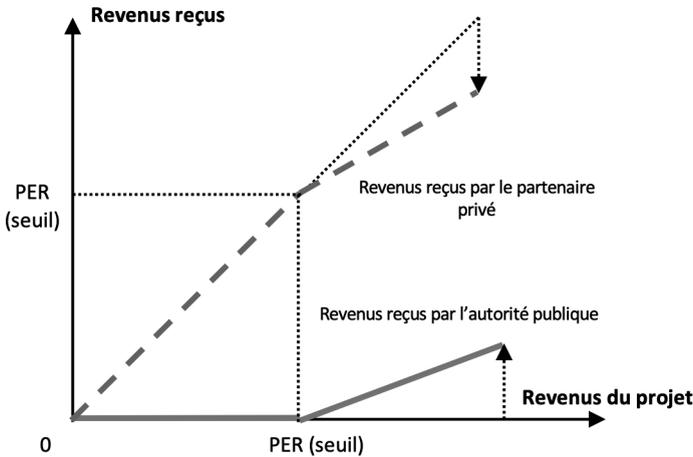


Fig.2 : Le partage de l'excès des revenus est une option d'achat détenue par l'autorité publique

Shan *et al.* (2010) déterminent également explicitement les seuils associés à la GRM et au PER en proposant un modèle d'options réelles où les options d'achat et de vente, associées respectivement à la GRM et au PER, se « neutralisent ». D'abord, le niveau de la GRM est déterminé de telle sorte qu'il assure un certain revenu brut minimal pour le partenaire privé. Afin de neutraliser le coût de cette option pour le gouvernement, une option de partage des revenus excédentaires est détenue par le gouvernement dont le niveau est fixé de manière à ce qu'elle ait la même valeur que l'option associée au GRM. La valeur des deux options est déterminée par la formule de Black et Scholes.

Plus récemment, Buyukyoran et Gundes (2018) proposent une autre approche pour déterminer explicitement les niveaux associés à la GRM et au PER. Pour ce faire, les auteurs minimisent la différence anticipée entre la somme des subventions associées à la GRM et les encaisses associées au PER, tout au long de la concession, sous la contrainte de rentabilité minimale pour le partenaire privé et du respect de la règle fiscale limitant la garantie gouvernementale pour que le projet soit hors budget, à l'instar de Carbonara *et al.* (2014). La méthode de solution est basée sur une simulation de Monte-Carlo et sur l'approche neutre au risque, où les revenus du projet sont censés obéir à un mouvement brownien géométrique.

L'application de la GRM à travers le monde a fait apparaître un autre risque majeur. En effet, lors de crises financières, il est possible que l'option associée à la GRM soit exercée dans le cadre de plusieurs projets, au moment même où les taxes perçues par le gouvernement sont en baisse. Afin de réduire ce risque, Chiara et Kokkaew (2013b) proposent un modèle d'options réelles où le niveau de la garantie peut être ajusté dans le temps, alors que Chiara et Kokkaew (2013a) proposent l'implication de différents intervenants, autres que le gouvernement, dans la garantie d'un revenu minimal au concessionnaire.

Les projets en PPP impliquent des partenaires publics et privés qui tentent de mettre en place des mécanismes de partage des risques pour mieux gérer les projets dans un contexte d'incertitude. Comme ces mécanismes consistent souvent en des transferts monétaires, des études du type avantages-coûts, où un planificateur social tente d'atteindre un optimum social, ne sont pas envisageables. Il est alors nécessaire de trouver d'autres approches. Par exemple, Wang et Liu (2015) étudient la garantie d'un revenu minimal pour le partenaire privé accompagnée d'un partage des revenus qui sont au-delà d'un certain seuil dans un contexte d'asymétrie d'information. En se basant sur les préférences d'équité, les auteurs s'intéressent à déterminer le meilleur taux de partage possible du point de vue du gouvernement étant donné que, si le partenaire privé n'obtient pas un partage équitable, il ne sera pas incité à déployer les efforts nécessaires pour que les revenus atteignent le seuil de partage. L'analyse est basée sur un modèle principal-agent sous l'hypothèse que l'autorité publique (le principal) ne peut observer complètement les coûts du partenaire privé.

2.2 *La moindre valeur actualisée des revenus*

Ce mécanisme a été initialement introduit par Engel *et al.* (1997) comme étant un nouveau mécanisme de mise à l'enchère ; il s'est cependant avéré qu'il représente aussi un bon mécanisme de partage du risque de marché, qui a été appliqué au Chili (Podhraski, 2014; Vassallo, 2006). Il consiste à octroyer le projet à l'offreur ayant exigé la moindre valeur actualisée des revenus (MVAR) avant que le projet ne soit transféré à l'autorité publique. Dans sa forme la plus simple, le mécanisme de la MVAR est une option d'achat détenue par le partenaire public qui lui permet de reprendre l'infrastructure dès que la valeur actualisée des revenus bruts atteint un certain seuil préétabli. Il est aussi possible d'établir ce mécanisme en fonction de la valeur actualisée des revenus nets (MVARN), ce qui est cependant moins facile à vérifier par le partenaire public. Selon ce mécanisme, la concession n'a pas de durée prédéterminée, ce qui permet de réduire les efforts de renégociation puisque la période de concession est systématiquement prolongée jusqu'à ce que le partenaire privé atteigne le rendement cible, pourvu que ses coûts d'opération et de maintenance soient sensiblement tels que prévus. Comme on peut le prévoir, ce mécanisme présente aussi quelques lacunes. Tout d'abord, il n'est pas garanti que les revenus permettent de couvrir les coûts annuels de la dette, ce qui ne rassure pas les créanciers. Par ailleurs, l'autorité publique et le partenaire privé ignorent la date exacte du transfert de l'infrastructure, bien que cette date puisse

être prévue avec plus ou moins d'exactitude par l'analyse des flux monétaires courants. La prévision de cette date demeure importante pour que les partenaires aient le temps de préparer les ressources nécessaires pour le transfert et la planification qui s'en suit. Enfin, ce mécanisme limite la hausse des gains pour le concessionnaire, mais ne limite pas ses pertes. Pour remédier à ces faiblesses, il est souvent recommandé de juxtaposer ce mécanisme à d'autres, dont en particulier la GRM. Vassallo (2006) soutient que le mécanisme VAMR est très intéressant malgré ces lacunes, à laquelle s'ajoute le fait que le partenaire public accapare les retombées économiques du projet s'il s'avère un grand succès. L'auteur propose de fixer une période minimale de concession pour remédier à ce dernier inconvénient.

2.3 *L'option d'abandon*

L'option d'abandon signifie que l'investisseur peut arrêter le projet définitivement à n'importe quel moment (Dixit et Pindyck, 1994; Trigeorgis, 1993). Dans le contexte des PPP, un concessionnaire peut bénéficier d'une période de consultation après la signature de l'entente et avant de confirmer son intention de démarrer la construction du projet. En effet, il est difficile d'imaginer que cette option puisse être exercée lors de la construction puisque ceci est inacceptable du point de vue de l'offreur du service public.

Rakic et Radenovic (2014) appliquent l'approche binomiale pour discrétiser la valeur d'un projet, dont l'évolution est décrite par un mouvement brownien géométrique, dans le but d'évaluer l'option d'abandon. Ils déterminent ensuite les probabilités neutres au risque permettant d'en calculer la valeur. Les auteurs considèrent des options d'abandon européennes et américaines pour les projets BOT de routes à péage. Sans surprise, les auteurs concluent que l'option américaine est mieux valorisée et offre plus de flexibilité pour le partenaire privé.

Huang et Chou (2006) développent un modèle d'options composées, soit la GRM (option européenne) et l'option d'abandonner le projet durant la période entre la date de signature de la concession et la date préétablie pour débiter la construction (option américaine). Le modèle est appliqué à l'évaluation d'un projet ferroviaire à Taiwan dont la période de consultation était d'environ une année, offrant ainsi une option d'abandon équivalente à environ 5 % de la valeur nette du projet. La valeur des options est exprimée par des fonctions explicites obtenues après la résolution d'équations aux dérivées partielles. Les auteurs montrent que les deux types d'options font augmenter la valeur du projet séparément, mais, quand elles coexistent, elles s'opposent et contribuent à réduire la valeur du projet. Intuitivement, ce résultat s'explique par le fait que l'exercice de l'option d'abandon annule la valeur de la GRM. Inversement, la présence de la GRM rassure les investisseurs et réduit la valeur de l'option d'abandon durant la période précédant le début de la construction.

2.4 *L'option d'étendre la période de concession*

L'entente de concession peut prévoir la possibilité d'étendre la période de concession si certaines conditions ne sont pas satisfaites, comme, par exemple, le taux de rendement anticipé du projet. Généralement, l'exercice de cette option permet d'accroître la période de concession, une seule fois, d'une durée préétablie. Il s'agit d'une option européenne de vente détenue par le partenaire privé, puisqu'à la date prévue de la fin de la concession, le concessionnaire peut décider de transférer l'infrastructure et recevoir une indemnité (Caselli *et al.*, 2009). Ne pas exercer cette option à la fin prévue de la concession engendre la prolongation de la période concessionnelle.

Une autre façon de prolonger la période de concession est d'accélérer l'exécution du projet. Cette option permet de générer plus tôt les revenus du projet et d'ajouter la période épargnée à la période d'exploitation commerciale du projet. En effet, la période de concession peut être spécifiée en termes d'une seule période pendant laquelle le partenaire privé construit et exploite le projet, ou en termes de deux périodes, soit une première période de construction suivie d'une deuxième période d'exploitation. Dans le premier cas, sans qu'il soit incité par l'autorité publique, le partenaire privé a intérêt à accélérer la construction de l'infrastructure et à générer aussi tôt que possible des revenus. Dans le second cas, il est judicieux que l'autorité publique incite à accélérer la construction du projet en permettant d'ajouter le temps épargné durant la phase de construction à la période d'exploitation. Il s'agit d'une option de vente à la disposition de l'entité privée. Contrairement à plusieurs options en vertu desquelles le risque est transféré d'une partie à une autre dans un jeu à somme nulle, l'option de devancer le début de l'exploitation commerciale du projet est une option de flexibilité managériale qui s'avère gagnante pour les deux parties, puisqu'elle permet au concessionnaire de générer des revenus plus tôt, et à l'autorité publique d'assurer plus rapidement les services publics en question. Attarzadeh *et al.* (2017) analysent cette option en présence de la GRM et du PER. Les auteurs montrent que sa valeur peut être appréciable, à condition que l'accélération de l'exécution du projet ne soit pas coûteuse.

2.5 *L'option de rachat*

Il s'agit d'un mécanisme qui permet à l'autorité publique de reprendre l'infrastructure plus tôt que la date de fin de la concession pour l'exploiter par ses propres services ou pour la confier à un autre opérateur. Cette option, détenue par le gouvernement, est très importante si l'environnement du projet, la demande pour l'infrastructure ou la technologie employée présentent un niveau d'incertitude élevé (Power *et al.*, 2016). L'option de rachat est une option américaine sur un actif à dividendes. Il s'agit d'une option intéressante pour le gouvernement, car une grande partie de l'incertitude est généralement résolue quelques années après le début de la concession. L'exercice de l'option peut être justifié s'il s'avère, par

exemple, que la demande soit fortement à la hausse alors que la période restante de la concession est encore longue.

Il est également possible que l'option de rachat soit conditionnelle à ce que le projet atteigne un certain niveau de rentabilité. Dans ce cas, l'exercice de l'option est habituellement sans coût. Pourtant, Power *et al.* (2016) montrent que cette option n'est pas intéressante, car le critère de rentabilité n'est souvent pas atteint, alors que, s'il est atteint, c'est tardivement durant la période de la concession, à un moment où la valeur actualisée nette résiduelle du projet est faible.

Enfin, il est possible que cette option ne puisse être exercée par le gouvernement qu'à certaines dates préalablement fixées, comme pour le projet « Transurban City Link » de Melbourne (Rose, 1998). Dans ce cas, l'option de rachat a réduit la valeur de l'option de report des paiements, une autre option offerte dans le cadre de cette concession, puisque son exercice a raccourci la période de concession.

2.6 *L'option de reporter les paiements concessionnaires*

Cette option permet au concessionnaire de reporter les paiements concessionnaires prévus si certaines conditions de rentabilité ne sont pas remplies. Souvent, en effet, une grande incertitude règne par rapport à la variation des revenus du projet dans le temps, notamment au début de la concession. Dans ces conditions, l'option de report des paiements est grandement valorisée. Rose (1998) étudie cette option offerte par l'autorité publique au concessionnaire du projet de Melbourne. Dans ce cas, cette option, qui pouvait être exercée sans pénalité si le rendement du projet demeurait inférieur à un certain niveau, était très attractive comparativement au coût d'investissement du projet.

Alonso-Conde *et al.* (2007) étudient deux options composées dans un projet en PPP, à savoir, l'option du partenaire privé à reporter les paiements concessionnaires et l'option du partenaire public à mettre fin à la concession et prendre possession de l'infrastructure avant la fin prévue de la concession. Les auteurs montrent que ces options font augmenter significativement la valeur actualisée nette du projet pour le partenaire privé.

2.7 *La garantie de non-concurrence*

La garantie de non-concurrence, ou de concurrence restreinte ou limitée, est une promesse de l'autorité publique de ne pas entreprendre de projets similaires dans un rayon donné autour du projet en vue de préserver une demande élevée et ainsi protéger la viabilité financière du projet. Par exemple, la France et le Royaume-Uni ont promis au promoteur du projet de l'Eurotunnel de ne pas construire d'infrastructures similaires durant les 33 ans suivant la construction du tunnel. Si un projet similaire était entrepris et que la réalisation de ce projet induit une baisse de la demande, le partenaire privé aurait droit à une indemnité basée sur la différence entre les revenus anticipés et les revenus réels. Dans ce contexte,

la garantie de non-concurrence est une option de vente détenue par le partenaire privé qui s'exerce une seule fois, mais demeure conditionnelle à une action du gouvernement, soit la construction d'un projet similaire dans la région désignée. Liu *et al.* (2014) évaluent cette garantie en tant qu'une option américaine du point de vue du partenaire privé. Les auteurs montrent que cette garantie peut atteindre environ 10 % de la valeur nette du projet.

Du point de vue du gouvernement, la garantie de non-concurrence génère des coûts sociaux puisqu'elle implique un engagement de l'État à ne pas lancer de nouveaux projets, ou à ne pas bonifier un projet existant pour ne pas nuire à la demande du projet en question. Du point de vue de l'État, cette clause présente une perte de flexibilité égale, en valeur absolue, à la valeur sociale des projets de l'État quand la demande est à la hausse et que l'État décide quand même de ne pas entreprendre d'autres projets. Dans ce contexte, la perte peut être évaluée comme la valeur d'une option américaine d'achat, puisque, sans la clause de non-concurrence, l'État jouit normalement de cette flexibilité (Weaver, 2017).

3. DISCUSSIONS

Pour remédier à l'incomplétude des contrats, notamment dans le cas des projets en PPP caractérisés par de longues périodes de concessions, il est économiquement efficient d'intégrer de la flexibilité dans les clauses des concessions. Ces clauses permettent d'outiller les différents partenaires de mécanismes permettant de partager le risque au fur et à mesure que des événements incertains se concrétisent dans l'environnement du projet. Dans ce sens, les options réelles présentes dans les projets en PPP visent ultimement à renforcer la rentabilité financière du projet pour le partenaire privé, à faire bénéficier le partenaire public quand le projet s'avère un succès et à protéger ses intérêts en termes de la qualité des services publics rendus. Ces options peuvent être classées en deux groupes. Le premier groupe est celui des options visant à stabiliser les revenus du projet, soit les différentes versions de la GRM, avec ou sans partage des revenus entre les partenaires privé et public. Le deuxième groupe comprend les options visant à ajuster la période de concession pour faire bénéficier le partenaire privé ou permettre au partenaire public de récupérer aussi tôt que possible l'infrastructure. Dans ce groupe, on trouve en particulier le mécanisme de la moindre valeur actualisée des revenus, l'option de rachat et le droit à la compensation. En pratique, ces deux groupes d'options ont été plus ou moins intégrés dans les projets en PPP, isolément ou conjointement, et passablement étudiés dans la littérature.

D'autres types d'options réelles existent, mais n'ont pas été explicitement intégrées dans les projets en PPP, à savoir les options de flexibilité managériale (Garvin et Cheah, 2004) et les options de flexibilité conceptuelle (De Neufville, 2004; De Neufville *et al.*, 2008; Martins *et al.*, 2015), bien qu'elles pourraient contribuer à augmenter significativement la valeur du projet et permettre au concessionnaire de mieux gérer le risque. En effet, contrairement aux mécanismes des deux premiers groupes, les options réelles de flexibilité managériale et de conception ne

sont pas nécessairement à « somme nulle » et permettent alors d'augmenter la valeur du projet pour les deux partenaires à la fois. Les options réelles de flexibilité managériale comprennent, par exemple, l'option de décider de la date de démarrage, communément appelée l'option de report (McDonald et Siegel, 1986; Ribeiro *et al.*, 2013) et l'option d'investissement séquentiel (Bar-ilan et Strange, 1996). Théoriquement plus nombreuses, mais moins investiguées que les options de flexibilité managériales, les options réelles de conception portent sur la conception même du projet et permettent au partenaire privé de le concevoir ou de l'adapter selon les changements de la demande, à l'instar de Cruz et Marques (2013) et de Krüger (2012).

Le mécanisme de la MVAR (Engel *et al.*, 1997; Vassallo, 2006) demeure le mécanisme le plus prometteur et nécessite plus d'investigation. Il est à noter que, par son intégration dans les projets PPP, le but ultime du partenaire public ne se limite pas à la récupération de l'infrastructure en soi, mais la possibilité de générer d'autres revenus par l'octroi d'autres contrats, par exemple d'exploitation, à une tierce partie. Dans sa forme la plus simple, le mécanisme de la MVAR présente aussi des inconvénients, d'où la proposition de Vassallo (2006) d'adopter une durée concessionnaire maximale et la possibilité de racheter l'infrastructure si le partenaire privé n'atteint pas la valeur actualisée cible. Vassallo (2006) recommande également une durée de concession minimale visant à faire bénéficier le partenaire privé des retombées du projet s'il s'avère un succès. Or, si le partenaire privé atteint rapidement la valeur actualisée cible, c'est qu'il est en mesure de libérer ses ressources et les orienter vers d'autres opportunités d'investissement, à moins que la concession soit particulièrement rentable, auquel cas il est nécessaire de faire bénéficier le partenaire public. Autrement dit, l'inclusion d'une durée minimale doit être accompagnée d'un mécanisme de partage semblable. Juxtaposer d'autres mécanismes à celui de la MVAR nécessite des investigations plus approfondies pour s'assurer de leur applicabilité et éviter que les différentes options se neutralisent mutuellement.

En ce qui concerne la mécanique d'application de l'analyse des options réelles à l'évaluation des projets en PPP, la plus importante difficulté demeure l'hypothèse de la complétude des marchés financiers, puisque la majorité des applications de l'analyse des options réelles reposent sur la formule de Black et Scholes ou sur la représentation binomiale. Cette hypothèse est nécessaire pour pouvoir appliquer de telles approches empruntées de la finance et habituellement appliquées aux options purement financières. Les opposants à l'application de ces approches aux options réelles argumentent qu'il n'est pas possible de constituer un portefeuille sans risque dont fait partie la valeur du projet, puisqu'il n'existe pas de marché où « le projet » ou l'infrastructure est l'objet de transactions. D'autres auteurs proposent que, si la valeur de la concession est suffisamment corrélée avec le marché financier, on peut avancer que son risque est plutôt public et qu'il est donc possible d'appliquer les approches purement financières. Par contre, si le projet a ses propres risques, dits privés, il n'est pas possible d'utiliser ces approches. Cependant, il est peut-être possible dans plusieurs situations de distinguer, comme

le suggèrent Galera et Soliño (2010), entre l'infrastructure physique, pour laquelle il n'existe pas de marché au sens classique du terme, et la valeur de la concession, qui, si le contrat concessionnel le permet, peut faire l'objet de transactions. De plus, la création d'une entité privée, appelée aussi la compagnie du projet, parfois cotée à la bourse, montre que la concession a une valeur marchande qui peut être répliquée par des actions échangées dans le marché financier. Ces arguments sont en faveur de l'emploi des approches financières pour évaluer les options réelles présentes dans les projets en PPP. Il est aussi légitime de se poser la question quant à l'importance du risque privé par rapport au risque public dans un projet en PPP, puisque, par la nature même des projets en PPP, le risque privé est souvent transféré à une tierce partie.

Enfin, l'hypothèse par laquelle la variable sous-jacente, comme le trafic routier ou les revenus d'une route à péage, est représentée par un mouvement géométrique est discutable, en dépit de quelques tests empiriques. En effet, économiquement, la demande semble plutôt dépendante de l'itinéraire suivi puisque, généralement, le nombre de nouveaux utilisateurs d'une infrastructure augmente à un taux décroissant dans le temps. Ce constat favorise l'emploi des approches basées sur la simulation de Monte-Carlo ou sur les arbres de décision et rend l'approche de Black et Scholes et les approches semblables moins acceptables.

CONCLUSION

L'évaluation des projets en PPP de point de vue du partenaire privé et du partenaire public est nécessaire pour s'assurer de sa rentabilité pour le secteur privé et pour minimiser le fardeau fiscal du partenaire public, tout en assurant des services publics de qualité. L'application de l'analyse des options réelles est nécessaire, car elle permet d'évaluer les sources de flexibilité intégrées dans les concessions comme moyens de gestion proactive de l'incertitude. L'emploi des approches financières pour appliquer l'analyse des options réelles semble acceptable sous certaines conditions propres aux projets en PPP, aussi bien que la simulation de Monte-Carlo, plus particulièrement quand l'évolution de la variable sous-jacente n'est pas décrite par un simple mouvement brownien. L'approche intégrée ou hybride est également en vogue puisqu'elle permet de considérer les deux types de risques, public et privé.

L'analyse des options réelles a été appliquée récemment aux projets en PPP, surtout pour évaluer les mécanismes visant à stabiliser les revenus de la concession, comme la GRM et le PER. Elle a été moins étudiée pour évaluer les mécanismes visant l'ajustement de la période de concession, comme la MVAR. Ce mécanisme, qui semble utile et moins risqué que la GRM, notamment en période de crise économique, mérite d'être mieux investigué, notamment en présence d'autres options comme la possibilité de rachat et les limites à appliquer à la période de concession.

Enfin, il est nécessaire d'étudier la possibilité d'élargir l'éventail des options réelles pour inclure des options à sommes non nulles, dont en particulier les options de flexibilité managériale et de flexibilité de conception.

BIBLIOGRAPHIE

- ALONSO-CONDE, A. B., C. BROWN et J. ROJO-SUAREZ (2007) : « Public private partnerships : Incentives, risk transfer and real options », *Review of Financial Economics*, 16(4), 335–349.
- AMRAM, M. et N. KULATILAKA (1998) : *Real Options : Managing Strategic Investment in an Uncertain World*. Oxford University Press.
- ASHURI, B., H. KASHANI, K. R. MOLENAAR, S. LEE et J. LU (2012) : « Risk-Neutral Pricing Approach for Evaluating BOT Highway Projects with Government Minimum Revenue Guarantee Options », *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(4), 545–557.
- ATTARZADEH, M., D. K. CHUA, M. BEER et E. L. ABBOTT (2017) : « Options-based negotiation management of PPP–BOT infrastructure projects », *Construction Management and Economics*, 35(11-12), 676–692.
- BAR-ILAN, A. et W. STRANGE (1996) : « Investment Lags », *American Economic Review*, 86(3), 610–22.
- BLACK, F. et M. SCHOLES (1973) : « The Pricing of Options and Corporate Liabilities », *Journal of Political Economy*, 81(3), 637–54.
- BORISON, A. (2005) : « Real Options Analysis : Where Are the Emperor's Clothes ? », *Journal of Applied Corporate Finance*, 17(2), 17–31.
- BOYER, M., P. CHRISTOFFERSEN, P. LASSERRE et A. PAVLOV (2003) : « Value creation, risk management, and real options », Cirano burgundy reports, CIRANO.
- BOYLE, P. P. (1977) : « Options : A Monte Carlo approach », *Journal of Financial Economics*, 4(3), 323–338.
- BRANDAO, L. E. et E. SARAIVA (2008) : « The option value of government guarantees in infrastructure projects », *Construction Management and Economics*, 26(11), 1171–1180.
- BREALEY, R. A., S. C. MYERS, F. ALLEN et P. MOHANTY (2012) : *Principles of corporate finance*. Tata McGraw-Hill Education.
- BROWN, C. (2005) : « Financing Transport Infrastructure : For Whom the Road Tolls », *Australian Economic Review*, 38(4), 431–438.
- BUYUKYORAN, F. et S. GUNDES (2018) : « Optimized real options-based approach for government guarantees in PPP toll road projects », *Construction Management and Economics*, 36(4), 203–216.
- CARBONARA, N., N. COSTANTINO et R. PELLEGRINO (2014) : « Revenue guarantee in public-private partnerships : a fair risk allocation model », *Construction Management and Economics*, 32(4), 403–415.

- CASELLI, S., S. GATTI et A. MARCIANTE (2009) : « Pricing Final Indemnification Payments to Private Sponsors in Project-Financed Public-Private Partnerships : An Application of Real Options Valuation », *Journal of Applied Corporate Finance*, 21(3), 95–106.
- CHAN, D. W., A. P. CHAN, P. T. LAM, J. F. YEUNG et J. H. CHAN (2011) : « Risk ranking and analysis in target cost contracts : Empirical evidence from the construction industry », *International Journal of Project Management*, 29(6), 751–763.
- CHEN, H., R. QIN et S. LONG (2012) : « An Evaluation of Real Options Approach in Public-Private Partnerships », dans *IIE Annual Conference*, pp. 336–345.
- CHIARA, N., M. J. GARVIN et J. VECER (2007) : « Valuing Simple Multiple-Exercise Real Options in Infrastructure Projects », *Journal of Infrastructure Systems*, 13(2), 97–104.
- CHIARA, N. et N. KOKKAEW (2013a) : « Alternative to Government Revenue Guarantees : Dynamic Revenue Insurance Contracts », *Journal of Infrastructure Systems*, 19(3), 287–296.
- (2013b) : « A modeling government revenue guarantees in privately built transportation projects : a risk-adjusted approach », *Transport*, 28(2), 186–192.
- COPELAND, T. et V. ANTIKAROV (2001) : *Real Options : A Practitioner's Guide*. Texere.
- COX, J. C., S. ROSS et M. RUBINSTEIN (1979) : « Option pricing : A simplified approach », *Journal of Financial Economics*, 7(3), 229–263.
- CRUZ, C. O. et R. C. MARQUES (2013) : « Flexible contracts to cope with uncertainty in public–private partnerships », *International Journal of Project Management*, 31(3), 473–483.
- DE BETTIGNIES, J.-E. et T. W. ROSS (2009) : « Public–private partnerships and the privatization of financing : An incomplete contracts approach », *International Journal of Industrial Organization*, 27(3), 358 – 368.
- DE NEUFVILLE, R. (2004) : « Uncertainty management for engineering systems planning and design », Document de Travail, MIT.
- DE NEUFVILLE, R., K. HODOTA, J. SUSSMAN et S. SCHOLTES (2008) : « Real Options to Increase the Value of Intelligent Transportation Systems », *Transportation Research Record*, 2086(1), 40–47.
- DIXIT, A. et R. PINDYCK (1994) : *Investment under uncertainty*, p. 476. Princeton University Press.
- DONG, F. et N. CHIARA (2010) : « Improving Economic Efficiency of Public-Private Partnerships for Infrastructure Development by Contractual Flexibility Analysis in a Highly Uncertain Context », *The Journal of Structured Finance*, 16(1), 87–99.
- DOS SANTOS, B. L. (1991) : « Justifying Investments in New Information Technologies », *Journal of Management Information Systems*, 7(4), 71–89.

- ENGEL, E., R. FISCHER et A. GALETOVIC (1997) : « Highway Franchising : Pitfalls and Opportunities », *American Economic Review*, 87(2), 68–72.
- ESTY, B. C. (2004) : *Modern Project Finance : A Casebook*. John Wiley and Sons.
- FORD, D., D. LANDER et J. VOYER (2002) : « A real options approach to valuing strategic flexibility in uncertain construction projects », *Construction Management and Economics*, 20(4), 343–351.
- GALERA, A. L. et A. S. SOLIÑO (2010) : « A Real Options Approach for the Valuation of Highway Concessions », *Transportation Science*, 44(3), 416–427.
- GARVIN, M. et C. CHEAH (2004) : « Valuation techniques for infrastructure investment decisions », *Construction Management and Economics*, 22(4), 373–383.
- HAAHTELA, T. (2012) : « Differences between financial options and real options », dans *4th International Conference on Applied Operational Research*. Lecture Notes on Management Science.
- HEMMING, R., B. ANDERSON, M. ALIER, M. PETRIE et M. CANGIANO (2006) : « Public-Private Partnerships, Government Guarantees, and Fiscal Risk », Document de Travail, International Monetary Fund.
- HUANG, Y. et S. CHOU (2006) : « Valuation of the minimum revenue guarantee and the option to abandon in BOT infrastructure projects », *Construction Management and Economics*, 24(4), 379–389.
- HULL, J. C. (2008) : *Options, Futures and Other Derivatives*. Pearson Education International.
- III, J. E. N. et R. DE NEUFVILLE (2001) : « Hybrid real options valuation of risky product development projects », *International Journal of Technology, Policy and Management*, 1(1), 29–46.
- KASSAR, I. et P. LASSERRE (2004) : « Species preservation and biodiversity value : a real options approach », *Journal of Environmental Economics and Management*, 48(2), 857–879.
- KE, Y., S. WANG, A. P. CHAN et P. T. LAM (2010) : « Preferred risk allocation in China's public-private partnership (PPP) projects », *International Journal of Project Management*, 28(5), 482–492.
- KRÜGER, N. (2012) : « To kill a real option – Incomplete contracts, real options and PPP », *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 46(8), 1359–1371.
- LIU, J., X. YU et C. Y. J. CHEAH (2014) : « Evaluation of restrictive competition in PPP projects using real option approach », *International Journal of Project Management*, 32(3), 473–481.
- LONGSTAFF, F. et E. S. SCHWARTZ (2001) : « Valuing American Options by Simulation : A Simple Least-Squares Approach », *Review of Financial Studies*, 14(1), 113–47.

- LUEHRMAN, T. A. (1998) : « Investment Opportunities as Real Options : Getting Started on the Numbers », *Harvard Business Review*, 76(4), 51–67.
- MAJD, S. et R. PINDYCK (1987) : « Time to build, option value, and investment decisions », *Journal of Financial Economics*, 18(1), 7–27.
- MARGRABE, W. (1978) : « The Value of an Option to Exchange One Asset for Another », *Journal of Finance*, 33(1), 177–86.
- MARTINS, J., R. C. MARQUES et C. O. CRUZ (2015) : « Real Options in Infrastructure : Revisiting the Literature », *Journal of Infrastructure Systems*, 21(1), 04014026.
- MCDONALD, R. et D. SIEGEL (1986) : « The Value of Waiting to Invest », *The Quarterly Journal of Economics*, 101(4), 707–727.
- MCDONALD, R. L. et D. R. SIEGEL (1985) : « Investment and the Valuation of Firms When There is an Option to Shut Down », *International Economic Review*, 26(2), 331–349.
- MERTON, R. (1973) : « Theory of Rational Option Pricing », *Bell Journal of Economics*, 4(1), 141–183.
- MYERS, S. C. (1977) : « Determinants of corporate borrowing », *Journal of Financial Economics*, 5(2), 147–175.
- ORIANI, R. et M. SOBRERO (2008) : « Uncertainty and the market valuation of R&D within a real options logic », *Strategic Management Journal*, 29(4), 343–361.
- OSEI-KYEI, R. et A. P. CHAN (2015) : « Review of studies on the Critical Success Factors for Public–Private Partnership (PPP) projects from 1990 to 2013 », *International Journal of Project Management*, 33(6), 1335–1346.
- PADDOCK, J. L., D. R. SIEGEL et J. SMITH (1988) : « Option Valuation of Claims on Real Assets : The Case of Offshore Petroleum Leases », *The Quarterly Journal of Economics*, 103(3), 479–508.
- PODHRASKI, D. (2014) : « Real Options in Public-Private Partnerships », *Eur. Procurement & Pub. Private Partnership*.
- POWER, G., M. BURRIS, S. VADALI et D. VEDENOV (2016) : « Valuation of strategic options in public–private partnerships », *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 90(C), 50–68.
- RAKIC, B. et T. RADENOVIC (2014) : « Real Options Methodology In Public-Private Partnership Projects Valuation », *Economic Annals*, 59(200), 4.
- RIBEIRO, J. A., P. J. PEREIRA et E. BRANDÃO (2013) : « A Two-Factor Uncertainty Model to Determine the Optimal Contractual Penalty for a Build-Own-Transfer Project », Cef.up working papers, Universidade do Porto, Faculdade de Economia do Porto.
- RIGOPOULOS, G. (2015) : « A Primer on Real Options Pricing Methods », *International Journal of Economics and Business Administration*, 1(2), 39–47.

- ROSE, S. (1998) : « Valuation of Interacting Real Options in a Tollroad Infrastructure Project », *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 38(3, Part 2), 711–723.
- SACHDEVA, K. et P. A. VANDENBERG (1993) : « Valuing the abandonment option in capital budgeting – an option pricing approach », *Financial Practice & Education*, 3(2), 57–65.
- SHAN, L., M. GARVIN et R. KUMAR (2010) : « Collar options to manage revenue risks in real toll public-private partnership transportation projects », *Construction Management and Economics*, 28(10), 1057–1069.
- SIDDIQUI, A. et S.-E. FLETEN (2010) : « How to proceed with competing alternative energy technologies : A real options analysis », *Energy Economics*, 32(4), 817–830.
- SLADE, M. (2001) : « Valuing Managerial Flexibility : An Application of Real-Option Theory to Mining Investments », *Journal of Environmental Economics and Management*, 41(2), 193–233.
- TRIANANTIS, A. et A. BORISON (2001) : « Real Options : State of the Practice », *Journal of Applied Corporate Finance*, 14(2), 8–24.
- TRIGEORGIS, L. (1993) : « The Nature of Option Interactions and the Valuation of Investments with Multiple Real Options », *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 28(1), 1–20.
- VASSALLO, J. M. (2006) : « Traffic Risk Mitigation in Highway Concession Projects : The Experience of Chile », *Journal of Transport Economics and Policy*, 40(3), 359–381.
- WANG, T. et R. DE NEUFVILLE (2005) : « Real options "in" projects », Paper presented at the real options conference, Paris, France.
- WANG, Y. et J. LIU (2015) : « Evaluation of the excess revenue sharing ratio in PPP projects using principal–agent models », *International Journal of Project Management*, 33(6), 1317–1324.
- WEAVER, E. (2017) : « Competing Facilities Provisions in Public-Private Partnership Projects : Current Practice and Valuation », Thèse de Doctorat, University of Maryland.
- WILMOTT, P., S. HOWISON et J. DEWYNNE (1995) : *The Mathematics of Financial Derivatives*. Cambridge University Press.
- YE, S. et R. TIONG (2003) : « The effect of concession period design on completion risk management of BOT projects », *Construction Management and Economics*, 21(5), 471–482.
- YESCOMBE, E. R. (2013) : *Principles of Project Finance*. Elsevier, 2 edn.