



HAL
open science

Conditions et pertinence du financement des infrastructures autoroutières au niveau régional - Critères de priorités entre projets et intérêt du financement par Shadow Toll. Second rapport d'étape

Bruno Faivre d'Arcier

► **To cite this version:**

Bruno Faivre d'Arcier. Conditions et pertinence du financement des infrastructures autoroutières au niveau régional - Critères de priorités entre projets et intérêt du financement par Shadow Toll. Second rapport d'étape. 2002. halshs-00115681

HAL Id: halshs-00115681

<https://shs.hal.science/halshs-00115681>

Submitted on 22 Nov 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conditions et pertinence du financement des infrastructures autoroutières au niveau régional

*Critères de priorités entre projets
et intérêt du financement par Shadow Toll*

Second rapport d'étape

pour le compte de la
Direction des Transports et des Communications
au Conseil Régional Rhône-Alpes

B. Faivre d'Arcier

Laboratoire d'Economie des Transports

Décembre 2002

Table des matières

Avant-propos	1
1^{ère} partie : Définition de critères de priorités dans les choix d'investissement régionaux	2
1.1. Réduction du système de référence au territoire régional.....	3
1.2. Définition d'un système de valeurs régional	5
1.3. La mesure de l'efficacité du financement régional.....	7
1.4. La mesure de la contribution de l'infrastructure aux objectifs régionaux.....	8
1.5. Conclusion.....	11
2^{ème} partie : Le choix des modes de financement : subvention à l'investissement ou recours au shadow toll ?	12
2.1 Concept et usage du shadow toll	12
2.2. Gestion du risque et capacité d'attraction de fonds privés	14
Garantie de recettes et shadow toll	16
2.3 Principes et intérêt d'un Shadow Toll de financement	17
2.4 Simulation de l'efficacité du shadow toll de financement.....	23
Description du modèle	23
2.5 Résultats des simulations	25
Impact du ratio EBE1/Investissement et du taux de croissance annuelle de l'EBE.....	28
Impact du TRI objectif sur le coût du shadow toll	31
Recherche d'un shadow toll « optimisé ».....	33
2.6 Conclusion.....	36
Conclusion	37
Annexes	38
Modèle théorique linéaire simplifié.....	39
Présentation du modèle MEFISTO	42
Références	47
Liste des tableaux et graphiques.....	48
Tableaux :	48
Graphiques :	48

Avant-propos

Ce rapport correspond à la seconde et dernière étape d'une étude réalisée pour la Direction des Transports et des Communications de la région Rhône-Alpes, portant sur la rentabilité des infrastructures de transport. Cette étude s'inscrit dans un contexte marqué par la mise en œuvre de la régionalisation ferroviaire, mais également par la sollicitation de cette collectivité territoriale à participer au financement d'infrastructures routières, notamment les futurs autoroutes concédées.

L'objectif principal de la première étape a été de proposer une synthèse méthodologique sur la mesure de l'utilité d'un investissement de transport au moyen du calcul économique public (l'Analyse Coûts/Avantages), méthode à nouveau recommandée par le Ministère des Transports. Outre un rappel des fondements théoriques de cette démarche d'évaluation, deux éléments plus précis sont abordés. Le premier concerne la question des multiples rentabilités dans le cadre d'un partenariat associant plusieurs financeurs, publics et privés. Le second porte sur les conditions pratiques de conduite du calcul de rentabilité et les conditions de pertinence des résultats d'une telle évaluation, en soulignant les difficultés du calcul pratique. D'un côté, la nécessité d'introduire de nombreuses hypothèses impose une prise en compte claire du risque (calcul d'erreur) et de l'incertitude (les futurs possibles). De l'autre, les nouvelles règles de concession remettant en cause le principe de l'adossement induisent un montage financier plus complexe qui conduisent à un besoin accru de financement public. L'amélioration de la faisabilité financière de ces investissements peut notamment passer par une meilleure articulation des différents moyens d'action (investissement, exploitation, réglementation, tarification).

La seconde étape avait pour objectif initial de proposer des indicateurs quantifiés, capables d'exprimer dans quelle mesure les projets autoroutiers soumis à financement satisfaisaient les objectifs propres de la politique de transport de la région. Il avait été envisagé d'appliquer ces indicateurs à une série de projets réels, pour en apprécier l'opérationnalité et la pertinence. Cependant, les difficultés d'accès à des informations quantitatives détaillées sur chacun de ces projets et le manque de formalisation quantifiée des objectifs de la région n'auraient pas permis de dépasser le stade de l'exercice de style, sans garantir un éclairage pratique pour les commanditaires de l'étude.

De plus, le contexte général de l'étude a évolué entre temps, et ceux-ci ont souhaité réorienter l'étude vers une autre dimension. En effet, la contrainte principale reste les capacités d'investissement de la région, déjà engagée dans un ambitieux programme de renouvellement du matériel roulant ferroviaire et de réhabilitation des gares. Il nous a donc été demandé de traiter plus particulièrement la question des alternatives à la subvention d'investissement, et plus en particulier l'intérêt du recours au Shadow Toll, technique dont l'usage se développe en Grande Bretagne ainsi que dans divers projets dans le reste du monde.

Ce rapport comprend donc deux parties distinctes. La première est un ensemble de réflexion sur les méthodes permettant de prendre en compte les orientations spécifiques de la région quand elle est sollicitée pour participer au financement d'un projet d'infrastructure. La seconde aborde les conditions de pertinence du recours au shadow toll, comme alternative au recours à la subvention d'investissement.

1^{ère} partie :

Définition de critères de priorités dans les choix d'investissement régionaux

La participation de la Région au financement des infrastructures de transport (routières ou ferroviaires) s'inscrit dans un contexte marqué à la fois par la rareté des crédits publics et par une perspective d'accélération de la décentralisation de compétences auprès de cette collectivité territoriale. Bien que la réalisation d'infrastructures de transport ne relève pas de la compétence actuelle des Régions, leur participation au financement est une condition de plus en plus incontournable pour s'assurer de la réalisation des travaux. Par le biais des Contrats de Plan Etat/Région (élargis pour certaines opérations à RFF ou à d'autres collectivités territoriales), ce cofinancement existe depuis de nombreuses années.

Dès lors, définir des critères de priorités pour les choix d'investissement impliquant la Région signifie d'une certaine façon rechercher dans quelle mesure un projet donné participe aux objectifs prioritaires de la Région, en matière de transport, mais également de développement économique ou d'aménagement du territoire. C'est donc mettre en avant une hiérarchie des priorités qui puisse différer de celle de l'Etat, qui est par définition fondée sur l'amélioration du bien être général. Avec le renouveau des méthodes d'évaluation des infrastructures de transport prôné par le rapport Boiteux 1, une telle démarche revient à se poser la question d'une spécificité du territoire régional par rapport au reste de la collectivité nationale. Si l'on se fonde sur les approches du type calcul économique public, il devient donc nécessaire de désagréger les résultats du calcul de rentabilité de façon à identifier un « compte de surplus » au niveau régional. Dès lors trois approches peuvent être distinguées :

- ◆ La détermination des impacts au niveau du système régional (et non plus national)
- ◆ La détermination d'un système de valeurs régional, différent du système national
- ◆ La mesure de l'efficacité du financement régional relativement aux objectifs de la région

Ces trois approches d'ampleur et de nature seront successivement décrites, en approfondissant les conséquences sur le plan de la démarche évaluative (détermination de la rentabilité socio-économique des projets), leurs difficultés de mise en œuvre et leur cohérence avec le dispositif national d'évaluation.

Dans une dernière partie seront abordées diverses approches complémentaires ou alternatives, en s'inspirant des pratiques dans quelques pays industrialisés, avant de conclure sur les limites de cette tentative de mesure d'une rentabilité « régionale ».

1.1. Réduction du système de référence au territoire régional

Dans la mise en œuvre de l'Analyse Coûts/Avantages, la mesure de l'utilité sociale d'un projet se fait sur la base de la variation du surplus total sur l'ensemble du système national. Mesurer l'utilité sociale « régionale » peut donc se traduire sous la forme d'une réduction de la taille du système de référence au niveau d'un territoire précis.

Dans ce cadre, il importe de construire un compte de surplus permettant d'identifier les agents économiques régionaux et de mesurer la variation de leur surplus résultant de la réalisation de l'infrastructure. Dans le cadre d'un projet dont l'inscription au sol serait interne au territoire de référence retenu, un certain nombre d'avantages ou de coûts seraient comptabilisés différemment. Ainsi, à titre d'exemple, on peut citer les cas suivants :

- ◆ L'avantage principal résultant d'une amélioration de l'offre de transport est celui apporté par la réduction du temps de trajet, voire plus globalement la réduction du coût généralisé de déplacement. Or dans un projet par exemple autoroutier, ce gain de temps va servir, dans des proportions variables, à des usagers régionaux (trafic interne), à des usagers dont l'origine ou la destination est le territoire régional (trafic d'échange), et à des usagers en transit (par rapport à la région). Cette dernière catégorie ne présente pas d'intérêt direct pour la région traversée, et la réduction de l'analyse à la sphère régionale conduirait à ne pas prendre en compte ces gains de temps dans le calcul de la rentabilité du projet. Une telle orientation conduirait à amoindrir le bénéfice escompté dans une évaluation sur le système économique national. Cependant, ce volume de trafic doit être conservé dans l'analyse des externalités négatives qu'il génère, puisque le risque accidentogène, le bruit ou les émissions de polluants atmosphériques locaux concernent la population résidente de la région. La question de la prise en compte de l'effet de serre (pollution globale) serait plus contestable, sauf à considérer le souhait de la région de mettre en œuvre une politique durable de transport...
- ◆ L'identification d'un compte de surplus propre à l'acteur « Région » peut permettre de mettre en lumière, dans le cadre d'un système multimodal, les conséquences directes du financement d'une autoroute régionale sur les lignes de TER desservant les mêmes axes. Dans l'instruction relative aux investissements routiers de rase campagne (circulaire 98-99 du 20 Octobre 1998), il est proposé en annexe une méthode de calcul de l'incidence financière sur le rail d'un transfert de clientèle : le bilan net est égal au produit du nombre d'usagers transférés par la différence entre le coût marginal par usager d'exploitation de la ligne et la recette par usager. Le graphique ci-après présente l'estimation des transferts possibles selon le gain de temps apporté par l'infrastructure et la distance de déplacement. Il apparaît que sur les trajets de 100 à 150 km, cette perte de clientèle possible serait, d'après le modèle MATISSE, de l'ordre de 34% ! Il convient donc dans le bilan de la variation de surplus de la région de mettre en rapport cette perte nette avec le coût supporté par la région pour financer une offre routière concurrente.
- ◆ Enfin, bien que l'état des connaissances ne permettent pas le plus souvent d'intégrer ce paramètre dans le calcul économique, les effets directs et indirects sur l'activité économique de la région devraient être identifiés. Ainsi, des créations d'activités ou d'emplois sur le territoire régional, résultant de l'amélioration de l'offre régionale, constituent un avantage à prendre en compte, alors que dans le cadre d'un système national, beaucoup de ces créations sont en réalité des transferts qui ne sont pas comptabilisés dans le bilan (délocalisation d'activités d'une région à une autre). Toutes proportions gardées, le prolongement du métro B de Jean Macé à Gerland dans l'agglomération lyonnaise est avancé comme l'une des raisons ayant permis le transfert de l'École Normale Supérieure de Paris à Lyon.
- ◆ Plus généralement, une approche macro-économique de l'impact de la création de l'infrastructure sur le PIB régional peut ainsi être conduite pour apprécier l'intérêt du projet relativement à la sphère régionale.

Graphique 1 : Méthode de calcul du transfert de la clientèle ferroviaire sur un projet autoroutier

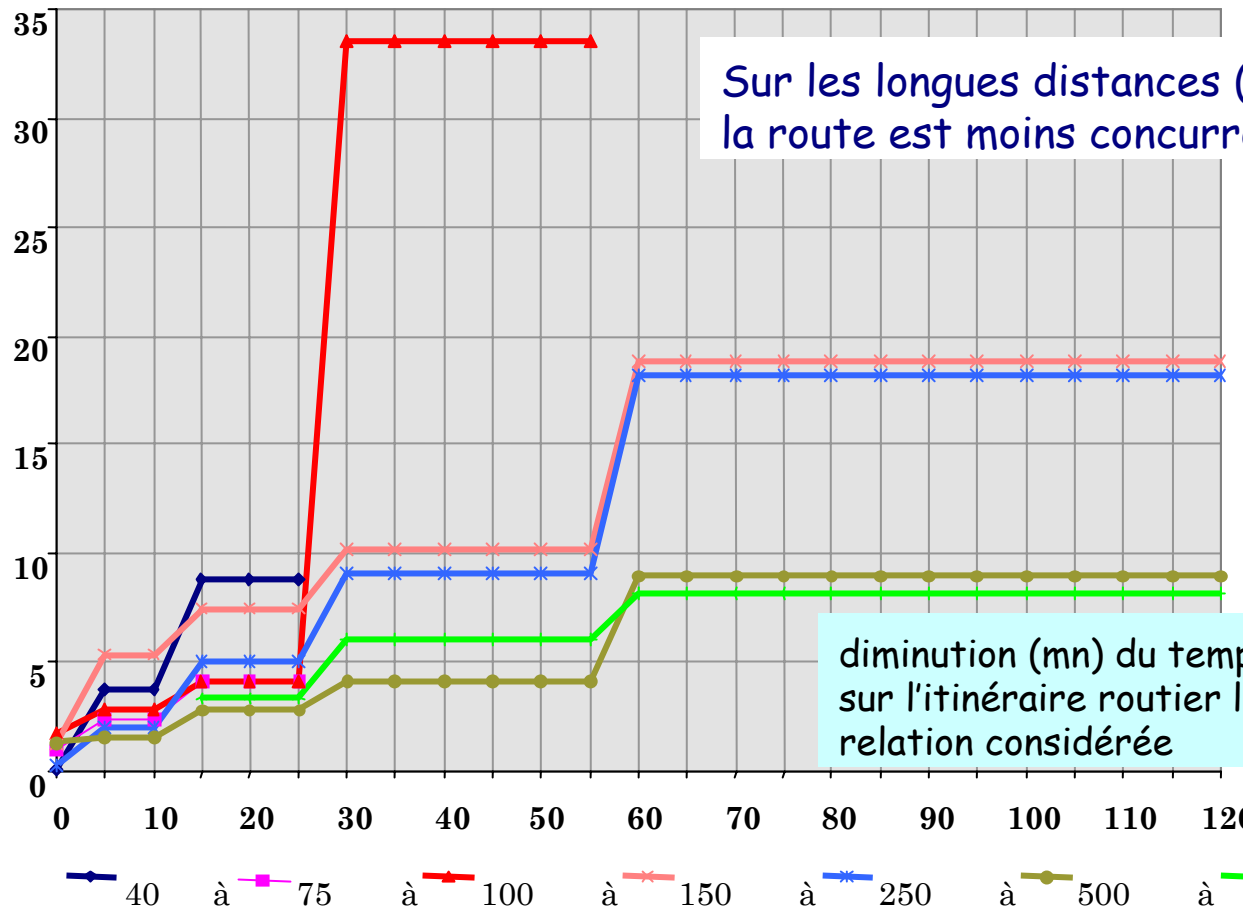
Source : Instruction relative aux Méthodes d'Evaluation Economique des Investissements Routiers en Rase Campagne – Circulaire n°98-99 du 20 octobre 1998 – Annexe 9 – support de formation CETE – CD-ROM version décembre 1999

1) Impact sur les infrastructures de liaison

† *Calcul du report voyageurs Fer vers Route (en fonction du gain de temps et de la longueur de la relation)*

(Utilisation du modèle MATISSE de l'INRETS)

% de réduction du nombre de voyageurs ferroviaires sur la relation considérée



Sur les longues distances (+500 kms), la route est moins concurrente.

diminution (mn) du temps de parcours sur l'itinéraire routier le plus rapide pour la relation considérée

Cette première approche de la mesure de l'utilité sociale « régionale » soulève cependant quelques difficultés méthodologiques et quelques critiques plus fondamentales.

- ◆ La première difficulté réside dans la possibilité d'isoler les flux dits d'intérêt régional. Sur le plan de la modélisation du trafic, il importe de distinguer les trois catégories de trafic (interne, échange, transit) et d'identifier les transferts modaux correspondants. L'absence de modèles régionaux multimodaux de déplacement sera un handicap sérieux pour la mise en œuvre de cette approche
- ◆ Plus globalement, la démarche des « comptes de surplus », i.e. une présentation désagrégée des résultats du calcul économique, n'est pas encore passée dans les mœurs au niveau des études de projet. C'est pourtant la seule façon permettant « d'expliquer la rentabilité » d'une infrastructure, en indiquant qui sont les gagnants et qui sont les perdants. La crainte du Ministère sur une telle démarche est d'ouvrir la boîte de Pandore des « compensations » : certaines catégories d'agents seraient alors en mesure de réclamer des indemnités ou des actions compensatrices, dont le coût pourrait être de nature à remettre en cause la rentabilité même du projet.
- ◆ Enfin, la question des effets macro-économiques d'une infrastructure est toujours au cœur de polémiques. Les méthodes sont souvent grossières (du type multiplicateur de l'emploi, lié aux dépenses publiques) et la constatation des effets réels est souvent délicate.

Dans ce cadre, l'application du calcul économique au système réduit de la Région peut conduire à des estimations de la rentabilité des projets sensiblement différentes de celles conduites sur l'ensemble du système national.

La critique principale que l'on peut faire à cette approche tient au sens que l'on accorde à l'isolat « Région ». Ainsi un projet peut s'avérer socialement utile au niveau du système économique national et ne pas l'être au niveau régional (et réciproquement). Définir les priorités de financement de la Région sur la base de cette rentabilité partielle peut donc être contestée : une telle position relèverait d'une véritable orientation « indépendantiste » de la collectivité régionale. Si elle fournit un éclairage sur l'impact régional, elle ne peut prétendre se substituer à l'évaluation nationale.

1.2. Définition d'un système de valeurs régional

Dans le même ordre d'idées d'une spécificité de l'acteur régional, une autre approche peut être de s'intéresser au système de valeurs permettant d'apprécier l'utilité sociale d'un investissement de transport. La mise en œuvre du calcul économique public repose en effet sur la prise en compte des effets non marchands, directs et indirects, avantages ou coûts sociaux valorisés au travers du processus de monétarisation.

L'objet du rapport Boiteux 2 a été de proposer des « valeurs normées » au niveau de la France, qui puissent définir un corpus de références commun pour l'ensemble des projets d'infrastructures. Comme toute tentative de normalisation, cette détermination est le résultat d'un compromis entre l'état des connaissances scientifiques, encore très partielles dans certains domaines, ou fournissant selon les méthodes des estimations divergentes, et le désir d'une uniformisation des évaluations afin de les rendre comparables.

Les auteurs de ce rapport soulignent à juste titre que les divergences des estimations scientifiques ne doivent pas être interprétées comme une incapacité à mesurer la « vraie » valeur d'une externalité, et conduire au rejet de la démarche pour non pertinence. Ils insistent donc pour que l'on considère les valeurs proposées comme des propositions établies sur la base de l'état de l'art, qu'il sera nécessaire de réajuster périodiquement en fonction de l'avancée des connaissances.

Ces valeurs de compromis sont donc des estimations du type « moyennes nationales » qui peuvent être ajustées, dès lors qu'elles s'écartent sensiblement de la réalité du projet, ce qui doit être pleinement justifié cas par cas. Rappelons que l'établissement de valeurs « normées » est un processus qui peut conduire à un écart sensible avec les valeurs révélées par les comportements. C'est ainsi souvent le cas pour la valeur du temps : celle utilisée dans les modèles de demande (et

qui permet de décrire les comportements) est souvent très supérieure à celle retenue dans le rapport Boiteux 2. Les auteurs du rapport indiquent que les modèles ont tendance à surestimer la valeur du temps à travers deux mécanismes principaux. Le premier tient au mode de comptabilisation des gains de temps, où souvent les petits gains de temps unitaires de décongestion des réseaux viaires existants sont comptabilisés quelle que soit leur importance, ce qui conduit à un fort accroissement du gain de temps global (en raison du grand nombre d'utilisateurs), alors qu'il est en général admis qu'en dessous d'un certain seuil ce gain unitaire n'est pas perçu et ne peut conduire de fait à une variation positive du surplus des usagers concernés. Le second mécanisme renvoie à la structure même des modèles, dans lesquels la fonction de coût généralisé se limite souvent à un nombre limité de variables explicatives des comportements (comme les modèles prix-temps). Dès lors, la variable temps est composite et prend en compte de façon non explicite d'autres avantages, tels que la garantie de temps de parcours, la simplicité d'usage (assistance apportée à l'automobiliste sur une autoroute), le confort, etc. Les auteurs considèrent plus réaliste de limiter l'estimation de la valeur du temps au seul temps physique gagné et de valoriser les autres avantages séparément.

Les valeurs normées proposées apparaissent donc comme des mesures de la préférence collective, c'est-à-dire du prix que la collectivité est prête à payer pour obtenir un avantage ou pour réduire un coût externe. Ces préférences collectives sont donc l'expression en termes quantitatifs des objectifs de la politique de transport menée par la collectivité. L'exemple le plus flagrant est le cas de l'insécurité routière, avec la définition d'une « valeur du mort » qui ne peut résulter par nature de la simple observation des comportements ! Même si des estimations ont été menées sur la base de calculs complexes (comme le calcul de la contribution au PIB que l'individu décédé aurait été en mesure de produire), le choix de la valeur du mort est bien l'affirmation du consentement à payer de la nation pour réduire l'hécatombe routière.

Bien qu'en France l'établissement de ces normes soit confié à un collège d'experts dûment mandatés, signalons que dans d'autres pays, l'affirmation de ces préférences collectives relève du débat politique : ainsi en Suède, c'est le Parlement qui a voté la quantification des équivalents monétaires en ce qui concerne les pollutions atmosphériques. Signalons d'ailleurs que ce recours au débat démocratique a conduit ces parlementaires à doubler les valeurs proposées par les experts...

Si l'on retient l'idée que les équivalents monétaires sont l'expression des préférences d'une collectivité, et reflètent donc les objectifs de la politique qu'elle compte mettre en œuvre, il devient logique que, pour définir ses priorités de financement, la Région exprime ses propres orientations au travers d'un système de valeurs spécifiques. Ce serait agir comme un pays de l'Union européenne conduisant ses évaluations propres sur des projets internationaux pilotés par la Commission européenne.

Cette seconde approche de la mesure de l'utilité régionale génère comme la précédente des difficultés méthodologiques et des critiques.

- ◆ L'élaboration de valeurs normées par les services de la Région (ou même votées par l'Assemblée Régionale) se heurte aux mêmes difficultés méthodologiques que celles rencontrées par le groupe Boiteux, ainsi qu'aux mêmes limites de pertinence : le choix des valeurs ne doit pas se trouver en porte-à-faux par rapport aux comportements réels des agents économiques ou aux résultats de projection des trafics fournis par les modèles. Cela nécessiterait un lourd travail d'enquêtes et de calcul des équivalents monétaires.
- ◆ La contestation du système de référence national doit être justifiée sur tous les plans. On pourrait même imaginer que le taux de référence fixé par le CGP (les fameux 8% intangibles...) serait remis en question par l'acteur régional, soit à la hausse, parce que le coût d'opportunité de l'argent public régional est plus élevé (contraintes d'endettement de la région), soit à la baisse, parce que le souhait de développer une politique durable des transports conduit à éviter de pénaliser les flux de long terme, notamment sur la question environnementale. Une telle pratique de taux de référence variable existe aux Etats-Unis, où le taux fédéral est de 7%, alors qu'il peut varier selon les Etats de 3 à 10%. Mais nous ne sommes pas dans un système fédéral...

- ◆ La construction des scénarios macro-économiques décrivant le futur devient également contestable. En reprenant l'idée d'une croissance régionale du PIB, les prévisions de l'évolution des trafics selon les modes peuvent être sensiblement différentes et modifier la hiérarchie des priorités entre les projets.

Le recours à un système régional de valeurs ne peut se limiter dans ce cas aux seules infrastructures de transport. La cohérence des choix d'investissement de la collectivité territoriale suppose alors qu'elle applique ces valeurs à l'ensemble de ces actions, quel que soit le domaine (lycée, formation, emploi, aménagement du territoire,...). Enfin, la définition de ces préférences oblige également à une grande clarification des objectifs de la région en matière de transport. Les orientations très générales inscrites dans le schéma régional des transports sont insuffisantes pour conduire ce travail. Comment par exemple traduire le souhait de disposer d'une liaison ferroviaire de bonne qualité entre les principales villes de la région ? Il faut en effet affirmer clairement des arbitrages plus fondamentaux de la collectivité, entre son développement économique et son souci de l'environnement, entre la valorisation des gains de temps et celle de la sécurité routière ou de l'exposition au bruit,...

1.3. La mesure de l'efficacité du financement régional

Les deux premières approches ont pour caractéristiques de concevoir une application du calcul économique dissociée de la mesure de la rentabilité effectuée sur le projet global. Elles nécessitent donc une approche autonome dont la mise en œuvre est a priori lourde et délicate.

A défaut, il est possible de chercher à mettre en lumière, dans le dispositif d'évaluation normal, la contribution du financement de la région à l'utilité de l'infrastructure. Tout en conservant le système de référence national (géographique et en termes de préférences), la construction d'un compte de surplus régional constitue un simple approfondissement des calculs. Celui-ci peut être plus ou moins développé.

Une première vision, minimaliste, porte sur le simple bilan comptable pour la collectivité : d'un côté une participation financière à la subvention d'investissement, de l'autre des impacts éventuellement négatifs sur les comptes des TER, mais des effets positifs sur la décongestion des réseaux locaux et sur les questions de l'environnement (bruit, pollution locale), tant pour les riverains de la nouvelle infrastructure que pour ceux des réseaux existants. Une seconde vision consisterait à approfondir les effets locaux, par exemple en ne retenant, comme dans la première approche, que les seuls trafics d'intérêt régional (c'est-à-dire en ne comptant pas les avantages apportés au trafic transitant à travers la région).

L'intérêt de l'élaboration d'un tel compte de surplus régional serait de pouvoir ensuite mesurer l'efficacité de la subvention régionale, c'est-à-dire de calculer un indicateur spécifique, le bénéfice brut actualisé régional par euro de subvention, sous la forme :

$$BBA_R / S = \frac{\sum \Delta A_j^R}{Subvention}$$

Si cet indicateur offre l'avantage de permettre un classement simple des projets soumis à financement, il a cependant un caractère artificiel, dans la mesure où il prétend affirmer un lien de causalité en la subvention régionale et la production d'avantages régionaux. Comme le critère officiel du Bénéfice Brut Actualisé par euro investi, il offre l'intérêt de mesurer une sorte de rentabilité de chaque projet, tout en évitant les effets de masse qui par nature avantagent les grands projets.

Le terme ΔA_j correspond à la variation algébrique des avantages et des coûts supportés par l'ensemble des agents du niveau régional, hors subvention. Il peut donc intégrer les gains de temps liés aux trafics régionaux, les gains/pertes en termes de sécurité et d'environnement, ..., calculés selon les mêmes règles que pour le projet global, mais à l'exclusion des variations de

recettes et de coûts d'exploitation du concessionnaire de l'infrastructure, considéré ici comme un acteur de rang national.

Une telle mesure de l'efficacité de la subvention est, signalons-le, pratiquée au Royaume Uni et au Japon. Il constitue un solide argument pour justifier les subventions d'investissement dans les projets d'investissement, dès lors qu'il est supérieur à 1 : un euro de subvention rapporte ainsi plus d'un euro d'avantage collectif.

1.4. La mesure de la contribution de l'infrastructure aux objectifs régionaux

Dans les trois cas précédents, nous avons recherché dans quelles conditions le calcul économique public pouvait apporter un éclairage sur l'utilité sociale régionale d'un projet. Nous avons toutefois souligné les difficultés de telles démarches qui tentent de faire de la région une « puissance publique » à une échelle géographique particulière. Ce point de vue quasi indépendantiste peut prêter le flanc à une critique de la part des autres agents publics qui ne manqueront pas de souligner le caractère partiel, voire partial, d'une telle démarche.

Il est également clair que nos propositions ne visent pas à se substituer aux procédures officielles d'évaluation des investissements, mais à apporter un éclairage particulier sur les impacts du projet sur le territoire régional. Rappelons également que la prochaine directive nationale pour l'évaluation (en cours d'approbation) se situe délibérément dans une approche multimodale qui ne manquera pas de souligner les impacts d'un investissement modal sur les autres.

Dès lors que la collectivité territoriale est en mesure de définir des « objectifs mesurables » au sens de l'évaluation des politiques publiques, c'est-à-dire des objectifs quantifiés par le biais de critères et de valeurs seuils, diverses orientations sont possibles pour le choix des priorités d'investissement.

La première est une orientation de type « politique par objectifs » dans laquelle un impact particulier fait l'objet d'un approfondissement sur le plan de la mesure et de la définition de valeurs seuils. Bien que cela fasse référence plutôt à des politiques nationales, un exemple bien connu est celui du gouvernement fédéral à l'occasion de la mise en œuvre du « Clean Air Act » aux Etats-Unis : toute demande de subvention d'une ville pour la réalisation d'infrastructure de transport (route comme transport collectif) doit prouver que cette mise en service ne vient pas augmenter les niveaux de pollution de l'air, voire même contribue à réduire les émissions. On peut ici imaginer un critère de sélection régional qui prenne en compte le niveau de la contribution consacrée à l'équilibre du réseau ferroviaire, comme par exemple une valeur seuil du ratio recettes sur dépenses d'exploitation. Citons le seuil choisi pour l'investissement en Italie, où toute ouverture de ligne doit générer un R/D d'au moins 35%. Il semble que la SNCF pratique également un tel seuil en interne, de l'ordre de 40%.

La seconde orientation consiste à définir la contribution du projet aux objectifs de la politique par une évaluation de type multicritère. Le tableau suivant présente le dispositif NATA (New Approach for Transport Appraisal) mis en place au Royaume Uni depuis quelques années pour s'assurer de l'adéquation des projets de transports aux objectifs du développement durable. Cette grille vient s'ajouter aux études de faisabilité (rentabilité financière) et d'utilité (rentabilité socio-économique) conduites dans le processus national. Cette approche présente l'avantage de mieux éclairer les décideurs sur certains impacts non pris en compte directement dans l'analyse coûts/avantages, et qui font l'objet d'études spécifiques complémentaires. Le tableau d'évaluation donne lieu à une classification des projets, à partir d'une évaluation sur chaque catégorie d'impacts par une échelle de valeur en 7 points.

<i>Proposal name</i>		<i>Option description</i>	<i>Current Cost £</i>	<i>m, Date</i>
PROBLEMS		<i>Statement of problems</i>		
OTHER OPTIONS		<i>List of other options that have been, or could be, tested.</i>		
OBJECTIVES		QUALITATIVE IMPACTS	QUANTITATIVE MEASURE	ASSESSMENT
ENVIRONMENT	Noise	<i>Is there an impact?</i>	No. Properties experiencing: - Increase in noise xxx - Decrease in noise xxx	Net xxx properties experience <i>higher</i> noise levels
CO ₂ : xxxx tonnes added or removed	Local air quality	<i>Is there an impact?</i>	No. Properties experiencing: - better air quality xxx - worse air quality xxx	+/-xxx PM10 +/-xxx NO ₂
	Landscape	<i>Is there an impact?</i>	Not applicable	7 point textual scale
	Biodiversity	<i>Is there an impact?</i>	Not applicable	7 point textual scale
	Heritage	<i>Is there an impact?</i>	Not Applicable	7 point textual scale
	Water	<i>Is there an impact?</i>	Not applicable	7 point textual scale
SAFETY	-	<i>Is there an impact?</i>	Accidents Deaths Serious Slight xx xx xx xx	PVB £xxm xx% of PVC
ECONOMY	Journey times & Vehicle op costs	<i>Is there an impact?</i>	Trunk road journey time savings: peak xx mins; inter-peak xx mins	PVB £xxm xxx% of PVC
	Cost	<i>Is there an impact?</i>	Not applicable	PVC £xxm
	Journey time reliability	<i>Is there an impact?</i>	Stress on key trunk road link: Before xxx%; After xx%	7 point textual scale Small rel. To PVC
	Regeneration	<i>Is there an impact?</i>	Serves regeneration priority area? Development depends on scheme?	Yes No
ACCESSIBILITY	Pedestrians and others	<i>Is there an impact?</i>	Not applicable	7 point textual scale
	Access to public transport	<i>Is there an impact?</i>	Not applicable	7 point textual scale
	Community severance	<i>Is there an impact?</i>	Not applicable	7 point textual scale
INTEGRATION	-	<i>Is there an impact?</i>	Not applicable	3 point textual scale
Version of	(date)	Cost benefit analysis (low / high)	PVB £xxxm PVC £xxm NPV £xxxm BCR x.x FYRR	

Tableau 1 : Appraisal Summary Table (AST) - UK

1.5. Conclusion

Dans la mise en œuvre de Partenariat Public/Privé, associant un consortium privé à plusieurs acteurs publics pour le financement d'un investissement, le processus de décision est complexe et séquentiel. La conception du projet et la mesure des impacts attendus font l'objet d'un processus de concertation entre acteurs, en vue de rechercher un niveau d'utilité sociale suffisant. Dans un second temps, le montage financier lui-même conduit non seulement à des arbitrages entre les acteurs privés et le concessionnaire sur le montant des apports respectifs (en argent ou en nature), mais également à des arbitrages entre acteurs publics sur leur contribution respective.

La recherche de critères de priorité d'investissement pour une collectivité territoriale suppose de s'intéresser à ces deux phases. Comme nous l'avons montré dans le premier rapport, la mesure de la rentabilité d'une infrastructure se fait dans un contexte marqué par une forte incertitude et peut faire l'objet de négociation sur l'efficacité même du projet étudié. Nous montrerons dans la seconde partie comment est également abordée la question de la gestion du risque, qui peut avoir un impact non négligeable sur le montant de la contribution publique.

Nos propositions de critères s'inscrivent dans ces deux étapes, en insistant sur la nécessité de désagréger les résultats du calcul économique, par une identification des impacts régionaux. Certes il ne semble pas possible de considérer que la région est totalement libre du choix des projets qu'elle devra financer, mais ces diverses approches sont de nature à fournir des arguments, soit pour la détermination de l'ordre de réalisation au sein d'une liste de projets, soit pour tenter de négocier le montant de sa contribution.

Il peut être utile dans ce cadre d'identifier des comptes de surplus par acteur, qui permettent de mettre en lumière les éventuels impacts négatifs d'un projet sur d'autres. Il s'agit ici non seulement de mettre dans la balance le risque d'accroissement de charges d'une ligne ferroviaire résultant de l'ouverture d'une liaison autoroutière sur un même territoire de mobilité, mais également de tenir compte des mécanismes de transferts pouvant s'opérer, par exemple par le biais des taxes que l'Etat perçoit (variation des recettes de TIPP ou de TVA). A l'heure où les nouveaux projets de décentralisation font surgir le débat sur les ressources des collectivités territoriales, de telles analyses seraient de nature à clarifier les contributions respectives de chaque acteur public...

Cependant, la mise en œuvre de telles approches désagrégées, seules capables d'expliquer « d'où viennent la rentabilité et l'utilité sociale d'un projet » en identifiant qui sont les gagnants et qui sont les perdants, nécessite un double travail de grande ampleur : il faut d'une part clarifier les objectifs propres de la collectivité régionale, en passant de grandes orientations (finalités politiques de l'action publique) à la détermination de cibles quantifiées (critères précis et valeurs seuils souhaitées), conditions incontournables pour la mesure des impacts réels ; d'autre part, la construction de comptes de surplus suppose une production de données détaillées, tant au niveau de la modélisation des projections de la demande (segments du marché des déplacements par origine- destination) que de leur spatialisation (localisation des impacts).

Ce niveau d'analyse est encore que faiblement pratiqué, y compris par les services de l'Etat, mais les nouvelles directives prévues pour 2003 à la suite de la publication des rapports Boiteux, devraient inciter à faire ce travail de clarification. Cela devient de plus en plus nécessaire pour être en mesure d'explicitier les choix d'investissement et de mieux justifier les politiques publiques mises en œuvre dans le cadre des enquêtes d'utilité publique.

Le choix des modes de financement : subvention à l'investissement ou recours au shadow toll ?

En raison des coûts élevés résultant des fortes indivisibilités existant par nature dans le domaine des infrastructures de transport, les niveaux de rentabilité financière des projets sont en général insuffisants pour favoriser l'initiative privée. Les recettes attendues sur une infrastructure à péage dépendent des niveaux de trafic qui sont directement liés d'une part au prix à payer (péage) et d'autre part à l'évolution au cours du temps de la demande de déplacement.

Nous avons indiqué, dans le premier rapport d'étape, comment il est possible d'estimer le besoin de financement public dans le cadre de partenariat public/privé. Le modèle français de financement des autoroutes mises en concession est désormais caduc, puisque le principe de recours à l'adossement est perçu au niveau de la réglementation européenne comme un frein à l'appel à concurrence des candidats potentiels. Nous avons souligné également les conséquences en matière de niveau de subvention, dès lors que le recours à des fonds propres privés induit des objectifs de rendement financiers nettement plus forts qu'acceptables dans la sphère publique.

Il en résulte une difficulté de mobilisation des ressources publiques (Etat et collectivités territoriales associées) qui ne pourraient faire face aux programmes envisagés qu'au travers d'un recours massif à l'emprunt, au risque de mettre en péril leur santé financière. Du côté des régions, le transfert récent de la compétence en matière de transports ferroviaires régionaux vient encore affaiblir les capacités de financement de ces collectivités. Le récent rapport de l'Agence Fitch Ratings a d'ailleurs mis en garde contre le risque d'endettement accru des régions dans leur effort de remise à niveau de la SNCF.

Dès lors, la recherche de mode de financement alternatif est à l'ordre du jour. Il nous a donc été demandé d'étudier les conditions dans lesquelles le recours aux techniques de shadow toll (péage fantôme) serait une alternative intéressante pour éviter un retard important dans la réalisation des programmes d'infrastructures de transport.

Dans une première partie, nous aborderons le concept de shadow toll, qui peut être vu sur deux plans différents : celui de l'incitation à l'usage d'une infrastructure à péage, et celui, plus fréquent jusqu'à présent, d'une couverture des risques des concessionnaires afin d'attirer des opérateurs privés.

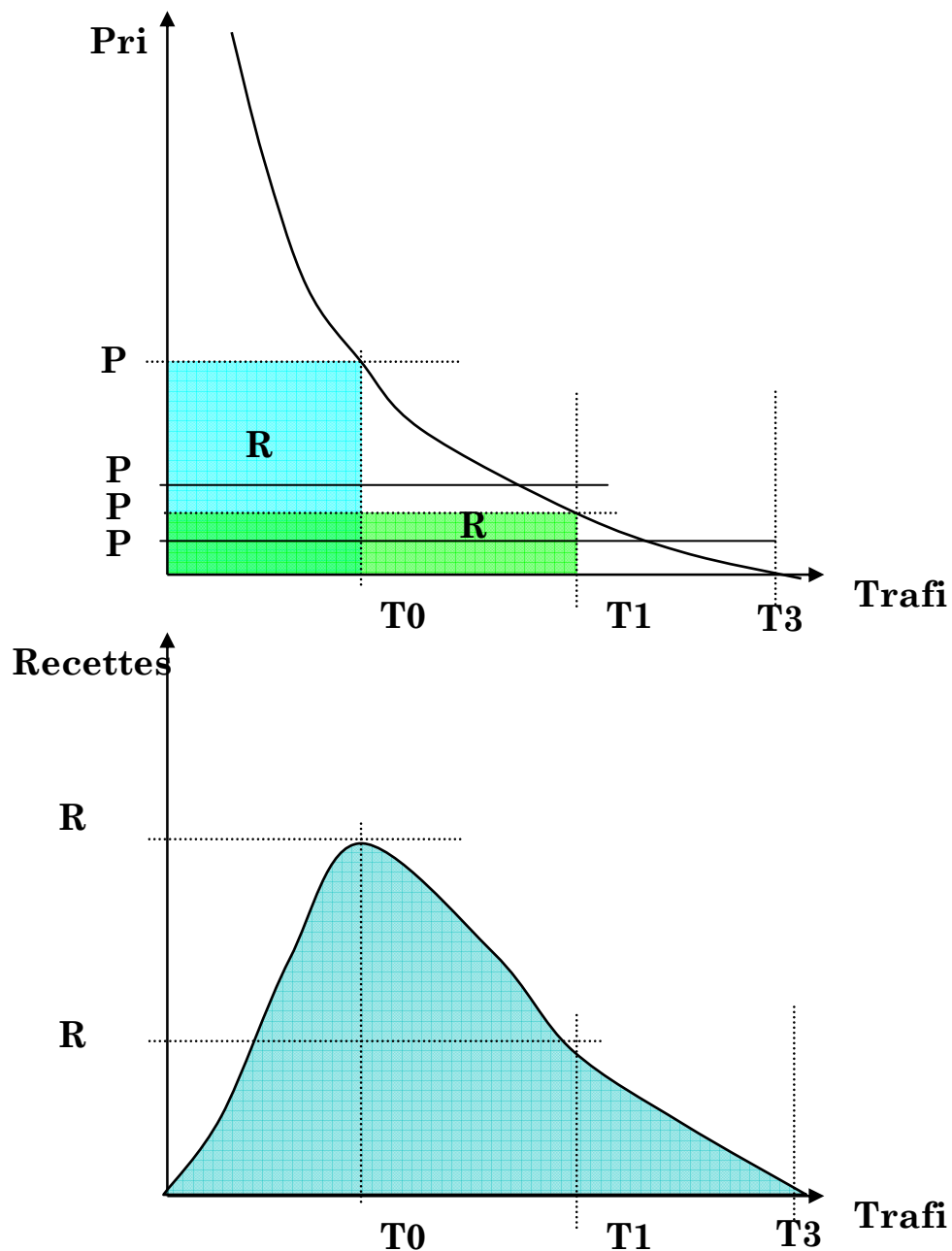
Dans une seconde partie, nous tenterons de simuler diverses formes de shadow toll conçus comme des alternatives à la subvention d'investissement. Un modèle théorique a été élaboré de façon à simuler diverses situations de besoins de financement et de montrer dans quelles conditions ce dispositif peut être avantageux pour les collectivités publiques.

2.1 Concept et usage du shadow toll

Sur un plan économique, le principe du shadow toll ne concerne pas a priori la question du financement d'une infrastructure. C'est un mécanisme visant à réduire le niveau du péage que doit payer l'usager, de façon à augmenter sa fréquentation. Il s'appuie donc sur la courbe de demande, expression des consentements à payer des usagers pour obtenir un bien ou un service. Dans ce cadre, le producteur du bien ou service cherche à maximiser son profit en recherchant le niveau de péage qui maximise les recettes. Le graphique ci-dessous montre ainsi l'existence d'un tarif optimal, qui ne correspond en général pas à l'objectif de maximisation de la satisfaction des usagers.

Dès lors, si la puissance publique souhaite atteindre une plus forte rentabilité socio-économique, elle peut intervenir pour prendre à sa charge une partie du péage. Le shadow toll correspond

alors à la différence entre le prix optimal P_0 et le prix P_1 qui permet d'attendre le niveau de trafic souhaité T_1 .



Graphique 2 : principe du shadow toll de régulation de la demande

Si la recette optimale est $R_0 = P_0 \cdot T_0$, et la recette escomptée $R_1 = P_1 \cdot T_1$, le shadow toll devient : $ST = R_0 - R_1$, que l'on peut ramener à un prix fictif P_2 , calculé comme le prix qui égalise la recette R_0 avec le trafic T_1 , soit $P_2 = R_0 / T_1 = P_0 \cdot (T_0 / T_1)$.

Le shadow toll unitaire payé par unité de trafic est $st = P_2 - P_1 = P_0 \cdot (T_0 / T_1) - P_1$.

Un cas particulier de ce genre de péage est pratiqué en Angleterre pour une portion d'autoroute concédée, que le gouvernement souhaitait voir gratuite, de façon à maximiser le trafic T_3 sur l'infrastructure (par exemple pour décongestionner le réseau existant). La collectivité paie ainsi au concessionnaire un prix P_3 par usager, tel que $P_3 \cdot T_3 = P_0 \cdot T_0$.

Un exemple similaire est donné aux Etats-Unis, où l'extension de capacité d'une route existante (création de voies supplémentaires) donne lieu à un shadow toll que la collectivité paie à la société chargée de réaliser ces augmentations de capacité.

Comme le montrent ces exemples, l'objectif ici est plus d'agir sur la demande de transport que de trouver une alternative au financement des travaux d'infrastructures. On peut même imaginer que la puissance publique participe à ces travaux par une subvention, et contribue également à une augmentation du trafic par un shadow toll de ce type.

Notons cependant une conséquence importante de ce genre de gratuité dans le contexte français. Nos autoroutes concédées et payantes répondent à des standards de construction précis, gage de qualité de l'offre. Or ces standards se traduisent par des surcoûts à la construction, par rapport à des routes express à deux fois deux voies (emprises, pentes, échangeurs). On peut considérer alors que si l'infrastructure est rendue gratuite pour l'utilisateur grâce à un shadow toll, le niveau de qualité de service puisse se rapprocher de celui d'une voie express. Comme nous l'avons souligné dans le premier rapport, les nouvelles autoroutes projetées sont souvent à des niveaux de rentabilité propre faibles, ce qui exige, en particulier dans le cadre de la remise en cause de l'adossé, des subventions publiques très fortes. Il devient donc légitime de faire la comparaison entre le coût d'une subvention à une autoroute chère en construction, et le coût total d'un shadow toll sur une voie express concédée gratuite, dont le montant d'investissement est plus faible.

2.2. Gestion du risque et capacité d'attraction de fonds privés

La littérature (voir références en fin de rapport) indique que le recours au shadow toll dans la réalisation d'infrastructures de transport répond le plus souvent à un autre objectif, celui de couvrir une partie des risques (sur les trafics ou les recettes) de façon à attirer des fonds privés, dans le cadre d'opérations de type BOT (Build Operate & Transfer).

Il faut en effet rappeler que la concession d'infrastructures se fait sur du long terme (30 ans ou plus), ce qui tend à accroître les risques pour les investisseurs. Outre un principe capitalistique classique, qui veut que l'on recherche un retour sur investissement le plus rapide, l'excédent brut d'exploitation (EBE) dépend naturellement de l'évolution des coûts d'exploitation (et donc du prix des facteurs) et des recettes, qui sont directement liées aux trafics escomptés.

Plus l'on regarde à long terme, plus les projections de trafic deviennent incertaines, en raison de facteurs exogènes au projet, et il est logique que les investisseurs cherchent à se protéger contre ces incertitudes. Diverses techniques de réduction du risque sont appliquées sur des projets d'infrastructures de transport. Une étude commandée par la Banque Mondiale¹ souligne leur efficacité relative :

Equity guarantees : le gouvernement garantit une option de rachat des actions à un taux minimum de rendement. Tant que ce rendement minimum est atteint, cela ne coûte rien, mais cela réduit les risques pour les actionnaires (San Juan Lagoon Bridge à Porto Rico)

Debt guarantees : le gouvernement garantit tout ou partie de la dette (principale) en cas de cash flow insuffisant. Cela génère un risque important pour la puissance publique (projets en Chine)

Exchange rate guarantees : le gouvernement compense l'accroissement du coût ou du service de la dette en cas de fluctuation forte des taux de change. Si ce dispositif permet d'attirer des capitaux étrangers, il génère un risque important pour la puissance publique (cas en Espagne où en 1992, la compensation a atteint près de 500 M\$)

¹ Fischer G., Babbar S., 1997, Private financing of toll roads, RMC Discussion Paper Series 117

Grants and subordinated loans : le gouvernement peut fournir des subventions ou des prêts subordonnés lors du lancement du projet, soit en cash, soit sous forme de contributions en nature. Les prêts subordonnés sont remboursés après la dette principale, mais avant la rémunération des fonds propres (Malaisie)

Shadow tolls : le gouvernement verse une somme annuelle par véhicule. Ce système permet d'éviter le versement d'une subvention au démarrage, en le remplaçant par un paiement étalé dans le temps, mais il n'incite pas le concessionnaire à augmenter le trafic. La contribution du gouvernement augmente avec le trafic (et réciproquement), ce qui ne protège pas contre les risques liés au trafic : s'il est plus faible que le niveau escompté, la dotation reste calée sur le trafic constaté. Pour améliorer l'efficacité du shadow toll, on peut avoir recours à un pourcentage décroissant avec le volume du trafic, ou une borne supérieure annulant le shadow toll. (cas récents de concession en UK, 1995)

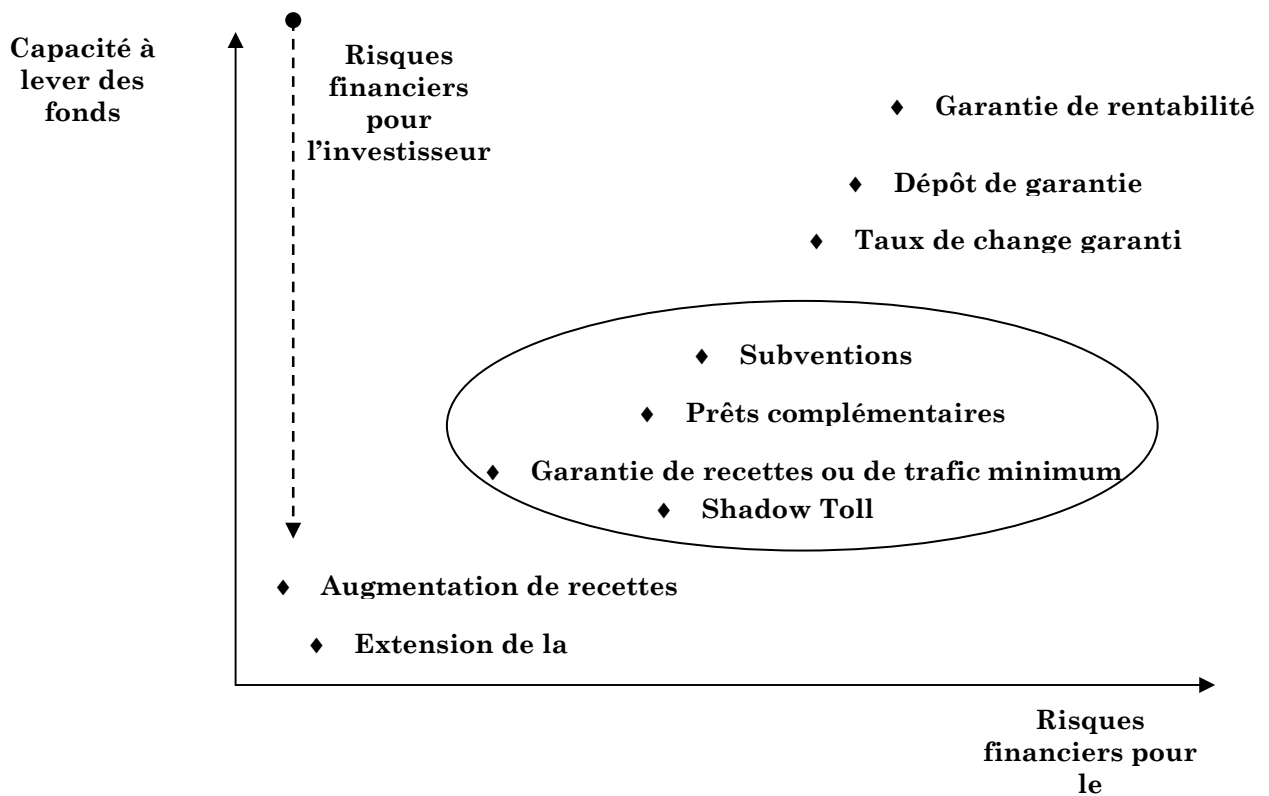
Minimum traffic or revenue guarantees : le gouvernement couvre les pertes du concessionnaire si le trafic ou les recettes sont en dessous d'un certain seuil (de -10 à -30%) de façon à couvrir le service de la dette (Chili, Colombie). De même, si les recettes dépassent un certain montant, un partage des revenus peut être imposé entre le gouvernement et le concessionnaire. Ce type de disposition est pratiqué également dans les contrats de délégation de service public en transports urbains, et très récemment dans les conventions entre les régions et la SNCF.

Concessions extensions and revenue enhancements : une règle d'extension de la durée de concession peut être convenue contractuellement, si le trafic chute en deçà d'un certain niveau (cas à Mexico). Ce dispositif a l'avantage de ne rien coûter au gouvernement, mais il ne protège pas l'investisseur sur des pertes de trafic ou de recettes à court terme. Une autre possibilité consiste à favoriser l'augmentation du trafic en limitant la concurrence potentielle (limitation ou réduction de capacité sur les itinéraires alternatifs), ou en facilitant des opérations immobilières connexes (services à l'utilisateur). Cela a été pratiqué pour la SR 91 aux Etats-Unis. Cette disposition a l'avantage également de ne pas générer de coûts financiers pour le gouvernement, à l'inverse d'actions comme la construction, à charge de la collectivité, d'équipements complémentaires, comme par exemple des échangeurs (cas de Lyon dans le projet TEO). Cependant, l'impact sur le risque est limité et cela peut contraindre la collectivité dans ses choix futurs.

Il semble que globalement, seules quatre dispositions sont de nature à faciliter la levée de fonds privés sans générer de risques financiers trop élevés pour la collectivité. Les subventions d'investissement, les prêts subordonnés et les garanties de recettes ou de trafic sont les solutions les plus performantes, selon les auteurs de l'étude pour la Banque Mondiale. Le shadow toll peut être dans certains cas une alternative, mais il est clair que la subvention d'investissement est la solution la plus efficace en termes d'attraction de fonds privés.

La garantie de recettes (ou de trafic minimum) est une solution ambiguë dans la mesure où elle ne peut s'appliquer que dans le cas d'un projet à rentabilité minimale, c'est-à-dire si le cash flow escompté couvre au moins le service de la dette principale : la garantie devient donc celle d'une rémunération minimum des fonds propres.

La combinaison de ces dispositifs reste cependant nécessaire lorsque le projet est à la fois non rentable et sujet à des risques élevés sur les cash flow. Dans le cas d'un projet chilien, on a eu ainsi recours à une subvention d'investissement et à une garantie de recettes.



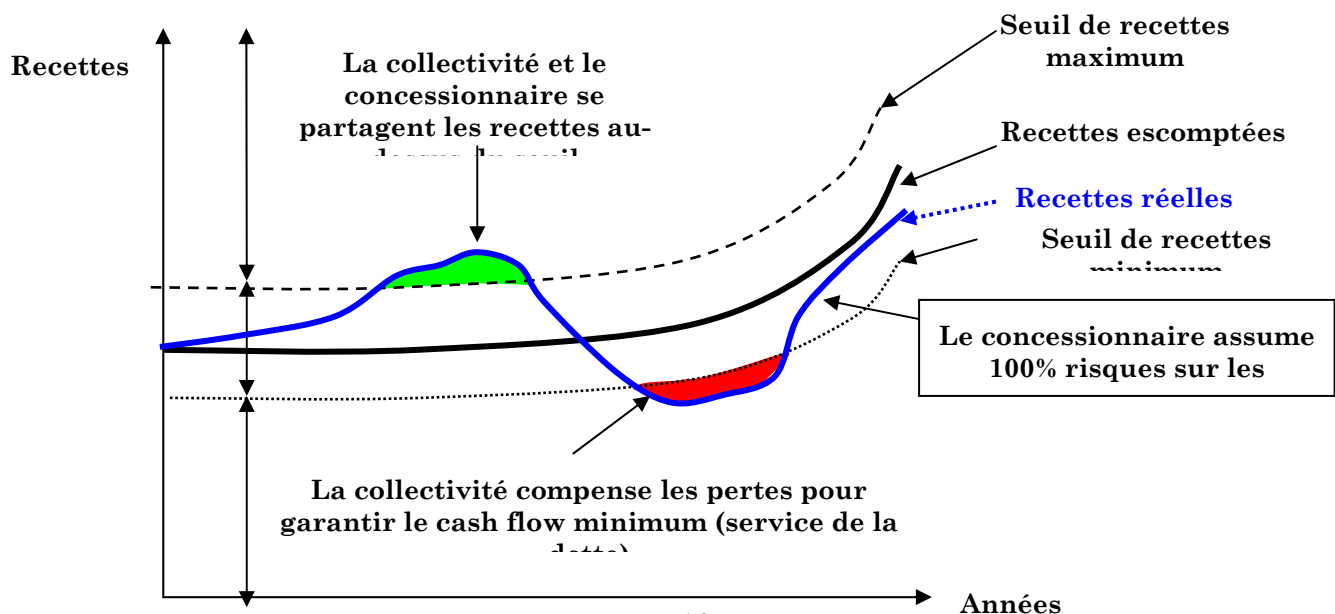
Graphique 3 : techniques de couverture du risque financier

D'après : Fischer G., Babbar S. (n.d.), Private Financing of Toll Roads, RMC Discussion Paper Series 117, 37 p.

Garantie de recettes et shadow toll

Il importe de préciser ici la distinction entre la garantie de recettes (ou de trafic minimum) et la technique du shadow toll. Dans le premier cas, on se situe dans le cadre d'un projet a priori rentable : le cash flow permet de couvrir le service de la dette et la rémunération des fonds propres. Ces derniers sont estimés en fonction d'une rentabilité escomptée (que nous mesurerons comme un TRI objectif pour l'investisseur). La garantie de recettes ne vise donc pas à atteindre un certain niveau de rentabilité, mais à couvrir le risque d'une baisse du cash flow résultant d'un écart entre le trafic escompté et le trafic réel. Le mécanisme peut être expliqué à travers le graphique suivant :

Graphique 4 : principe de la garantie de recettes



Il s'agit donc d'un mécanisme temporel qui n'est activé que si l'on fait le constat d'un écart significatif entre le cash flow réel et le cash flow escompté. Il ne s'agit donc pas d'un élément qui joue directement sur la rentabilité du projet. Par contre, si la garantie sur la recette minimale intègre non seulement le service de la dette, mais aussi une rémunération minimale des fonds propres, elle peut être considérée comme une forme de shadow toll, dès lors que ce cash flow minimal est calé sur le cash flow requis pour la rentabilité de l'opération. On obtient ainsi un mix entre une finalité de financement (rentabilité minimale requise des fonds propres) et une finalité de couverture des risques, pour les opérations où les risques à long terme sont importants.

Il faut souligner que la garantie de recettes est un mécanisme relativement peu risqué en terme de coût économique pour la collectivité. En effet, dans la mesure où les études de prévision de la demande sont rigoureuses, la probabilité de dépasser les seuils minimaux est faible les premières années, et ira s'accroissant au fil du temps. Dès lors la valeur actualisée des compensations éventuelles sera faible dans le bilan. A l'inverse, le shadow toll est versé annuellement en fonction du trafic réel, et a priori indépendamment du niveau de cash flow réel, ce qui peut générer des versements importants dès les premières années, même si les trafics réels sont supérieurs aux prévisions.

2.3 Principes et intérêt d'un Shadow Toll de financement

Le recours au shadow toll vient du constat fréquent de l'inadéquation entre le niveau du péage nécessaire pour rentabiliser l'opération et le niveau du consentement à payer des usagers. L'application d'un prix d'équilibre induirait une fréquentation plus faible, ne permettant pas aux recettes de dégager une marge suffisante. Dès lors, abaisser, pour l'utilisateur, le niveau du péage permet de retrouver une fréquentation plus importante, mais il est alors nécessaire que la collectivité couvre la différence de recettes, selon un montant directement proportionnel au nombre d'utilisateurs de l'infrastructure.

Dans ce cas, la contribution publique est donc tributaire de cette fréquentation et peut varier à la hausse ou à la baisse selon le trafic annuel, puisque :

$$ST_j = (P_2 - P_1) * T_j$$

Où P2 est le prix d'équilibre assurant la rentabilité de l'opérateur pour le trafic Tj, et P1 le prix réel (le péage) acquitté par les usagers.

L'avantage mis en avant est que le paiement annuel d'une contribution publique évite le fardeau d'une subvention avant la mise en service, et peut constituer une incitation pour l'opérateur à attirer de nouveaux clients. Par contre, cette méthode n'est pas forcément efficace pour traiter la question des risques pour l'opérateur privé, puisque si le trafic baisse, le prix d'équilibre croît et la contribution publique également. Il peut ainsi être mis en place des règles permettant à ce que la contribution publique soit plafonnée, ou qu'en dessous d'un certain niveau de trafic elle ne soit pas payée.

Dès lors que l'on envisage un recours au shadow toll comme alternative à une subvention d'investissement (shadow toll de financement), la détermination de son montant suppose de calculer le niveau d'Excédent Brut d'Exploitation nécessaire pour rentabiliser l'opération. Soulignons ici que cette rentabilité doit être calée sur les taux escomptés pour les fonds propres, une fois le service de la dette couvert. On se situe donc dans le cadre du calcul de la Valeur Actuelle Nette de la somme investie à l'horizon d'une durée de vie fixée.

$$VAN = \sum_{j=t_p-t_r}^{j=t_n-t_r} \left(\frac{-\Delta I_{j+t_r} + \Delta R_{j+t_r} - \Delta C_{j+t_r}}{(1+a)^j} \right) + \frac{K_{t_n}}{(1+a)^{t_n-t_r}}$$

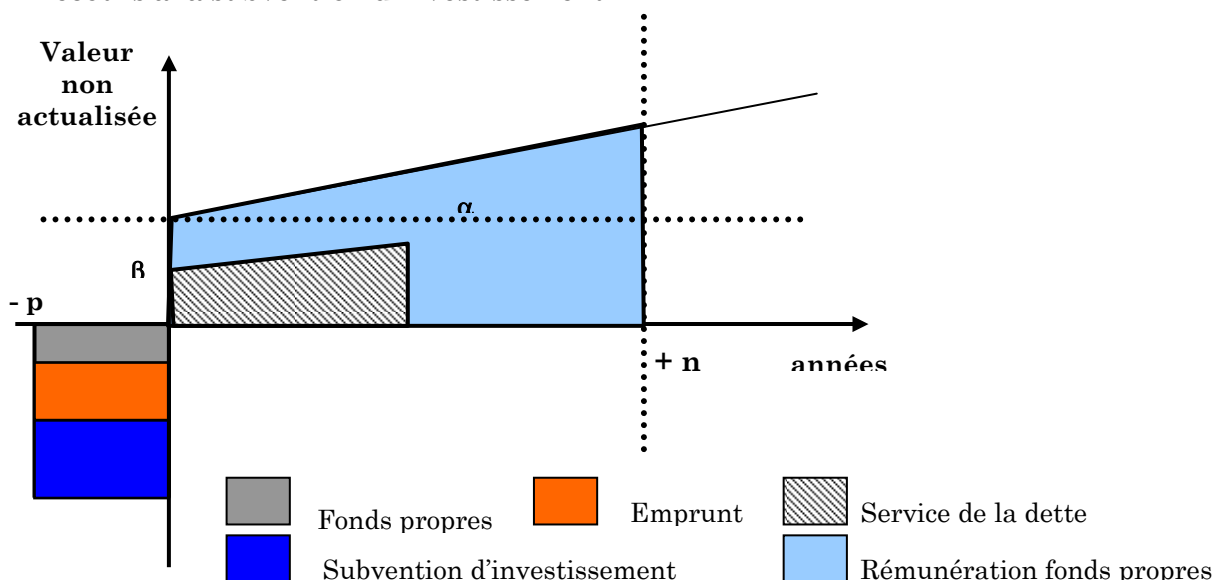
où :

- ΔI_j est la variation du flux d'investissement à l'année j

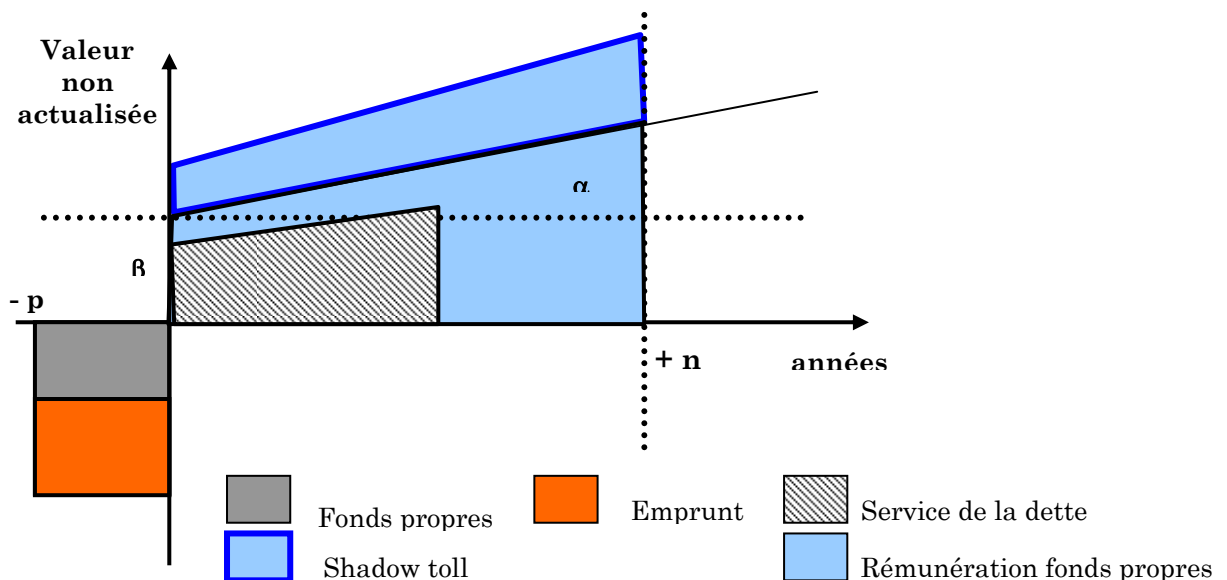
- ΔR_j et ΔC_j sont respectivement les variations des flux de recettes et de dépenses à l'année j
- t_r est l'année d'actualisation, qui peut être soit une année conventionnelle de référence, soit lorsque l'on étudie un seul projet, l'année précédant la mise en service ($t_r = t_0$) ; dans ce cas t_1 est la première année d'exploitation ; t_p est la date de début des travaux (dont la durée va de t_p à t_0 inclus, soit $p+1$ années nécessaires pour réaliser l'investissement) ; t_n est la date de fin de vie (soit n la durée de vie) : en général la durée de vie technique de l'équipement, mais parfois une durée conventionnelle, surtout si la durée de vie technique est très longue – comme pour des infrastructures.
- a est le taux d'actualisation. Ce taux est fixé pour les projets publics à 8% par le Commissariat Général du Plan. Par contre, ce taux peut être différent pour un opérateur privé et dépend de plusieurs facteurs : le niveau de rémunération des actionnaires (comparaison avec d'autres placements, par exemple financiers), le taux d'intérêt sur les marchés financiers (notamment s'il doit avoir accès à l'emprunt pour financer une partie de l'investissement), et enfin d'une marge permettant de tenir compte des incertitudes (évolution des recettes au cours du temps).

Graphique 5 : comparaison des effets de la subvention et du shadow toll

1 - recours à la subvention d'investissement



2 - recours au shadow toll



L'Excédent Brut d'Exploitation (EBE) doit être réparti entre le service de la dette (emprunt au taux du marché sur une durée donnée – qui peut être différente de la durée de la concession), et la rémunération des fonds propres, calculée sur la durée de la concession, à un taux escompté (le TRI objectif).

Dans le cas de la subvention, l'EBE escompté ne permet de capturer qu'une somme limitée de capitaux pour l'investissement (fonds propres, quasi-fonds propres, emprunts), et le montant de la subvention se définit comme la différence entre ces capitaux recueillis et le coût de l'investissement. Dans le cas du shadow toll, l'EBE escompté est augmenté, ce qui permet l'augmentation des fonds propres et des sommes empruntées, de façon à couvrir le coût d'investissement total (la subvention est nulle).

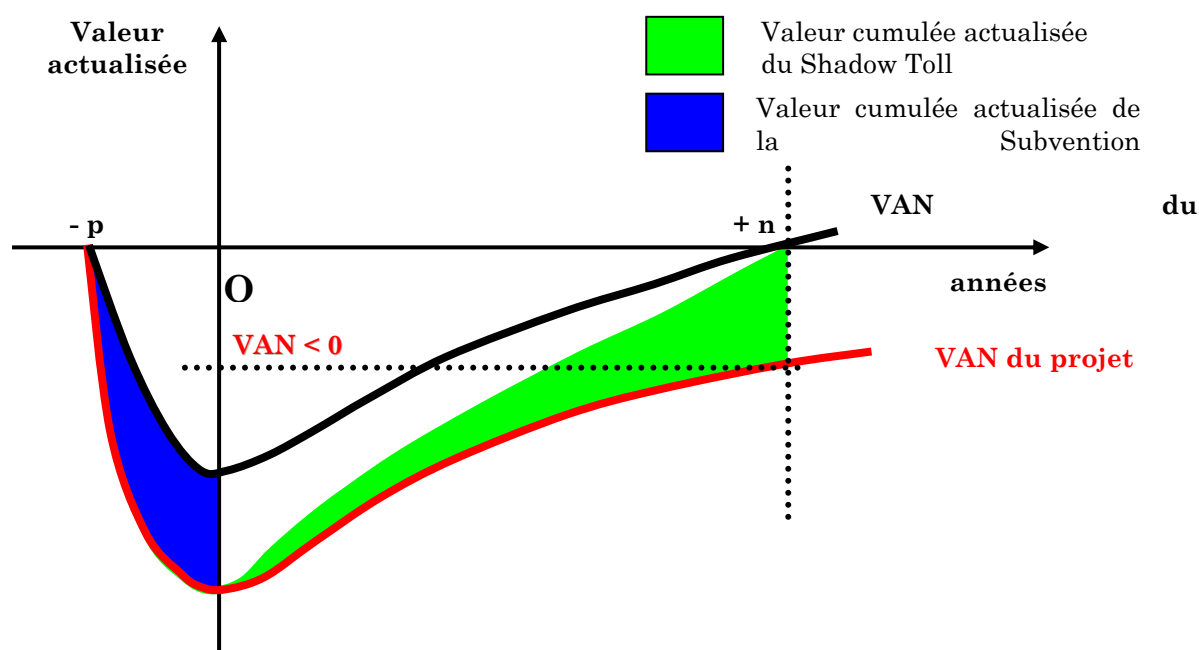
Nous avons montré dans le premier rapport comment il était possible de déterminer les montants des fonds propres et des sommes empruntées, à partir d'une hypothèse de répartition de l'EBE entre ces deux types d'apport en capital. Le modèle de simulation élaboré permet donc d'estimer, pour un projet donné, le niveau de subvention requis pour garantir le taux de rentabilité des fonds propres. Il est possible de la même manière d'estimer quel doit être le niveau de l'EBE pour que la subvention soit nulle. La différence entre cet EBE d'équilibre et l'EBE escompté au vu du trafic et du niveau de péage, constitue le shadow toll de financement.

Estimation du montant du Shadow Toll pour un projet donné

L'arbitrage entre subvention et shadow toll doit tenir compte de nombreux facteurs. Supposons ici un projet nécessitant un investissement I réparti également sur $p+1$ années avant la mise en service. La première année, un Excédent Brut d'Exploitation EBE_1 est obtenu, en fonction du niveau de péage, du nombre d'usagers et des coûts d'exploitation de l'infrastructure. En reprenant ici l'idée d'un taux de croissance annuel constant de cet EBE, on peut calculer la VAN du concessionnaire.

Nous ne raisonnerons pas ici directement sur le prix du péage et sur le niveau de trafic, mais sur le montant de l'Excédent Brut d'Exploitation. Cela simplifie l'analyse des conditions d'efficacité d'un shadow toll, mais a l'inconvénient de le dissocier de son impact sur les trafics. En effet, selon les élasticités de la demande au prix, les recettes vont évoluer sensiblement.

Si la VAN du projet est négative (calculée selon le taux d'actualisation de l'opérateur), plusieurs types de shadow toll peuvent être envisagés.



Graphique 6 : impact des deux modes de financement sur la VAN de l'opérateur

L'intérêt du recours au shadow toll pour la collectivité peut être mesuré en vérifiant si le coût public total de cette option est inférieur au coût du recours à la subvention. Il est donc nécessaire de comparer le coût actualisé de la subvention, à la somme actualisée des versements annuels de shadow toll sur la période de la concession. Mais il importe d'abord de chercher à mesurer ce coût total qui dépend de la mesure même du shadow toll. Plusieurs formules sont possibles :

- ◆ Le plus simple est de rechercher le niveau d'EBE nécessaire pour équilibrer l'opération (noté EBE*), en conservant le même taux de croissance annuel que pour l'EBE escompté (noté EBEe): on détermine en fait l'EBE à la mise en service nécessaire pour rentabiliser l'opération et le shadow toll annuel est égal à :

$$\begin{aligned} \text{Fonction puissance : } ST1j &= (EBE1^* - EBE1e) \cdot (1+\alpha)^j \\ \text{Fonction linéaire : } ST1j &= (EBE1^* - EBE1e) \cdot (1+\alpha) \cdot j \end{aligned}$$

- ◆ Une seconde solution est de considérer l'EBE à la mise en service comme fixe, et de ne faire varier que son taux de croissance. Cette solution offre l'avantage de minimiser les dépenses les premières années, mais l'inconvénient de les voir progresser beaucoup plus vite que les trafics. On obtient :

$$\begin{aligned} \text{Fonction puissance : } ST2j &= EBE1e \cdot [(1+\alpha^*)^j - (1+\alpha)^j] \\ \text{Fonction linéaire : } ST2j &= EBE1e \cdot [(1+\alpha^*) \cdot j - (1+\alpha) \cdot j] \end{aligned}$$

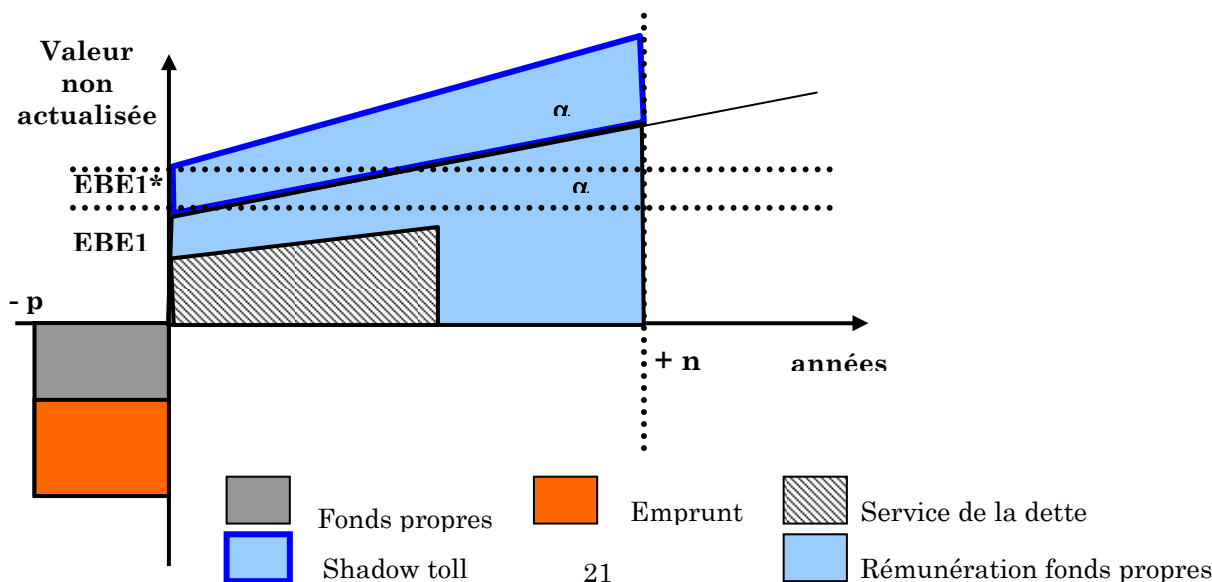
- ◆ Une troisième solution, plus complexe à évaluer, consiste à faire évoluer à la fois le niveau de l'EBE et son taux de croissance, soit :

$$\begin{aligned} \text{Fonction puissance : } ST3j &= EBE1^* \cdot (1+\alpha^*)^j - EBE1e \cdot (1+\alpha)^j \\ \text{Fonction linéaire : } ST3j &= EBE1^* \cdot (1+\alpha^*) \cdot j - EBE1e \cdot (1+\alpha) \cdot j \end{aligned}$$

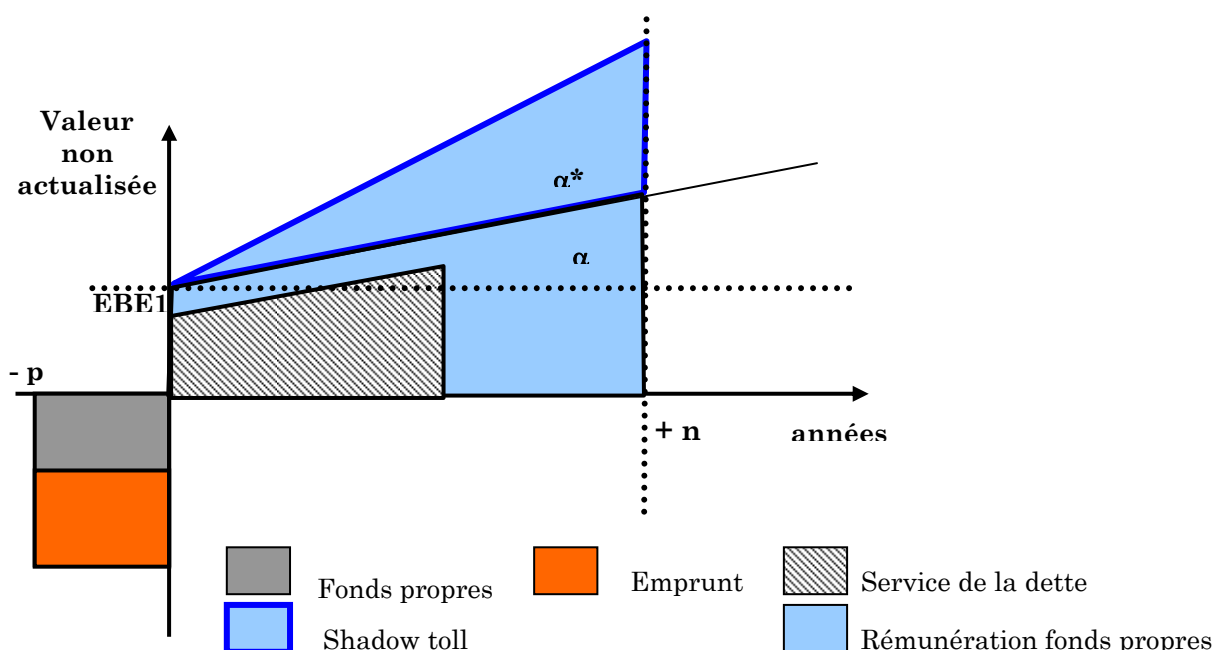
- ◆ Une dernière solution, simple en apparence, est de calculer le niveau d'EBE nécessaire si son taux de croissance était nul. Mais cette solution a tendance à générer des versements très élevés les premières années et proches de zéro les dernières dans le cas d'une fonction puissance pour la croissance annuelle de l'EBE.

Dans la suite de l'analyse, nous testerons successivement les deux formes de la fonction de croissance annuelle de l'EBE. Si la première offre l'avantage d'utiliser un vrai taux de croissance, elle se révèle assez peu réaliste sur une période de 30 ans si l'on considère un taux de croissance constant sur la période. De plus la forme linéaire de la croissance est plus proche des pratiques en matière de projection de la demande à long terme, et permet de simplifier les formules pour une recherche de niveau de shadow toll optimal dans le troisième cas étudié.

Graphique 7: Shadow toll de type 1 – ST1 : EBE1 différent + taux de croissance identique



Graphique 8 : Shadow toll de type 2 – ST2 : EBE1 identique + taux de croissance différent



L'estimation de l'efficacité du recours au shadow toll pour la collectivité va donc dépendre du coût total de chaque alternative :

- ◆ soit une subvention lors des travaux d'un montant tel que la VAN de l'opérateur soit au moins égale à zéro pour son taux de rentabilité escompté, ce qui nécessitera un emprunt et des frais financiers : le montant total actualisé des annuités de l'emprunt est une première estimation du coût pour la collectivité.
- ◆ soit un shadow toll calculé selon l'une des règles précédentes, et dont le coût sera égal au cumul des versements annuels actualisés.

Toutefois, il faut tenir compte ici du fait qu'il existe un **coût d'opportunité de l'argent public**. Il n'est donc pas possible de comparer directement le coût des annuités d'emprunt (charge de la dette, principal et intérêts) et le coût du shadow toll. En effet, le choix d'affecter à ce projet un certain montant d'investissement fait que l'on ne consacre pas cette ressource à un autre investissement public dont la rentabilité escomptée (ou plus généralement l'utilité sociale) pourrait être plus forte. De même, si la collectivité se trouve dans une situation d'endettement élevé, le coût de ce crédit supplémentaire risque d'être plus élevé.

Dans le cas d'une comparaison directe entre annuités et shadow toll (qui devient une dépense de fonctionnement), l'argent est ici supposé disponible, ce qui ne reflète pas les contraintes de disponibilité de cash pour la collectivité.

Rappelons qu'actuellement le coût d'opportunité des fonds publics pour l'Etat est estimé à 1,5, ce qui revient à dire qu'il faudrait multiplier la valeur actualisée de la subvention par ce facteur pour prendre en compte la contrainte de financement.

Une autre méthode reviendrait à considérer que si le cash flow manque, les annuités de remboursement d'emprunt sont elles-mêmes financées par ... un emprunt, ce qui vient renchérir le coût de cette solution.

La comparaison des deux modes de financement suppose donc d'établir des séries chronologiques pour chaque dépense et d'évaluer leur coût économique respectif.

2.4 Simulation de l'efficacité du shadow toll de financement

La recherche d'un shadow toll de financement s'appuie sur un modèle permettant de simuler les niveaux de fonds propres et d'emprunts mobilisables en fonction du coût de l'investissement, de l'excédent brut d'exploitation à la mise en service et de la forme de la croissance de cet EBE au cours du temps.

Les bases de ce modèle ont été décrites dans le premier rapport. Il a été enrichi progressivement et deux versions de calcul ont été établies, la première pour une fonction puissance de la croissance de l'EBE, la seconde pour une fonction linéaire. Les illustrations de ce rapport s'appuieront sur la seconde version, dénommée MEFISTO, Modèle Economique de Financement d'Infrastructures par Shadow Toll.

Description du modèle

L'ensemble des variables caractéristiques du projet et les résultats obtenus sont présentés dans une fiche SIMULATION (voir fiche jointe), qui permet une comparaison de l'efficacité des diverses formes de shadow toll testées.

La mise en œuvre de la simulation se fait à partir de la feuille MODULE dans laquelle sont saisies dans un premier temps les caractéristiques du projet étudié (variables en rouge). Au moyen de macro-commandes du tableur, diverses étapes de calcul sont réalisées successivement. Les deux premières consistent à calculer le montant des fonds propres et des emprunts mobilisables en fonction de la clé de répartition de l'EBE entre ces deux charges, du taux de rentabilité escompté pour les fonds propres et du taux d'intérêt pour les emprunts. On en déduit alors le montant de la subvention nécessaire, calculée comme la différence entre le coût d'investissement du projet et les sommes mobilisées en fonds propres et emprunts.

Les résultats obtenus par cette situation classique de financement sont donnés en bleu dans la colonne « avec subvention ». L'étape suivante consiste à rechercher le niveau d'EBE susceptible d'annuler la subvention, sous l'hypothèse d'un taux de croissance linéaire de l'EBE identique à celui de la situation de base. Cela se fait par des itérations successives, de façon à ajuster pour chaque niveau le montant des fonds propres et des emprunts. La valeur est en général obtenue au bout d'une dizaine d'itérations, avec une précision de l'ordre d'une centaine d'euros (une précision plus grande nécessite plus d'itérations). Les résultats sont inscrits en vert dans la colonne « avec ST1 ». La valeur de l'EBE nécessaire et coût total actualisé de ce shadow toll sont indiquée dans le cadre vert du bas de la feuille.

Le calcul de la seconde forme de shadow toll consiste à rechercher la valeur du taux de croissance de l'EBE nécessaire pour annuler la subvention, sachant que le niveau de l'EBE à la mise en service est inchangé. Cela nécessite comme précédemment une série d'itérations, dont les résultats sont inscrits en marron dans la colonne « avec ST2 ».

Le calcul de la troisième forme de shadow toll (qui n'est proposée que dans le cas d'une fonction linéaire de la croissance de l'EBE, en raison de calculs plus simples) s'appuie sur les résultats des deux premiers calculs. En effet, il importe de rechercher une variation annuelle du shadow toll qui minimise son coût actualisé. Dans cette optimisation linéaire, on joue à la fois sur la valeur de l'EBE à la mise en service et sur son taux de croissance, avec l'objectif d'une valeur nulle du shadow toll au terme de la durée de concession. Cela conduit à un EBE à la mise en service plus élevé que dans le premier cas, mais le taux de croissance peut être plus faible, ainsi que le montre le graphique ci-après.

Les résultats sont indiqués dans la colonne « avec ST3 » (en violet), et les valeurs de l'EBE, du taux de croissance et du coût actualisé du shadow toll sont données dans le cadre violet en bas de la feuille.

Tableau 2 : Fiche simulation (croissance linéaire de l'EBE)

1 - Hypothèses

Montant de l'Investissement non actualisé	Inv	3 000 000 K€	100,0%
Durée des Travaux	Trav	5	
Durée de la Concession	Dur	30	
Objectif de rentabilité des Fonds Propres	Trio	15,0%	
Taux d'intérêt des emprunts	Tau	4,0%	
Durée des emprunts	Dempr	10	
Excédent brut d'exploitation à la mise en service	EBE	240 000 K€	8,0%
Taux de croissance annuel de l'EBE	TxEBE	1,0%	
Clé de répartition de l'EBE pour les fonds propres	Refp	15,0%	

2 - Financement par Subvention

TRI économique	TRIE	6,57%	
Montant des Fonds Propres non actualisé	Mfp	456 200 K€	15,2%
Montant des Emprunts non actualisé	Mempr	1 591 246 K€	53,0%
Montant de la Subvention non actualisé	Subv	952 554 K€	31,8%
Coût actualisé de la subvention	VASUB V	1 117 651 K€	37,3%

2 - Financement par Shadow Toll 1 (EBE; subv=0 - TxEBE identique)

TRI économique	TRIE1	9,80%	
Montant des Fonds Propres non actualisé	Mfp1	668 442 K€	22,3%
Montant des Emprunts non actualisé	Mempr1	2 331 558 K€	77,7%
Montant du Shadow Toll non actualisé	ST1	111 658 K€	3,7%
Coût actualisé du Shadow Toll	VAST1	1 372 533 K€	45,8%

3 - Financement par Shadow Toll 2 (TxEBE; subv=0 - EBE identique)

TRI économique	TRIE2	10,77%	
Montant des Fonds Propres non actualisé	Mfp2	859 469 K€	28,6%
Montant des Emprunts non actualisé	Mempr2	2 140 531 K€	71,4%
Taux de croissance du Shadow Toll	TxST2	8,61%	
Coût actualisé du Shadow Toll	VAST2	2 137 505 K€	71,3%

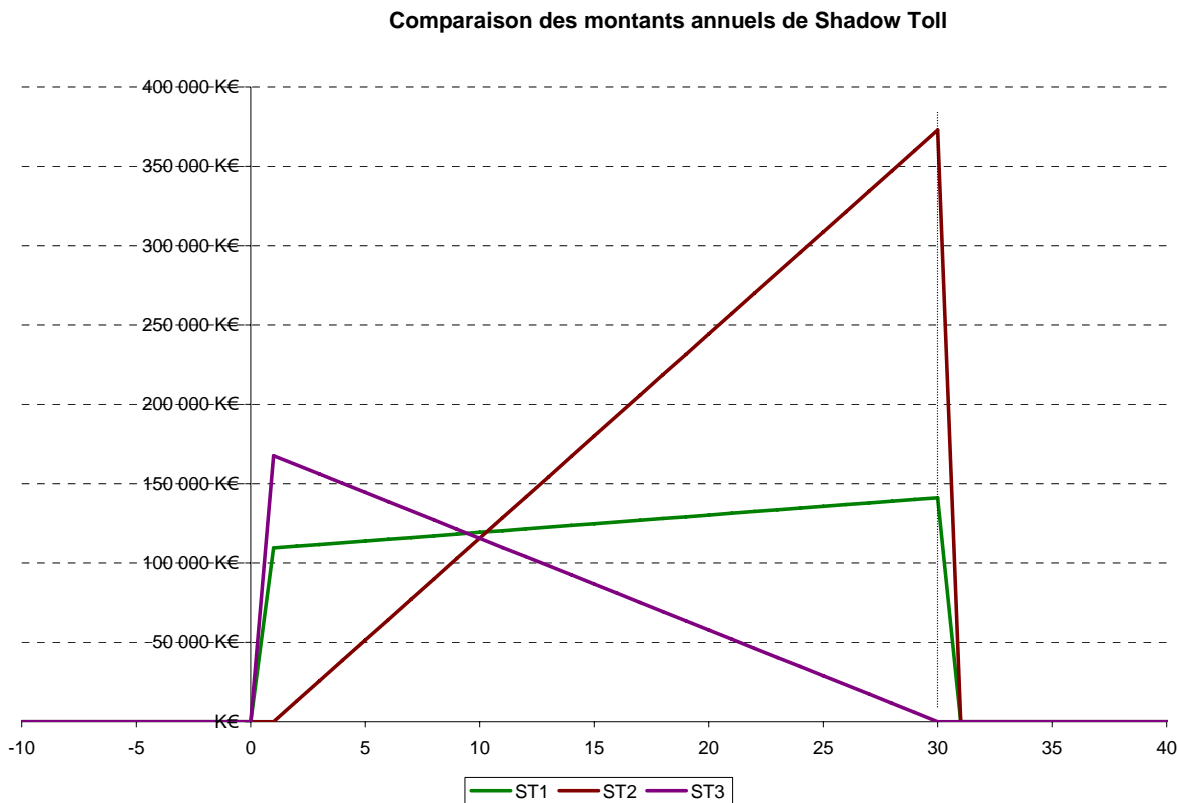
4 - Financement par Shadow Toll 3 (TxEBE3 et EBE3 ; ST3(Dur) = 0)

TRI économique	TRIE3	9,27%	
Montant des Fonds Propres non actualisé	Mfp3	601 737 K€	20,1%
Montant des Emprunts non actualisé	Mempr3	2 359 042 K€	78,6%
Montant de la Subvention Résiduelle	Subv3	39 221 K€	1,3%
Taux de croissance du Shadow Toll	TxST3	-1,65%	
Coût actualisé du Shadow Toll	VAST3	1 083 893 K€	36,1%
Coût total actualisé	VAT3	1 123 114 K€	37,4%

5 - Comparaison Financement Shadow Toll / Subvention

Rapport coûts actualisés ST1 / Subv	R1	1,23	
Rapport coûts actualisés ST2 / Subv	R2	1,91	

Rapport coûts actualisés ST3 / Subv	R3	0,97	
Rapport coût total solution 3 / Subv	R3*	1,00	



Graphique 9 : évolution des différents types de shadow toll sur la durée de concession

2.5 Résultats des simulations

Diverses simulations ont été nécessaires pour mettre en lumière les conditions favorables à un financement par shadow toll. En effet, chacune des variables nécessaires au calcul a une influence sur le résultat. Pour simplifier le problème, certaines des hypothèses ont été fixées et n'ont pas fait l'objet d'analyses détaillées, dans la mesure où leur impact sur le besoin de financement a été déjà abordé dans le premier rapport.

Ainsi la durée des travaux (5 ans dans le scénario de base), le taux d'intérêt bancaire (4%) ainsi que la durée des emprunts (10 ans) et la durée de la concession (30 ans), et la clé de répartition de l'EBE pour la couverture de la dette et la rémunération des fonds propres ont été (sauf mention contraire) fixés pour toutes les simulations.

Les variables privilégiées dans l'analyse sont donc :

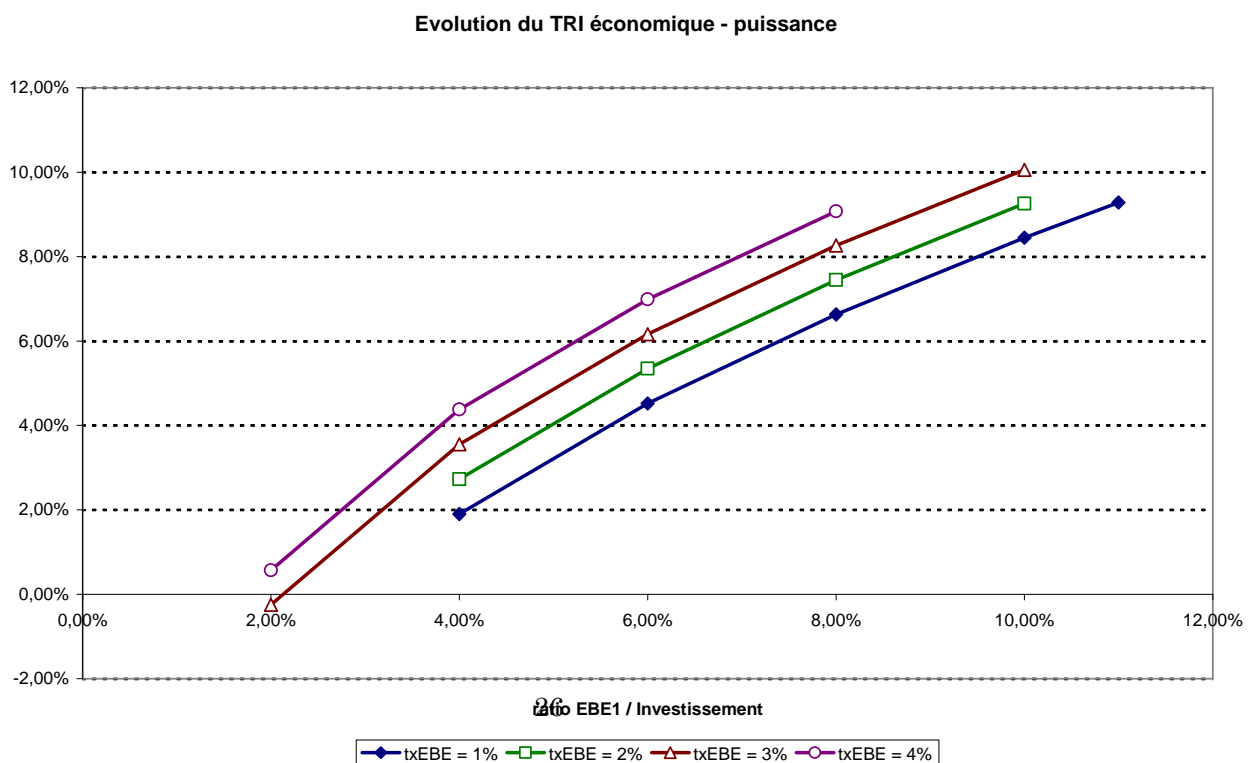
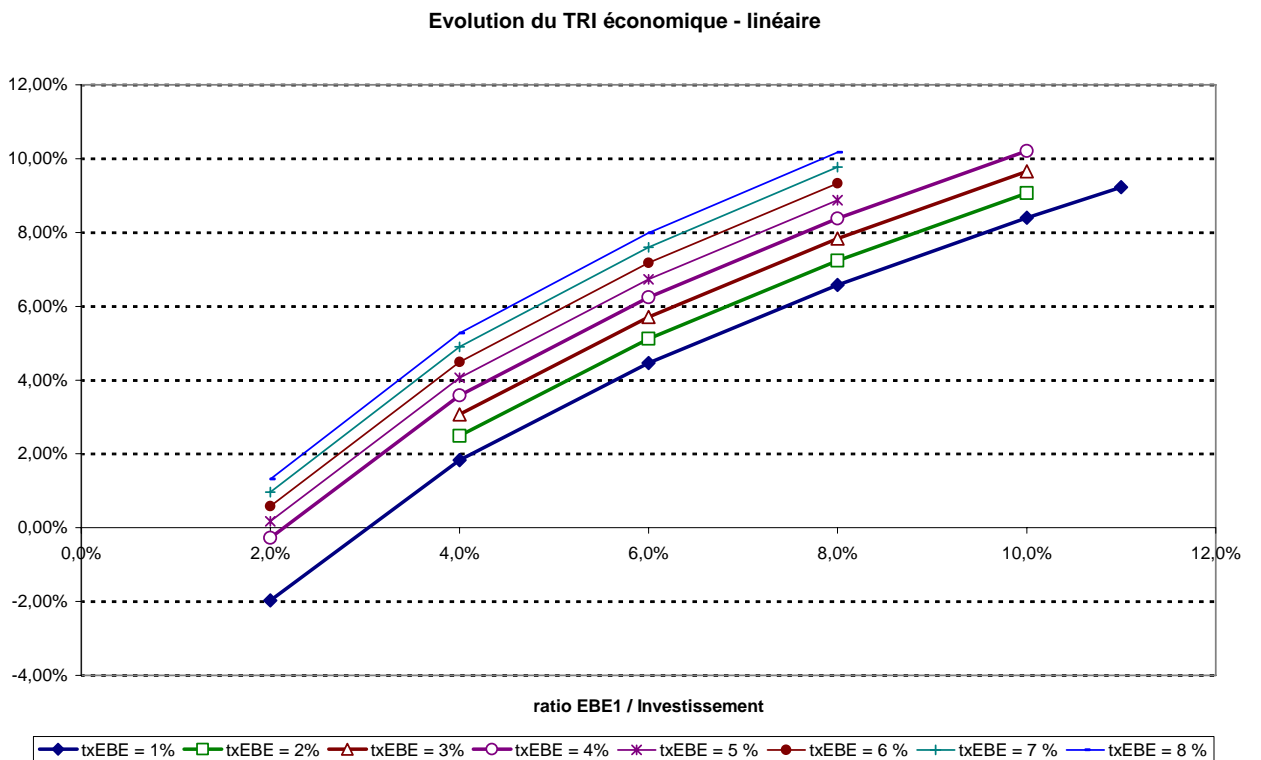
- ◆ le ratio EBE1/Investissement, que l'on a fait varier de 1 à 12% dans certains cas. Afin de limiter l'effet lié à la masse de l'investissement (fixé à 3 milliards d'euros dans le scénario de base, soit grosso modo le coût d'un tronçon autoroutier de 80 km), les résultats seront présentés de façon normative, en prenant l'indice 100 pour ce coût nominal d'investissement. Ce choix permet de rendre plus lisibles les diverses valeurs. Ainsi un ratio de 2% correspond à un EBE de 60 millions d'euros.

Cet indicateur mesure donc l'intensité de l'effet d'offre à la mise en service. Plus il est élevé,

plus la rentabilité du projet a de chances d'être bonne et moins le besoin de financement public sera nécessaire.

- ◆ Le taux de croissance annuelle de l'EBE, exprimé en pourcentage. Cette variable décrit l'évolution temporelle du bénéfice escompté. Elle est représentative de l'évolution de la demande et des trafics au cours de la période de concession. Plus ce taux est élevé, plus le bénéfice annuel sera fort, et plus la rentabilité sera améliorée.
- ◆ Le taux de rentabilité escompté pour les fonds propres, dénommé TRIo (TRI objectif). Cet indicateur mesure le niveau de profit escompté pour rémunérer le capital investi, mais tient compte également de la couverture du risque à long terme pour l'opérateur. Plus ce taux est élevé, plus les fonds propres seront faibles et plus le besoin de financement public sera important.

Graphique 10 : effet des fonctions de croissance de l'EBE sur le TRI économique



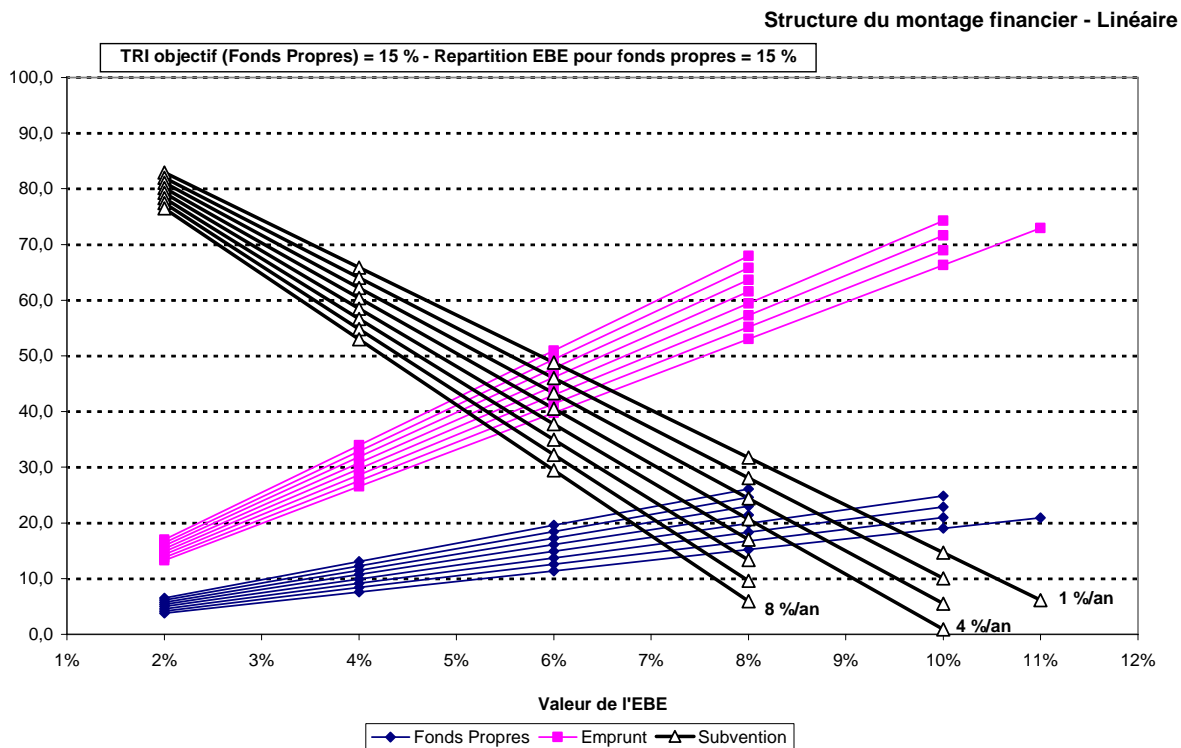
La variation de ces trois indicateurs va permettre de mesurer la sensibilité du résultat à chacun d'eux, de façon à identifier dans quels contextes le recours au shadow toll peut présenter un intérêt. Les deux graphiques précédents montrent la relation qui existe entre le ratio EBE1/I, le taux de croissance annuelle de l'EBE (fonction puissance vs fonction linéaire) et le taux de rentabilité interne économique global du projet.

Il est clair que pour un TRI objectif donné (ici de 15%), au-delà d'un certain seuil d'EBE les projets deviennent suffisamment rentables pour qu'il n'y ait pas besoin de subvention : c'est ce qui se passe dans la partie droite et la partie haute des graphiques. Que la fonction de croissance de l'EBE soit une puissance ou une droite, on peut constater que le ratio EBE1/I a plus d'importance que le taux de croissance pour améliorer le TRI économique du projet.

Ainsi, on obtient le même TRI économique dans le modèle linéaire entre un projet dont l'EBE serait égal à 6 % du coût d'investissement avec une croissance annuelle de 1%, et un projet dont l'EBE serait de 4% et le taux de croissance de 6%. Le graphique ci-dessous illustre bien le besoin de subvention en fonction de la valeur de l'EBE à la mise en service : pour un investissement de 100, la subvention est de l'ordre de 80 si cet EBE est de 2, tandis qu'elle est inférieure à 10 si cet EBE est de 8, avec un taux de croissance annuelle de 8 % ou de 11 avec un taux de croissance de 1 %.

Un résultat du même type est obtenu avec une fonction puissance pour la croissance annuelle de l'EBE, si ce n'est que l'impact du taux de croissance est bien sûr plus fort que dans ce cas.

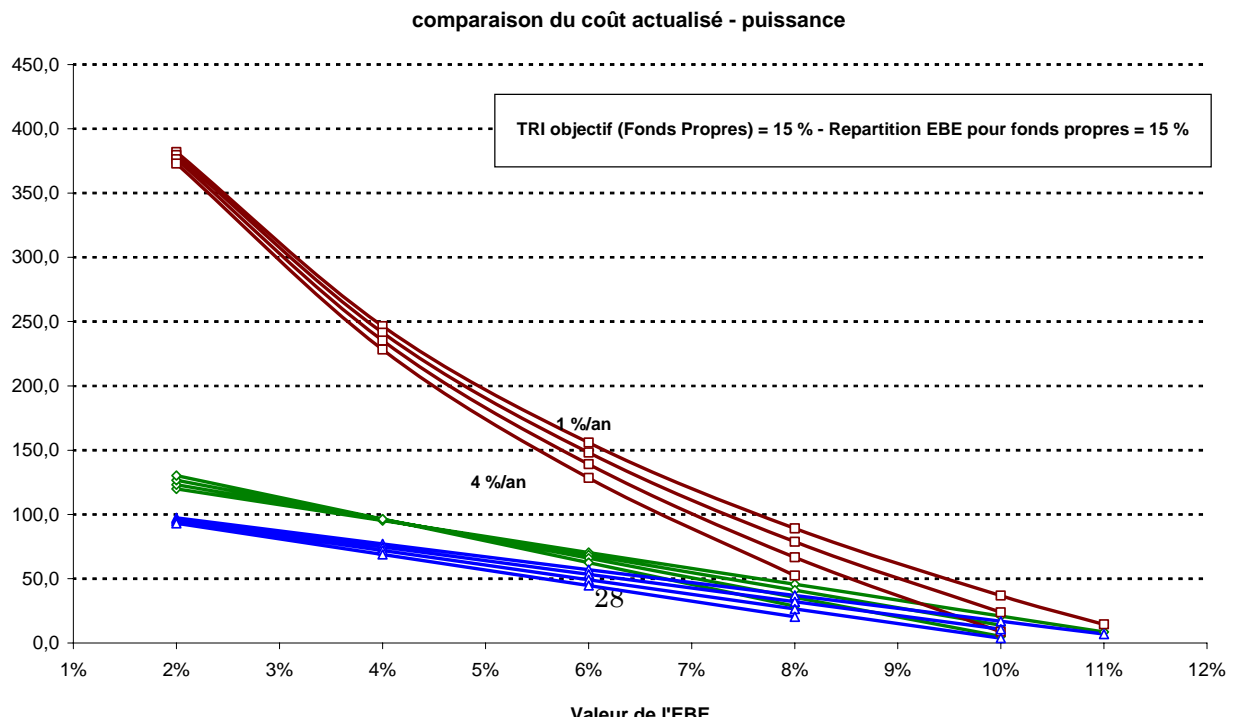
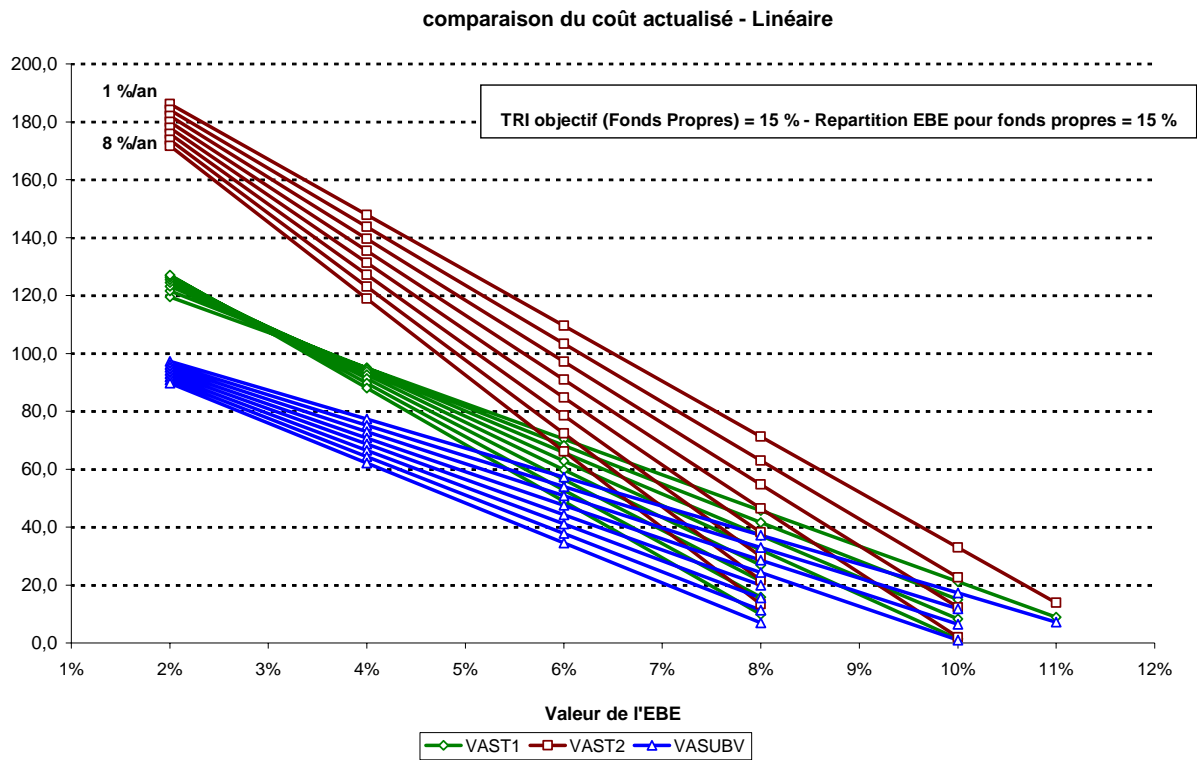
Graphique 11 : variation des poids propres, des emprunts et de la subvention selon le TRIo



Impact du ratio EBE1/Investissement et du taux de croissance annuelle de l'EBE

Au vu du graphique précédent, ce ratio EBE1/I joue donc un rôle important sur le montant du financement public nécessaire. Les graphiques suivants comparent le coût actualisé de trois alternatives : le recours à une subvention traditionnelle (VASUBV), l'utilisation d'un shadow toll calé sur une augmentation de l'EBE à la mise en service, avec un taux de croissance identique (VAST1) et le recours à un taux de croissance différent de l'EBE, pour un niveau identique à la mise en service (VAST2).

Le premier graphique montre clairement que les deux solutions de shadow toll ont un coût actualisé nettement supérieur à celui d'une subvention, surtout si l'EBE initial est faible. Autrement dit le coût du shadow toll n'est proche de celui de la subvention (tout en restant supérieur...) que si l'on se trouve proche d'une rentabilité forte du projet. Ce résultat tend à indiquer que si la solution de type shadow toll permet de contourner le manque de capacité d'investissement de la puissance publique, cela se fait à un coût qui peut être très élevé : dans le cas d'une faible rentabilité initiale (fort besoin de subvention), le coût du shadow toll de type 2 est pratiquement deux fois plus cher que le recours à la subvention.



Graphique 12 : comparaison des coûts actualisés selon la fonction de croissance de l'EBE

La même tendance peut être observée dans le cas d'une fonction puissance pour la croissance de l'EBE, les écarts de coûts actualisés étant même accentués, puisque dans le cas d'un EBE initial faible, le shadow toll de type 2 coûte même près de 4 fois plus que le recours à la subvention. Ce constat amène à penser que le recours au shadow toll n'est une solution a priori envisageable que dans des projets proches de la rentabilité.

Une autre remarque doit être faite sur l'efficacité relative des deux formes de shadow toll envisagées ici. On aurait pu penser que le type 1 serait plus coûteux dans la mesure où il implique une forte dépense dès les premières années (augmentation de l'EBE), tandis que le second, calé simplement sur un taux de croissance plus élevé, conduirait à reporter plus tard les dépenses coûteuses, et donc à en minimiser l'impact du fait de l'actualisation à 8%. Les graphiques montrent le contraire, surtout dans le cadre d'une fonction puissance, car les faibles dépenses des premières années doivent être compensées dans le bilan actualisé par des dépenses d'autant plus élevées dans les dernières années, qu'elles sont minimisées par l'actualisation.

De même, ces graphiques tendent à confirmer l'intérêt d'une analyse de la croissance de l'EBE sous une forme linéaire, plutôt que par le biais d'une fonction puissance. En effet sur une longue période, l'effet multiplicateur de la fonction puissance est très fort et induit des résultats peu réalistes : on arrive dans certains cas (EBE initial faible) à des taux de croissance annuels de plus de 80 % !

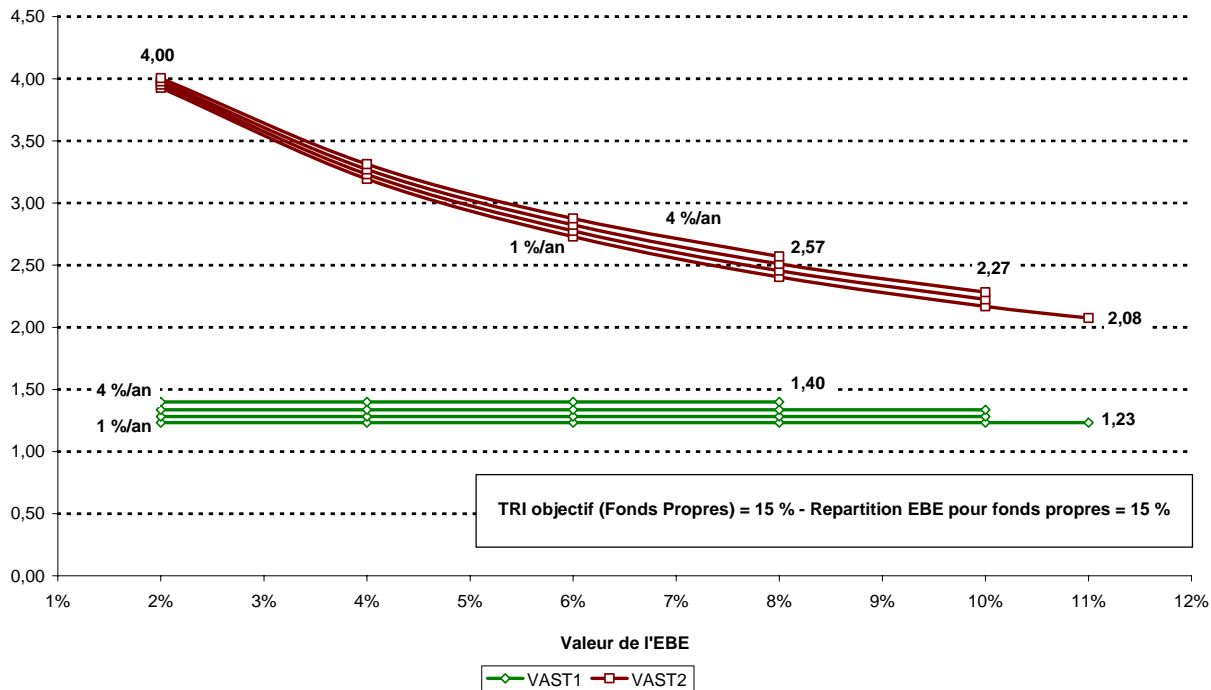
Il faut cependant se méfier ici de l'effet masse résultant du calcul d'une somme d'argent à déboursier. Un indicateur permet de voir de façon plus claire la performance de chacun des types de shadow toll : c'est le rapport entre le coût actualisé du shadow toll et le coût actualisé de la subvention. Les graphiques suivants montrent ainsi que la forme de la fonction de croissance joue un rôle direct dans le rapport des coûts.

Ainsi peut-on constater que le shadow toll de type 1 génère un rapport qui ne dépend pas de la valeur de l'EBE initial, alors qu'il est influencé par le taux de croissance de l'EBE : plus celui-ci est fort, plus le rapport est élevé, puisqu'il passe de 1,23 à 1,40, quand le taux de croissance passe de 1 à 4% par an. A l'inverse, le shadow toll de type 2 varie en fonction des deux facteurs, et dépend même plus fortement du niveau initial de l'EBE que de son taux de croissance, puisqu'il passe de 2 à 4 si l'EBE initial passe de 1% du coût de l'investissement à 11%, tandis que la variation du taux de croissance a un effet secondaire.

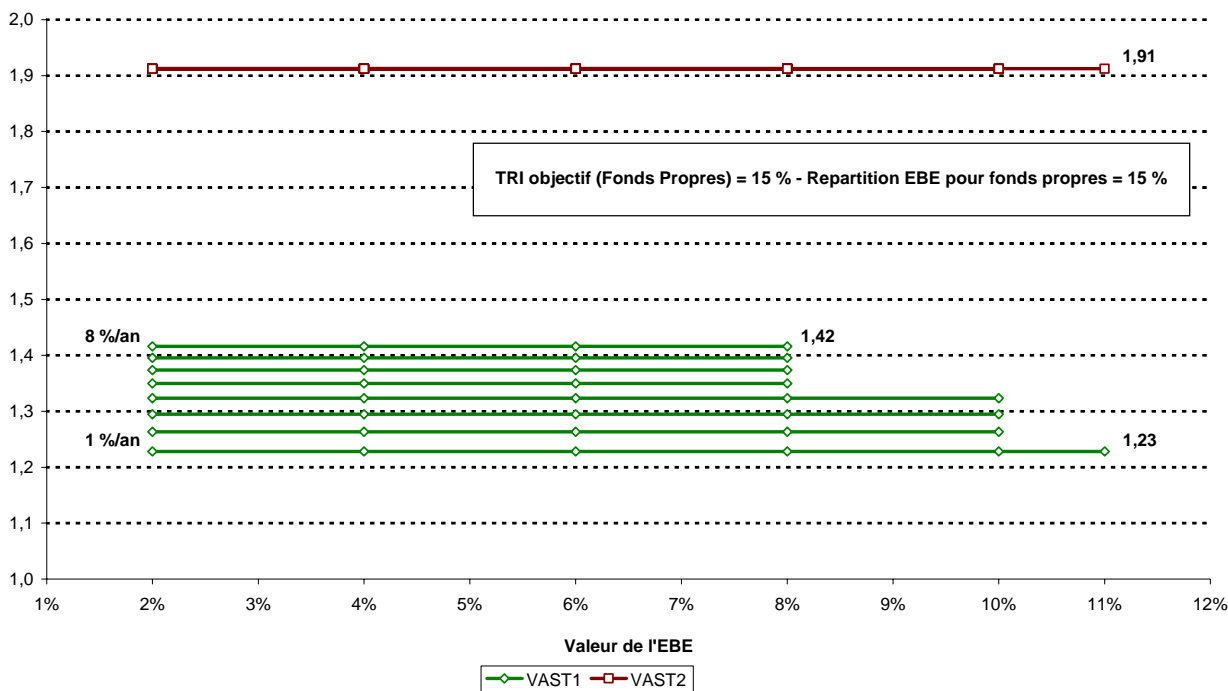
Dans le cas d'une fonction linéaire de la croissance de l'EBE, la situation est semblable pour le shadow toll de type 1, alors que le rapport de coût est constant dans le cadre du shadow toll de type 2. Ce résultat a priori surprenant nécessite un approfondissement par le biais des mathématiques. Les formules sont données en annexe et montrent que normalement, il n'y a pas de raison que ce ratio soit constant pour le shadow toll de type 2. En fait, l'analyse des simulations montre que la variation du rapport est très faible, ce que cette représentation graphique ne montre pas. De plus rappelons que le calcul du shadow toll se fait par un nombre d'itérations limité, ce qui peut générer quelques approximations dans la valeur du ratio.

Ces résultats nous confortent dans l'idée de travailler principalement sur la fonction linéaire de croissance, qui facilite les calculs et permet de mieux montrer les tendances générales.

Rapport coût du Shadow Toll / coût Subvention - puissance



Rapport coût du Shadow Toll / coût Subvention - linéaire



Graphique 13 : Evolution du ratio de coûts actualisés selon la fonction de croissance de l'EBE

Impact du TRI objectif sur le coût du shadow toll

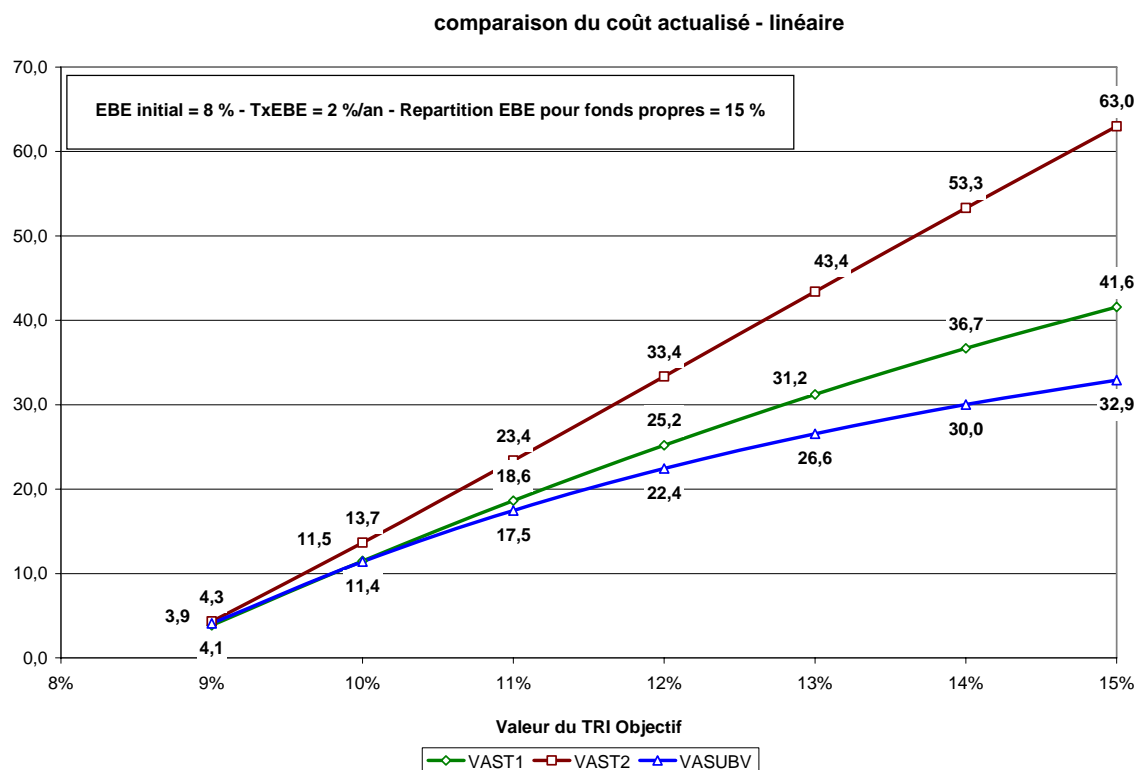
Après avoir vu comment les caractéristiques du projet jouent sur les niveaux de shadow toll, il importe d'analyser comment le niveau de rentabilité escomptée agit également sur ce mode de financement.

Le « TRI objectif », c'est-à-dire le rendement escompté pour les fonds propres joue fortement sur le besoin de financement public. Afin d'illustrer cette influence, les simulations présentées dans les graphiques suivants font référence à un projet dont le coût d'investissement serait de 100, l'EBE initial de 8% de ce montant et son taux de croissance annuel (linéaire) est de 2%.

Le premier graphique illustre clairement comment évolue le coût public selon le mode de financement choisi :

- ◆ Dans le cas d'une subvention, répartie également sur la durée des travaux (ici 5 ans), le coût actualisé total de la subvention passe de 32,9 si le TRI escompté est de 15% (ce qui est un cas assez courant) à seulement 4,1 si ce TRIo n'est que de 9%.
- ◆ Dans le cas d'un shadow toll de type 1 (variation de l'EBE, taux de croissance identique), le coût actualisé évolue dans le même sens, mais sur une amplitude plus grande, puisqu'il passe de 41,6 à 3,9.
- ◆ Dans le cas du shadow toll de type 2 (EBE identique, mais taux de croissance différent de l'EBE), le coût actualisé évolue de façon quasi linéaire de 63,0 à 4,3

La croissance du coût de financement avec le TRIo est tout à fait logique, puisque le montant des fonds propres diminue rapidement, comme cela a été montré précédemment. Mais il ressort surtout de ce graphique que dans ce cas de figure, le recours au shadow toll est toujours plus coûteux que la subvention, à l'exception des situations de faible TRIo pour le shadow toll de type 2 (qui est légèrement inférieur pour un TRIo de 9%).

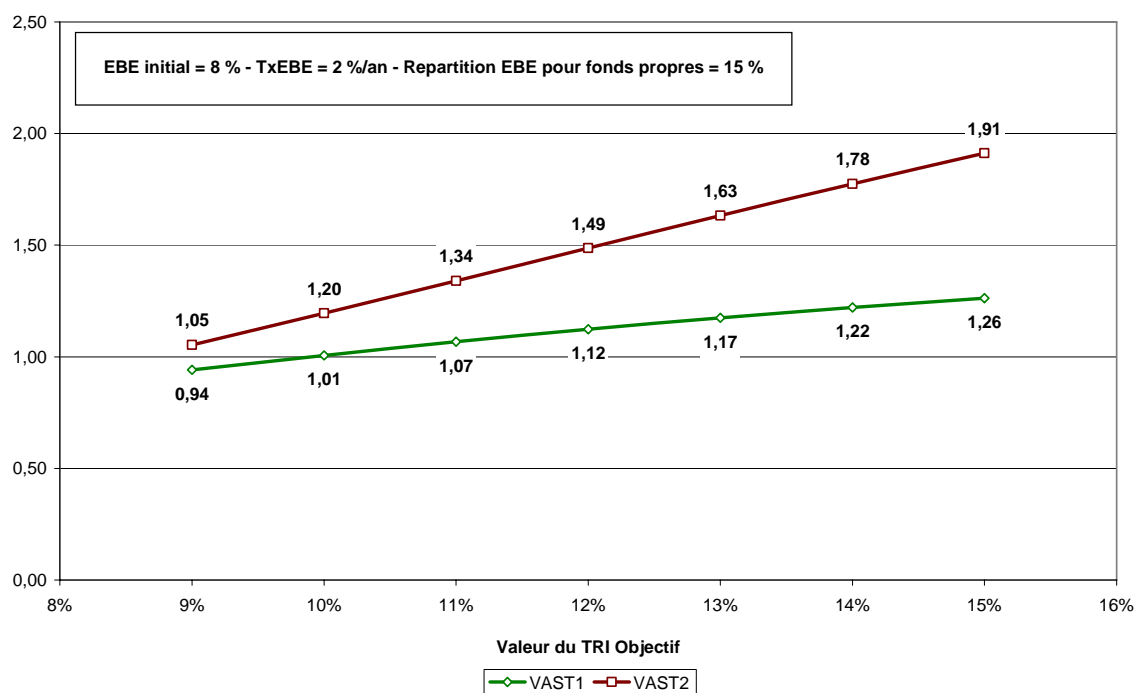


Graphique 14 : évolution du coût actualisé du financement public selon le TRIo

Ce phénomène apparaît mieux dans le second graphique qui analyse le rapport entre le coût actualisé de financement par shadow toll et celui par subvention.

- ◆ Il se confirme que le shadow toll de type 2 est plus coûteux dans tous les cas (signalons que ce phénomène est logiquement encore plus accentué dans le cas d'une fonction puissance de la croissance des EBE)
- ◆ Le shadow toll de type 1 peut donc être avantageux, dès lors qu'il est possible de « négocier » la valeur du TRIo. En effet, le principe du shadow toll apporte un flux de cash flow garanti sur la période (ici 30 ans), ce qui contribue à couvrir une partie non négligeable des risques sur les recettes commerciales, risques qui justifient justement des valeurs élevées du TRI escompté.
- ◆ Enfin, si l'on introduit la contrainte sur la capacité d'investissement des fonds publics, il importe de prendre en compte le coût d'opportunité résultant de la mobilisation des fonds nécessaires à la subvention. Dans ce cadre, le choix du recours au shadow toll vient révéler l'importance de ce coût d'opportunité. En d'autres termes, le fait de choisir le shadow toll de type 2 sur la base d'un TRI escompté de 14 % dans cet exemple, signifie que ce coût d'opportunité est supérieur à la valeur du ratio VAST2/VASUBV, c'est-à-dire 1,22.

Rapport coût du Shadow Toll / coût Subvention - linéaire



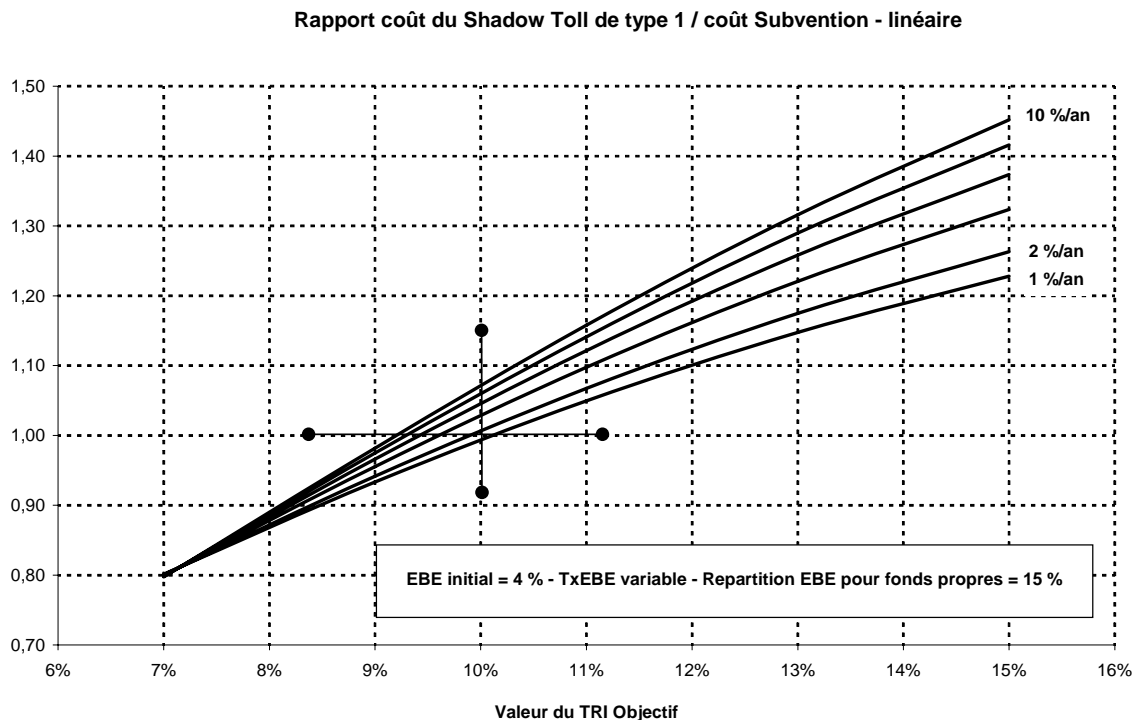
Graphique 15 : évolution du ratio des coûts actualisés selon le TRIo

Si le shadow toll de type 1 semble s'imposer en raison de son coût actualisé moins élevé, encore faut-il voir comment ce coût évolue en fonction des caractéristiques du projet. Plusieurs remarques importantes ressortent des simulations effectuées.

- ◆ En premier lieu le ratio VAST1/VASUBV est indépendant du montant de l'EBE initial : que celui-ci représente 4 ou 8 % du coût d'investissement, les simulations montrent que pour un TRIo de 15% et un taux de croissance annuel donné (2%), on obtient la même valeur du rapport (1,26).
- ◆ Le rapport est par contre sensible à la valeur du taux de croissance annuel. Le graphique ci-dessous donne le résultat des simulations pour un taux variant de 1 à 10 %. Il faut souligner ici que plus le taux de croissance est élevé, plus le ratio est fort, ce qui signifie que le coût du

recours au shadow toll est d'autant supérieur au coût de la subvention. Ce résultat est logique dans la mesure où par définition, ce type de shadow toll évolue annuellement sur la base de ce taux.

- ◆ Dans le cadre d'une négociation sur le TRI escompté, cela signifie que la réduction demandée est plus importante. Comme on peut le voir sur le graphique, le passage d'un taux de croissance annuel de 1 à 10 % fait passer le seuil d'équivalence (ratio égal à 1) d'un TRIo de 10 % à un TRIo de 9,3 %. Réciproquement, l'incertitude sur le taux de croissance annuel se traduit par une variation relative du coût du recours au shadow toll



Graphique 16 : évolution du coût actualisé du shadow toll de type 1

Il faut garder à l'esprit que la comparaison proposée ici s'intéresse au coût relatif du recours au shadow toll par rapport à la subvention, et masque donc les valeurs en volume, qui dans le cas de TRI escomptés élevés, peuvent être très importantes.

Comme cela a été montré (cf. graphique sur les coûts actualisés en volume), plus l'EBE initial (et dans une moindre mesure le taux de croissance annuel) est fort, moins les fonds publics nécessaires sont importants

Recherche d'un shadow toll « optimisé »

Les deux types de shadow toll proposés jusqu'ici génèrent des coûts importants, surtout dans les projets peu rentables, ce qui risque d'être le cas pour les sections autoroutières que l'on envisage de construire de nos jours. De même, les taux de croissance de la demande sur long terme devraient ne pas dépasser 5% dans de nombreux cas (sauf décongestion de nœuds routiers particuliers).

Il semble donc nécessaire de rechercher une forme de shadow toll intermédiaire entre les deux formules précédentes, en jouant à la fois sur la variation de l'EBE à la mise en service et un taux de croissance variable. Un processus d'optimisation du couple (EBE*, TxST) se révèle assez complexe sur des séries discrètes et n'a pu pour le moment être incorporé dans le modèle utilisé. Il

faudrait pour cela passer par des fonctions mathématiques continues dérivables, dont la résolution est complexe lorsqu'elle s'appuie sur des coûts actualisés.

A défaut de proposer une telle formalisation, il a été possible de travailler sur un pseudo optimum, en tentant d'étaler les dépenses au cours du temps de façon à minimiser le coût total du recours au shadow toll.

Cette solution « artisanale » facilement simulable consiste à s'appuyer sur les résultats des deux formes de shadow toll, en construisant une troisième forme telle que le coût du shadow toll soit nul pour la dernière année de concession, ce qui suppose un EBE* plus fort à la mise en service et un taux de croissance annuel du shadow toll déterminé en fonction de celui de l'EBE initial.

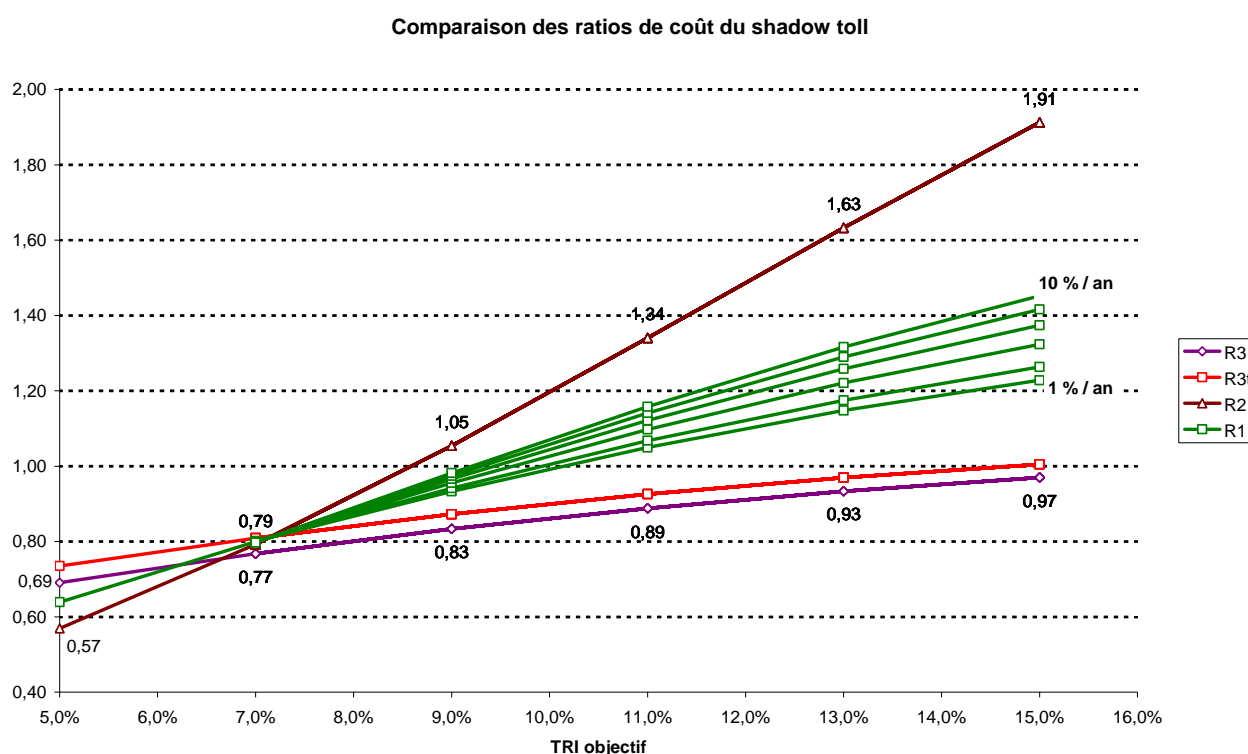
Compte tenu des approximations du calcul résultant d'une approche en série et non en fonction linéaire, l'application de ce type de shadow toll induit une subvention résiduelle faible (de l'ordre de 1 à 2 % du coût de l'investissement), subvention que l'on suppose versée l'année précédant la mise en service, en une fois, compte tenu de sa faible valeur.

Dans ces conditions, on constate une forte amélioration du ratio VAST3/VASUBV, c'est-à-dire des situations dans lesquelles le recours à ce shadow toll s'avère d'un coût inférieur à celui du versement de la subvention à l'investissement, dès lors que le TRI objectif est grosso modo supérieur à 7% dans le cas étudié.

Signalons en particulier que si la durée des travaux est plus longue, le coût actualisé de la subvention sera d'autant plus fort, et le recours au shadow toll sera plus intéressant. A l'inverse, dans le cas d'un versement de la subvention en une seule fois à l'année précédant la mise en service, ce ratio sera moins favorable, puisqu'en passant d'une durée de 5 ans à une durée d'un an, le ratio VAST3/VASUBV est augmenté de 17,3%.

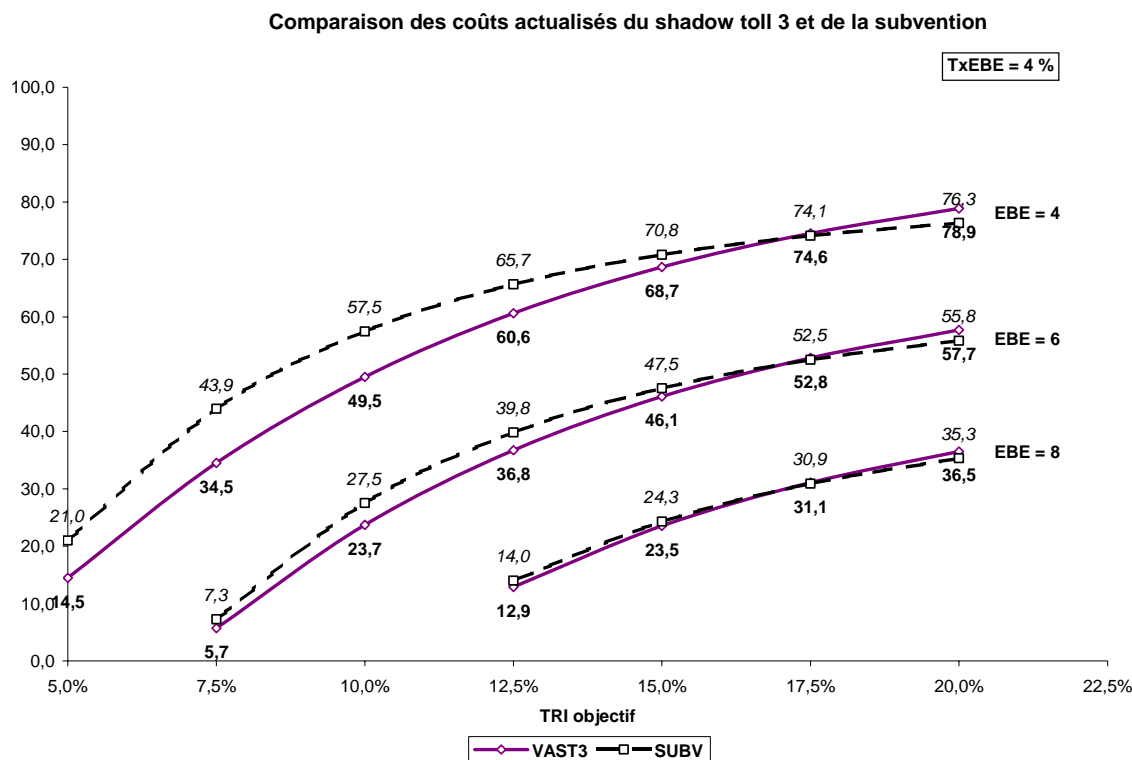
Le graphique suivant indique que cette forme de shadow toll génère un ratio de coût relatif par rapport à la subvention. Les simulations réalisées montrent que le ratio VAST3/VASUBV :

- ◆ est indépendant du taux de croissance de l'EBE, comme le shadow toll de type 2.
- ◆ est également indépendant du niveau de l'EBE initial.
- ◆ ne dépend que du TRI objectif (il varie de 0,69 pour un TRIo de 5% à 1,03 pour un TRIo de 20%)



Graphique 17 : comparaison de l'efficacité des trois formes de shadow toll

Pour illustrer le coût actualisé du shadow toll de type 3 par rapport à la subvention d'investissement, le graphique suivant simule pour un investissement de 100, ayant différentes valeurs de l'EBE (4 à 8) et un taux de croissance de cet EBE de 4% par an quel serait le coût de chaque solution.



Graphique 18 : coût actualisé du shadow toll de type 3

On vérifie sur ce graphique que le coût actualisé du shadow toll est inférieur au coût de la subvention tant que le rendement escompté des fonds propres (TRIo) est inférieur à 17,5 % environ. On notera toutefois l'existence d'une faible subvention à l'année précédant la mise en service, qui conduit à ce que le seuil de basculement est en fait proche d'un TRIo de 15%, ce qui reste très proche des taux escomptés par des opérateurs privés.

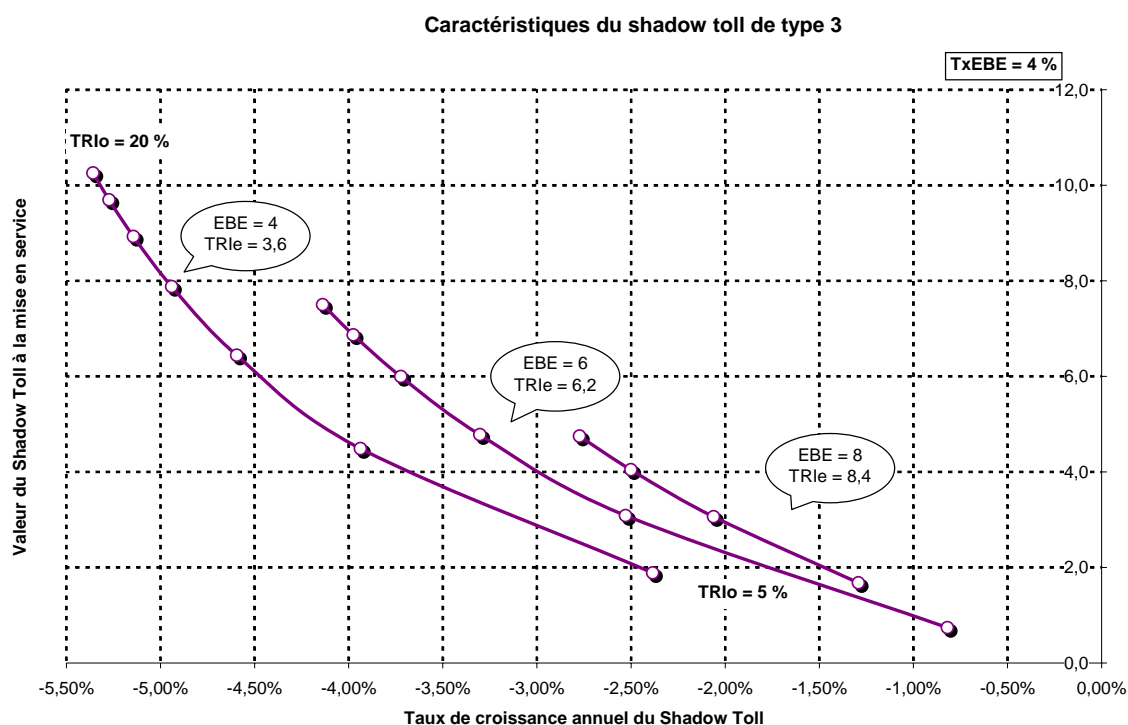
En volume, les écarts sont d'autant plus sensibles que le TRIo est faible, ce qui ne peut qu'inciter à négocier avec le partenaire privé une limitation de la rentabilité escomptée en échange de la couverture des risques qu'apporte le shadow toll.

Cette forme de shadow toll apparaît donc très intéressante, puisqu'il n'est pas introduit ici de coût d'opportunité de l'argent public. Si cette alternative semble crédible, encore faut-il s'assurer que l'importance des versements annuels ne viendra pas se heurter aux capacités de la puissance publique. Le graphique de la page suivante indique pour les trois types de projets testés, le montant du shadow toll à la première année d'exploitation et son taux de (dé)croissance annuel.

On peut constater que dans le cas de projets fortement non rentables, l'importance des versements annuels les premières années est inquiétante : ainsi dans le cas d'un EBE faible de 4 (soit un TRI économique global de 3,6%), et d'un TRI objectif de 20% pour les fonds propres, le shadow toll est de 10,3, c'est-à-dire plus de 10 % du coût de l'investissement... Il serait alors douteux sur un plan comptable que l'on considère vraiment ce shadow toll comme une dépense de fonctionnement. En considérant que la réalisation d'un tronçon autoroutier de 80 km dans une zone sensible frise les 3 milliards d'euros, cela signifierait un premier versement de plus 300 millions la première année (et de 219 la 5^{ème} année, de 139 la 10^{ème} année,...).

Même dans le cas d'un TRIo de 10%, le premier versement de shadow toll représente encore 6,4 % du coût total de l'investissement, soit plus de 190 millions d'euros dans notre exemple. Il est donc

clair que si cette solution de financement semble moins coûteuse dans un certain nombre de cas, elle ne doit pas masquer que la rentabilité intrinsèque du projet au plan financier reste un critère déterminant de réalisation. Il semble donc que la question du recours au shadow toll s'applique à un domaine beaucoup plus restreint que celui abordé dans ces simulations théoriques.



Graphique 19 : domaines de pertinence du shadow toll

2.6 Conclusion

L'élaboration du modèle MEFISTO pour évaluer l'intérêt du recours au shadow toll permet désormais de conduire de nombreuses simulations pour déterminer les domaines de pertinence de cette technique de financement. Il serait fastidieux et inutile, dans le cadre de ce rapport, de présenter les résultats de toutes les combinaisons possibles en faisant varier également certains autres paramètres, comme le taux d'intérêt et la durée des emprunts, la clé de répartition de l'EBE entre fonds propres et emprunts, la durée des travaux, etc. Les résultats de simulation présentés dans ce rapport suffisent à montrer que le recours au shadow toll de financement est possible dans de nombreux cas, surtout si le coût d'opportunité de l'argent public est élevé. Une validation plus complète nécessite de passer de séries discrètes à des fonctions continues dérivables, ce qui devrait permettre également de mieux tester des formes mixtes de financement, introduisant des niveaux de shadow toll à taux de croissance variable, combinés à des subventions résiduelles d'investissement.

De même, le shadow toll de type 3 n'est qu'un pseudo optimum calculé de façon intuitive, qui offre l'avantage d'une formulation simple, mais qui n'est sans doute pas la forme permettant de minimiser le coût actualisé global. La recherche de cet optimum suppose aussi de passer par des fonctions continues.

Il n'en reste pas moins que l'optimisation du shadow toll doit se faire sous la contrainte d'une dépense annuelle restant compatible avec la notion de dépense de fonctionnement, tant sur le plan comptable que sur le plan de la capacité de la collectivité à mobiliser de tels niveaux de ressources annuelles.

Conclusion

Au terme de cette analyse des conditions et de la pertinence du financement des infrastructures routières par une collectivité territoriale, plusieurs remarques peuvent être soulignées. La première concerne la nécessité de disposer de méthodes d'évaluation plus précises dans leur mesure de la rentabilité et de l'utilité des projets d'infrastructure de transport. Si les nouvelles directives prévues en 2003 par l'Etat sont de nature à mener des analyses plus rigoureuses, encore faut-il être conscient des avantages mais aussi des limites du calcul économique. Une plus grande prise en compte du risque (calcul d'erreur sur les paramètres clés) et de l'incertitude (impact des scénarios macro-économiques sur l'évolution des prix et de la demande) est désormais indispensable pour définir un intervalle de confiance sur les résultats produits. Il serait même logique de tenter des approches par le biais de simulations de Monte Carlo pour préciser l'ampleur des variations possibles de la rentabilité et de l'utilité d'un projet.

La seconde remarque concerne les conditions d'un partenariat public/privé qui devrait se développer dans les années à venir en raison des difficultés de mobilisation de l'argent public. Les expériences accumulées dans le monde, et notamment au Royaume-Uni, devraient permettre de mieux préciser les situations favorables à cette forme de cofinancement, afin de s'assurer d'une bonne allocation des ressources publiques.

La troisième porte sur les difficultés de définition de priorités claires dans le choix des projets à financer pour une collectivité territoriale comme la Région, appelée à participer au financement de la contribution publique dans un tel partenariat. Un effort important de définition des objectifs politiques de la Région est nécessaire pour pouvoir éventuellement négocier cette participation et son montant, en fonction de l'adéquation du projet aux orientations générales de la politique de transport de cette collectivité.

La quatrième remarque résulte des simulations de formes de shadow toll réalisées dans le cadre de cette recherche. Il semble que cette technique de prix fictifs puisse être un mode de financement alternatif au recours à la subvention, mais il importe de bien définir dans quelles conditions elle peut s'avérer financièrement plus efficace. En particulier, l'attention doit être portée sur l'importance des versements annuels nécessaires, qui risquent souvent d'être incompatibles avec les règles de la comptabilité publique, voire avec les capacités de mobilisation de ressources de fonctionnement des collectivités.

La dernière remarque porte en conclusion sur la nécessité de recourir de façon plus systématique aux techniques de l'ingénierie financière, tant pour optimiser les ressources mobilisables que pour être en mesure de négocier dans les meilleures conditions le partage des risques avec les sociétés concessionnaires. C'est là un domaine qu'il faut développer dans les collectivités locales, appelées par la décentralisation à gérer des compétences plus larges et donc des budgets croissants, pour lesquels une gestion artisanale et hasardeuse pourrait être source de graves difficultés financières.

Annexes

- 1. Modèle théorique simplifié de calcul du shadow toll**
- 2. Présentation du modèle MEFISTO**
- 3. Références**
- 4. Listes des tableaux et graphiques**

Modèle théorique linéaire simplifié

Supposons ici que l'investissement est réalisé entièrement avant la mise en service (soit sur la période $-p$ à 0), et que la valeur résiduelle du capital est égale à zéro. La VAN peut alors s'écrire :

$$VAN = \sum_{j=-p}^{j=n} \left(\frac{-\Delta I_j + \Delta EBE_j}{(1+a)^j} \right) = \sum_{j=-p}^{j=0} \left(\frac{-\Delta I_j}{(1+a)^j} \right) + \sum_{j=0}^{j=n} \left(\frac{\Delta EBE_j}{(1+a)^j} \right) \quad (1)$$

Dans ces conditions, le premier terme est une constante négative I_{act} représentant l'investissement total actualisé, et la valeur de la VAN au bout de n années dépend de la variation de l'EBE annuel. Supposons que celui-ci évolue selon un taux de croissance annuel constant. Il peut s'écrire sous la forme :

$$EBE_j = (\alpha \times j + 1) \times \beta \quad (2)$$

Où j est l'année, α est le taux annuel de croissance, et β l'excédent brut à la mise en service (EBE_1) représentatif de l'effet d'offre du projet. Dès lors la VAN peut s'écrire :

$$VAN = -I_{act} + \sum_{j=0}^{j=n} \left(\frac{(\alpha * j + 1) * \beta}{(1+a)^j} \right) \quad (3)$$

ou

$$VAN = -I_{act} + \beta * \left[\alpha * \sum_{j=0}^{j=n} \left(\frac{j}{(1+a)^j} \right) + \sum_{j=0}^{j=n} \left(\frac{1}{(1+a)^j} \right) \right] \quad (4)$$

Etant donné que le taux d'actualisation a est fixé pour un agent donné, la VAN peut s'exprimer de façon simple sous la forme d'une équation dans laquelle les deux inconnues sont α et β :

$$VAN = -I_{act} + \beta * [\alpha * K_1 + K_2] \quad (5)$$

dans la mesure où le nombre d'années n sur lequel on détermine la rentabilité est également fixé. En posant par convention que le terme I_{act} est égal à 1, β est un pourcentage représentatif de la rentabilité immédiate de l'investissement : $\beta = EBE_1/I_{act} = RI$

soit :

$$VAN_s = -1 + RI * [\alpha * K_1 + K_2] \quad (6)$$

Dans ce cadre, la recherche du niveau du shadow toll nécessaire pour assurer la faisabilité du partenariat avec un opérateur privé passe par le calcul du taux de croissance α , qui dépend d'une part des caractéristiques internes du projet (représentées par la rentabilité immédiate escomptée) et par la prise en compte des niveaux de rentabilité escomptés par l'opérateur privé, qui jouent sur la valeur des paramètres K_1 et K_2 ;

A titre d'illustration, ces paramètres ont été estimés pour diverses valeurs du taux de rentabilité escompté. Ces valeurs montrent bien l'impact important de ce taux sur les niveaux de rentabilité immédiate et de taux de croissance de l'EBE nécessaire.

Valeur des paramètres K1 et K2 pour n= 30 ans :

Taux d'actualisation	K1	K2
1%	380,810	25,808
2%	314,113	22,396
3%	260,962	19,600
4%	218,354	17,292
5%	183,995	15,372
6%	156,124	13,765
7%	133,381	12,409
8%	114,714	11,258
9%	99,302	10,274
10%	86,503	9,427
11%	75,815	8,694
12%	66,837	8,055

Calcul du ratio « Coût du shadow toll / Coût de la subvention actualisée »

♦ *Coût de la subvention*

La subvention est définie comme $S = I - FP - EMP$. Elle est une fonction décroissante linéaire de l'EBE1 et de son taux de croissance annuel sous la forme $S = s_1 \cdot EBE1 \cdot TxEBE + s_2$. Le montant actualisé de la subvention est donc :

$$VASUBV = \sum_{j=p-1}^{j=0} \left(\frac{1}{p} \times \frac{s_1 \times EBE1 \times TxEBE + s_2}{(1+a)^j} \right)$$

Comme le numérateur est une constante, on peut écrire :

$$VASUBV = \lambda \times (s_1 \times EBE1 \times TxEBE + s_2)$$

♦ *Coût du shadow toll de type 1*

Il est défini comme la différence entre l'EBE initial et l'EBE nécessaire pour obtenir une subvention nulle, le taux de croissance de l'EBE restant identique, soit $ST_j = (EBE^* - EBE1) \cdot (1 + TxEBE)^j$

La valeur actualisée s'écrit :

$$VAST1 = \sum_{j=1}^{j=n} \left(\frac{(EBE^* - EBE1) \times (1 + TxEBE \times j)}{(1+a)^j} \right)$$

ce qui peut s'écrire :

$$VAST1 = \sum_{j=1}^{j=n} \left(\frac{(EBE^* - EBE1)}{(1+a)^j} \right) + \sum_{j=1}^{j=n} \left(\frac{(EBE^* - EBE1) \times TxEBE \times j}{(1+a)^j} \right)$$

ou encore, en reprenant les constantes $K1$ et $K2$:

$$VAST1 = (EBE^* - EBE1) \times K1 + (EBE^* - EBE1) \times TxEBE \times K2$$

ou encore :

$$VAST1 = (EBE^* - EBE1) \times (K1 + TxEBE \times K2)$$

Dès lors le ratio $VAST1/VASUBV$ est égal à :

$$VAST1/VASUBV = \frac{(EBE^* - EBE1) \times (K1 + TxEBE \times K2)}{\lambda \times (s_1 \times EBE1 \times TxEBE + s_2)}$$

♦ **Coût du shadow toll de type 2**

Il est défini comme la différence entre l'EBE initial et l'EBE nécessaire pour obtenir une subvention nulle, sur la base d'un taux de croissance différent, soit $ST2j = EBE1 \cdot [(1+txST.j) - (1+txEBE.j)]$ ou encore $ST2j = EBE1 \cdot j \cdot (TxST - TxEBE)$

La valeur actualisée s'écrit :

$$VAST2 = \sum_{j=1}^{j=n} \left(\frac{EBE1 \times j \times (TxST - TxEBE)}{(1+a)^j} \right)$$

que l'on peut écrire :

$$VAST2 = EBE1 \times (TxST - TxEBE) \times \sum_{j=1}^{j=n} \left(\frac{j}{(1+a)^j} \right)$$

ou encore :

$$VAST2 = EBE1 \times (TxST - TxEBE) \times K2$$

Dès lors le rapport $VAST2/VASUBV$ peut s'écrire :

$$VAST2/VASUBV = \frac{EBE1 \times (TxST - TxEBE) \times K2}{\lambda \times (s_1 \times EBE1 \times TxEBE + s_2)}$$

♦ **Coût du shadow toll de type 3**

Présentation du modèle MEFISTO

Réalisé sous Excel, ce modèle de calcul d'un shadow toll de financement nécessite les hypothèses suivantes :

Caractéristiques du projet		
Coût de l'investissement	Inv	3 000 000 K€
Durée des travaux (années)	Trav	5
Durée de concession (années)	Dur	30
EBE annuel	EBE	180 000 K€
Taux croissance EBE	TxEBE	4,0%
Taux d'actualisation	Tr	8,0%
Fonds propres		
TRI objectif	Trio	7,5%
Emprunts		
Taux	Tau	4,0%
Durée emprunt (années)	Dempr	10
Répartition FP/ Emprunt	Refp	15%

Étapes du calcul pour la version linéaire du modèle :

1. **Détermination du montant des Fonds Propres (FP)** en fonction de la durée de concession (Dur), de la rentabilité escomptée (TRIo), de la clé de répartition de l'EBE (Refp), du coût de l'investissement (Inv), de l'EBE à la mise en service (EBE) et de son taux de croissance (TxEBE)
2. **Détermination du montant des Emprunts (Empr)** en fonction de la durée (Dempr), du taux d'intérêt (Tau), de la clé de répartition de l'EBE (1-Refp), du coût de l'investissement (Inv), de l'EBE à la mise en service (EBE) et de son taux de croissance (TxEBE)
3. **Calcul de la subvention (Subv)** à partir du coût de l'investissement (Inv), du montant des fonds propres (FP) et des emprunts (Empr), et de sa valeur actualisée (VASUBV) en fonction de la durée des travaux (Trav) et du taux d'actualisation (Tr)
4. **Calcul du shadow toll de type 1 (ST1)** en recherchant par itération la valeur de l'EBE (EBE1) telle que la subvention soit nulle (SUBV) pour un taux de croissance de l'EBE identique ; calcul de la valeur actualisée de ST1 (VAST1) sur la durée de concession (Dur), des montants correspondants des Fonds Propres et des Emprunts
5. **Calcul du shadow toll de type 2 (ST2)** en recherchant par itération la valeur du taux de croissance l'EBE (TxEBE2) telle que la subvention soit nulle (SUBV) pour un EBE identique ; calcul de la valeur actualisée de ST2 (VAST2) sur la durée de concession (Dur), des montants correspondants des Fonds Propres et des Emprunts
6. **Calcul du shadow toll de type 3 (ST3)**, tel que $ST3_{Dur} = 0$ et $ST3_j = ST2_j = ST1_j$; calcul de la valeur actualisée de ST3 (VAST3) sur la durée de concession (Dur), des montants correspondants des Fonds Propres, des Emprunts et de la subvention résiduelle.
7. **Calcul des ratios de coûts actualisés** des trois formes de shadow toll par rapport au coût actualisé de la subvention.

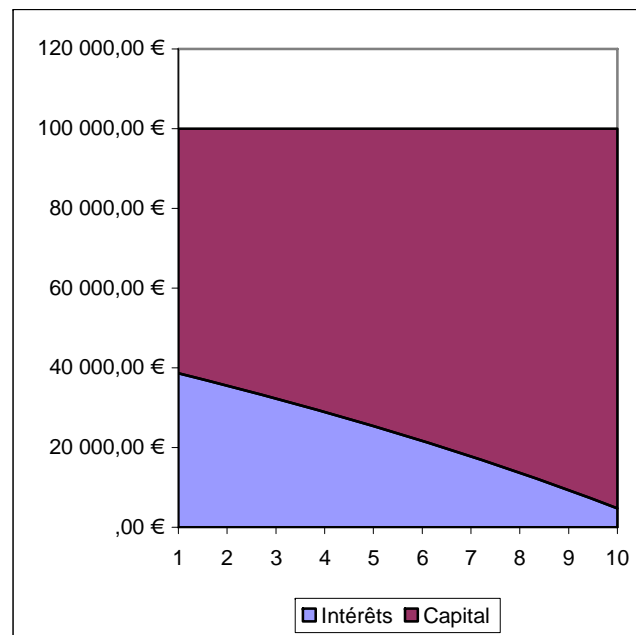
◆ Feuille « Module »

MEFISTO			d-02	LINEAIRE	MODELE ECONOMIQUE DE FINANCEMENT D'INFRASTRUCTURE PAR SHADOW TOLL				
HYPOTHESES				RESULTATS					
Coût de l'investissement	Inv	3 000 000 K€		Avec Subvention	Avec ST 1 calé sur EBE eq	Avec ST 2 calé sur EBE+txST	Avec ST 3 EBE3+txST3		
Durée des travaux (années)	Trav	5		Montant Fonds Propres	Mfpj 1 477 444 K€	Mfps 1 574 854 K€	Mfpc 1 615 193 K€	Mfpk 1 533 085 K€	
Durée de vie (années)	Dur	30		Pourcentage capital	49,25%	52,50%	53,84%	51,10%	
Fonds propres				Montant Emprunts	em 1 336 997 K€	Memprs 1 425 146 K€	Memprc 1 384 808 K€	Memprk 1 458 094 K€	
TRI objectif	Trio	7,50%		Pourcentage Emprunts	44,57%	47,50%	46,16%	48,60%	
Emprunts				Montant Subvention	ut 185 559 K€	K€	K€	Subvk 8 822 K€	
Taux	Tau	4%		Pourcentage subvention	6,19%	0,00%	0,00%	0,29%	
Durée emprunt (années)	Dempr	10		Ratio EBE/Investissement	6,00%	6,40%	6,00%	6,74%	
txEBEref : 4%	EBEref:	180 000 K€		VAN économique	-748 678 K€	VANeq -565 964 K€	-562 624 K€	-577 726 K€	
	%Inv :	6%		Taux de Référence	Tr 8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	
EBE annuel	EBE	180 000 K€		TRI économique	Tri 6,24%	TRleq 6,70%	6,73%	6,64%	
Taux croissance EBE	TxEBE	4,00%							
Répartition FP/ Emprunt	Refp	15%							
Commandes :									
- Calcul Fonds Propres : taper :				Ctrl+y					
- Calcul Emprunts : taper :				Ctrl+t					
- Calcul valeurs ST1 : taper :				Ctrl+k					
- Calcul valeurs ST2 : taper :				Ctrl+l					
- Calcul valeurs ST3 : taper :				Ctrl+m					
- données simulation : taper :				Ctrl+d					
				VAN Fonds Propres	an K€	VANe ST1 -748 678 K€	VANe ST2 -748 678 K€	VANe ST3 -748 678 K€	
				VAN Emprunts	in K€	TRle ST1 6,24%	TRle ST2 6,24%	TRle ST3 6,24%	
				Taux d'emprunt Subvention pu	4,00%	Coût opportunité FP	cofp 1,00		
				Annuités Emprunt Subv :	AnES 12 473 K€				
				Valeur actualisée annuités	FFSa 140 420 K€	Coût actualisé subvention	SL 217 720 K€	64,50%	
					4,68%	117,33%			
EBE Subv = 0 191 868 K€				ST1 = 11 868 K€	FFSa-VAST1 140 420 K€	VASUBV-VAST1 35 006 K€	VAST1/Subv 83,92%	garantie recettes ST1 6,19%	
Valeur Actualisée du S.T.				VAST1= 182 714 K€					
Ratio EBE/EBE8				93,8% 6,09%	4,68%	1,17%			
txST 4,9991%				ST2 = K€	FFSa-VAST2 -45 634 K€	VASUBV-VAST2 31 666 K€	VAST2/Subv 85,46%	garantie recettes ST2 7,57%	
Valeur Actualisée du S.T.				VAST2= 186 054 K€					
				6,20%	-1,52%	1,06%			
EBE3 202 229 K€				ST3 = 22 229 K€	FFSa-VAST3 37 946 K€	VASUBV-VAST3 46 768 K€	VAST3/Subv 78,52%	garantie recettes ST3 4,36%	
TxST3 3,1813%				VAT3 = 179 774 K€					
Valeur Actualisée du S.T.				VAST3= 170 952 K€					
Ratio EBE/EBE3				89,0% 5,70%	-1,02%	1,56%			

◆ **Détermination du montant des emprunts en fonction du taux d'intérêt, de la durée et du montant de l'EBE affecté (annuités)**

Calcul du montant des emprunts contractables

Montant	-772 173,49 €			
Taux	5,00%		=VPM(Taux;Durée;Montant;0;0)	
Durée	10			
Années	Intérêts	Capital	Annuités	
1	38 608,67 €	61 391,33 €	100 000,00 €	100 000,00 €
2	35 539,11 €	64 460,89 €	100 000,00 €	100 000,00 €
3	32 316,06 €	67 683,94 €	100 000,00 €	100 000,00 €
4	28 931,87 €	71 068,13 €	100 000,00 €	100 000,00 €
5	25 378,46 €	74 621,54 €	100 000,00 €	100 000,00 €
6	21 647,38 €	78 352,62 €	100 000,00 €	100 000,00 €
7	17 729,75 €	82 270,25 €	100 000,00 €	100 000,00 €
8	13 616,24 €	86 383,76 €	100 000,00 €	100 000,00 €
9	9 297,05 €	90 702,95 €	100 000,00 €	100 000,00 €
10	4 761,90 €	95 238,10 €	100 000,00 €	100 000,00 €
	227 826,51 €	772 173,49 €	1 000 000,00 €	1 000 000,00 €
			29,50%	



Mode de calcul : on se donne le montant des "annuités", le "taux" et la "durée" ; on calcule le "montant empruntable" par le fonction "valeur cible"
 exemple : si "annuités" = 100 000 €, "taux" = 5%, et "durée" = 10 ans, alors "montant" = ?
 réponse : 772 173,49 €

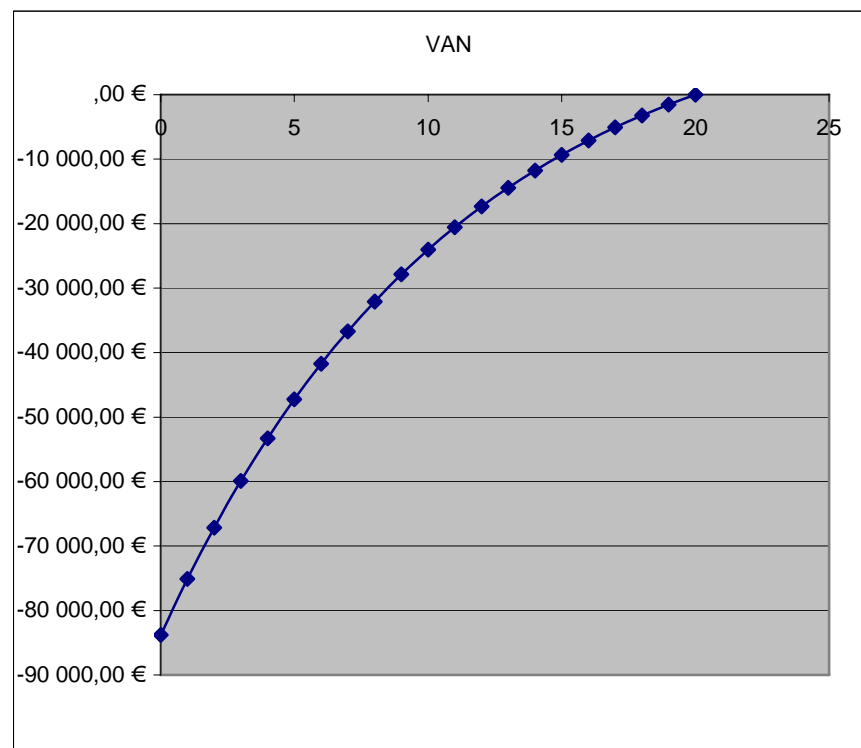
◆ **Détermination du montant des Fonds Propres en fonction de la rentabilité escomptée (TRI_o), de la durée de la concession et du montant de l'EBE affecté**

Calcul du montant des fonds propres pour un TRI objectif donné

Capital **83 788,28 €**
 EBE **10 000, €**
 tri objectif **15,00%**
 durée de vie **20**
 taux EBE **5%**

si le TRI objectif est fixé, la durée de vie fixée, et l'EBE fixé, on peut utiliser la fonction "valeur cible" sur VAN=0
 exemple : si "TRI" = 15%, "durée de vie" = 20 ans, "EBE = 10 000 € et Taux croissance EBE = 5%
 alors "Capital = 83 788,28 €

années	EBE	coeff actu	EBE actualisé	VAN
0		1,000	, €	-83 788,28 €
1	10 000, €	0,870	8 695,65 €	-75 092,62 €
2	10 500, €	0,756	7 939,51 €	-67 153,12 €
3	11 025, €	0,658	7 249,12 €	-59 904,00 €
4	11 576,25 €	0,572	6 618,76 €	-53 285,24 €
5	12 155,06 €	0,497	6 043,21 €	-47 242,03 €
6	12 762,82 €	0,432	5 517,72 €	-41 724,31 €
7	13 400,96 €	0,376	5 037,92 €	-36 686,39 €
8	14 071, €	0,327	4 599,84 €	-32 086,56 €
9	14 774,55 €	0,284	4 199,85 €	-27 886,71 €
10	15 513,28 €	0,247	3 834,65 €	-24 052,06 €
11	16 288,95 €	0,215	3 501,2 €	-20 550,86 €
12	17 103,39 €	0,187	3 196,75 €	-17 354,12 €
13	17 958,56 €	0,163	2 918,77 €	-14 435,35 €
14	18 856,49 €	0,141	2 664,96 €	-11 770,38 €
15	19 799,32 €	0,123	2 433,23 €	-9 337,16 €
16	20 789,28 €	0,107	2 221,64 €	-7 115,52 €
17	21 828,75 €	0,093	2 028,46 €	-5 087,06 €
18	22 920,18 €	0,081	1 852,07 €	-3 234,99 €
19	24 066,19 €	0,070	1 691,02 €	-1 543,97 €
20	25 269,5 €	0,061	1 543,97 €	,00 €
	330 659,54 €		VAN =	,00 €



◆ Feuille « FICHESIM »

FICHE SIMULATION

Croissance linéaire de l'EBE

1 - Hypothèses

Indice 100

Montant de l'Investissement non actualisé	Inv	3 000 000 K€	100,0
Durée des Travaux	Trav	5	
Durée de la Concession	Dur	30	
Objectif de rentabilité des Fonds Propres	Trio	7,5%	
Taux d'intérêt des emprunts	Tau	4,0%	
Durée des emprunts	Dempr	10	
Excédent brut d'exploitation à la mise en service	EBE	180 000 K€	6,0
Taux de croissance annuel de l' EBE	TxEBE	4,0%	
Clé de répartition de l'EBE pour les fonds propres	Refp	15,0%	

2 - Financement par Subvention

TRI économique	TRle	6,24%	
Montant des Fonds Propres non actualisé	Mfp	1 477 444 K€	49,2
Montant des Emprunts non actualisé	Mempr	1 336 997 K€	44,6
Montant de la Subvention non actualisé	Subv	185 559 K€	6,2
Coût actualisé de la subvention	VASUBV	217 720 K€	7,3

2 - Financement par Shadow Toll 1 (EBE; subv=0 - TxEBE identique)

TRI économique	TRle1	6,70%	
Montant des Fonds Propres non actualisé	Mfp1	1 574 854 K€	52,5
Montant des Emprunts non actualisé	Mempr1	1 425 146 K€	47,5
Montant du Shadow Toll non actualisé	ST1	11 868 K€	0,4
Coût actualisé du Shadow Toll	VAST1	182 714 K€	6,1

3 - Financement par Shadow Toll 2 (TxEBE; subv=0 - EBE identique)

TRI économique	TRle2	6,73%	
Montant des Fonds Propres non actualisé	Mfp2	1 615 193 K€	53,8
Montant des Emprunts non actualisé	Mempr2	1 384 808 K€	46,2
Taux de croissance du Shadow Toll	TxST2	1,00%	
Coût actualisé du Shadow Toll	VAST2	186 054 K€	6,2

4 - Financement par Shadow Toll 3 (TxEBE3 et EBE3 ; ST3(Dur) = 0)

TRI économique	TRle3	6,64%	
Montant des Fonds Propres non actualisé	Mfp3	1 533 085 K€	51,1
Montant des Emprunts non actualisé	Mempr3	1 458 094 K€	48,6
Montant de la Subvention Résiduelle	Subv3	8 822 K€	0,3
Montant du Shadow Toll à la mise en service	ST3	22 229 K€	0,7
Taux de croissance du Shadow Toll	TxST3	-0,82%	
Coût actualisé du Shadow Toll	VAST3	170 952 K€	5,7
Coût total actualisé	VAT3	179 774 K€	6,0

5 - Comparaison Financement Shadow Toll / Subvention

Rapport coûts actualisés ST1 / Subv	R1	0,84	
Rapport coûts actualisés ST2 / Subv	R2	0,85	
Rapport coûts actualisés ST3 / Subv	R3	0,79	
Rapport coût total solution 3 / Subv	R3*	0,83	

Références

Bonnafous, A. (1999), **Infrastructures publiques et financement privé : le paradoxe de la rentabilité financière**, *Revue d'Economie Financière*, n°51,

Bonnafous A. (2001), **Les infrastructures de transport et la logique financière du partenariat public - privés : quelques paradoxes**, *Revue Française d'Economie*, 1 » p.

Bureau of Transport and Communications Economics – Australia (1997), **Benefits of private sector involvement in road provision : a look at the evidence**, Working Paper 33, Canberra, n.p.

Fischer G., Babbar S. (n.d.), **Private Financing of Toll Roads**, RMC Discussion Paper Series 117, 37 p.

Standard & Poor's (2001), **Infrastructure Finance – European Toll Roads**, 23 p.

Vauclare C. (n.d.), **L'évolution récente de l'ingénierie routière en Europe – une comparaison Royaume-Uni – Pays-Bas**, 2001 Plus n°51, Centre de prospective et de veille scientifique, DRAST, 52 p.

Liste des tableaux et graphiques

Tableaux :

2 - Appraisal Summary Table (AST) – UK.....	9
2 - Fiche simulation (croissance linéaire de l'EBE)	22

Graphiques :

1 - Méthode de calcul du transfert de la clientèle ferroviaire sur un projet autoroutier	4
2 - principe du shadow toll de régulation de la demande.....	12
3 - techniques de couverture du risque financier.....	15
4 - principe de la garantie de recettes.....	15
5 - comparaison des effets de la subvention et du shadow toll	17
6 - impact des deux modes de financement sur la VAN de l'opérateur	18
7 - Shadow toll de type 1 – ST1 : EBE1 différent + taux de croissance identique.....	19
8 - Shadow toll de type 2 – ST2 : EBE1 identique + taux de croissance différent.....	20
9 - évolution des différents types de shadow toll sur la durée de concession.....	23
10 - effet des fonctions de croissance de l'EBE sur le TRI économique	24
11 - variation des poids propres, des emprunts et de la subvention selon le TRIo.....	25
12 - comparaison des coûts actualisés selon la fonction de croissance de l'EBE	26
13 - Evolution du ratio de coûts actualisés selon la fonction de croissance de l'EBE.....	28
14 - évolution du coût actualisé du financement public selon le TRIo	29
15 - évolution du ratio des coûts actualisés selon le TRIo.....	30
16 - évolution du coût actualisé du shadow toll de type 1	31
17 - comparaison de l'efficacité des trois formes de shadow toll.....	32
18 - coût actualisé du shadow toll de type 3.....	33
19 - domaines de pertinence du shadow toll.....	34