



**HAL**  
open science

# L'influence de l'ordre de réalisation des infrastructures de transports : quelques enseignements à partir d'une simulation

Julien Brunel

## ► To cite this version:

Julien Brunel. L'influence de l'ordre de réalisation des infrastructures de transports : quelques enseignements à partir d'une simulation. 2005. halshs-00003980

**HAL Id: halshs-00003980**

**<https://shs.hal.science/halshs-00003980v1>**

Submitted on 30 Jun 2005

**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.

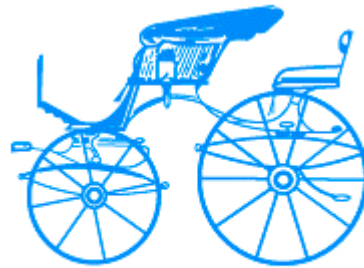
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# L'influence de l'ordre de réalisation des infrastructures de transports : quelques enseignements à partir d'une simulation

Julien Brunel

julien.brunel@let.ish-lyon.cnrs.fr

Document de travail



Laboratoire  
d'Economie des Transports

juin 2005

**Résumé :** Ce travail<sup>1</sup> propose d'étudier l'influence de l'ordre de réalisation d'un ensemble d'infrastructures de transport. Après avoir rappelé les principes du modèle de base de Bonnafous (2002), des simulations sont menées pour un panel de projets autoroutiers en relâchant plus ou moins la contrainte financière. Cet exercice montre que l'influence de l'ordre de réalisation des investissements augmente avec la contrainte financière. De plus, nous observons que la réalisation des projets selon l'ordre de la rentabilité financière (plutôt la rentabilité socio-économique ou un ordre aléatoire) est la meilleure solution au regard du bien-être social lorsque la contrainte financière est importante.

**Mots-clés :** rentabilité financière, rentabilité socioéconomique, ordre d'investissement, partenariat public privé.

## INTRODUCTION

Depuis une quinzaine d'année, la construction européenne a contribué à modifier la pratique des investissements de transports en France. La limitation des déficits publics encadre désormais l'action publique au terme du pacte de stabilité et de croissance. De plus, la fin du système de l'adossement, pour le secteur autoroutier, a nécessité la mise en place de nouveaux types de financement des investissements autoroutiers au cœur desquels se trouve le partenariat public-privé (PPP). La réalisation de tout investissement non rentable au sens de la rentabilité financière est désormais subordonnée au versement d'une subvention publique

Cet article s'intéresse à l'influence de l'ordre de réalisation des infrastructures de transports dans ce contexte de restriction plus ou moins forte des ressources publiques. Quelques enseignements sont observables à la lumière d'une simulation portant sur un panel de projets autoroutiers des années 1990.

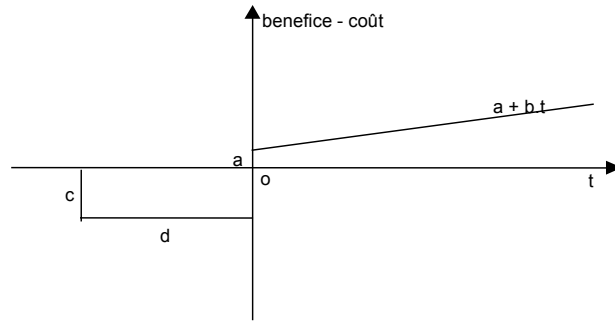
Dans un premier temps, le modèle de base est présenté. Nous reprenons le modèle de Bonnafous (2002) qui envisage un partenariat public privé (PPP) dans le secteur des infrastructures de transport.

Dans un second temps, une simulation est proposée pour estimer le rôle de l'ordre dans l'investissement des projets. Une première sous-section détaille les caractéristiques des projets envisagés. Ensuite, une seconde sous-partie présente et commente les résultats de la simulation selon l'ordre de réalisation. Une troisième sous-partie étudie le rôle de la contrainte budgétaire.

### **1 Le modèle de base**

Ce travail utilise le modèle de partenariat public privé dans le domaine des infrastructures de transport proposé par Bonnafous (2002). L'investissement est caractérisé par les quatre paramètres que sont le bénéfice dégagé lors de la première année de la mise en service (noté  $a$ ), sa croissance annuelle supposée linéaire ( $b$ ), le coût annuel de l'investissement ( $c$ ) et la durée de sa réalisation ( $d$ ). Le graphique suivant résume les caractéristiques du projet de référence.

Figure 1 : Le projet de base



Selon cette représentation simplifiée d'une infrastructure de transport, la valeur actuelle nette de l'investissement ( $VAN$ ) est, en temps continu, définie par

$$VAN = \int_{-d}^0 -c \cdot e^{-\alpha t} \cdot dt + \int_0^T (a + b \cdot t) \cdot e^{-\alpha t} \cdot dt \quad (1)$$

où  $\alpha$  représente le taux d'actualisation et  $T$  le terme de l'investissement. En actualisant à l'infini, ce qui ne représente pas une approximation insensée du fait du faible poids de flux lointains lorsqu'ils sont actualisés, la valeur actuelle nette du projet devient

$$VAN = \left[ \frac{c}{\alpha} \cdot e^{-\alpha t} \right]_{-d}^0 + \left[ -\frac{a}{\alpha} e^{-\alpha t} \right]_0^{+\infty} + \left[ -\frac{b \cdot t}{\alpha} e^{-\alpha t} \right]_0^{+\infty} + \left[ -\frac{b}{\alpha^2} e^{-\alpha t} \right]_0^{+\infty} \quad (2)$$

ou, après simplification

$$VAN = \frac{1}{\alpha} \left[ c(1 - e^{\alpha \cdot d}) + a + \frac{b}{\alpha} \right] \quad (3)$$

Le taux de rentabilité interne ( $TRI$ ) noté  $\alpha_0$  du projet est, par définition, le taux d'actualisation qui annule la valeur actuelle nette du projet soit le taux pour lequel est respecté l'équation suivante

$$c(1 - e^{-\alpha_0 \cdot d}) + a + \frac{b}{\alpha_0} = 0 \quad (4)$$

Le contexte que nous avons rapidement évoqué au cours de l'introduction ne permet pas de se satisfaire de cette première approche. Nous devons distinguer les projets rentables au sens financier des projets non rentables. Nous considérons à la suite de Bonnafous (2002) qu'un investissement sera considéré comme rentable pour un entrepreneur privé lorsqu'il présentera un  $TRI$  supérieur à 12%, en considérant grossièrement que ce taux se divise en trois

parts égales représentant le taux à long terme du marché, la prime de risque et la part des profits destinés aux actionnaires. Cette dernière disparaît lorsqu'il s'agit d'un opérateur public. Il en ressort que ce dernier considère comme rentable tout projet dont le *TRI* est supérieur à 8%.

A défaut de tels taux de rentabilité, la réalisation d'un tel projet est soumise au versement d'une subvention noté par la suite  $\tau$ . Ce taux de subvention permet d'augmenter le *TRI* du projet jusqu'au niveau de rentabilité souhaité selon la nature de l'opérateur. Le différentiel des *TRI* noté  $\delta$ , nous pouvons légèrement transformer l'équation (4) qui devient

$$(1 - \tau)c(1 - e^{-(\alpha_0 + \delta)d}) + a + \frac{b}{\alpha_0 + \delta} = 0 \quad (5)$$

Nous nous sommes jusqu'à présent uniquement intéressé à la rentabilité strictement financière des projets. Nous devons dépasser cette approche pour envisager désormais une rentabilité économique qui ne considère plus uniquement les coûts et les avantages supportés par l'opérateur engagé dans l'investissement mais l'ensemble des coûts et avantages de la communauté. Dans l'approche traditionnelle (utilitariste) du calcul économique, nous envisageons une fonction d'utilité collective agrégeant les préférences individuelles par simple sommation de ces dernières.

Cette approche économique permet ainsi d'intégrer les avantages que procurent l'infrastructure pour ses usagers (gains de temps), mais aussi les inconvénients qu'ils génèrent pour l'environnement ou les riverains (la pollution atmosphérique ou le bruit par exemple) après la monétarisation de ces effets externes au marché. Sur cette base, nous pouvons calculer des  $a$ ,  $b$ ,  $c$  et  $d$  non plus strictement financiers mais socioéconomiques. En général, nous considérons que  $c$  ne change pas car les coûts sociaux générés par la réalisation de l'infrastructure ne sont pas pris en compte. La durée de la réalisation ( $d$ ) est également la même dans les deux cas. En somme, seuls les paramètres  $a$  et  $b$  changent lorsque nous passons d'une approche financière à une approche socioéconomique. Nous devons alors distinguer un  $a$  financier d'un  $a$  socioéconomiques que nous noterons respectivement  $a_f$  et  $a_e$ . Cette distinction doit également valoir pour la croissance des bénéfices ( $b$ ).

Nous pouvons alors utiliser les mêmes outils que ceux que nous avons utilisé préalablement dans un sens uniquement financier. Ces outils que sont la valeur actuelle nette socioéconomique et le taux de rendement interne socioéconomique (*TRE*) sont fondamentales pour la puissance publique puisqu'ils doivent, selon la théorie, gouverner le choix des

investissements publics. Le *TRE* est en général le critère d'ordre qu'il conviendrait de retenir pour la puissance publique dans le but de maximiser le bien-être collectif, ou autrement dit, la somme des valeurs actuelles nettes créées par les investissements réalisés sous l'autorité de la puissance publique. Nous allons désormais voir, à travers un exercice de simulation, que ce résultat traditionnellement admis par l'économie publique pourrait ne plus être valable à faible contrainte budgétaire.

## **2 Une simulation simple**

L'objet de ce travail est de simuler la réalisation de projets d'infrastructures de transport afin d'observer l'incidence de l'ordre de leur réalisation, selon que l'on opte pour un critère objectif (*TRI* ou *TRE*) ou que l'on prenne une direction indépendante des caractéristiques du projet, telle que celle que pourrait générer l'influence des notables locaux, pour le bien-être collectif.

### **2.1. Les projets retenus**

Les projets autoroutiers retenus correspondent aux projets inscrits dans le schéma directeur des investissements routiers des années 1990 pour lequel un grand nombre d'informations, issues en particulier de plusieurs publications du CGP, sont disponibles. Nous avons rassemblé le maximum d'informations sur ces différents projets afin d'obtenir une liste de projets pour lesquels nous disposerons de la valeur des paramètres du modèle. Ce travail de recueil de données nous a permis de dresser une liste dix-sept projets pour lesquels nous avons en fait recueilli leur *TRE*, leur *TRI* et leur coût total (*C*).

Les taux de rentabilité (*TRI* et *TRE*) proviennent tous du même document, à savoir d'un tableau issu du rapport du CGP publié en 1993 et intitulé *Transports : Pour une cohérence stratégique*. Ce tableau rassemble des chiffres provenant d'études menées soit par l'administration des finances (direction de la prévision, DP), soit par l'administration de l'équipement (direction des routes, DR). La DR ne calculait pas le *TRI* des projets d'infrastructure à l'époque où ces études furent menées. Figurent donc dans le tableau qui suit un taux de rentabilité immédiate (*TRIm*) correspondant au rapport entre les bénéfices socioéconomiques dégagés la première année de mise en service du projet et la somme des investissements actualisés pour le réaliser.

Ces données recueillies, nous avons dû choisir entre les valeurs fournies par ces deux administrations. Pour le *TRI*, l'administration de l'équipement ne le calculant pas, nous avons pris celle que nous propose la DP. En revanche, nous avons retenu les valeurs de la DR quand elles étaient disponibles pour le *TRE*. Nous avons opté pour ce choix essentiellement parce que les ordres de réalisation des projets, selon qu'on les classe suivant le *TRI* ou le *TRE* de la DP, sont quasiment identiques.

Pour ce qui est de la valeur du coût de chaque projet (en M€ dans le tableau suivant), nous avons parfois pu obtenir plusieurs valeurs pour un même projet et avons, dans ce cas, retenu la valeur la plus élevée, correspondant en général au coût le plus récemment avancé.

Tableau 1 : Les projets retenus

	DP [2]		DR [2]		C [1]	C [2]	C [3]	C [4]	C retenu	TRE retenu
	TRI	TRE	TRIm	TRE						
Sens - Courtenay	10,1%	14,8%	14,7%	-	-	162	-	197	197	14,7%
Dijon - Dôle	9,5%	15,6%	12,3%	-	-	-	-	213	213	12,3%
Annemasse - Thonon	7,9%	9,9%	13,0%	18,3%	300	-	378	-	378	18,3%
Arles - Salon	7,5%	14,1%	91,0%	74,0%	-	-	-	283	283	74,0%
Dôle - Bourg	7,1%	13,3%	10,0%	20,0%	625	737	-	-	737	20,0%
Isle Adam - Amiens	6,1%	9,9%	31,0%	45,0%	-	-	-	488	488	45,0%
Tours - Vierzon	4,1%	7,8%	15,5%	18,5%	800	648	-	-	800	18,5%
Toulouse - Pamiers	4,1%	7,6%	43,0%	55,0%	381	450	191	-	450	55,0%
Tours - Alençon	3,6%	7,1%	22,5%	27,5%	-	-	698	-	698	27,5%
Orléans - Courtenay	3,0%	6,6%	13,3%	-	470	-	-	-	470	6,6%
Grenoble - Sisteron	2,5%	5,8%	13,7%	16,8%	1880	1583	-	-	1880	16,8%
Saintes - Rochefort	2,3%	4,9%	14,7%	19,7%	183	216	-	290	290	19,7%
A88 Caen - Argentan	1,2%	4,8%	4,0%	9,0%	250	-	-	-	250	9,0%
Rouen - Alençon	1,4%	4,7%	4,6%	9,0%	580	-	-	-	580	9,0%
Troyes - Auxerre	0,9%	4,3%	-	-	1350	-	-	-	1350	4,3%
Lyon - Balbigny	1,2%	2,7%	7,3%	11,2%	770	666	-	-	770	11,2%
Amélieueu - Bourgoin	1,2%	2,7%	11,5%	-	500	-	-	-	500	2,7%

Sources :

[1] TDIE, Isis/Setec International, 2002

[2] Plan, 1993

[3] Cour des comptes, 1999

[4] Cour des comptes, 1999 : coûts effectifs

La valeur des différents paramètres est ensuite calculée à partir de ce tableau. Pour la valeur de  $b$ , nous avons considéré qu'il était proportionnel à la valeur de  $C$ , la somme de l'investissement à réaliser, à savoir  $b=C/100$ . Nous avons ensuite considéré que la durée de réalisation était de cinq ans pour tous les projets et avons alors pu calculer la valeur de  $c$ , égale à  $C/5$ . Ayant les valeurs des paramètres  $b$ ,  $c$ ,  $d$  et  $\alpha_0$ , nous avons pu calculer  $a_f$  d'après l'équation (4) puis  $\tau$  d'après l'équation (4'). Nous avons enfin obtenu le bénéfice social retiré

de la réalisation d'un investissement à partir du taux de rentabilité socioéconomique immédiate (*TRIm*) donné par la  $DR^2$ .

Nous pouvons rassembler les données calculées dans le tableau qui suit.

Tableau 2 : Les paramètres des projets retenus

	TRE	TRI	C	d	c	b	$a_f$	$\tau$	Subv	TRIm	BS0
Sens - Courtenay	15%	10%	197	5	39	0,39	22	0%	0	15%	37
Dijon - Dôle	12%	10%	213	5	43	0,43	21	0%	0	12%	32
Annemasse - Thonon	18%	8%	378	5	76	0,76	27	2%	7	13%	62
Arles - Salon	74%	8%	283	5	57	0,57	18	9%	26	91%	326
Dôle - Bourg	20%	7%	737	5	147	1,47	42	17%	122	10%	93
Isle Adam - Amiens	45%	6%	488	5	98	0,98	19	35%	173	31%	192
Tours - Vierzon	19%	4%	800	5	160	1,60	-3	78%	623	16%	162
Toulouse Pamiers	30%	4%	450	5	90	0,90	-1	78%	351	43%	245
Tours - Alençon	28%	4%	698	5	140	1,40	-11	91%	635	23%	203
Orléans - Courtney	13%	3%	470	5	94	0,94	-16	100%	470	13%	77
Grenoble - Sisteron	17%	3%	1880	5	376	3,76	-100	100%	1880	14%	334
Saintes - Rochefort	20%	2%	290	5	58	0,58	-18	100%	290	15%	55
Rouen - Alençon	9%	1%	580	5	116	1,16	-74	100%	580	5%	37
Lyon - Balbigny	11%	1%	770	5	154	1,54	-119	100%	770	7%	68
A88 Caen - Argentan	9%	1%	250	5	50	0,50	-39	100%	250	4%	13
Amébrieu - Bourgoin	11%	1%	500	5	100	1,00	-77	100%	500	7%	44
Troyes - Auxerre	4%	1%	1350	5	270	2,70	-288	100%	1350	4%	68

## 2.2. L'influence de l'ordre

Cet ensemble de données rassemblées, un exercice de simulation est menée. Pour celui-ci, le terme de quinze années a été retenu. Pour chacune de ces quinze années, la puissance publique possède une enveloppe budgétaire qu'elle peut investir en subventions d'infrastructures, subventions intégralement versées la première année de réalisation de l'infrastructure, soit cinq années avant sa mise en service. Cette enveloppe budgétaire est considérée comme égale à 150M€ pour la première année, augmentant avec la croissance économique à un taux annuel de 2,5%. Dans notre exercice, le résidu de subventions non consommées est intégralement reporté au budget de l'année qui suit après avoir été placé sur les marchés financier à un taux de 4%. Nous ne tenons ni compte de l'inflation, ni de l'évolution des paramètres de chaque projet durant le temps, leur rentabilité devant en théorie augmenter avec la croissance économique. La simulation considère donc les paramètres du tableau 2 comme étant statiques. Enfin, le bénéfice social de chaque projet augmente au même rythme que ses bénéfices financiers soit à un taux de croissance linéaire (*b*).



Quatre simulations sont réalisées en suivant successivement l'ordre du *TRI*, l'ordre du *TRE*, puis deux ordres aléatoires correspondant à l'ordre alphabétique et à son inverse. Pour synthétiser ces diverses simulations, trois indicateurs sont proposés. Le premier correspond au nombre de kilomètres d'autoroutes réalisées, le second au coût actualisé d'un kilomètre par euro de subvention versée et le dernier au ratio entre la somme des bénéfices sociaux actualisés par euro de subvention actualisée versée par la puissance publique. Le tableau qui suit rapporte les résultats des simulations.

Tableau 3 : Résultats de la simulation selon l'ordre

	Ordre TRI	Ordre TRE	Ordre alphabétique	Inverse ordre alphabétique
Rapport surplus par euro investi	4,27	3,26	2,19	0,77
Longueur du réseau réalisé	525	485	335	330
Coût actualisé du km pour l'Etat	2,58	3,27	3,10	5,23

Ce tableau précédent souligne le résultat dommageable en terme de bien-être social que pourraient engendrer la réalisation des infrastructures selon un ordre aléatoire, ici alphabétique, mais pouvant tout aussi bien être celui qui résulterait de l'influence de notables locaux. Par ailleurs, ce tableau remet en cause un principe généralement admis en économie publique, à savoir l'avantage qu'aurait la collectivité à suivre non pas l'ordre du TRI mais l'ordre du TRE

### 2.3. Le rôle de la contrainte budgétaire

La faiblesse de la contrainte budgétaire semble jouer un rôle dans l'avantage dont bénéficie l'ordre du TRI par rapport à l'ordre du TRE en terme de bien-être social. D'autres simulations sont alors proposées en relâchant légèrement l'importance de la contrainte budgétaire. Les valeurs retenues sont des enveloppes annuelles de 300M€, 450M€ et 600M€. Les résultats de ces simulations figurent dans le tableau et la figure qui suivent.

La différence entre l'ordre du TRI et l'ordre du TRE s'estompe avec le desserrement de la contrainte budgétaire. Ceci pourrait représenter un résultat intéressant pour la France dans un contexte de double resserrement de la contrainte budgétaire du fait de l'action conjuguée du ralentissement de l'activité économique et des critères de convergence du traité de Maastricht. D'autre part, comme M. Bonnafous l'a souligné à plusieurs reprises au cours du séminaire, il pourrait réorienter l'action publique des Etats les plus pauvres, et parmi eux, les Etats

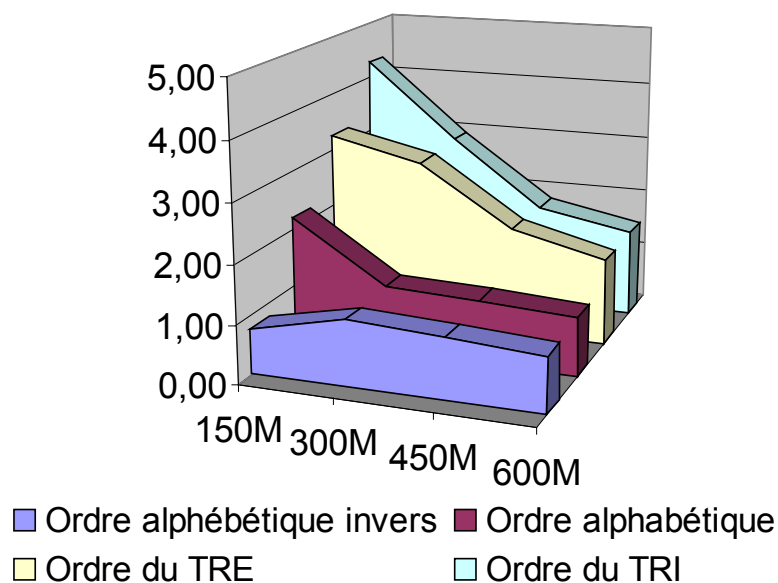
d'Afrique subsaharienne aux ressources très limitées, vers des rentabilités financières plutôt que vers des rentabilités socioéconomiques.

Tableau 4 : le rôle de la contrainte budgétaire

		Ordre TRI	Ordre TRE	Ordre A	Ordre IA
150M€	Rapport surplus par euro investi	4,28	3,26	2,19	0,77
	Longueur du réseau réalisé	525	485	335	330
	Coût actualisé du km pour l'Etat	2,58	3,2	3,10	5,23
300M€	Rapport surplus par euro investi	2,95	2,90	1,17	1,12
	Longueur du réseau réalisé	725	625	585	570
	Coût actualisé du km pour l'Etat	3,60	4,06	5,00	5,26
450M€	Rapport surplus par euro investi	1,82	1,86	1,11	1,04
	Longueur du réseau réalisé	935	895	935	775
	Coût actualisé du km pour l'Etat	5,40	5,15	5,33	5,44
600M€	Rapport surplus par euro investi	1,52	1,48	1,02	0,93
	Longueur du réseau réalisé	1105	1105	1105	1105
	Coût actualisé du km pour l'Etat	6,09	6,13	6,02	5,92

Ce résultat semble pouvoir s'expliquer par la concavité de la courbe du taux de subvention par rapport au taux de rendement interne (équation (4')) et figure 3 de l'article de référence). Il est alors assez intuitif de comprendre que la contrainte budgétaire limite la réalisation d'infrastructures mais s'exerce moins fortement lorsque nous optons pour l'ordre de la rentabilité financière. En général, nous observons d'ailleurs qu'un plus grand nombre de projets sont réalisés lorsque l'on suit l'ordre du TRI plutôt que celui du TRE.

Figure 2 : Surplus social par euros de subvention investi et la contrainte budgétaire



Cet exercice souffre néanmoins de différentes faiblesses qui en limitent la portée scientifique. La pertinence de ses résultats dépend d'abord de l'acceptation des hypothèses

formulées pour calculer les paramètres des différents projets et lors du déroulement de l'exercice de simulation lui-même, qu'il s'agisse des modalités de calcul du bénéfice social, de la non-prise en compte de l'évolution des paramètres des différents projets dans le temps ou des hypothèses faites sur la valeur de b ou d. Leur validité est en second lieu restreinte à cet exercice particulier et ne peut aucunement valoir de façon universelle et, corrélativement à ce second biais, cette réflexion souffre de son caractère discret. Au cours de la simulation par exemple, il arrive que l'on ne peut mettre en œuvre un projet trop coûteux (Grenoble-Sisteron nécessite, à titre d'illustration, 1880M€ de subvention) et doit de ce fait attendre quelques années avant de le réaliser. Le classement des projets coûteux étant indépendant de leur TRI ou de leur TRE, une part d'aléatoire vient interférer sur les résultats de notre exercice, et ce, d'autant plus que nous avons choisi un terme relativement court (quinze ans). La réalisation de projets coûteux peut ainsi nécessiter plusieurs années, mobiliser d'importantes ressources sans que l'exercice n'intègre les bénéfices sociaux générés du fait de son terme trop court. Ces biais qui sont en somme le lot de tout exercice de simulation n'enlève rien au caractère peut-être surprenant de ses résultats. Ceux-ci méritent ainsi d'être éclaircis, en particulier en éliminant les biais qui entravent la portée de notre exercice.

## REFERENCES

- BONNAFOUS A., 2002, « Les infrastructures de transport et la logique financière du partenariat public-privé : quelques paradoxes », *Revue française d'économie*, septembre.
- BONNAFOUS A. (dir.), 1995, *Transports : Le prix d'une stratégie. Tome 1 : éléments de réflexion et recommandations. Tarification et financement*. Paris : Commissariat général du plan.
- BONNAFOUS A. (dir.), 1993, *Transports : Pour une cohérence stratégique. Atelier sur les orientations de la politique des transports et les implications à moyen terme*. Paris : Commissariat général du plan.
- COSSE P.-Y. et DE FOURCADE J.-B. (dir.), 1992, *Transports 2010. Rapport du groupe présidé par le commissaire du plan*. Paris : La documentation française.
- COUR DES COMPTES, 1999, *La politique autoroutière française. Rapport au président de la république suivi des réponses des administrations et des entreprises intéressées*. Paris : Les éditions des journaux officiels.

---

<sup>1</sup> Ce document reprend un travail réalisé dans le cadre du séminaire modélisation animé par A. Bonnafous du DEA d'économie des transports (Université Lumière Lyon 2), au cours de l'année universitaire 2002-2003.

<sup>2</sup> Pour calculer le bénéfice social d'un projet l'année de mise en service ( $BS_0$ ), nous avons alors procéder de la sorte

$$BS_0 = TRIm \times \sum_{t=-5}^{-1} \frac{c}{1,08^t}$$