

Rapport de recherche présenté à

M. Boyer et M. Martin

Évaluation de projets publics

ANALYSE AVANTAGES-COÛTS DES INVESTISSEMENTS PUBLICS

par

Marc-André Lavoie

Université de Montréal

5 mars 2008

CENTRE DE DOCUMENTATION

MAR, 2008

SCIENCES ECONOMIQUES

ANALYSE AVANTAGES-COÛTS DES INVESTISSEMENTS PUBLICS

RAPPEL THÉORIQUE	10
Le taux de préférence temporelle des individus	10
Le taux marginal de transformation du capital	12
Équilibre entre le taux marginal de préférence temporel et le taux marginal de transformation du capital.....	13
TAUX D'ACTUALISATION ÉCONOMIQUE.....	14
Taux d'actualisation économique en économie fermée	14
Taux d'actualisation économique en économie ouverte.....	16
PRIX IMPLICITE DU CAPITAL	18
Méthode du prix implicite du capital	19
Taux social de préférence temporelle.....	25
Taux d'actualisation décroissant dans le temps.....	27
LE RISQUE D'UN PROJET.....	30
RADR – Taux d'actualisation ajusté pour le risque	31
EC - Équivalent certain.....	33
VAN-O - Valeur actualisée nette optimisée.....	36
Simulation Monte Carlo	37
CONCLUSION.....	40

EXEMPLE: INVESTISSEMENT DANS UN TRAIN DE BANLIEUE	43
Carte des investissements.....	44
Le Modèle	45
Achalandage.....	46
Tableau : Achalandage.....	47
Graphique : Tendance de l'achalandage.....	48
Graphique : Distribution de l'achalandage.....	48
Coûts d'investissement.....	49
Tableau : Coûts d'investissement	50
Graphique : Distribution centré sur le coût médian.....	51
Graphique : Distribution à probabilité égale par année.....	52
Coûts variables	53
Tableau : Coûts variables	54
Graphique : Tendance des coûts variables	55
Graphique : Distribution des coûts variables.....	55
Graphique : Valeur actualisée nette des coûts incrémentaux.....	56
Revenus	57
Tableau : Revenus.....	58
Graphique : Tendance des revenus.....	59
Graphique : Distribution des revenus.....	59
Graphique : Valeur actualisée nette des revenus incrémentaux avec taxes	60
Coûts & revenus	61
Tableau : Incrémental des coûts et revenus.....	61
Surplus du consommateur.....	62
Tableau : Surplus du consommateur.....	64
Graphique : Surplus du consommateur (croissant)	65
Graphique : Surplus du consommateur (constant)	65
Pollution.....	66
Tableau : Coût de la pollution	66
Tableau : Émissions de polluants en grammes par kilomètres.....	66
Tableau : Valeur de la pollution	67
Tableau : Valeur de la pollution DeNocker	68

Valeur résiduelle	69
Tableau : Valeur résiduelle.....	69
Graphique : Valeur résiduelle.....	70
Graphique : Valeur résiduelle à probabilité égale.....	70
Valeurs omises.....	71
Valeur actualisée nette (VAN)	75
Tableau : Valeur actualisée nette.....	75
Tableau : Valeur actualisée nette (suite).....	76
Valeur actualisée nette optimisée (VAN-O).....	77
Analyse de sensibilité.....	80
Tableau : Analyse de sensibilité.....	80
Analyse du risque	83
Tableau : Analyse de risque	83
Graphique : Analyse de risque du cas type à 4%	85
Graphique : Analyse de risque du cas type à 8%	86
Graphique : Analyse de risque du cas type à 10%	87
Conclusion	88
ANNEXE 1	91
ANNEXE 2	92
ANNEXE 3	94
ANNEXE 4	95
BIBLIOGRAPHIE	96

ANALYSE AVANTAGES-COÛTS DES INVESTISSEMENTS PUBLICS

Le critère de base utilisé pour l'analyse de projets est la valeur présente nette des avantages et coûts qu'occasionne un investissement. Par rapport à cela, le taux d'actualisation représente une variable prédominante qui influence grandement l'issue d'une analyse avantages coûts. Le choix du taux d'actualisation économique (TAE) pour les projets publics, agit sur le type de projets qui seront mis de l'avant. Un taux d'actualisation faible favorisera les investissements dans des projets qui offrent des bénéfices nets dans le long terme, tandis qu'un taux plus élevé fera en sorte de sélectionner des projets qui engendrent des bénéfices nets dans le court terme.

Il faut aussi prendre en compte les distorsions économiques causées par l'intervention gouvernementale par la taxation, les subventions, tarifs, etc. Ceci fait en sorte que plusieurs ressources sont sous utilisées et que les différents taux d'intérêts ne sont pas à l'équilibre au même niveau. Dans la théorie économique du bien-être, un équilibre de premier rang est obtenu lorsque le taux marginal de préférence temporel est égal au taux de rendement marginal sur l'investissement. Mais, les distorsions économiques nous amènent dans un équilibre de second rang, où il faut corriger les valeurs nominales du marché pour en tirer les vraies valeurs économiques, soit leurs prix implicites.

À partir de cela, plusieurs approches ont été développées, particulièrement dans les années '60 et '70, pour déterminer le coût d'opportunité des fonds publics. Plus précisément, le débat opposait les tenants du taux marginal de substitution de la consommation, Marglin (1963), Feldstein (1964), Diamond (1968), Arrow et Kurz (1970); à ceux qui proposaient l'utilisation du taux marginal de transformation du capital, Mishan (1967), Baumol (1968). Une réconciliation des

deux approches à été possible grâce à la méthode des taux d'actualisation pondérés par la source d'éviction de Harberger (1972). Par la suite, le calcul du taux pondéré a inclus le financement international tel que proposé par Sandmo et Drèze (1971), Sjaastad & Wisecarver (1976), Jenkins (1977), Burgess (1981).

Dans l'ensemble, trois méthodes sont disponibles pour analyser la rentabilité économique d'un projet qui utilise des fonds publics. La première, est l'utilisation du taux d'actualisation économique, pondéré en fonction des sources d'éviction du capital, elle représente la méthode la plus répandu au Canada. En fait, le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada a récemment publié une étude¹ recommandant l'utilisation d'un taux de 8% réel, basé sur les travaux de Jenkins et Kuo (2007). En ce sens, le taux d'actualisation économique de 8% réel, devrait être utilisé par les fonctionnaires et demandeurs de subventions, pour calculer la valeur présente nette d'un projet au Canada.

La deuxième méthode consiste à transformer les coûts et bénéfices en équivalent de consommation et utiliser un taux de préférence temporel de 3% réel pour faire l'actualisation. Ce taux de préférence temporel mentionné par le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada² basé sur les travaux du PRI (2007)³. Pour cette méthode, la première étape est de transformer les coûts et bénéfices en utilisant un coefficient de prix implicite (*shadow price*), qui représente le rendement qui aurait pu être obtenu si les fonds avaient été investis dans le secteur privé. Par la suite, on actualise les équivalents de consommation avec le taux réel de 3% pour obtenir la valeur présente nette d'un projet public. Cette méthode a l'avantage d'être plus flexible, mais comporte aussi plusieurs désavantages.

¹ Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (2007), Canadian Regulatory Cost-Benefit Analysis Guide. disponible à : <http://www.regulation.gc.ca/documents/gl-ld/analys/analystb-eng.asp>

² Ibid

³ Policy Research Initiative, *Social Discount Rates for Canada*, Ottawa, 2007

Un des avantages que comporte la deuxième méthode, c'est qu'elle peut s'accommoder de taux d'actualisation qui déclinent dans le temps pour prendre en compte les effets sur les générations futures. Ainsi, pour analyser des projets sur de très longues périodes certains auteurs tels Witzman (1998) et Gollier (2002) recommandent de faire décroître les taux d'actualisation.

La troisième méthode consiste à déterminer le risque propre du projet pour en effectuer l'analyse avantages-coûts. En ce sens, la littérature propose deux alternatives, soit l'actualisation avec un taux ajusté pour le risque (RADR) tel que proposé par Bailey et Jenson (1972), ainsi que Brean et al. (2005) ; ou soit d'utiliser les équivalents certains tel que proposé par Gollier (2005) et Spackman (2004). Tout comme la technique des équivalents de consommation, l'utilisation des équivalents certains (EC), permet de faire décroître les taux d'actualisation en très longue période. Finalement, Boyer et Gravel (2006) ont développé la valeur actualisée nette optimisée (VAN-O) qui raffine l'analyse du risque propre à chaque variable.

Dans cet ordre d'idée, la structure du document est divisée en 4 parties. La première introduit un rappel théorique des fondements sur lesquels se base l'équilibre entre les différents taux d'intérêts. Ensuite, la méthode du taux d'actualisation économique est expliquée en deuxième partie, celle du prix implicite des fonds publics en troisième partie, et le traitement du risque se fait dans la dernière partie.

RAPPEL THÉORIQUE

Le taux de préférence temporelle des individus

Le taux d'actualisation peut être interprété en fonction de la préférence entre de la consommation aujourd'hui et de la consommation dans le futur. Ainsi, cet arbitrage que font les individus lorsqu'ils s'endettent ou épargnent permet de déterminer le taux marginal de préférence temporelle. On peut caractériser cet arbitrage par l'équation suivante :

$$\begin{aligned} & \text{Max } U(C_1, C_2, \dots, C_t) \\ \text{s.c. } & C_1 + \frac{C_2}{(1+i)} + \dots + \frac{C_t}{(1+i)^t} = X \end{aligned}$$

Ainsi, à l'équilibre l'individu maximise son utilité de la consommation entre les périodes. Ici, X est une constante et représente la richesse totale d'un individu, soit tout ce qu'il pourra consommer au cours de sa vie. Nous assumons dans le modèle que plus la consommation se passe tard dans le temps, moins elle sera utile, lorsque évaluée au temps présent. Ceci est vérifié par le fait que l'agent représentatif qui économise son avoir pour le consommer plus tard, reçoit un intérêt qui l'incite à lisser sa consommation entre les périodes. Il est évident que l'individu représentatif fait cet arbitrage sur plusieurs périodes, mais pour fins d'exposer graphiquement le concept, nous nous limitons à deux périodes.

Le taux auquel épargnent les individus dans une société représente le taux marginal de préférence temporelle, soit le taux marginal de substitution (TMS). Ainsi, le TMS s'obtient en divisant l'utilité marginale de la consommation au temps 1, par l'utilité marginale de la consommation au temps 2 (moins un).

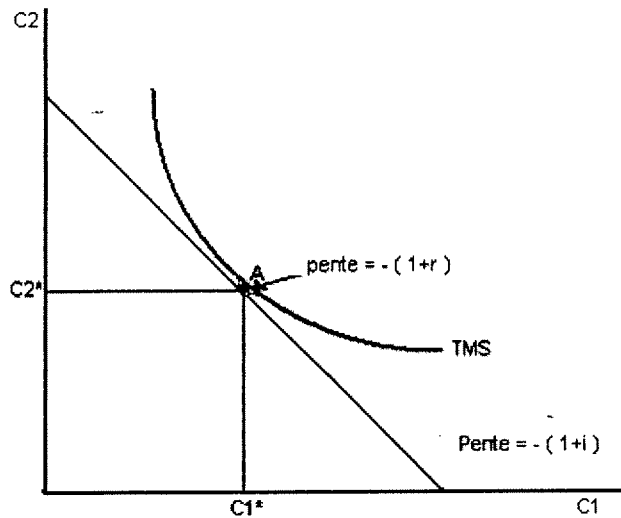


FIGURE 1.

À cause de la concavité de la fonction d'utilité, l'augmentation de la consommation plus tard dans le temps, amène de moins en moins d'utilité par unité de plus de consommation. Ceci fait en sorte que les individus lissent leur consommation entre les périodes. Ils épargnent tant que le TMS est plus petit que le taux d'intérêt i , qui représente le taux auquel les individus échangent de la consommation présente pour de la consommation future. À l'équilibre au point A, le taux marginal de préférence temporelle égal au taux d'intérêt du marché $i = r$. Ainsi, cette égalité se présente sous la forme suivante :

$$TMS = -\frac{UmC_1}{UmC_2} = -(1+r) = -(1+i)$$

En somme, le taux marginal de préférence temporel équivaut au taux marginal de substitution de la consommation des agents dans l'économie. Dans un marché parfait, ce taux marginal de préférence temporelle (r) est égalisé au taux sur les emprunts ou prêts (i) que peuvent faire les individus sur le marché.

Le taux marginal de transformation du capital

Le taux d'actualisation peut se comparer au coût d'opportunité de l'investissement privé dans l'économie. En fait, il est possible d'élargir le modèle précédent pour y inclure un secteur d'investissement. Ainsi, pour cette évaluation de l'investissement, les subventions, taxes, réglementations et externalités ne sont pas incluses.

L'agent représentatif dispose d'une richesse totale au temps 1, qu'il peut consommer ou investir sur le marché pour la consommer au temps 2. La fonction de production est concave, ce qui implique qu'une augmentation d'une unité de capital offrira un rendement croissant, mais marginalement décroissant. En d'autres mots, une unité de plus d'investissement augmentera les profits totaux, mais moins que l'augmentation des unités précédentes. On peut observer graphiquement cette relation :

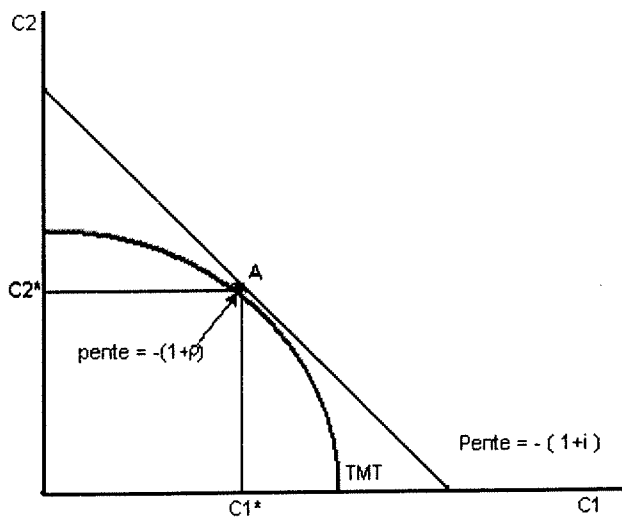


FIGURE 2.

Dans cet ordre d'idée, l'agent représentatif investira jusqu'à ce que le taux marginal de transformation TMT équivaille au taux d'intérêt sur les emprunts sur le marché. En fait, cette relation est importante car on suppose ici l'absence d'arbitrage. En d'autres mots, que les marchés sont parfaits et qu'à l'équilibre

toutes les possibilités d'investissement sont utilisées. Ceci implique que si le rendement sur les investissements est plus élevé que le taux d'intérêt sur le marché, une entreprise pourrait emprunter et investir pour faire un profit. Donc, dans notre marché parfait, au point A, le taux marginal de transformation (p) est égale au taux d'emprunt sur le marché (i) :

$$TMT = -(1+p) = -(1+i)$$

Équilibre entre le taux marginal de préférence temporel et le coût d'opportunité du capital

Dans un marché parfait sans distorsions quelconques, le taux marginal de préférence temporel serait égal au taux marginal sur les investissements. En fait, ceci vient à dire qu'il n'y aurait qu'un seul taux à travers l'économie, le TMT serait égal au TMS. Plus précisément, nous prenons en compte le cas où il n'y a pas d'asymétrie d'information, de monopoles, de réglementation, etc. Cet équilibre de «premier rang» diffère de l'équilibre de «second rang», où la taxation, la réglementation et les externalités sont prises en compte. Ainsi, dans l'équilibre de «second rang» nous considérons un équilibre réel dans lequel les distorsions empêchent la pleine utilisation des ressources dans l'économie.

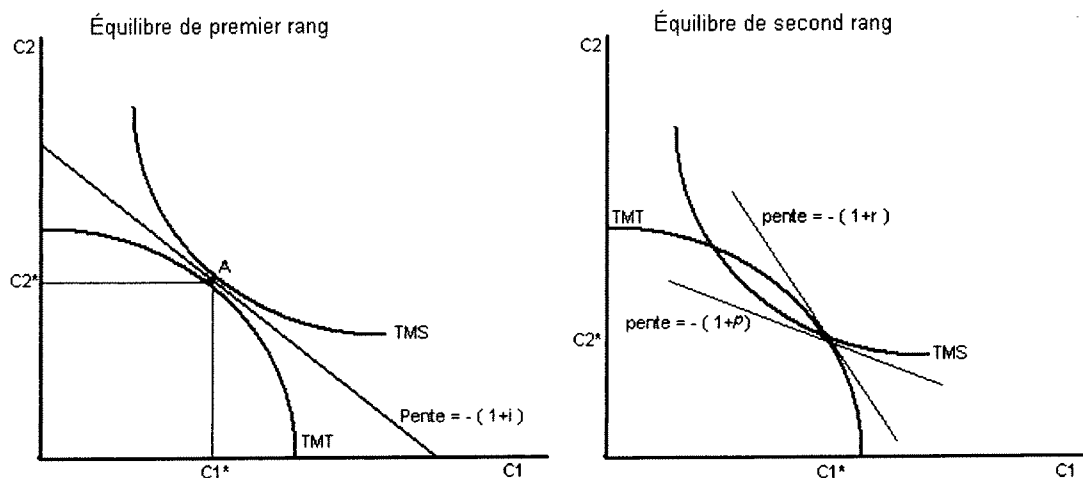


Figure 3.

Dans cet ordre d'idée, les taux de préférence temporelle et d'opportunité du capital diffèrent dans l'économie réelle. Nous remarquons que le taux marginal de préférence temporel (p) est plus petit que le taux marginal de rendement sur les investissements (r). Ceci est en grande partie causé par la taxation, qui diminue le rendement après impôts et ainsi, réduit le niveau d'investissement et d'épargne dans l'économie et par le fait même le niveau d'utilisation des ressources en général.

Dans les deux parties qui suivent, nous allons faire l'analyse pratique des divers points de vue apportés historiquement par les économistes pour déterminer le coût d'opportunité des fonds publics, dans un contexte de certitude. En fait, historiquement le focus a été mis sur l'éviction des fonds privés, l'éviction proportionnelle de l'épargne et des fonds privés et l'éviction proportionnelle incluant un secteur international. Ensuite, la méthode du prix implicite du capital sera développée. Les deux méthodes seront comparées en conclusion, après la section sur le risque de projet qui explique l'analyse dans un contexte d'incertitude.

TAUX D'ACTUALISATION ÉCONOMIQUE

À partir des approches détaillées ci-haut, plusieurs auteurs ont calculé différents taux d'actualisation économique (TAE). Cette méthode sert à calculer la valeur présente nette des investissements gouvernementaux, en prenant compte le coût d'opportunité des fonds publics en utilisant le TAE.

Taux d'actualisation économique en économie fermée

Plus précisément, Harberger (1971) développa une méthode basée sur une moyenne pondérée en fonction de l'éviction proportionnelle des sources de fonds dans une économie fermée. Il suppose que nous disposons d'une certaine

quantité d'épargne pour l'ensemble de l'économie et que cette dernière doit être répartie entre les investissements privés et les emprunts du gouvernement. De plus, il tient compte des distorsions causées par les taxes. Il démontre alors que le coût d'opportunité des fonds publics, dans une économie fermée, est calculé en fonction de l'éviction proportionnelle des fonds d'investissement privée et de la consommation des particuliers.

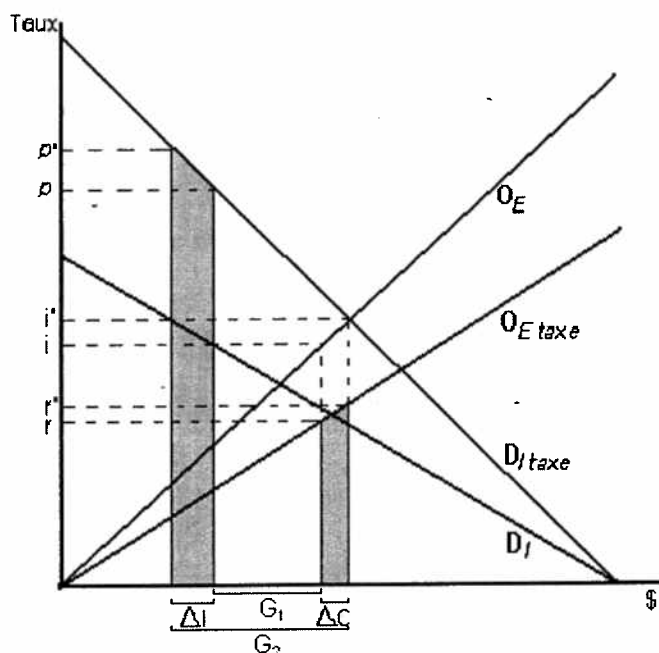


FIGURE 4⁴

La figure 4 montre l'impact d'une augmentation de la demande d'épargne causé par une augmentation de l'endettement du gouvernement. On retrouve les courbes d'offre d'épargne et d'offre d'épargne après impôts sur le revenu des particuliers, ainsi que les courbes de demande d'investissement et de demande d'investissement avant impôt sur les corporations. En ce sens, le taux d'intérêt du marché passe de i à i' lorsque le gouvernement augmente son endettement. Ceci amène une augmentation de l'épargne (diminution de la consommation) de ΔC et une diminution des investissements (production de biens et services) de ΔI . Donc, le taux d'actualisation économique (*TAE*), soit le coût d'opportunité de l'augmentation de l'endettement gouvernemental se calcule ainsi :

⁴ Martin (2006), ECN 6873, Évaluation de projets publics, Université de Montréal (tiré de Harberger (1971))

$$TAE = \alpha r + (1 - \alpha) p$$

$$\alpha = \frac{\Delta I}{\Delta I + \Delta C}$$

p = taux de rendement du marché avant impôts sur les corporations

r = taux de rendement de l'épargne après impôt sur le revenu

α = proportion d'éviction provenant de la consommation

$(1 - \alpha)$ = proportion d'éviction provenant de l'investissement

En somme, la méthode de Harberger donne une expression simple du coût d'opportunité du capital pour le gouvernement. En fait, il indique que l'éviction de la consommation est plutôt faible, ce qui nous donne un taux d'actualisation économique qui représente approximativement le rendement avant taxe des corporations⁵. En ce sens, le taux d'actualisation que devrait utiliser le gouvernement devrait être le rendement avant impôts des entreprises privées (r).

Taux d'actualisation économique en économie ouverte

L'internationalisation du modèle de Harberger a été réalisé et soutenu par la contribution de Sandmo et Drèze (1971), Sjaastad & Wisecarver (1976), Jenkins (1977), Burgess (1981), Edwards (1985). En ce sens, depuis 1976, le Secrétariat du Conseil du Trésor se base sur les travaux de Jenkins pour établir le taux d'actualisation économique à utiliser pour l'analyse de projets publics. Plus précisément, le taux de 10% réel a été recommandé par le Conseil du Trésor pour une période de 30 ans. Tout dernièrement, se basant sur les travaux récents de Jenkins et Kuo (2007), le Secrétariat du Conseil du Trésor⁶ révisait le taux d'actualisation économique à 8% réel. Le Conseil propose aussi de faire une analyse de sensibilité à 7% et 10%.

⁵Harberger (1971) p.25

⁶ Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (2007), Canadian Regulatory Cost-Benefit Analysis Guide. disponible à : <http://www.regulation.gc.ca/documents/gl-ld/analys/analystb-eng.asp>

En fait, dans une économie ouverte le modèle précédent devient alors une somme pondérée des trois sources de fonds, soit l'investissement (p), l'épargne nationale (r) et l'épargne internationale (MC). Dans leur ouvrage, Jenkins et Kuo (2007) déterminent le taux d'actualisation économique (TAE) ainsi:

$$TAE = \frac{\varepsilon_r (S_r / S_t) \rho + \varepsilon_f (S_f / S_t) MC_f - \eta (I_t / S_t) \rho}{\varepsilon_r (S_r / S_t) + \varepsilon_f (S_f / S_t) - \eta (I_t / S_t)}$$

ε_r = élasticité de l'offre de l'épargne domestique

ε_f = élasticité de l'offre de l'épargne étrangère

η = élasticité de la demande d'investissement domestique

S_t = épargne privé totale disponible

S_r = contribution à l'épargne par les résidents

S_f = contribution des fonds étrangers

I_t = total de l'investissement privé

L'équation précédente peut se réécrire de cette manière :

$$TAE = f_1 \rho + f_2 r + f_3 (MC_f) \approx 8\%$$

ρ = rendement avant impôt sur les corporations de l'investissement domestique 11,5%

r = rendement après impôts sur le revenu de l'épargne domestique 4%

MC_f = coût marginal du financement étranger 6%

f_1 = part de l'investissement évincé 46,16%

f_2 = part de l'épargne domestique 15,38%

f_3 = part des fonds étrangers 38,46%

Les rendements sont calculés à partir des données de la comptabilité nationale du Canada. Ainsi, le rendement de l'investissement brut représente la somme des intérêts, rentes et profits, compensé pour l'imposition du capital, les taxes sur la propriété, les taxes à la consommation et les taxes d'assises. Ensuite, le rendement sur l'épargne domestique net est calculé en divisant les revenus

d'épargne domestique, par le stock de capital pour chaque année. Finalement, le coût marginal des fonds étrangers est estimé à partir du rendement historique des investissements directs étranger américains.

En somme, Jenkins et Kuo ont réalisé une série d'analyses de sensibilité sur les rendements de chaque variables ainsi que sur leurs élasticité. Ils expliquent qu'en fonction des hypothèses sur différentes variables, le taux d'actualisation économique varie entre 7,78% et 8,23% et proposent d'utiliser le taux de 8% pour l'analyse de projets publics au Canada.

PRIX IMPLICITE DU CAPITAL

La deuxième méthode pour l'évaluation de projets publics consiste en l'utilisation de prix implicite du capital (*Shadow price*) pour transformer en *équivalents de consommation* les coûts et bénéfices d'un projet. Les équivalents de consommation sont ensuite actualisés au taux social de préférence temporelle (TSPT) de 3% réel⁷, pour obtenir la valeur présente nette d'un investissement public. Dans cet ordre d'idée, la deuxième partie se divise en trois sections : le prix implicite du capital, le taux social de préférence temporel (TSPT) et la décroissance du taux d'actualisation pour l'analyse en très longue période.

⁷ Policy Research Initiative, *Social Discount Rates for Canada*, Ottawa, 2007

Méthode du prix implicite du capital

La méthode que propose Marglin (1963), Feldstein (1964, 1972), Bradford (1975), Mendelsohn (1981), Lyon (1990) consiste à convertir l'ensemble des coûts et bénéfices en prix implicites (shadow prices) et d'actualiser au taux social de préférence temporel (*TSPT*). En fait, cette méthode permet de convertir les coûts et bénéfices en équivalent de consommation en utilisant un coefficient (θ), qui représente le prix implicite d'une unité de capital, soit son coût d'opportunité dans son utilisation alternative privée. En ce sens, l'équivalent de consommation représente la valeur en consommation qu'il aurait été possible de créer par un investissement (x), pendant un nombre d'année (t). En fait, on peut calculer la valeur du coefficient de prix implicite comme étant :

$$\theta_t = \left[\frac{(1-s)p}{1+r} \right] * \left[1 + \sum_{i=1}^t \left(\frac{1+sp}{1+r} \right)^{i-1} \right] + \left[\frac{1+sp}{1+r} \right]^t$$

r = taux social de préférence temporel

p = taux de rendement des investissements privés bruts, avant impôt sur les corporations

s = taux marginal d'épargne du capital

t = nombre d'année avant la fin du projet

On constate que le coefficient de prix implicite varie en fonction de la durée du projet, du taux de rendement des investissements, du taux social de préférence temporel et du taux de réinvestissement des bénéfices du projet (Voir l'Annexe 1 pour le détail du calcul). Ainsi, nous pouvons obtenir à l'aide de cette formule les différents coefficients calculés dans le passé :

Marglin (1963) assume qu'il n'y a pas d'épargne et que l'investissement initial représente une rente, où à chaque période on consomme le rendement en entier de l'investissement. Ainsi on peut réécrire la formule précédente :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \text{de } \theta_t = \frac{p}{r} \quad \text{si } s = 0$$

Aussi, on peut obtenir le coefficient de Lyon (1990) si on inclut un taux de réinvestissement des bénéfices (s)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \theta_t = \frac{p - sp}{r - sp} \quad \text{si } s \neq 0$$

Si on conserve un investissement à l'infini et que l'on consomme que son rendement, il faut que $r > sp$ pour obtenir un coefficient positif. Si non, il faudrait sortir de l'argent de nos poches pour atteindre le niveau d'épargne désiré.

Les deux dernières formulations considèrent un investissement infini, où on consomme une partie des rendements, avec ou sans réinvestissement, et sans jamais vendre le capital. Dans ces deux cas, la deuxième partie de l'équation tend vers 0 lorsque t tend vers l'infini car :

$$\frac{1 + sp}{1 + r} < 1$$

On peut aussi considérer le cas où ($s=1$), dans lequel on épargnerait la totalité des rendements jusqu'au temps t . Ainsi, on récolterait le capital et les intérêts composés de notre investissement au temps t . On obtient que la première partie de l'équation égal 0 car $p - sp = 0$ et il reste ainsi que la deuxième partie de l'équation :

$$\theta_t = \left[\frac{1 + p}{1 + r} \right]^t$$

Somme toute, la plupart des projets publics seront évalués sur une période de temps finie. Ainsi, la présentation initiale représente la façon la plus juste de calculer le coefficient de prix implicite. Selon Moore et al. (2003), le taux marginal d'épargne (s) est égal au ratio d'investissement fixe brut sur le PIB et propose d'utiliser la valeur de 16,7%. De plus, nous proposons d'utiliser le taux de rendement brut du capital (p) de 11,5% de Jenkins et un taux social de préférence temporel (r) de 3%. Ainsi, la formule devient :

$$\theta_t = \left[\frac{(1-s)p}{1+r} \right] * \left[1 + \sum_{i=1}^t \left(\frac{1+sp}{1+r} \right)^{i-1} \right] + \left[\frac{1+sp}{1+r} \right]^t$$

$$\theta_t = \left[\frac{(1-0,167) * 0,115}{1+0,03} \right] * \left[1 + \sum_{i=1}^t \left(\frac{1+0,167 * 0,115}{1+0,03} \right)^{i-1} \right] + \left[\frac{1+0,167 * 0,115}{1+0,03} \right]^t$$

$$\theta_t = [0,093] * \left[1 + \sum_{i=1}^t (0,9895)^{i-1} \right] + [0,9895]^t$$

Coefficient de prix implicite							p=0,115	r=0,03	s=0,167					
t	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	
Coef.	2,8233	2,7592	2,6945	2,629	2,5629	2,496	2,4285	2,3602	2,2912	2,2215	2,151	2,0798	2,0079	
t	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Coef.	1,9352	1,8617	1,7874	1,7123	1,6365	1,5598	1,4824	1,4041	1,3249	1,245	1,1642	1,0825	1	

Dans cet ordre d'idée, le coefficient à utiliser varie en fonction du temps. Pour un investissement public de 25 ans qui aurait évincé à 100% un investissement privé, le coefficient à utiliser est de 2,8233 au temps 0. Il faut aussi appliquer le coefficient aux coûts variables et aux bénéfices du projet. Au temps 1, on multiplie les coûts et bénéfices par 2,7592 et on actualise d'une période au taux de 3%. Nous procédons de cette manière jusqu'à la dernière période où le coefficient est égal à 1. Mais en réalité, l'éviction ne serait pas nécessairement de 100%. Bradford (1975) explique qu'une partie de l'éviction provient de l'investissement et une autre de la consommation (Voir Annexe 2). Il faut alors ajuster le coefficient en fonction de la part de l'éviction provenant de l'investissement et de la part de l'éviction qui provient de la consommation :

$$\lambda_{i,t} = \alpha_{i,t} \theta_{i,t} + (1 - \alpha_{i,t}) * 1$$

$\lambda_{i,t}$ = coefficient ajusté pour l'éviction partielle de ressources

θ_t = coefficient de prix implicite

$\alpha_{i,t}$ = part des ressources qui proviennent de l'investissement privé

$(1 - \alpha_{i,t})$ = part des ressources qui proviennent de la consommation

t = temps restant avant la fin du projet

i = représente la variable ajustée : investissement, coût variable, coût fixe, bénéfices, etc.

En fait, la part de l'investissement privé évincé par un investissement public, ou rajouté par un bénéfice public, peut varier en fonction du mode de financement utilisé. En général, Lyon (1990) indique qu'il faut seulement appliquer le coefficient ajusté sur les coûts d'investissements et les coûts variables d'un projet, tout en laissant les bénéfices inchangés. Dans plusieurs cas, tels les musées, il n'y a pas de complémentarité entre les investissements publics et le secteur privé et il faut procéder de cette manière.

Dans d'autres cas, lorsqu'il y a complémentarité entre les investissements publics et le secteur privé, il faut ajuster par le prix implicite les bénéfices destinés aux entreprises. Par exemple, si on analyse un projet de route, la part des bénéfices qui profitent au secteur privé, comme le secteur du transport, devrait être ajusté par le coefficient de prix implicite. Ainsi, l'analyste doit évaluer pour chaque variable, la part de l'investissement enlevée ou rajoutée, pour calculer le coefficient ajusté de prix implicite. En ce sens, la VAN devient :

$$VAN = -\lambda_{I,T} I_0 + \sum e^{-rt} (\lambda_{B,T-t} B_t - \lambda_{C,T-t} C_t)$$

Pour ce qui est des coûts d'investissement et coûts variables, plusieurs points de vue existent quant à l'effet des dépenses publiques qui se financent soit par taxation, par endettement ou par substitution à d'autres dépenses publiques. En fait, plusieurs auteurs tels Lind (1990), Moore, Broadman, Vining, Weimer et Greenberg (2003), supportent que l'éviction causée par la taxation soit moins néfaste, que l'éviction causée par l'endettement gouvernemental.

En ce sens, nous proposons les valeurs suivantes pour la part de l'investissement : Premièrement, une taxe sur la consommation n'affecterait aucunement l'investissement, donc le coefficient de prix implicite ajusté serait l'unité. Deuxièmement, pour les fonds provenant de l'impôt sur le revenu des particuliers, il faut utiliser le taux marginal d'épargne sur le revenu de 16,7%. Troisièmement, une taxe sur les profits des entreprises causerait un effet sur

l'investissement plus élevé⁸ qu'une taxe sur le revenu des particuliers. Finalement, le financement par émission de dette causerait une éviction proportionnelle à celle évaluée par Jenkins et Kuo (2007).

Dans cet ordre d'idée, le coefficient de prix implicite doit être ajusté par une somme pondérée de l'ensemble des sources de fonds mentionnées ci-haut. Pour le calculer un coefficient général, il faudrait estimer le comportement du gouvernement fédéral, qui depuis une dizaine d'année, est en présence de surplus budgétaires. On remarque que ce dernier a réparti ses surplus en baisses d'impôts sur les corporations, en baisse d'impôts sur le revenu, en baisses de la taxe à la consommation et il en a aussi profité pour réduire la dette publique. De plus, il faut corriger pour l'évolution des dettes provinciales causées par le déséquilibre fiscal. Bref, ce calcul n'a pas été réalisé, mais permettrait d'établir avec précision le coefficient ajusté de prix implicite.

Tout de même, en l'absence de telles analyses nous proposons d'utiliser le taux de 8% réel ($p=8\%$), pour calculer le prix implicite. Le taux de 8% est déjà pondéré pour une éviction proportionnelle des fonds publics. Ainsi, nous pouvons appliquer directement le prix implicite aux différents coûts, sans ajuster pour la part de l'investissement. La part de l'investissement n'est nécessaire à calculer que lorsqu'on utilise le coefficient à l'aide du 11,5%. Bref, vous trouverez à l'Annexe 3 une table de prix implicite à 11,5% et en Annexe 4 une table de prix implicite à 8%.

Néanmoins, Feldstein (1964, 1972), Bradford (1975), indiquent que le coefficient de prix implicite doit être appliqué de manière symétrique sur les coûts et bénéfiques. Ainsi, ils prônent d'actualiser directement au taux de préférence temporel, car l'utilisation d'un prix implicite unique n'influencerait pas le signe de la valeur présente nette. Par contre, nous venons de démontrer que pour un

⁸ Ce taux peut s'estimer en fonction de la part historique des profits non distribués sur les profits totaux des entreprises.

projet de durée finie, le prix implicite doit être ajusté pour chaque période, donc qu'il n'est pas unique. Ajouté à cela, nous ne pouvons assumer que les coûts et bénéfices auront un effet symétrique sur l'investissement.

Pour d'autres raisons, Moore et al. (2003) affirment que dans la plupart des cas nous pouvons actualiser les projets publics avec le taux de préférence temporel. Ils supposent que dans l'ensemble, les projets publics sont financés par taxation, que l'offre internationale de capital est très élastique, et que peu de projets nécessitent l'émission de dette de la part du gouvernement⁹. Par conséquent, ils démontrent leur mécompréhension du concept de coût d'opportunité, qui ne se base non pas sur une situation hypothétique de ce que le gouvernement pourrait faire, mais sur ce que le gouvernement ferait dans la situation alternative où il ne financerait pas le projet.

En somme, la méthode du prix implicite nécessite un approfondissement quant aux parts des ressources qui proviennent de l'investissement (impôts sur le revenu, impôts sur les corporations, taxes à la consommation, endettement, etc.) pour être utilisé de manière approprié. En l'absence de tels calculs, un analyste peut utiliser un prix implicite calculé avec ($p=8\%$) et un taux de réinvestissement ($s=16,7\%$). Comparativement à la méthode des taux d'actualisation économique, la méthode du prix implicite permet beaucoup plus de flexibilité. En fait, nous avons expliqués que cette méthode peut prendre en compte la complémentarité des projets publics avec le secteur privé, en appliquant le facteur de prix implicite aux bénéfices. De plus, cette méthode peut aussi s'adapter pour des situations de sous utilisation des ressources, où le coût d'opportunité du capital est moins élevé. Bref, sa flexibilité représente sa plus grande force, et sa plus grande faiblesse, car beaucoup moins accessible au fonctionnaire néophyte.

⁹ Ils proposent d'utiliser un prix implicite de 1,1. Ils incluent la dépréciation de 10%, qu'ils ajoutent au lieu de soustraire, un taux de rendement des investissements de 4,5%, et une valeur du taux de préférence temporel de 3,5%. Leur estimation du coefficient de prix implicite est donc erronée.

Taux social de préférence temporelle

Le calcul du taux social de préférence temporelle (TSPT), qui sert à l'actualisation des flux monétaires en équivalents de consommation, a été développé par rapport au modèle de croissance de Ramsey (1928). Il représente une alternative au taux réel sans risque des obligations à long terme du gouvernement net des impôts sur le revenu. Plusieurs auteurs dont Kula (1985), Evans (2002, 2005, 2006) préfèrent utiliser cette valeur au lieu du taux sans risque après impôt sur le revenu. Ce taux de préférence social a été adopté par la France (le Plan 2005) et par la Grande Bretagne (Green Book 2003). Au Canada, le Policy Research Initiative (PRI), un organisme fédéral, a déterminé ce taux à 3% réel en 2007.

Nous pouvons définir le taux social de préférence temporel (*TSPT*) comme :

$$TSPT = \rho + \varepsilon g = d + l + \varepsilon g \approx 3\%$$

ρ = taux d'escompte de l'utilité future ($d + l$)

l = probabilité de survie d'un individu

d = préférence pure pour le temps

ε = élasticité de l'utilité marginale de la consommation

g = taux de croissance de la consommation réelle par habitant

Le taux d'escompte de l'utilité future, se base sur l'impatience ou myopie d'un individu, soit sa préférence pure pour le temps, ainsi que sur la probabilité de mourir ou d'extinction de la race humaine. Selon Kula (1984), la probabilité de mourir d'un individu qui se trouve autours de 1%. Le PRI (2007) a utilisé des données de 1972 à 2006 pour calculer la probabilité de mourir et trouve 1%. Par contre, si on calcule le taux moyen de mortalité au Canada de 1991 à 2004, on constate qu'il est de 0,71% au cours de cette période.

Le taux de préférence pure pour le temps a été déterminé par Scott (1977) à 0,5%. Dans son analyse le PRI fait varier la valeur de la préférence pure pour le temps entre 0 et 0,5 pour son analyse de sensibilité.

Le taux de croissance réel de la consommation par habitant peut être obtenu en régressant le logarithme de du PIB réel par habitant sur le temps¹⁰. Ainsi, pour la période de 1982 à 2006, le taux de croissance réel de la consommation au Canada à été de 1,8% par année. Le PRI (2006) à quant à lui utilisé des données de 1972 à 2006 et obtient un taux de croissance de 1,2%.

L'élasticité de l'utilité marginale de la consommation, peut s'obtenir de différentes manières. Evans (2005) passe en revue l'ensemble de ces techniques, il considère particulièrement le modèle du comportement de consommation au cours d'une vie et le modèle de demande du consommateur pour des produits à préférence indépendante. En utilisant un modèle de préférences sociales révélées par la taxation, il calcule l'élasticité de l'utilité marginale de la consommation pour 20 pays de l'OCDE. Il trouve une valeur moyenne de 1,40 pour l'ensemble des pays. En ce qui à trait au Canada, la valeur de se situe plutôt entre 1,25 et 1,30. Pour sa part, Kula (1984) avait déterminé une valeur de 1,56 pour l'élasticité de l'utilité marginale de la consommation.

Somme toute, en utilisant une valeur moyenne de la croissance réelle de la consommation par habitant au Canada de 1,8% (1981-2006), l'élasticité de l'utilité marginale de la consommation de 1,3 et la préférence pure pour le temps de 1,31%¹¹, nous obtenons un taux de 3,5%. Ce taux se rapproche de ceux de la France et de l'Angleterre qui sont de 4%¹² et 3,5%¹³ respectivement.

¹⁰ Vining (2001)

¹¹ soit 0,71% pour la moyenne du taux de mortalité 1991-2004 au Canada plus la valeur de Scott (1977) de 0,5% pour l'impaticence, ce qui donne 1,31% (entre 1,5% pour l'Angleterre et 1% pour la France)

¹² Le Plan (2005)

¹³ The Green Book (2003)

Le Policy Research Initiative (2007), a utilisé les valeurs de 1%, 1,25% et 1,5% pour la préférence pure pour le temps. De plus, ils utilisent la croissance de (1972-2006) qu'ils évaluent à 1,2%. Ils utilisent une élasticité de l'utilité de la consommation de 1,56 de Kula (1984) et de 1,3 d'Evans et Sezer (2005). Ainsi, ils proposent pour le Canada d'utiliser une valeur médiane de 3%, avec un minimum de 2,6% et un maximum de 3,4%. En somme, pour réaliser une analyse avantages-coûts à l'aide de la méthode du prix implicite des fonds publics, il faut utiliser le taux d'actualisation de 3% proposé par le PRI.

Taux d'actualisation décroissant dans le temps

Lorsque l'on considère des projets qui ont des effets qui se répercutent sur de très longue durée, l'utilisation d'un taux constant d'actualisation implique que les effets sur les générations futures seront très faibles. Ainsi, nous pouvons utiliser un taux d'intérêt décroissant à partir d'une certaine période, pour prendre en compte les effets à long terme qu'auront certains projets. Par exemple, pour des projets qui occasionnent de la pollution ou des déchets nucléaires qui seront supportés pendant plusieurs centaines d'années, l'utilisation d'un taux décroissant donne une valeur ou un poids économique à ces externalités.

En fait, les travaux de Witzman (1998) démontrent que l'utilisation d'un taux d'actualisation qui diminue avec le temps serait optimum pour calculer les effets qui se produisent tard dans le temps. Ainsi, en utilisant le concept d'incertitude sur les états futur du monde, la productivité, les rendements décroissants, l'innovation technologique... il développe une méthodologie d'équivalent certain, où le taux d'intérêt suit un mouvement aléatoire de retours à la moyenne, soit une forme de mouvement Brownien géométrique. Ceci implique alors, que les périodes futures doivent être actualisées à des taux de plus en plus faibles. Dans son guide d'analyse de projets environnementaux¹⁴, l'OECD consacre un chapitre complet sur la décroissance du taux d'intérêt dans le long terme.

¹⁴ Pierce, D. & al. (2006), Cost-Benefit Analysis and the Environment, *OECD*, 318 p.

Exemple numérique du taux d'intérêt décroissant en utilisant la méthode d'équivalent certain de Weitzman					
	facteurs d'actualisation au temps				
	10	50	100	200	500
1%	0,91	0,61	0,37	0,14	0,01
2%	0,82	0,37	0,14	0,02	0
3%	0,74	0,23	0,05	0	0
4%	0,68	0,14	0,02	0	0
5%	0,61	0,09	0,01	0	0
6%	0,56	0,05	0	0	0
7%	0,51	0,03	0	0	0
8%	0,46	0,02	0	0	0
9%	0,42	0,01	0	0	0
10%	0,39	0,01	0	0	0
Facteur d'actualisation équivalent certain	0,61	0,16	0,06	0,02	0
taux d'actualisation d'équivalent certain	4,73%	2,54%	1,61%	1,16%	1,01%

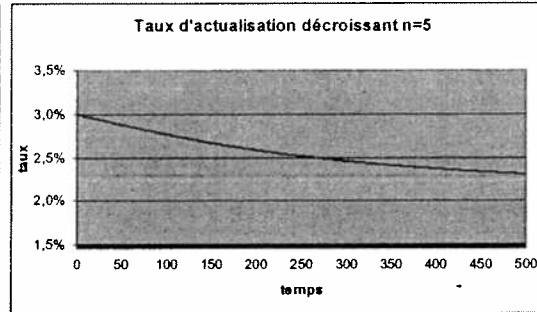
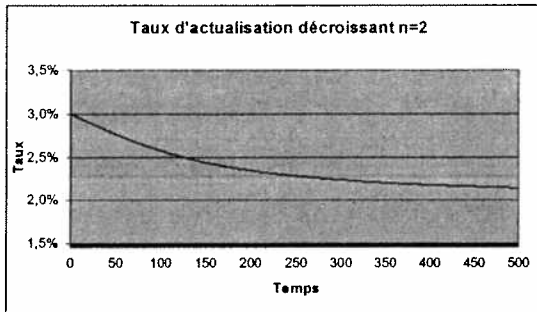
Source : OCDE, Cost-Benefit analysis and the environment, 2006, p.187

Aussi, la proposition d'un taux d'actualisation décroissant s'appuie sur le travail de Gollier (2002) qui utilise un modèle d'agent représentatif aversif au risque. En fait, il démontre que dans un environnement où la croissance est déterminé par un mouvement aléatoire et que l'aversion au risque diminue avec l'augmentation de la richesse, la courbe de rendement est décroissante lorsque la croissance est presque assurément non négative. De plus, Gollier (2005) propose que la manière la plus simple d'actualiser avec un taux décroissant est calculer la moyenne de deux VAN : une au taux minimum (r_1), et une aux taux de départ (r_2) qui est ajusté symétriquement en ajoutant au taux de base la différence avec le taux minimum:

$$VAN = 0,5 \left[-\lambda_{I,T} I_0 + \sum e^{-r_1 t} (\lambda_{B,T-t} B_t - \lambda_{C,T-t} C_t) \right] + 0,5 \left[-\lambda_{I,T} I_0 + \sum e^{-r_2 t} (\lambda_{B,T-t} B_t - \lambda_{C,T-t} C_t) \right]$$

En d'autres mots, on peut calculer le facteur d'actualisation décroissant en faisant la moyenne de deux facteurs d'actualisation pour chaque période. Par exemple, nous pouvons actualiser avec un taux minimum de 2%. Le taux de préférence temporel est de 3%, donc le taux maximum sera de 4%. Ainsi, le taux d'actualisation de chaque période se calcule comme étant :

$$R_t = \frac{1}{\left[0,5\left[\frac{1}{1+r_1}\right]^t + 0,5\left[\frac{1}{1+r_2}\right]^t\right]^{1/t}} - 1 \quad \text{ou} \quad R_t = \frac{1}{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{1+r_i}\right]^t\right]^{1/t}} - 1$$



Dans le deuxième graphique nous utilisons les taux de 4%, 3,5%, 3%, 2,5% et 2%. En fait, plus le nombre d'intervalles (n) est élevé, plus vite décroît le taux d'actualisation.

Taux d'actualisation décroissant															
t	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
n=2	3,00%	2,95%	2,90%	2,85%	2,81%	2,76%	2,72%	2,68%	2,64%	2,61%	2,57%	2,50%	2,44%	2,39%	2,34%
n=5	3,00%	2,97%	2,95%	2,93%	2,90%	2,88%	2,85%	2,83%	2,81%	2,79%	2,77%	2,72%	2,67%	2,62%	2,59%

Néanmoins, même si la France, l'Angleterre et l'OCDE recommandent de faire décroître les taux d'actualisation, le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada n'émet pas de recommandations claires à ce sujet. En fait, il mentionne qu'il n'y a pas d'unanimité dans la littérature sur les taux décroissants et qu'il faut l'utiliser conjointement avec la méthode des prix implicites. De plus, l'augmentation de la richesse dans le futur annule en partie la nécessité de décroître le taux qui se base sur l'incertitude (la variance plus élevée des estimations) de la croissance future. En ce sens, le taux décroissant ne devrait pas être inférieur à 2% pour le très long terme.

LE RISQUE D'UN PROJET

Dans la partie qui suit, le traitement du risque est introduit par les méthodes des équivalents certains, les taux d'actualisation ajustés pour le risque et la VAN-O. Le Secrétariat du Conseil du Trésor (2007) n'a pas révisé sa position contre l'utilisation de l'ajustement du risque au numérateur ou au dénominateur. En fait, le Conseil propose de prendre en compte le risque à l'aide de simulation Monte-Carlo et d'analyse de sensibilité. Tout de même, nous passerons en revue les dernières propositions théoriques par rapport au traitement du risque.

Le taux d'actualisation économique de 8% comporte une prime de risque moyenne qui peut différer du risque réel du projet. Pour l'analyse de projets publics, Bailey et Jensen (1972), Gollier (2005) et Brean et al. (2005) recommandent de corriger pour la présence du risque propre au projet.

Il existe deux méthodes pour la prise en compte du risque selon le *Capital Asset Pricing Model* (CAPM). Nous pouvons, soit corriger le risque au dénominateur en ajustant le taux d'actualisation à l'aide du *Risk Adjusted Discount Rate* (RADR), ou corriger le numérateur en calculant l'équivalent certain (EC). Ainsi, ces deux méthodes équivalentes nous permettent de corriger pour la présence du risque propre au projet. En fait, la méthode du RADR ajuste le taux d'actualisation pour inclure le risque propre au projet et l'EC déduit une prime de risque au numérateur. En ce sens, on applique la prime de risque plus ou moins grande en fonction de la covariance avec le marché de chaque variable. Finalement, pour raffiner l'analyse du projet nous pouvons utiliser la Valeur Actualisée Nette Optimisée (VAN-O)¹⁵ pour déterminer le risque propre de chaque variable.

¹⁵ BOYER, M., GRAVEL, É., "Évaluation de projets : La valeur actualisée nette optimisée (VAN-O)", *Assurances et gestion des risques*, 74(2), juillet 2006, 163-185.

RADR - Taux d'actualisation ajusté pour le risque

La méthode conventionnelle du RADR évalue la prime de risque en fonction de la covariance entre les rendements du projet et les rendements du marché. Ainsi, nous pouvons calculer le taux d'actualisation ajusté pour le risque en comparant la série temporelle historique du rendement du projet public, ou celle du rendement d'un projet similaire, avec les séries historiques du rendement du marché, par exemple du TSX. De plus, tel que déterminé précédemment, le taux sans risque à utiliser est de 3% et le taux d'actualisation auquel on ajuste pour le risque est de 8%.

$$RADR_j = r_f + \beta_j (r_m - r_f) = r_f + \frac{\text{cov}[r_{j,t}, r_{m,t}]}{\sigma_m^2} \times (r_m - r_f)$$

β_j = le beta de l'actif j

r_m = le taux de rendement du marché

r_f = le taux sans risque

r_j = le taux de rendement de l'actif j

On obtient le beta en régressant :

$$r_{j,t} = \alpha + \beta_j r_{m,t} + \varepsilon_t$$

Ou de façon alternative :

$$\ln(V_{j,t}/V_{j,t-1}) = \alpha + \beta_j \ln(TSX_t/TSX_{t-1}) + \varepsilon_t$$

Le taux d'intérêt ajusté pour le risque (RADR) s'obtient ainsi :

$$RADR_j = R_z + \beta_j (R_m - R_z) = 3\% + \beta_j \times (8\% - 3\%)$$

En ce sens, le risque propre d'un projet peut être pris en considération en actualisant avec le RADR. Si la covariance entre les rendements du projet et les rendements du marché est nulle, nous pouvons actualiser au taux de préférence temporel de 3%. De plus, si le beta est inférieur à 1 nous pouvons actualiser à

un taux inférieur à 8% et s'il est supérieur à 1 le taux d'actualisation sera plus élevé que 8%. Ainsi, on calcule la valeur présente nette d'un projet ainsi :

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{FM_t}{(1 + RADR_j)^t}$$

FM_t = Flux monétaire au temps t

I_0 = Investissement initial

$RADR_j$ = Taux d'intérêt ajusté pour le risque de l'actif j

Dans le cas de l'évaluation d'un projet d'investissement particulier, il arrive souvent qu'il n'y a pas de rendements passés à partir desquels il serait possible de calculer le beta d'un projet. Il faut alors évaluer le beta à partir des rendements de différentes sociétés œuvrant dans le domaine du projet, ou en utilisant l'évolution des prix de l'extrait pour les revenus et les prix des intrants pour les coûts, ou soit une variable proxy du vraie beta du projet en question. En ce sens, il est possible de déterminer plusieurs betas pour les différentes variables d'un projet et ensuite de calculer la VAN-O, soit la valeur actualisée nette optimisée d'un projet d'investissement. Nous reviendrons à la VAN-O pour expliquer l'essence de son utilité dans le contexte de l'analyse de projets.

Il existe d'autres tentatives d'établir le beta d'un projet à partir de données macro-économiques comme le PIB. Nous ne supportons pas l'utilisation de ces méthodes car le taux de croissance réel du PIB est inférieur au taux de rendement des investissements privés et ainsi il devient impossible de calculer le beta et par le fait même, le taux d'intérêt ajusté pour le risque¹⁶.

¹⁶ Selon Brean et al. (2005), pour l'analyse de projets publics, nous devons remplacer les rendements du marché par la croissance du PIB réel. Pour ce faire on ne peut comparer l'évolution du PIB avec l'évolution des revenus nets du projet, mais doit être évalué par rapport à un variable de *proxy* obtenu à l'aide d'un agrégat de la comptabilité nationale. Cet agrégat représente le produit intérieur brut désagrégé du secteur économique du projet. En somme, il suggère de régresser le logarithme de l'agrégat sur le logarithme du PIB pour trouver le beta de l'actif. Cette méthode ad. oc. de calcul du beta en utilisant le PIB et un agrégat représentatif est toutefois qu'une mesure de la santé d'un secteur économique. En fait, Brean ne prends pas en considération le risque propre d'un projet qui dépende de la covariance des rendements, mais compare la croissance du secteur avec la croissance du PIB. Bref, il ne calcule pas le risque propre d'un projet

EC – Équivalent certain

Une autre méthode consiste à enlever une prime de risque au numérateur pour calculer l'équivalent certain et ensuite, d'actualiser au taux sans risque. L'équivalent certain s'explique souvent par l'exemple d'une loterie : Si quelqu'un vous offre un jeu dans lequel il y a deux possibilités de gain. Pour une mise de 50\$ vous pouvez gagner 10\$ ou 100\$, avec une probabilité de 50% pour chaque gain. L'espérance de cette loterie, soit la moyenne des possibilités de «pay-off», est de 45\$, combien seriez-vous prêt à payer pour participer à la loterie? Si par exemple, vous choisissez 40\$, la prime de risque est donc de 5\$.

D'un point de vue opposé, si vous êtes obligé à participer à ce jeu, vous seriez prêt à payer une prime 5\$ pour être sûr que le montant gagné est de 45\$. Donc, l'équivalent certain de ce jeu est de 40\$. Le but de cette technique est de transformer en un montant certain des flux de revenus incertains et d'ensuite les actualiser au taux de préférence pure pour le temps, ou au taux sans risque.

Cette méthode est favorisée par Gollier (2005) pour l'analyse de projets publics. En fait, l'équivalent certain donne la valeur certaine d'un montant futur incertain, que l'on convertit en fonction de l'aversion au risque de l'agent. Ainsi, il définit l'équivalent certain (EC) à l'aide de la fonction d'utilité de l'agent, ou l'aversion pour le risque est le ratio de la dérivée seconde sur la dérivée première de la fonction d'utilité.

Il existe plusieurs fonctions d'utilité, certaines qui offrent une aversion constante pour le risque et d'autres qui offrent une aversion qui diminue avec l'augmentation de la richesse. Ainsi, le choix d'un coefficient d'aversion pour le risque du gouvernement, dépend de notre perception du gouvernement comme étant un milliardaire en termes de revenus, ou comme étant le mandataire de la richesse de 32 millions de citoyens. Bref, l'étendue de la question mérite une attention certaine, mais dépasse le but de cet ouvrage.

Dans cet ordre d'idée, il est plus facile de déterminer l'équivalent certain à l'aide de la formule financière suivante¹⁷ :

$$EC_t = \left(\frac{1+r_f}{1+r_j} \right)^t FM_t$$

FM_t = Flux monétaire au temps t

$r_j = RADR_j$ = Taux d'intérêt ajusté pour le risque de l'actif j

r_f = le taux sans risque

On obtient la prime d'équivalent certain en utilisant :

$$PRIME EC = \left[1 - \left(\frac{1+r_f}{1+r_j} \right)^t \right] FM_t$$

La valeur actualisée nette en équivalent certain VAN(EC) consiste à prendre pour chaque période, l'ensemble des flux monétaires et de retrancher la prime de risque d'équivalent certain. Ensuite, on actualise au taux de préférence temporel ou au taux sans risque l'ensemble des flux monétaires d'équivalent certain FM(EC).

$$VAN(EC) = \sum_{t=0}^T \frac{FM_t - \left[1 - \left(\frac{1+r_f}{1+r_j} \right)^t \right] FM_t}{(1+r_f)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{\left(\frac{1+r_f}{1+r_j} \right)^t FM_t}{(1+r_f)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{FM_t}{(1+r_f)^t} = VAN(RADR)$$

Tableau : Calcul de l'équivalent certain											
temps		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FM		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Prime d'EC		4,63	9,04	13,26	17,27	21,10	24,75	28,24	31,56	34,73	37,75
FM (EC)		95,37	90,96	86,74	82,73	78,90	75,25	71,76	68,44	65,27	62,25
VAN EC	671,01	92,59	85,73	79,38	73,50	68,06	63,02	58,35	54,03	50,02	46,32
VAN 8%	671,01	92,59	85,73	79,38	73,50	68,06	63,02	58,35	54,03	50,02	46,32
a=(1/1,08^t)		0,93	0,86	0,79	0,74	0,68	0,63	0,58	0,54	0,50	0,46
a=(1/1,03^t)		0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,74
aEC=(1,03/1,08)^t		0,95	0,91	0,87	0,83	0,79	0,75	0,72	0,68	0,65	0,62

¹⁷ Brealey, Myers et Laroche (1992), Principes de gestion financière des sociétés, 2eme édition, McGraw Hill, Chapitre 9, p.331

D'une manière alternative on peut transformer la formule du RADR pour qu'elle prenne la forme de l'équivalent certain :

$$VAN = \frac{E[FM] - \frac{\text{cov}[V_t, r_{m,t}]}{\sigma_m^2} E[r_m - r_f]}{1 + r_f}$$

Ainsi, on présente la valeur présente, soit d'un bénéfice ou d'un coût, comme étant sa valeur espérée future, moins une prime de risque provenant de la covariance entre la valeur passé de l'actif et la valeur passé des rendements du marché. Pour cette méthode, au lieu de régresser les rendements passés d'un actif sur les rendements passé du marché, comme pour le RADR, il faut régresser la valeur passé de l'actif j sur les rendements passés du marché :

$$V_{j,t} = \alpha + \beta_{vj} \ln(TSX_t / TSX_{t-1}) + \varepsilon_t$$

Donc la formule précédente peut se réécrire :

$$VAN = \frac{E[FM] - \beta_{vj} E[r_m - r_f]}{1 + r_f}$$

En somme, le RADR et l'EC permettent de prendre en compte le risque dans l'évaluation de projets. Il faut se rappeler l'hypothèse de base que le beta et les différents taux restent stables tout au long de la durée de vie du projet. Si la distribution des risques, ou si les taux évoluent au cours du projet, il faut utiliser l'équivalent certain pour préserver l'unicité du taux d'actualisation.

VAN-O – Valeur actualisée nette optimisée

Pour rendre l'analyse de risque plus fine, nous devons utiliser la VAN-O¹⁸. Pour ce faire, il faut calculer la prime de risque propre à chaque variable : coûts, revenus, surplus du consommateur, etc. Par la suite, on trouve la VAN-O, en faisant la somme de chaque flux actualisé en fonction de son risque propre, en utilisant un taux d'intérêt ajusté pour le risque (RADR) ou un l'équivalent certain (EC). En fait, Boyer et Gravel (2006) expliquent que la VAN traditionnelle viole les principes d'additivité et d'absence d'arbitrage en utilisant un seul taux d'actualisation pour l'ensemble des variables.

Avec l'aide de trois exemples différents, ils démontrent qu'il n'y a pas d'unicité du taux d'actualisation, lorsque le risque propre à chaque variable est différent. Par exemple, ils illustrent la situation où un entrepreneur peut investir dans deux projets de gaz naturel différent, une au coût de 150K\$ qui offre une revenu de 250K\$ et l'autre coûte 400K\$ et rapporterait 500K\$. Bref, les deux rapportent un retour de 100K\$ et si on utilise un taux unique d'actualisation, nous serions indifférents entre les deux investissements. Au taux d'intérêt ajusté pour le risque (RADR) de 15%, la VAN donne 87K pour les deux projets.

Ceci semble absurde intuitivement étant donné l'ampleur plus large du deuxième projet et nous pouvons corriger la situation en utilisant la VAN-O. Faisons l'hypothèse que les coûts sont certains et que seul le prix du gaz varie. Le prix anticipé du gaz est de 1\$/mcf et il existe un contrat à terme (EC) qui permet de vendre du gaz à 0,90\$/mcf. Bref, en actualisant les deux projets au taux sans risque de 5%, la VAN-O du projet 1 est de 71K et celle du projet 2 de 48K. Dans cet ordre d'idée, la VAN-O permet l'utilisation optimale des ressources dans l'économie et ceci montre que les méthodes plus intuitives, tel le retour sur l'investissement (ROI), ont un fondement plus précis, la VAN-O.

¹⁸ BOYER, M., GRAVEL, É., "Évaluation de projets : La valeur actualisée nette optimisée (VAN-O)", *Assurances et gestion des risques*, 74(2), juillet 2006, 163-185.

Simulation Monte Carlo

Dans son guide de l'analyse avantage-coûts¹⁹, le Secrétariat du Conseil du Trésor recommande d'utiliser la simulation Monte Carlo pour la prise en compte du risque d'un projet. En fait, le guide insiste sur le fait que l'analyse doit préalablement mettre l'emphase sur la construction adéquate d'un modèle déterministe de prévision des revenus et des coûts. Il serait inutile de faire des simulations sur un modèle erroné.

La simulation par ordinateur a le grand avantage de pouvoir traiter plusieurs variables (risques) incertaines simultanément, compte tenu des fourchettes et des probabilités de chacune. Il est donc possible de modéliser le résultat probable de l'analyse avantages-coûts d'une façon passablement réaliste... L'analyse de sensibilité est une technique limitée car elle ne peut traiter qu'au plus deux variables à la fois, les autres facteurs devant rester constants. Ce n'est pas le cas de l'analyse de risque, au sens où toutes les variables peuvent fluctuer en même temps²⁰.

En ce sens, la simulation Monte Carlo permet de donner une distribution à l'espérance des différentes variables pour chaque période. Ainsi, différents logiciels (Crystall Ball, @Risk, MatLab) permettent d'effectuer ces simulations en programmant la distribution de chaque variable. Celle-ci peut prendre une loi normale, log-normale, uniforme... ou peut être en palier en fonction de probabilités discrètes. Dans la majeure partie des cas, l'écart-type des estimés peut s'évaluer en fonction de données historiques et ainsi, la distribution du risque doit représenter les résultats de l'analyse statistiques des séries temporelles. Ajouté à cela, il faut se rappeler de programmer la covariance entre les différentes variables, car d'omettre cette opération pourrait créer d'énormes erreurs de mesure.

¹⁹ Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (1998), Guide de l'analyse avantages, *Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada*, 110 p.

²⁰ Ibid. p.71

Il existe différentes fonctions stochastiques pour permettre de générer les trajectoires aléatoires des variables. La plus commune est le mouvement Brownien Géométrique, soit la marche aléatoire avec tendance, qui se définit mathématiquement comme :

$$dV_t = \mu V_t dt + \sigma V_t dW_t$$

V_t = valeur de l'actif au temps t

μ = taux de croissance

σ = volatilité constante de la variable

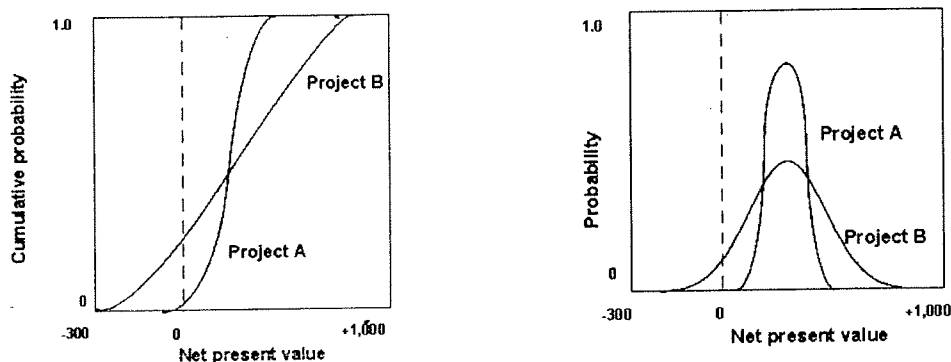
dW_t = une fonction gaussienne standard de moyenne 0 et de variance 1

Ajouté à cela, il est possible de modéliser de mouvements de retours à la moyenne (processus de prix), ou d'utiliser toute autre forme de modélisation couramment appliquée en économétrie (GARCH, Heston...). Ainsi, il en revient à l'analyste de déterminer convenablement la fonction de distribution et le type de mouvement stochastique pour prendre en compte précisément la nature du risque propre à chaque variable.

Dans certains cas, il n'existe pas de données historiques pouvant servir à évaluer la variance des variables. Ainsi, il faut s'en remettre au jugement des spécialistes pour parvenir à déterminer la fourchette de probabilité des estimés. Le guide du Conseil du trésor mentionne la méthode Delphi²¹, où on demande à un comité de fournir une estimation initiale des fourchettes de possibilités. Ensuite, on communique les résultats à l'ensemble des membres du comité et après discussion, chaque membre fait une deuxième estimation. Le processus est réitéré jusqu'à convergence des estimations.

²¹ Ibid. p.85

Après avoir déterminé la fonction de distribution de chaque variable du modèle de prévision, il est désormais possible de lancer le processus de simulation Monte Carlo. Pour la simulation, il est recommandable d'effectuer 100 000 itérations aléatoires pour s'assurer de la précision de la distribution finale de la VAN. Ainsi, on obtient une distribution de la VAN centré sur son espérance, soit la valeur actualisée nette du modèle déterministe.



Source : Secrétariat du Conseil du trésor (1998)

Le graphique ci-haut montre deux projets mutuellement exclusifs ayant la même valeur espérée, mais une distribution différente. Ainsi, le projet B permet une possibilité de rendement plus grande, mais aussi la possibilité de perdre de l'argent, car son écart type est plus élevé. Comparativement, le projet A offre plus de certitude car dans l'ensemble des cas la valeur présente du projet est positive. En somme, le décideur peut comparer ces deux projets à l'aide de la simulation Monte Carlo. S'il est aversif au risque il devrait choisir le projet A, s'il aime le risque il choisirait le projet B et s'il est neutre au risque il serait indifférent entre les deux projets²².

²² «Dans la plupart des cas, l'attitude des gouvernements à l'égard du risque est neutre, ce qui revient à dire qu'ils sont des décideurs rationnels. Les gouvernements ont un vaste portefeuille de projets et de programmes, et peuvent donc agir de façon entièrement rationnelle en étant sûrs, en moyenne, que tout ira bien si les règles de décision sont appliquées rigoureusement. Toutefois, la question d'une contrainte de budget pourrait se poser dans le cas d'un projet unique d'une grande envergure ou politiquement délicat.» Ibid. p.86

CONCLUSION

Dans l'ensemble, la méthode de base pour analyser les projets gouvernementaux consiste à actualiser les flux de coûts et bénéfices avec un taux d'actualisation de 8% réel. Cette méthode est recommandée au Canada par le Secrétariat du Conseil du Trésor. Toute analyse de projet public devrait faire une première analyse avec ce taux avant de poursuivre avec d'autres méthodes.

Une méthode alternative consiste à appliquer le prix implicite ajusté à l'ensemble des coûts du projet et d'actualiser avec le taux de préférence temporel de 3%. De plus, s'il y a complémentarité des bénéfices du projet public avec le secteur privé, les bénéfices du projet devraient être ajustés par le coefficient de prix implicite pour en tenir compte. Finalement, dans une situation de sous-emploi du capital dans l'économie, par exemple en période de récession, il est possible de corriger le coefficient de prix implicite ajusté en réduisant la part de l'éviction de l'investissement. Ainsi, la méthode du prix implicite permet plus de flexibilité.

Dans cet ordre d'idée, l'analyste de projets public devrait entamer son analyse en actualisant les flux réels de coûts et bénéfices à 8%. Si le projet est rentable avec cette méthode, il devrait être mis en place par le gouvernement et il n'y a pas lieu de poursuivre les calculs. En fait, la méthode de prix implicite devrait être utilisée pour prendre en compte certaines situations particulières de complémentarité, de sous-utilisation du capital, ou pour calculer des projets sur des horizons très éloignés avec les taux décroissants. Nous recommandons, de l'utiliser en deuxième lieu, car peu de fonctionnaires sont outillés pour comprendre un tel niveau de complexité. En fait, cette méthode n'est pas répandue au Canada, nos fonctionnaires sont plutôt habitués aux analyses faites à partir du taux d'actualisation économique.

Finalement, le traitement du risque peut se faire à l'aide du taux d'actualisation ajusté pour le risque (RADR) ou de l'équivalent certain (EC). Pour rendre une analyse plus fine, l'analyste devrait calculer la VAN-O qui se base sur le principe d'additivité pour décomposer les différents flux en variables indépendantes de risque. Ceci permet de résoudre le problème concernant l'unicité du taux d'actualisation. Tout de même, le Secrétariat du Conseil du Trésor propose plutôt que l'analyse d'un modèle déterministe au taux réel de 8%, représente actuellement la base sur laquelle devrait se fonder la majorité des décisions gouvernementales. Ajouté à cela, ils recommandent la simulation Monte Carlo pour analyser la distribution de la VAN du projet et ainsi, prendre en compte le risque global en termes de probabilité de VAN négative.

Tout de même, reste que la simulation *Monte Carlo* peut se coupler avec différentes méthodologies pour permettre une analyse plus fine de la valeur réelle d'un projet. Parmi ces techniques, la *valeur d'options réelles* (VOR) représente certainement une option très intéressante. La VOR permet de modéliser la flexibilité d'un projet et de l'intégrer dans la simulation Monte Carlo. Ainsi, il est possible de programmer le comportement d'une entreprise pour qu'il soit reproduit lors de la simulation. Par exemple, une entreprise minière fermerait la mine, si le prix du marché descend en dessous du coût de production. Donc, il est possible de programmer la simulation pour qu'elle tienne compte de cette réalité. En somme, la VOR serait plus grande que la VAN, car l'option de fermer la mine fait en sorte que l'espérance de la valeur du projet, n'est plus la moyenne de tous les scénarios (VAN), mais la moyenne de tous les scénarios positifs (VOR).

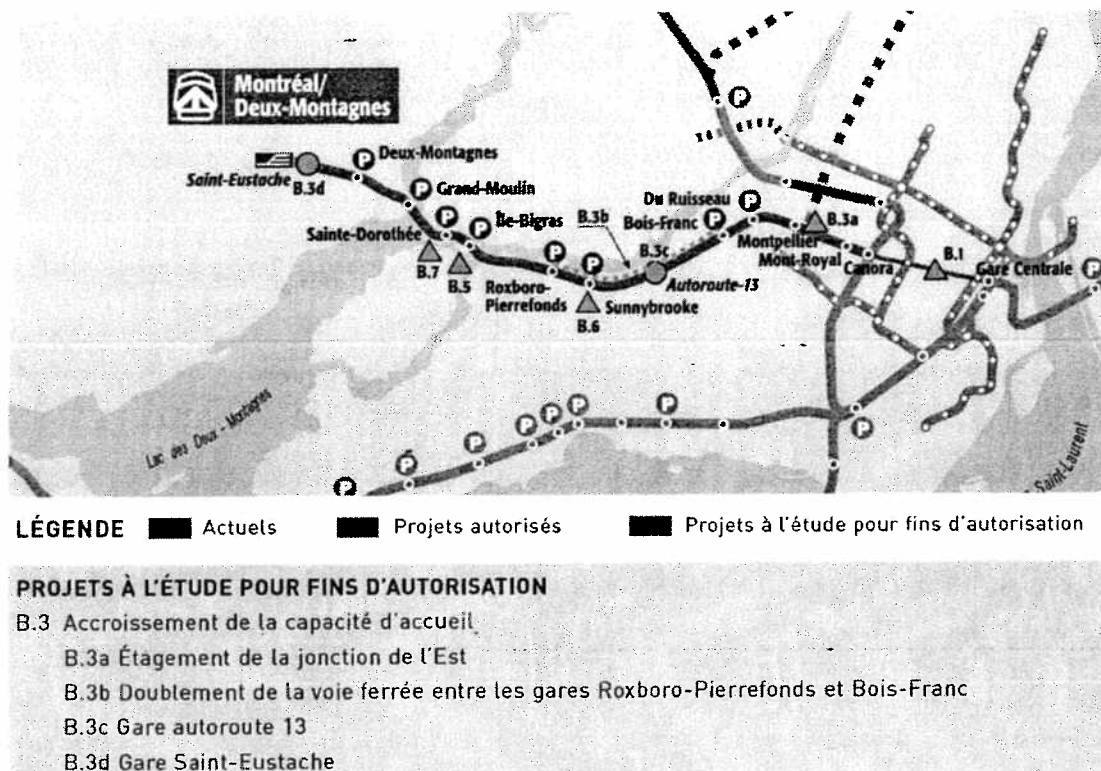
EXEMPLE:

INVESTISSEMENT DANS UN TRAIN DE BANLIEUE

La ligne de train de banlieue Montréal – Deux-Montagnes a été modernisée par le Ministère des Transports du Québec entre 1992 et 1995. Ainsi, 300 millions de dollars ont été investis pour remettre le service de train en place. Depuis 2005, le train Montréal – Deux-Montagnes a atteint sa capacité maximum, avec un achalandage annuel total de 7 760 000 passagers. D'après les études de l'Agence Métropolitaine de Transport (AMT), il faudrait investir 173 millions en trois ans, pour faire passer la capacité de transport de 30 000 à 40 000 passagers par jour. Dans cet ordre d'idée, est-il économiquement rentable d'investir 173 millions de dollars, pour augmenter la capacité du train Montréal – Deux-Montagnes de 10 000 passagers par jour?

Dans l'ensemble, les investissements nécessaires de 173 millions sont divisés en cinq parties. L'Agence Métropolitaine de Transports prévoit l'achat de 3 locomotives et de 22 wagons de passagers pour un coût de 108 millions. Ajouté à cela, la construction d'une gare à proximité de l'autoroute 13 au nord de l'île de Montréal nécessite un investissement de 9,7 millions. De même, pour augmenter l'achalandage provenant de la rive Nord, la gare de St-Eustache requiert un investissement de 6,4 millions. De plus, l'étagement de la jonction de l'est implique un investissement de 16,2 millions. Pour terminer, le doublement de la voie entre les gares de Roxboro-Pierrefonds et Bois-Franc demande un investissement de 32,7 millions. En somme, ces investissements seraient réalisés de 2006 jusqu'en 2008 et le service augmenterait sa capacité d'accueil à partir de 2009.

Carte des investissements



Source : Plan triennal d'investissement 2004 – 2005 - 2006

L'analyse économique du projet d'accroissement de la capacité du train de banlieue Montréal – Deux-Montagnes se divise en six parties. En premier lieu, le modèle économique est présenté pour définir la fonction d'utilité du projet. En deuxième lieu, l'analyse de la prévision de l'achalandage est expliquée. En troisième lieu, les coûts d'investissement et les prévisions de coûts variables sont exposés. En quatrième lieu, il y a un compte rendu de l'ensemble des revenus économiques soit, les revenus financiers, le surplus du consommateur, la pollution économisée et la valeur résiduelle. En cinquième lieu, la valeur actualisée nette est soumise en fonction des différents taux d'actualisation. Finalement, une analyse de sensibilité et une analyse de risque explique les variations possibles de la valeur actualisée nette du projet.

Le Modèle

Le but de cette analyse est de calculer la valeur économique du projet d'accroissement de la capacité du train Montréal – Deux-Montagnes. Pour ce faire, la valeur actualisée nette des revenus et coûts incrémentaux permet de calculer la rentabilité économique de ce projet.

$$VAN = \left[\sum_{t=1}^{25} \frac{R_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^{25} \frac{SUR_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^{25} \frac{POL_t}{(1+i)^t} + \frac{RES_{26}}{(1+i)^{26}} - \sum_{t=1}^3 \frac{CI_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^{25} \frac{CV_t}{(1+i)^t} \right]$$

R_t = Revenu d'utilisation

SUR_t = Surplus du consommateur

POL_t = Valeur de la pollution économisée

RES_t = Valeur résiduelle du projet après 25 ans

CI_t = Coût d'investissement

CV_t = Coût variable

Le temps de construction pour les infrastructures et de livraison du matériel roulant est de trois ans. Ainsi, les revenus et coûts variables incrémentaux sont nuls pour les trois premières années. De plus, la durée de vie du projet est de 25 ans et la valeur résiduelle des investissements se calcule après cette période, lors de la 26^{ème} année. Dans l'ensemble, ces revenus et coûts sont actualisés aux taux d'actualisation de 4%, 8%²³, 10% et 12%. Bref, la VAN pour chaque variable, ainsi que la VAN totale, est calculé en fonction de ces taux. L'ensemble des variables est représenté en dollar réels, soit en dollars constants de 2006 tout au long de ce rapport.

²³ Taux d'actualisation recommandé par le Secrétariat du Conseil du Trésor (2007)

Achalandage

Le train de banlieue reliant Montréal à Deux-Montagnes à été inauguré en 1996 et connu une forte croissance les 2 premières années de fonctionnement. Ensuite, la croissance s'est stabilisée pour le reste de la période pour plafonner en 2005. Ainsi, pour établir des prévisions sur l'achalandage futur, la régression suivante a été effectuée :

$$Y = \alpha + \beta_1 t + \beta_2 (\Delta IPU - \Delta \text{prix})$$

Pour cette régression, la variable dépendante de l'achalandage (Y) est expliquée par les variables indépendantes du temps (t) et de la différence en points de pourcentage, entre la croissance de l'indice des prix de l'utilisation d'une automobile et la croissance des prix du train (Annexe D). Cette régression offre un R^2 ajusté de 0,951 et un test de f de 79,241 significatif à 0,000. De plus, l'hypothèse $H_0 : \beta_1 = 0$ est réfutée pour l'hypothèse $H_1 : \beta_1 \neq 0$ parce que le test de t est de 12,115 est significatif à 0,000. De même, l'hypothèse $H_0 : \beta_2 = 0$ est aussi réfutée pour l'hypothèse $H_1 : \beta_2 \neq 0$ parce que le test de t est significatif à 0,023. Donc, pour les deux β , les hypothèses H_0 sont rejetées dans un intervalle de confiance de 95%.

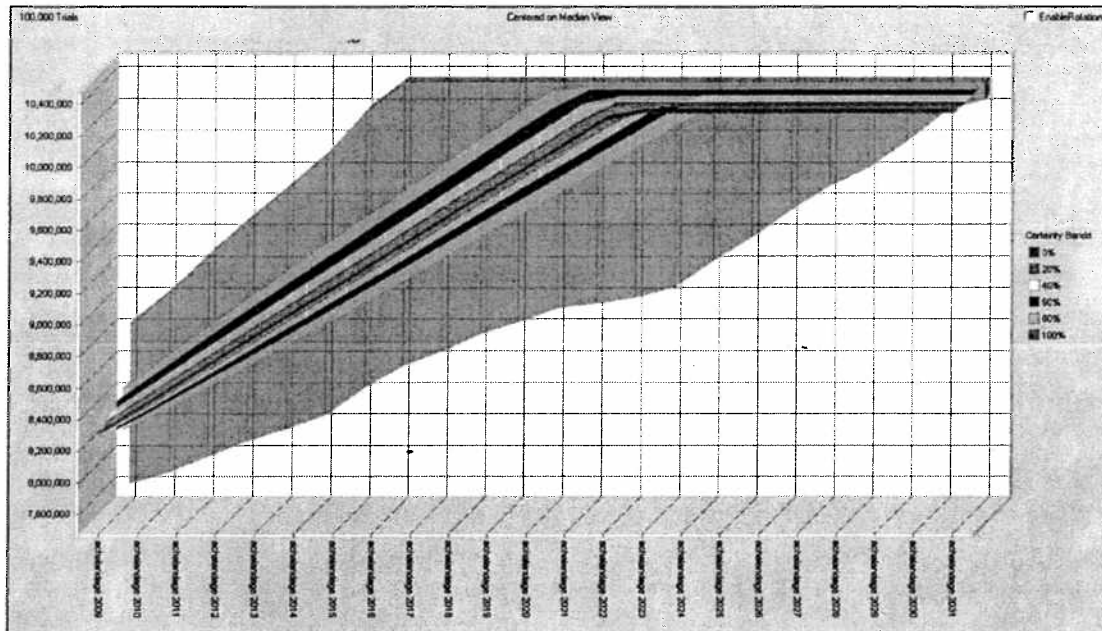
$$\hat{Y} = 6437926 + 153177,3 * t + 23257,4 * (\Delta IPU - \Delta \text{prix})$$
$$se\alpha(71873,8) + se\beta_1(12643,4) + se\beta_2(7685,2)$$

Tableau : Achalandage

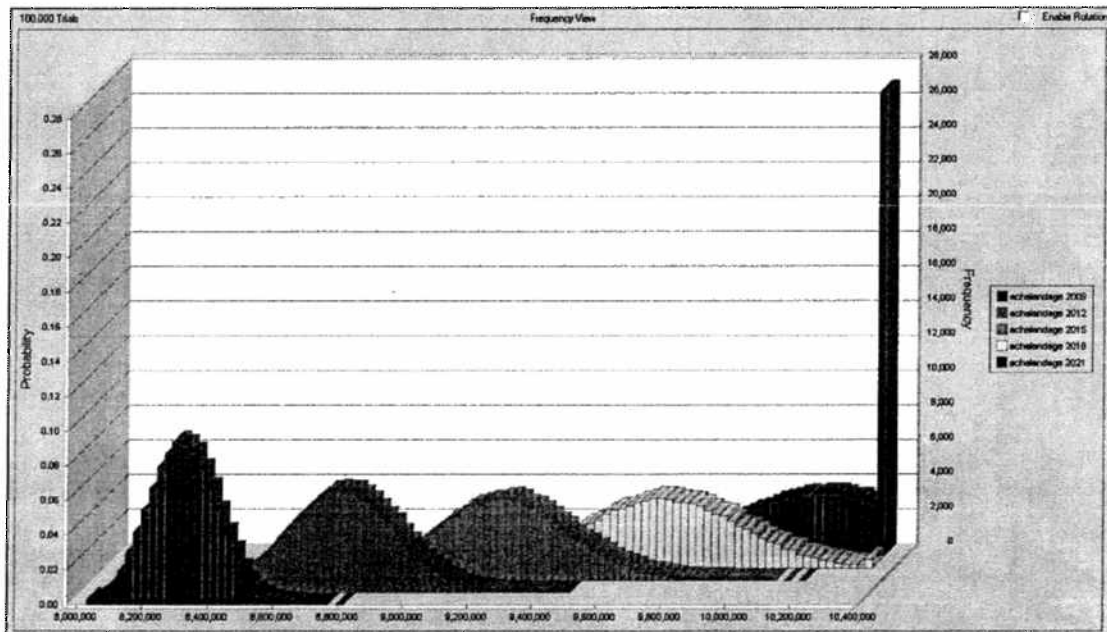
Achalandage				
année	achalandage	achalandage avec inv.	achalandage avec max.	achalandage sans inv.
1998	6 423 000	6 628 915	6 628 915	6 423 000
1999	6 791 217	6 782 093	6 782 093	6 791 217
2000	7 219 607	6 935 270	6 935 270	7 219 607
2001	7 023 300	7 088 447	7 088 447	7 023 300
2002	7 232 800	7 241 624	7 241 624	7 232 800
2003	7 456 119	7 394 802	7 394 802	7 456 119
2004	7 508 581	7 547 979	7 547 979	7 508 581
2005	7 760 000	7 701 156	7 760 000	7 760 000
2006	7 760 000	7 854 334	7 760 000	7 760 000
2007		8 007 511	7 760 000	7 760 000
2008		8 160 688	7 760 000	7 760 000
2009		8 313 866	8 313 866	7 760 000
2010		8 467 043	8 467 043	7 760 000
2011		8 620 220	8 620 220	7 760 000
2012		8 773 397	8 773 397	7 760 000
2013		8 926 575	8 926 575	7 760 000
2014		9 079 752	9 079 752	7 760 000
2015		9 232 929	9 232 929	7 760 000
2016		9 386 107	9 386 107	7 760 000
2017		9 539 284	9 539 284	7 760 000
2018		9 692 461	9 692 461	7 760 000
2019		9 845 639	9 845 639	7 760 000
2020		9 998 816	9 998 816	7 760 000
2021		10 151 993	10 151 993	7 760 000
2022		10 305 170	10 305 170	7 760 000
2023		10 458 348	10 346 667	7 760 000
2024		10 611 525	10 346 667	7 760 000
2025		10 764 702	10 346 667	7 760 000
2026		10 917 880	10 346 667	7 760 000
2027		11 071 057	10 346 667	7 760 000
2028		11 224 234	10 346 667	7 760 000
2029		11 377 412	10 346 667	7 760 000
2030		11 530 589	10 346 667	7 760 000
2031		11 683 766	10 346 667	7 760 000

En ce qui à trait à la prévision de l'achalandage, la variable temps (t) est comprise entre $1 \leq t \leq 34$. De plus, la variable $(\Delta IPU - \Delta \text{prix})$ est produite par un mouvement géométrique de retour à la moyenne de 1,6258 avec une déviation standard de 4,5. En ce sens, l'extrapolation des résultats suivants a été faite à l'aide d'une simulation Monte Carlo de 100 000 essais, dans un intervalle de confiance de 95%.

Graphique : Tendence de l'achalandage



Graphique : Distribution de l'achalandage



Coûts d'investissement

Le train de banlieue Montréal – Deux-Montagnes a atteint sa capacité maximum avec 7,7 millions de passagers par année. Pour augmenter sa capacité d'accueil, l'AMT propose d'investir 173,9 millions de dollars en trois ans. Ainsi, ceci comporte l'investissement de 108 millions dans l'achat de trois locomotives et vingt-deux wagons de passagers. Cet ajout en matériel roulant, ne suffit pas nécessairement pour accroître l'achalandage total, à cause des limites posées par les infrastructures présentes.

En ce sens, il faut investir à la construction de deux nouvelles gares pour augmenter la capacité d'accueil. Ainsi, pour palier au problème de stationnement de la gare de Deux-Montagnes, l'AMT propose de construire une gare au nord de l'autoroute 640, à St-Eustache : «Ce projet consiste à aménager deux quais (dalles de béton, éclairage, abris, mobilier), un stationnement (terrain, fondation, pavage, éclairage, accès), et de prolonger la deuxième voie ferrée de la gare de Deux-Montagnes jusqu'au nord de cette gare sur 0,7 km (fondation, rail, signalisation ferroviaire, électrification)²⁴». Pour ce faire, il est nécessaire d'investir 3,5 millions en 2007 et 2,9 millions en 2008, ce qui donne un total de 6,385 millions pour construire cette gare.

De plus, l'Agence métropolitaine de transport projette de construire une gare à proximité de l'autoroute 13, au nord de Montréal. Ainsi, pour répondre à la demande futur provenant de : «la ville de Laval, (qui) a le projet de développer le secteur comprenant le quadrant sud-est du carrefour de l'autoroute 13 avec le boulevard Samson²⁵», la gare de l'autoroute 13 serait accompagné d'un stationnement incitatif de 2000 places. Bref, il faut investir 7,8 millions en 2007 et de 1,9 millions en 2008, soit un total de 9,7 millions, pour construire cette gare.

²⁴ Plan triennal d'investissement 2006-2007-2008, *Agence métropolitaine de transport*, 2006, p.37

²⁵ *Ibid.*, p.37

Ajouté à cela, pour éviter les conflits avec les trains de marchandise du CN et ainsi augmenter le nombre de train, il faut étager la jonction de l'Est. L'étagement de cette jonction : «consiste à aménager une structure pour étager le croisement de voies, des voies temporaires électrifiés de déviation pour maintenir le service et de nouvelles voies électrifiées sur la structure²⁶». Donc, la construction de l'étagement comporte des coûts de 1,5 millions en 2006, 8,3 millions en 2007 et 6,4 millions en 2008, pour un total de 16,2 millions.

Finalement, il est essentiel d'effectuer le doublement de la voie ferrée entre Roxboro-Pierrefonds et Bois-Franc, pour éviter les conflits de rencontre des trains sur la voie simple. En ce sens : «le projet consiste à doubler les voies en aménageant une voie ferrée additionnelle sur 7,5 km (fondation, rail, signalisation ferroviaire, électrification²⁷». Ce projet d'une valeur de 32,7 millions nécessite un investissement de 11 millions en 2006 et de 21,7 millions en 2007.

Tableau : Coûts d'investissement

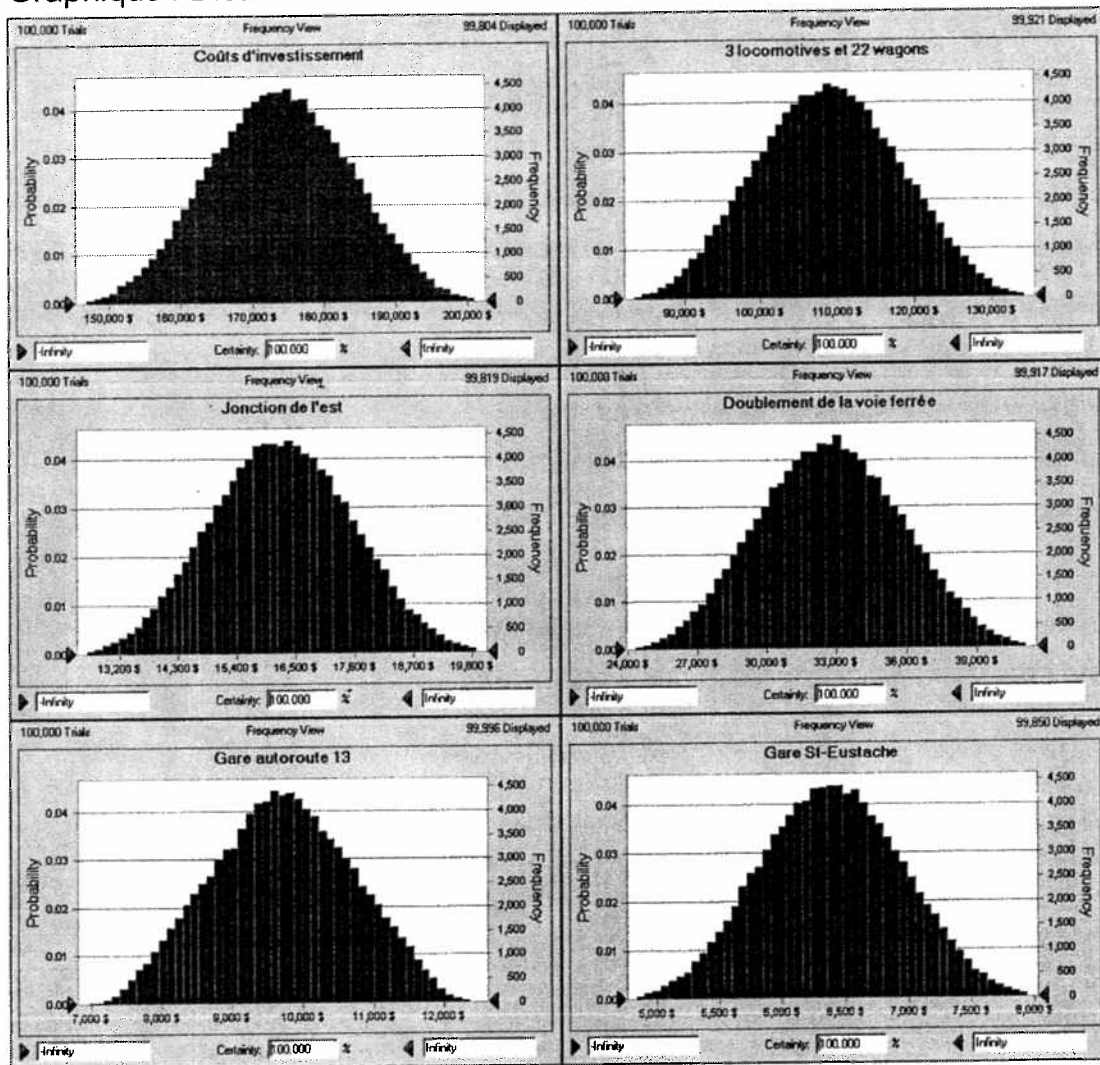
Coûts d'investissement (en milliers de \$ constants de 2006)						
année	3 locomotives et 22 wagons	Jonction de l'est	Doublement de la voie ferrée	Gare autoroute 13	Gare St-Eustache	Total
2006	15 380 \$	1 500 \$	11 000 \$	- \$	- \$	27 880 \$
2007	25 640 \$	8 300 \$	21 710 \$	7 790 \$	3 450 \$	66 890 \$
2008	67 730 \$	6 430 \$	- \$	1 910 \$	2 935 \$	79 005 \$
Total	108 750 \$	16 230 \$	32 710 \$	9 700 \$	6 385 \$	173 775 \$

Dans l'ensemble, l'AMT indique que le niveau de précision de ces estimés est de +/- 30%. Ainsi, dans la construction du modèle de risque, deux types de distribution ont été pris en considération. La première, consiste en une distribution triangulaire avec minimum et maximum. Dans ce cas, la probabilité de chaque investissement, est centrée sur le coût moyen. La deuxième, est représentée par une distribution uniforme, pour chaque possibilité de coût, par année d'investissement.

²⁶ Plan triennal d'investissement 2006-2007-2008, Agence métropolitaine de transport, 2006, p.36

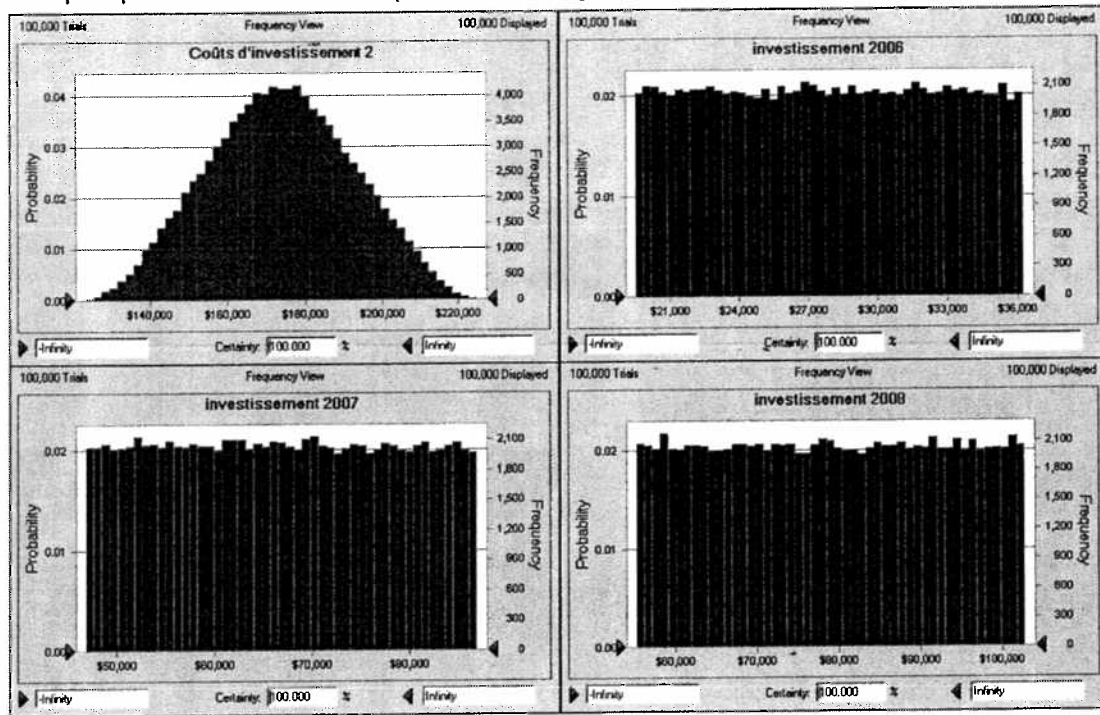
²⁷ Ibid. p.36

Graphique : Distribution centré sur le coût médian



Pour le premier cas, chaque investissement est divisé en deux ou trois années, tel que montré dans le tableau des coûts d'investissement. Ainsi, le montant annuel de chaque investissement, s'est vu appliqué une distribution triangulaire de type minimum/maximum à 30%. Bref, ces graphiques représentent la distribution du coût total de chaque investissement.

Graphique : Distribution à probabilité égale par année



Pour le deuxième cas, une distribution par année a été appliquée pour augmenter au maximum la probabilité de dépassement de coût. En fait, lorsque la variance uniforme était appliquée pour chaque coût par année, on constate un élargissement de la distribution finale des coûts. Ainsi, en limitant le nombre de points de variance le deuxième graphique des coûts d'investissement montre une distribution plus vaste que le graphique des coûts d'investissement précédent. Par contre, la valeur actualisée nette demeure la même pour les deux cas proposés.

	VAN 4%	VAN 8%	VAN 10%	VAN 12%
TOTAL	165 242 \$-	157 549 \$-	153 982 \$-	150 586 \$-

Coûts variables

Les coûts variables de chaque année sont disponibles en dollars courants dans le budget 2006 de l'Agence métropolitaine de transport²⁸. Ces derniers ont été transféré en dollars constant de 2006 avec les données de l'indice des prix à la consommation fournies par Statistique Canada. Ainsi, pour établir les prévisions sur les coûts, la régression suivante a été effectuée :

$$Y = \alpha + \beta(\text{achalandage})$$

Donc, pour cette régression de la variable dépendante des coûts (Y) en fonction de l'achalandage, on obtient un R^2 ajusté de 0,624. De plus, la statistique du test de f de 14,28 est significative à 0,007. Quant à l'hypothèse $H_0 : \beta = 0$, elle est réfuté pour l'hypothèse $H_1 : \beta \neq 0$ parce que le test de t est de 3,779, significatif à 0,007. En ce sens, la variable de l'achalandage est significative dans un intervalle de confiance de 95%.

$$\hat{Y} = 12914,8 + 0,00291 * (\text{achalandage})$$
$$se\alpha(4398,6) + se\beta(0,001)$$

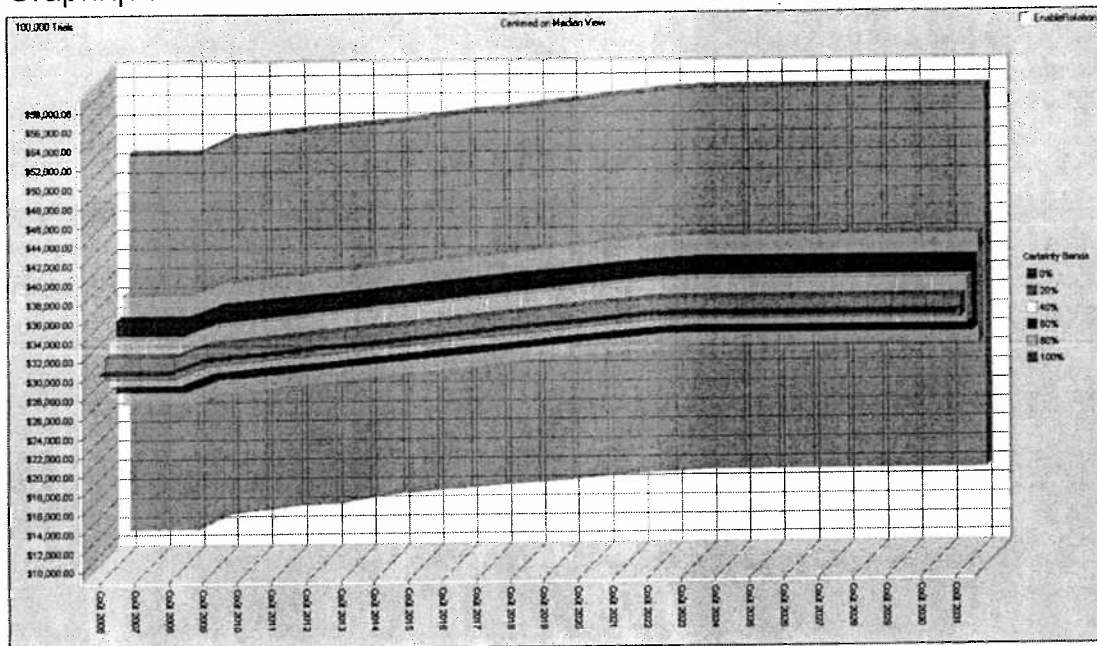
De plus, les données estimées par cette régression sont disponibles dans le tableau suivant. Ainsi, on trouve les coûts réels, les coûts régressés en fonction de l'achalandage réel et les coûts régressés en fonction de l'achalandage prévu. Aussi, il y a les coûts prévus si le projet n'est pas accepté, de même que la différence entre la prévision de coûts avec et sans le projet. En d'autres mots, cette différence représente les coûts incrémentaux du projet.

²⁸ Budget d'exploitation 2006, Agence métropolitaine de transport, 2005, p.41

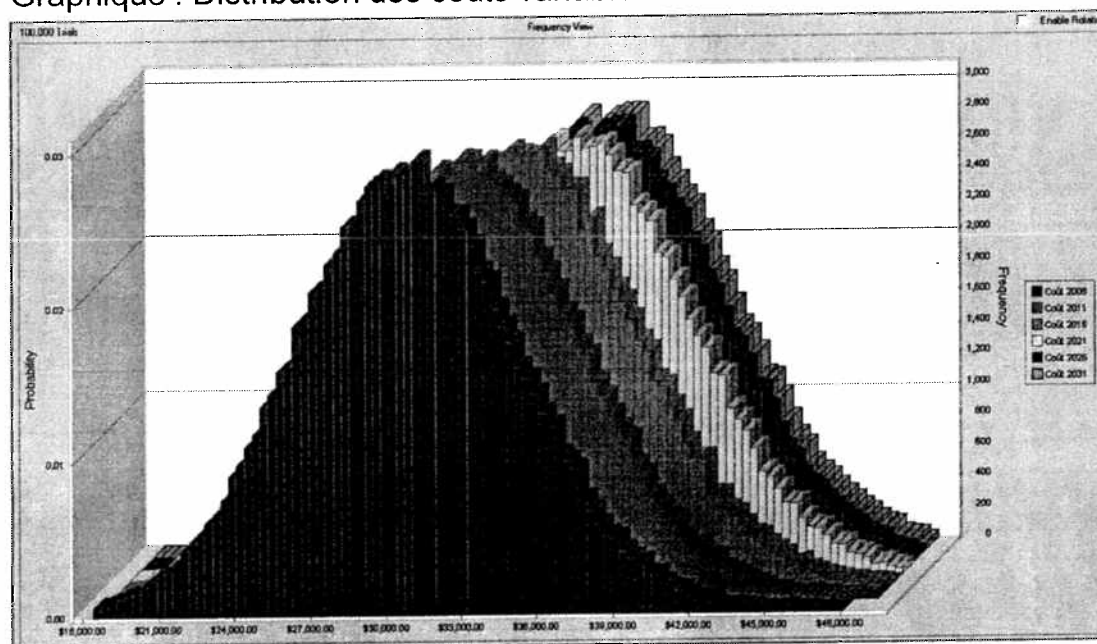
Tableau : Coûts variables

Coûts variables (en milliers de \$ constants de 2006)							
Année	Achalandage	Achaland. Prévu	Coûts	Coûts (ach.)	Coûts (ach. Prévu)	Coûts sans projet	différence
1998	6 423 000	6 590 502	27 493 \$	27 630 \$	28 014 \$	28 014 \$	- \$
1999	6 791 217	6 744 954	28 719 \$	28 474 \$	28 368 \$	28 368 \$	- \$
2000	7 219 607	6 899 073	28 568 \$	29 455 \$	28 721 \$	28 721 \$	- \$
2001	7 023 300	7 049 752	29 162 \$	29 005 \$	29 066 \$	29 066 \$	- \$
2002	7 232 800	7 203 826	30 280 \$	29 485 \$	29 419 \$	29 419 \$	- \$
2003	7 456 119	7 359 198	28 809 \$	29 997 \$	29 775 \$	29 775 \$	- \$
2004	7 508 581	7 510 262	31 177 \$	30 117 \$	30 121 \$	30 121 \$	- \$
2005	7 760 000	7 760 000	30 687 \$	30 693 \$	30 693 \$	30 693 \$	- \$
2006	7 760 000	7 760 000	30 685 \$	30 693 \$	30 693 \$	30 693 \$	- \$
2007		7 760 000			30 693 \$	30 693 \$	- \$
2008		7 760 000			30 693 \$	30 693 \$	- \$
2009		8 313 866			31 962 \$	30 693 \$	1 269 \$
2010		8 467 043			32 313 \$	30 693 \$	1 620 \$
2011		8 620 220			32 664 \$	30 693 \$	1 971 \$
2012		8 773 397			33 015 \$	30 693 \$	2 322 \$
2013		8 926 575			33 366 \$	30 693 \$	2 673 \$
2014		9 079 752			33 717 \$	30 693 \$	3 024 \$
2015		9 232 929			34 068 \$	30 693 \$	3 374 \$
2016		9 386 107			34 418 \$	30 693 \$	3 725 \$
2017		9 539 284			34 769 \$	30 693 \$	4 076 \$
2018		9 692 461			35 120 \$	30 693 \$	4 427 \$
2019		9 845 639			35 471 \$	30 693 \$	4 778 \$
2020		9 998 816			35 822 \$	30 693 \$	5 129 \$
2021		10 151 993			36 173 \$	30 693 \$	5 480 \$
2022		10 305 170			36 524 \$	30 693 \$	5 831 \$
2023		10 346 667			36 619 \$	30 693 \$	5 926 \$
2024		10 346 667			36 619 \$	30 693 \$	5 926 \$
2025		10 346 667			36 619 \$	30 693 \$	5 926 \$
2026		10 346 667			36 619 \$	30 693 \$	5 926 \$
2027		10 346 667			36 619 \$	30 693 \$	5 926 \$
2028		10 346 667			36 619 \$	30 693 \$	5 926 \$
2029		10 346 667			36 619 \$	30 693 \$	5 926 \$
2030		10 346 667			36 619 \$	30 693 \$	5 926 \$
2031		10 346 667			36 619 \$	30 693 \$	5 926 \$

Graphique : Tendence des coûts variables

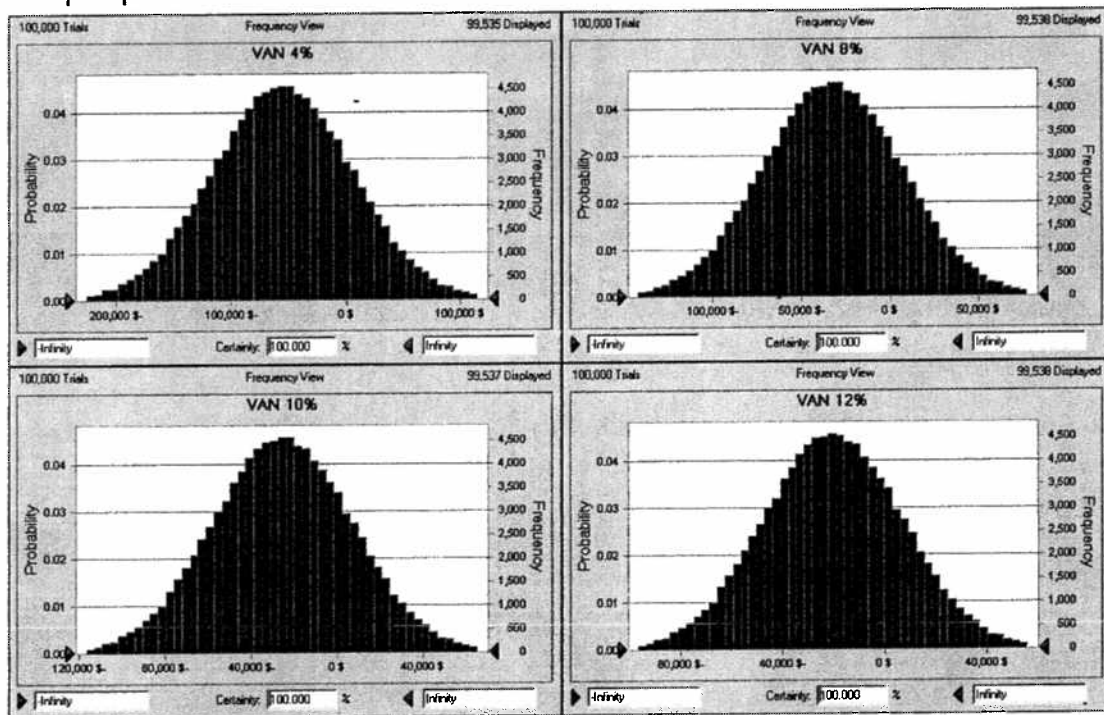


Graphique : Distribution des coûts variables



Les deux graphiques précédents montrent la tendance et la distribution de la projection des coûts dans le futur. Ainsi, ils démontrent les valeurs présent en compte pour calculer de la VAN totale. Les graphiques ci-dessous, quant à eux, montrent la VAN des coûts incrémentaux. De plus, les différentes VAN moyennes sont exposés au bas des graphiques.

Graphique : Valeur actualisée nette des coûts incrémentaux



	VAN 4%	VAN 8%	VAN 10%	VAN 12%
TOTAL	56 021 \$-	32 854 \$-	25 826 \$-	20 629 \$-

Revenus

Les revenus de chaque année sont disponibles en dollars courants dans le budget 2006²⁹ de l'Agence métropolitaine de transport. Ces derniers ont été transférés en dollars constant de 2006 avec les données de l'indice des prix à la consommation fournies par Statistique Canada. Ainsi, pour établir les prévisions sur les revenus, la régression suivante a été effectuée :

$$Y = \alpha + \beta(\text{achalandage})$$

Donc, pour cette régression de la variable dépendante des revenus (Y) en fonction de l'achalandage, on obtient un R^2 ajusté de 0,840. De plus, la statistique du test de f de 43,04 est significative à 0,000. Quant à l'hypothèse $H_0 : \beta = 0$, elle est réfutée pour l'hypothèse $H_1 : \beta \neq 0$ parce que le test de t est de 6,561, significatif à 0,000. En ce sens, la variable de l'achalandage est significative dans un intervalle de confiance de 95%.

$$\hat{Y} = -17634,3 + 0,004398 * (\text{achalandage})$$
$$se\alpha(4862,4) + se\beta(0,001)$$

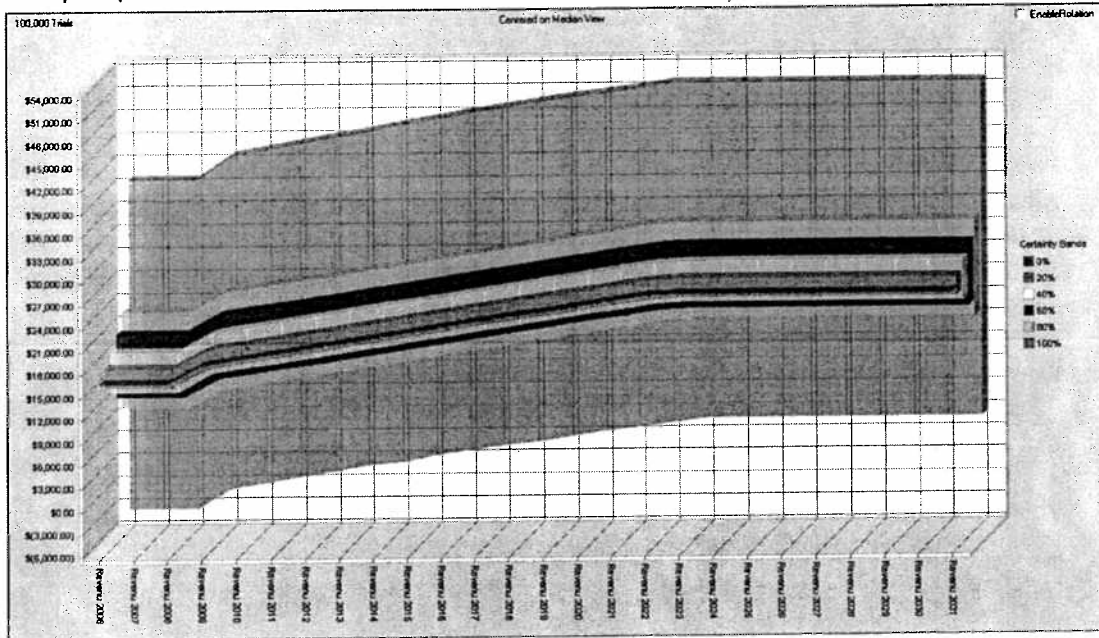
De plus, les données estimées par cette régression sont disponibles dans le tableau suivant. Ainsi, on trouve les revenus réels, les revenus régressés en fonction de l'achalandage réel et les revenus régressés en fonction de l'achalandage prévu. Aussi, il y a les revenus prévus si le projet n'est pas accepté, de même que la différence entre la prévision de revenus avec et sans le projet. En d'autres mots, cette différence représente les revenus incrémentaux.

²⁹ Budget d'exploitation 2006, Agence métropolitaine de transport, 2005, p.41

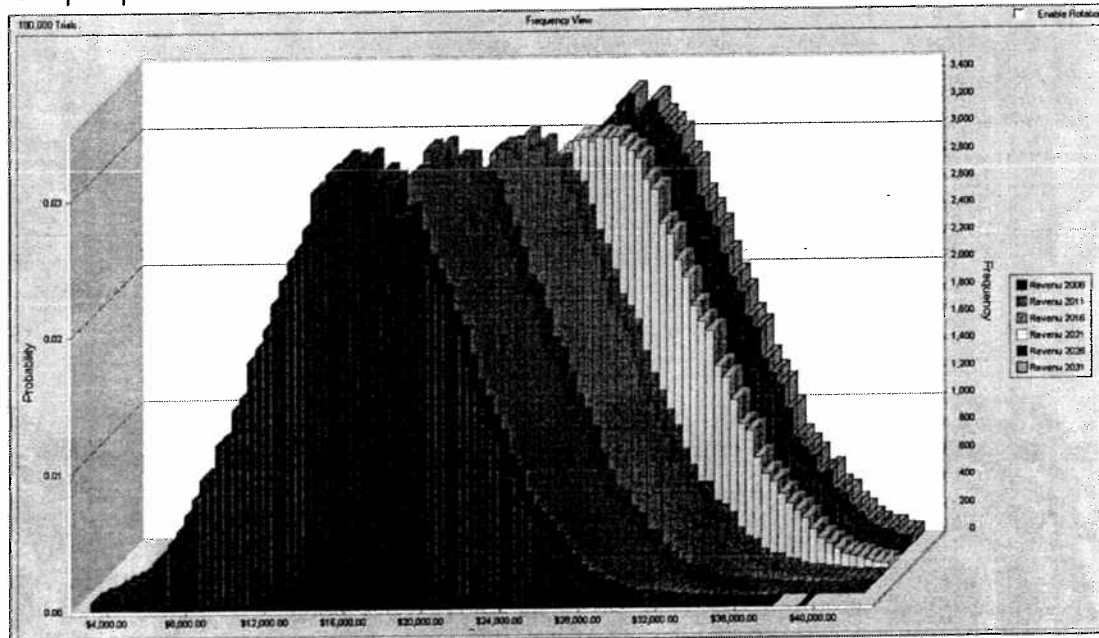
Tableau : Revenus

Revenus (en milliers de \$ constants de 2006)							
Année	Achalandage	Achaland. Prévu	Revenus	Rev. (ach.)	Rev. (ach. Prévu)	Rev. sans projet	différence
1998	6 423 000	6 590 502	11 177 \$	10 885 \$	11 622 \$	11 622 \$	- \$
1999	6 791 217	6 744 954	13 048 \$	12 504 \$	12 301 \$	12 301 \$	- \$
2000	7 219 607	6 899 073	13 570 \$	14 389 \$	12 979 \$	12 979 \$	- \$
2001	7 023 300	7 049 752	13 714 \$	13 525 \$	13 642 \$	13 642 \$	- \$
2002	7 232 800	7 203 826	13 592 \$	14 447 \$	14 319 \$	14 319 \$	- \$
2003	7 456 119	7 359 198	14 122 \$	15 429 \$	15 002 \$	15 002 \$	- \$
2004	7 508 581	7 510 262	16 557 \$	15 659 \$	15 667 \$	15 667 \$	- \$
2005	7 760 000	7 760 000	17 080 \$	16 765 \$	16 765 \$	16 765 \$	- \$
2006	7 760 000	7 760 000	17 492 \$	16 765 \$	16 765 \$	16 765 \$	- \$
2007		7 760 000			16 765 \$	16 765 \$	- \$
2008		7 760 000			16 765 \$	16 765 \$	- \$
2009		8 313 866			19 201 \$	16 765 \$	2 436 \$
2010		8 467 043			19 875 \$	16 765 \$	3 110 \$
2011		8 620 220			20 548 \$	16 765 \$	3 783 \$
2012		8 773 397			21 222 \$	16 765 \$	4 457 \$
2013		8 926 575			21 896 \$	16 765 \$	5 131 \$
2014		9 079 752			22 569 \$	16 765 \$	5 804 \$
2015		9 232 929			23 243 \$	16 765 \$	6 478 \$
2016		9 386 107			23 917 \$	16 765 \$	7 152 \$
2017		9 539 284			24 590 \$	16 765 \$	7 825 \$
2018		9 692 461			25 264 \$	16 765 \$	8 499 \$
2019		9 845 639			25 938 \$	16 765 \$	9 173 \$
2020		9 998 816			26 611 \$	16 765 \$	9 846 \$
2021		10 151 993			27 285 \$	16 765 \$	10 520 \$
2022		10 305 170			27 959 \$	16 765 \$	11 194 \$
2023		10 346 667			28 141 \$	16 765 \$	11 376 \$
2024		10 346 667			28 141 \$	16 765 \$	11 376 \$
2025		10 346 667			28 141 \$	16 765 \$	11 376 \$
2026		10 346 667			28 141 \$	16 765 \$	11 376 \$
2027		10 346 667			28 141 \$	16 765 \$	11 376 \$
2028		10 346 667			28 141 \$	16 765 \$	11 376 \$
2029		10 346 667			28 141 \$	16 765 \$	11 376 \$
2030		10 346 667			28 141 \$	16 765 \$	11 376 \$
2031		10 346 667			28 141 \$	16 765 \$	11 376 \$

Graphique : Tendence des revenus

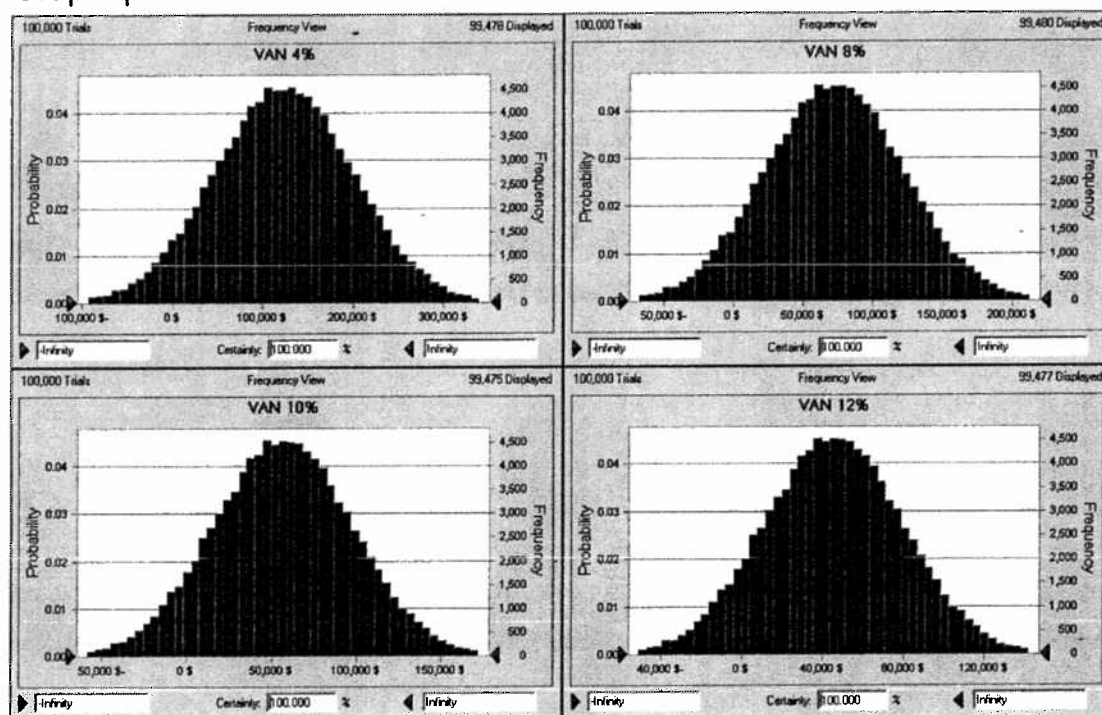


Graphique : Distribution des revenus



Les deux graphiques précédents montrent la tendance et la variance de la projection des revenus dans le futur. Ainsi, ils démontrent les valeurs présentes en compte pour la projection des revenus dans le temps pour calculer de la VAN totale. Les graphiques ci-dessous, quant à eux, montrent la VAN des revenus incrémentaux avec taxes. De plus, les différentes VAN moyennes sont exposées au bas des graphiques.

Graphique : Valeur actualisée nette des revenus incrémentaux avec taxes



	VAN 4%	VAN 8%	VAN 10%	VAN 12%
TOTAL	122 551 \$	71 870 \$	56 496 \$	45 128 \$

Coûts & revenus

En comparant l'évolution des coûts à celle des revenus, on constate qu'il y a une plus forte croissance de la part des revenus. En ce sens, le ratio d'auto financement qui est à 55% au début du projet, passerait à 77% à partir de l'année 2022. Bref, cette amélioration du rapport entre les revenus et coûts, montre clairement le redressement de la situation financière relié à l'acceptation du projet de train.

Tableau : Incrémental des coûts et revenus

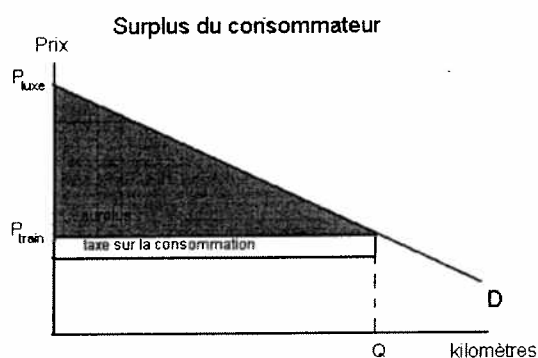
Tableau incrémental de coûts et revenus (en milliers de \$ constants de 2006)										
Année	Achalandage	Avec le projet			Sans le projet			Incrémental		
		Coûts	Revenus	Ratio	Coûts	Revenus	Ratio	Coûts	Revenus + taxes	Ratio
2006	7760000	30 693 \$	16 765 \$	55%	30 693 \$	16 765 \$	55%	- \$	- \$	0%
2007	7760000	30 693 \$	16 765 \$	55%	30 693 \$	16 765 \$	55%	- \$	- \$	0%
2008	7760000	30 693 \$	16 765 \$	55%	30 693 \$	16 765 \$	55%	- \$	- \$	0%
2009	8313866	31 962 \$	19 201 \$	60%	30 693 \$	16 765 \$	55%	1 269 \$	2 815 \$	5%
2010	8467043	32 313 \$	19 875 \$	62%	30 693 \$	16 765 \$	55%	1 620 \$	3 593 \$	7%
2011	8620220	32 664 \$	20 548 \$	63%	30 693 \$	16 765 \$	55%	1 971 \$	4 372 \$	8%
2012	8773397	33 015 \$	21 222 \$	64%	30 693 \$	16 765 \$	55%	2 322 \$	5 150 \$	10%
2013	8926575	33 366 \$	21 896 \$	66%	30 693 \$	16 765 \$	55%	2 673 \$	5 929 \$	11%
2014	9079752	33 717 \$	22 569 \$	67%	30 693 \$	16 765 \$	55%	3 024 \$	6 707 \$	12%
2015	9232929	34 068 \$	23 243 \$	68%	30 693 \$	16 765 \$	55%	3 374 \$	7 486 \$	14%
2016	9386107	34 418 \$	23 917 \$	69%	30 693 \$	16 765 \$	55%	3 725 \$	8 264 \$	15%
2017	9539284	34 769 \$	24 590 \$	71%	30 693 \$	16 765 \$	55%	4 076 \$	9 043 \$	16%
2018	9692461	35 120 \$	25 264 \$	72%	30 693 \$	16 765 \$	55%	4 427 \$	9 821 \$	17%
2019	9845639	35 471 \$	25 938 \$	73%	30 693 \$	16 765 \$	55%	4 778 \$	10 600 \$	19%
2020	9998816	35 822 \$	26 611 \$	74%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 129 \$	11 378 \$	20%
2021	10151993	36 173 \$	27 285 \$	75%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 480 \$	12 157 \$	21%
2022	10305170	36 524 \$	27 959 \$	77%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 831 \$	12 935 \$	22%
2023	10346667	36 619 \$	28 141 \$	77%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 926 \$	13 146 \$	22%
2024	10346667	36 619 \$	28 141 \$	77%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 926 \$	13 146 \$	22%
2025	10346667	36 619 \$	28 141 \$	77%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 926 \$	13 146 \$	22%
2026	10346667	36 619 \$	28 141 \$	77%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 926 \$	13 146 \$	22%
2027	10346667	36 619 \$	28 141 \$	77%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 926 \$	13 146 \$	22%
2028	10346667	36 619 \$	28 141 \$	77%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 926 \$	13 146 \$	22%
2029	10346667	36 619 \$	28 141 \$	77%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 926 \$	13 146 \$	22%
2030	10346667	36 619 \$	28 141 \$	77%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 926 \$	13 146 \$	22%
2031	10346667	36 619 \$	28 141 \$	77%	30 693 \$	16 765 \$	55%	5 926 \$	13 146 \$	22%

Surplus du consommateur

Le surplus du consommateur représente la différence entre le prix à payer et le prix que le consommateur serait prêt à payer pour un bien précis. Ainsi, «la nécessité d'utiliser le surplus du consommateur vient du fait que le prix du marché d'un bien représente imparfaitement la valeur du bien pour le consommateur³⁰». Dans cet ordre d'idée :

Le concept de surplus du consommateur est un élément essentiel de l'analyse avantages-coûts moderne. Ils ont été définis pour la première fois en 1844 par Jules Dupuit, un ingénieur français, qui a déclaré que le prix du marché équivalait en fait à l'avantage social minimum produit par les extrants d'un projet. En fait, certains consommateurs seraient disposés à payer des extrants plus cher qu'ils ne le font en réalité.³¹

La surface sous la courbe de demande montre le maximum que les consommateurs seraient prêts à payer pour utiliser le bien proposé. Dans le cas présent, la demande Marshallienne est utilisée parce que c'est elle qui est observée sur le marché.



³⁰ MARTIN, F. (2005), Évaluation de projets publics, *Faculté des arts et des sciences, département de sciences économiques*, chap.4, p.4

³¹ Secrétariat Conseil du Trésor du Canada (1998), Guide d'analyse d'avantage, *Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, Juillet*, p.29

Le surplus du consommateur engendré par projet de train, ne considère pas la perte de surplus des automobilistes ; parce que le poids relatif des nouveaux usagers du train n'est pas suffisant, pour avoir une influence sur les prix réels du marché de l'automobile. Ainsi, le changement du surplus du consommateur de l'automobiliste «n'a pas d'interprétation de bien-être, mais seulement un changement de dépendance vis-à-vis (l'automobile)³²».

Dans le cadre de l'évaluation du projet de train, le surplus du consommateur a été calculé en utilisant la demande en kilomètre pour le train de banlieue. Donc, en multipliant le nombre de passages, par le nombre de kilomètres moyen de 19 km³³, on obtient le kilométrage total. Ainsi, on obtient le kilométrage incrémental, en soustrayant le kilométrage sans projet au kilométrage total avec le projet.

Ajouté à cela, deux méthodes sont utilisées pour définir les valeurs maximums que les utilisateurs seraient prêts à payer. Le surplus constant est calculé en utilisant les valeurs au kilomètre de 2006, tandis que le surplus croissant utilise des valeurs projetées dans le futur. Il faut se rappeler que l'indice des prix du transport évolue plus rapidement que le prix du train. De plus, le prix pour un kilomètre de train a été évalué en fonction des revenus au kilomètre de l'AMT. Pour ce qui est du coût au kilomètre maximum d'une automobile, il a été déterminé en utilisant les valeurs de *DesRosiers Automotive Consultants inc.*³⁴. Ajouté à cela, l'évolution des prix de l'automobile et du train a été ajustée pour l'inflation et demeure en dollars constants de 2006.

³² MARTIN, F. (2005), Évaluation de projets publics, *Faculté des arts et des sciences, département de sciences économiques*, chap.4, p.17

³³ Fourni par Paul Dorval, Directeur de la division des trains chez AMT.

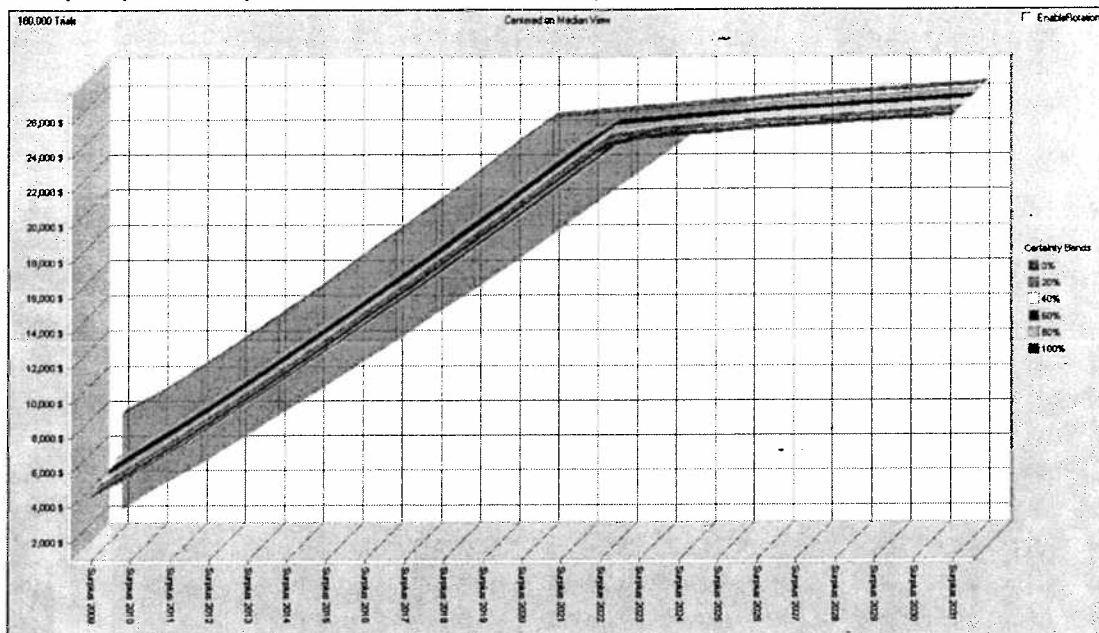
³⁴ DESROSIERS, D. (2001), Total cost of ownership, *DesRosiers Automotive Reports* - Vol. 15, Issue 13, July 15

Tableau : Surplus du consommateur

Surplus du consommateur (en milliers de \$ constants de 2006)							
année	KM SANS	KM AVEC	KM INCRÉMENTAL	train/Km	Auto luxe/km	Surplus	Surplus constant
2006	147440000	147440000	0	0,1186 \$	0,7160 \$	- \$	- \$
2007	147440000	147440000	0	- \$	0,7268 \$	- \$	- \$
2008	147440000	147440000	0	- \$	0,7372 \$	- \$	- \$
2009	147440000	157963445	10523445	0,1216 \$	0,7470 \$	4 643 \$	4 566 \$
2010	147440000	160873814	13433814	0,1235 \$	0,7563 \$	6 013 \$	5 828 \$
2011	147440000	163784183	16344183	0,1255 \$	0,7652 \$	7 416 \$	7 091 \$
2012	147440000	166694551	19254551	0,1273 \$	0,7737 \$	8 849 \$	8 354 \$
2013	147440000	169604920	22164920	0,1291 \$	0,7818 \$	10 310 \$	9 617 \$
2014	147440000	172515289	25075289	0,1308 \$	0,7895 \$	11 798 \$	10 879 \$
2015	147440000	175425657	27985657	0,1325 \$	0,7969 \$	13 310 \$	12 142 \$
2016	147440000	178336026	30896026	0,1341 \$	0,8040 \$	14 846 \$	13 405 \$
2017	147440000	181246395	33806395	0,1357 \$	0,8108 \$	16 404 \$	14 667 \$
2018	147440000	184156763	36716763	0,1372 \$	0,8173 \$	17 982 \$	15 930 \$
2019	147440000	187067132	39627132	0,1387 \$	0,8236 \$	19 579 \$	17 193 \$
2020	147440000	189977501	42537501	0,1401 \$	0,8296 \$	21 194 \$	18 456 \$
2021	147440000	192887870	45447870	0,1415 \$	0,8354 \$	22 827 \$	19 718 \$
2022	147440000	195798238	48358238	0,1428 \$	0,8410 \$	24 475 \$	20 981 \$
2023	147440000	196586673	49146673	0,1441 \$	0,8463 \$	25 058 \$	21 323 \$
2024	147440000	196586673	49146673	0,1454 \$	0,8515 \$	25 234 \$	21 323 \$
2025	147440000	196586673	49146673	0,1466 \$	0,8565 \$	25 405 \$	21 323 \$
2026	147440000	196586673	49146673	0,1478 \$	0,8613 \$	25 569 \$	21 323 \$
2027	147440000	196586673	49146673	0,1489 \$	0,8660 \$	25 728 \$	21 323 \$
2028	147440000	196586673	49146673	0,1501 \$	0,8705 \$	25 882 \$	21 323 \$
2029	147440000	196586673	49146673	0,1512 \$	0,8748 \$	26 031 \$	21 323 \$
2030	147440000	196586673	49146673	0,1522 \$	0,8790 \$	26 175 \$	21 323 \$
2031	147440000	196586673	49146673	0,1533 \$	0,8831 \$	26 314 \$	21 323 \$

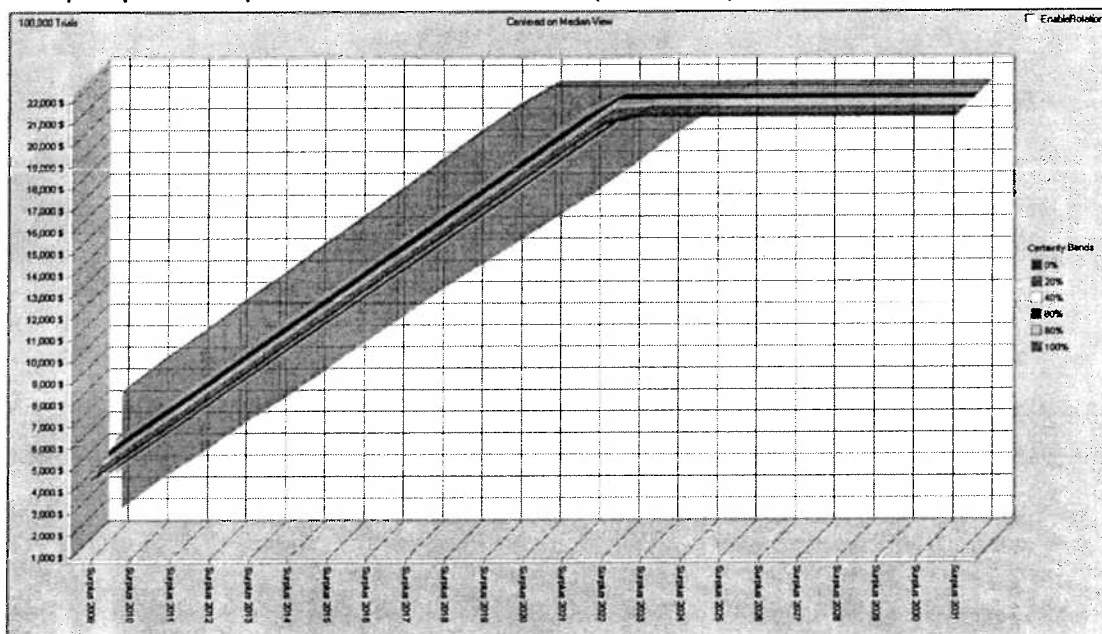
Somme toute, le surplus du consommateur représente la valeur libérée par un changement de consommation. En fait, le surplus démontre ce que les gens seraient prêts à payer pour le train et dénote ainsi, jusqu'où le gouvernement pourrait subventionner le projet. Bref, avec une VAN de 138 millions de dollars à 8% de taux d'actualisation, le surplus du consommateur représente exactement la subvention de 75% du Ministère des Transports.

Graphique : Surplus du consommateur (croissant)



	VAN 4%	VAN 8%	VAN 10%	VAN 12%
TOTAL	231 722 \$	134 319 \$	104 980 \$	83 388 \$

Graphique : Surplus du consommateur (constant)



	VAN 4%	VAN 8%	VAN 10%	VAN 12%
TOTAL	201 575 \$	118 213 \$	92 925 \$	74 228 \$

Pollution

L'évaluation de la valeur de la pollution est produite en fonction de la table d'analyse de HBL Decision Economics inc.³⁵, disponible sur le site web de Transport Canada. Ainsi, en utilisant les tables d'émissions au kilomètre, il a été possible d'évaluer la quantité de pollution économisée chaque année. Ensuite, il a été possible d'utiliser leurs tables de coûts par polluants pour calculer le coût total de la pollution économisée. Ajouté à cela, la table de coûts utilisée par DeNocker & al.³⁶ a aussi été prise en considération, pour donner un autre aperçu de la valeur de la pollution sauvée.

Tableau : Coût de la pollution

Coût de la pollution (en milliers de \$ constants de 2006)				
coût	Estimation médiane	Limite inférieure de 10 %	Limite supérieure de 10 %	Coût DeNocker L. & al.
COV	1 229 \$	615 \$	2 458 \$	- \$
CO	123 \$	61 \$	184 \$	4 \$
NOx	1 229 \$	615 \$	6 145 \$	24 389 \$
SOx	615 \$	307 \$	2 458 \$	22 513 \$
PM10	1 229 \$	615 \$	6 145 \$	46 033 \$
CO2	31 \$	12 \$	123 \$	38 \$

Source : HBL Decision Economics & DeNocker & al.

Tableau : Émissions de polluants en grammes par kilomètres

Émission de polluants en grammes par kilomètre									
émission	2005			2010			2020		
	auto	camionnette	auto diesel	auto	camionnette	auto diesel	auto	camionnette	auto diesel
COV	0,54748	0,70316	0,25208	0,35366	0,43227	0,25931	0,27579	0,30479	0,26907
CO	5,13711	5,57498	0,67593	3,71323	3,77966	0,68471	2,91717	2,89251	0,69669
NOx	0,62086	0,73239	0,65099	0,36392	0,46748	0,6472	0,20294	0,29177	0,65844
SOx	0,00356	0,00188	0,04352	0,00357	0,02837	0,04185	0,00358	0,02756	0,04078
PM10	0,00304	0,00346	0,06907	0,00303	0,00337	0,0624	0,00303	0,13389	0,06214
CO2	0,23364	0,31388	0,273	0,21476	0,30444	0,273	0,19588	0,28792	0,273

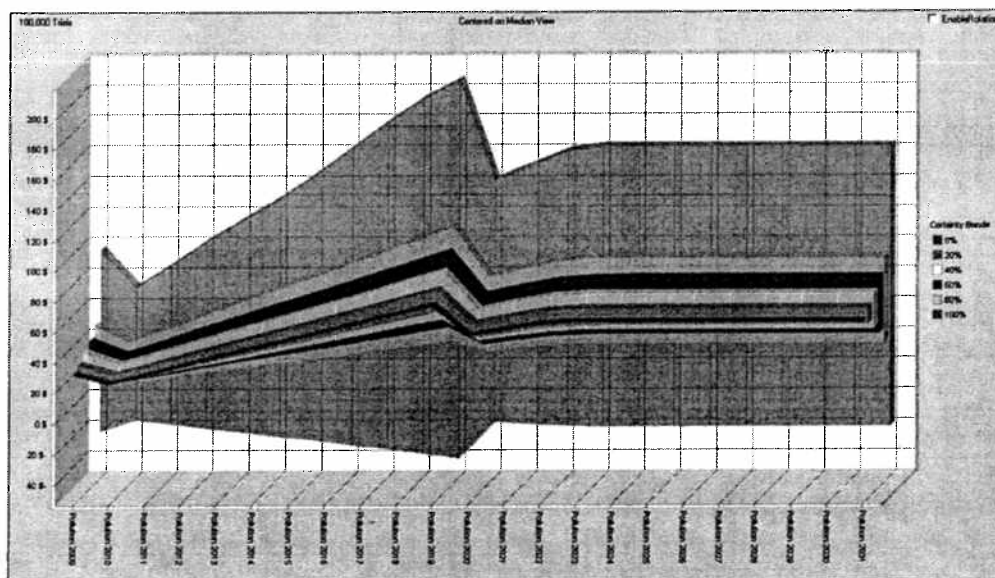
Source : HBL Decision Economics

³⁵ HBL Decision Economics inc, Modèle coûts-avantages appliqué à l'évaluation de projets d'investissement dans les transports publics et les routes, 23 janvier 2002

³⁶ DENOCKER & al.,(1999) Externe kosten van elektriciteitsproductie in België, *W.P. VITO*.

Tableau : Valeur de la pollution

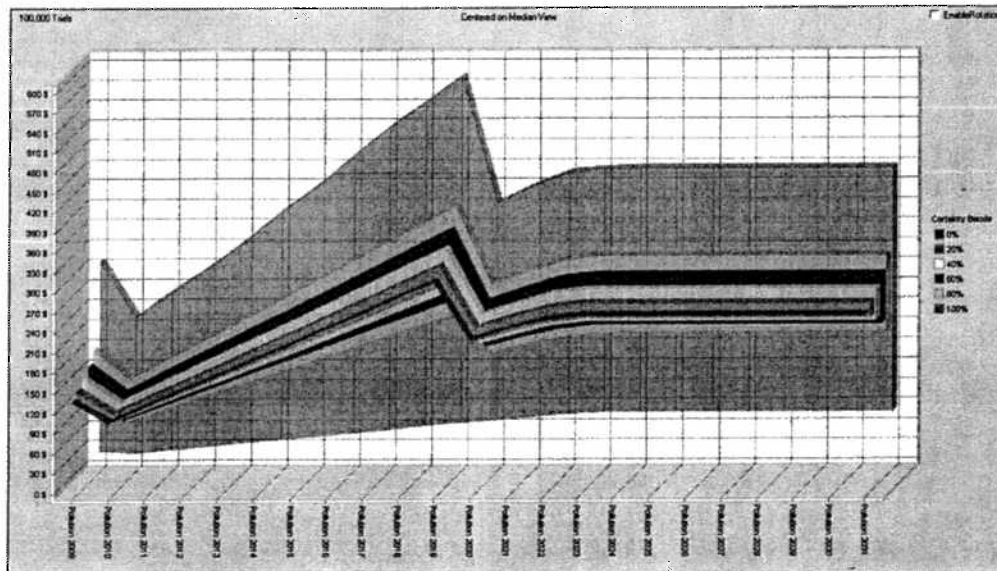
Valeur de la pollution non-produite (en milliers de \$ constants de 2006)							
année	KM INCRÉMENTAL	passagers/auto			Coût de la pollution		
		1,2	1,6	1,75	1,2	1,6	1,75
2009	10523445	8769538	6577153	6013397	19 \$	14 \$	13 \$
2010	13433814	11194845	8396134	7676465	16 \$	12 \$	11 \$
2011	16344183	13620152	10215114	9339533	19 \$	14 \$	13 \$
2012	19254551	16045459	12034095	11002601	22 \$	17 \$	15 \$
2013	22164920	18470767	13853075	12665669	26 \$	19 \$	18 \$
2014	25075289	20896074	15672055	14328736	29 \$	22 \$	20 \$
2015	27985657	23321381	17491036	15991804	32 \$	24 \$	22 \$
2016	30896026	25746688	19310016	17654872	36 \$	27 \$	24 \$
2017	33806395	28171996	21128997	19317940	39 \$	29 \$	27 \$
2018	36716763	30597303	22947977	20981008	42 \$	32 \$	29 \$
2019	39627132	33022610	24766958	22644076	46 \$	34 \$	31 \$
2020	42537501	35447917	26585938	24307143	36 \$	27 \$	24 \$
2021	45447870	37873225	28404918	25970211	38 \$	29 \$	26 \$
2022	48358238	40298532	30223899	27633279	41 \$	30 \$	28 \$
2023	49146673	40955561	30716671	28083813	41 \$	31 \$	28 \$
2024	49146673	40955561	30716671	28083813	41 \$	31 \$	28 \$
2025	49146673	40955561	30716671	28083813	41 \$	31 \$	28 \$
2026	49146673	40955561	30716671	28083813	41 \$	31 \$	28 \$
2027	49146673	40955561	30716671	28083813	41 \$	31 \$	28 \$
2028	49146673	40955561	30716671	28083813	41 \$	31 \$	28 \$
2029	49146673	40955561	30716671	28083813	41 \$	31 \$	28 \$
2030	49146673	40955561	30716671	28083813	41 \$	31 \$	28 \$
2031	49146673	40955561	30716671	28083813	41 \$	31 \$	28 \$



	VAN 4%	VAN 8%	VAN 10%	VAN 12%
TOTAL	457 \$	278 \$	222 \$	181 \$

Tableau : Valeur de la pollution DeNocker

Tableau de la valeur de la pollution non-produite De Nocker & al. (en milliers de \$ constants de 2006)							
année	KM INCRÉMENTAL	passagers/auto			Coût de la pollution		
		1,2	1,6	1,75	1,2	1,6	1,75
2009	10523445	8769538	6577153	6013397	138 \$	104 \$	95 \$
2010	13433814	11194845	8396134	7676465	107 \$	80 \$	74 \$
2011	16344183	13620152	10215114	9339533	131 \$	98 \$	89 \$
2012	19254551	16045459	12034095	11002601	154 \$	115 \$	105 \$
2013	22164920	18470767	13853075	12665669	177 \$	133 \$	121 \$
2014	25075289	20896074	15672055	14328736	200 \$	150 \$	137 \$
2015	27985657	23321381	17491036	15991804	223 \$	168 \$	153 \$
2016	30896026	25746688	19310016	17654872	247 \$	185 \$	169 \$
2017	33806395	28171996	21128997	19317940	270 \$	202 \$	185 \$
2018	36716763	30597303	22947977	20981008	293 \$	220 \$	201 \$
2019	39627132	33022610	24766958	22644076	316 \$	237 \$	217 \$
2020	42537501	35447917	26585938	24307143	229 \$	172 \$	157 \$
2021	45447870	37873225	28404918	25970211	245 \$	184 \$	168 \$
2022	48358238	40298532	30223899	27633279	261 \$	195 \$	179 \$
2023	49146673	40955561	30716671	28083813	265 \$	199 \$	182 \$
2024	49146673	40955561	30716671	28083813	265 \$	199 \$	182 \$
2025	49146673	40955561	30716671	28083813	265 \$	199 \$	182 \$
2026	49146673	40955561	30716671	28083813	265 \$	199 \$	182 \$
2027	49146673	40955561	30716671	28083813	265 \$	199 \$	182 \$
2028	49146673	40955561	30716671	28083813	265 \$	199 \$	182 \$
2029	49146673	40955561	30716671	28083813	265 \$	199 \$	182 \$
2030	49146673	40955561	30716671	28083813	265 \$	199 \$	182 \$
2031	49146673	40955561	30716671	28083813	265 \$	199 \$	182 \$



	VAN 4%	VAN 8%	VAN 10%	VAN 12%
TOTAL	3 055 \$	1 875 \$	1 506 \$	1 229 \$

Valeur résiduelle

La valeur résiduelle des investissements est calculée à la fin de la dernière période. Ainsi, la valeur résiduelle des infrastructures est évaluée lors de la 26^{ème} année, pour permettre leurs utilisations pendant la 25^{ème} année. En ce sens, l'Agence métropolitaine de transport recommande d'amortir linéairement, les infrastructures sur 20 ans et le matériel roulant neuf sur 40 ans³⁷. Le doublement de la voie ferrée entre Roxboro-Pierrefonds et Bois-Franc est amorti plus tôt, car elle est terminée en 2007.

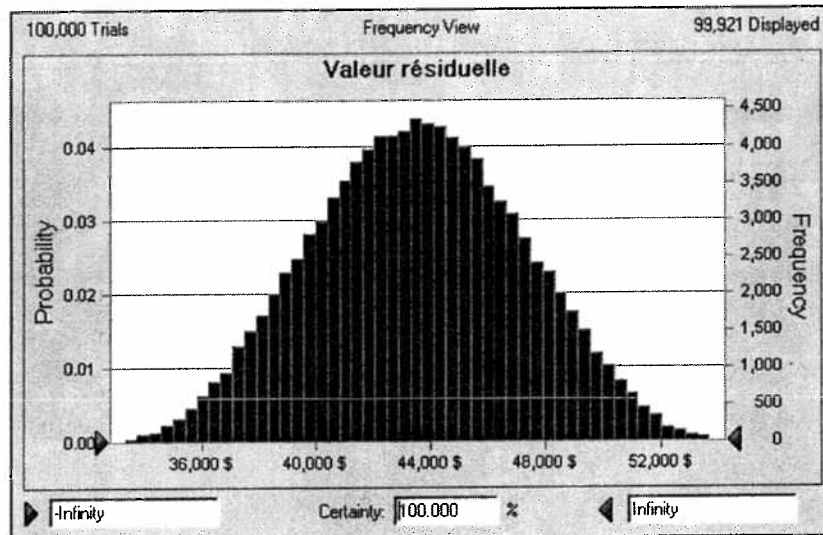
Tableau : Valeur résiduelle

Valeur résiduelle (en milliers de \$ constants de 2006)						
année	3 locomotives et 22 w.	Jonction de l'est	Doublement de voie	Gare autoroute	Gare St-Eust.	Total
2007	- \$	- \$	32 710 \$	- \$	- \$	32 710 \$
2008	108 750 \$	16 230 \$	31 075 \$	9 700 \$	6 385 \$	172 140 \$
2009	106 031 \$	15 419 \$	29 439 \$	9 215 \$	6 066 \$	166 170 \$
2010	103 313 \$	14 607 \$	27 804 \$	8 730 \$	5 747 \$	160 200 \$
2011	100 594 \$	13 796 \$	26 168 \$	8 245 \$	5 427 \$	154 230 \$
2012	97 875 \$	12 984 \$	24 533 \$	7 760 \$	5 108 \$	148 260 \$
2013	95 156 \$	12 173 \$	22 897 \$	7 275 \$	4 789 \$	142 290 \$
2014	92 438 \$	11 361 \$	21 262 \$	6 790 \$	4 470 \$	136 320 \$
2015	89 719 \$	10 550 \$	19 626 \$	6 305 \$	4 150 \$	130 350 \$
2016	87 000 \$	9 738 \$	17 991 \$	5 820 \$	3 831 \$	124 380 \$
2017	84 281 \$	8 927 \$	16 355 \$	5 335 \$	3 512 \$	118 410 \$
2018	81 563 \$	8 115 \$	14 720 \$	4 850 \$	3 193 \$	112 440 \$
2019	78 844 \$	7 304 \$	13 084 \$	4 365 \$	2 873 \$	106 470 \$
2020	76 125 \$	6 492 \$	11 449 \$	3 880 \$	2 554 \$	100 500 \$
2021	73 406 \$	5 681 \$	9 813 \$	3 395 \$	2 235 \$	94 530 \$
2022	70 688 \$	4 869 \$	8 178 \$	2 910 \$	1 916 \$	88 560 \$
2023	67 969 \$	4 058 \$	6 542 \$	2 425 \$	1 596 \$	82 590 \$
2024	65 250 \$	3 246 \$	4 907 \$	1 940 \$	1 277 \$	76 620 \$
2025	62 531 \$	2 435 \$	3 271 \$	1 455 \$	958 \$	70 650 \$
2026	59 813 \$	1 623 \$	1 636 \$	970 \$	639 \$	64 680 \$
2027	57 094 \$	812 \$	- \$	485 \$	319 \$	58 710 \$
2028	54 375 \$	- \$	- \$	- \$	- \$	54 375 \$
2029	51 656 \$	- \$	- \$	- \$	- \$	51 656 \$
2030	48 938 \$	- \$	- \$	- \$	- \$	48 938 \$
2031	46 219 \$	- \$	- \$	- \$	- \$	46 219 \$
2032	43 500 \$	- \$	- \$	- \$	- \$	43 500 \$
amorti	40 ans	20 ans				

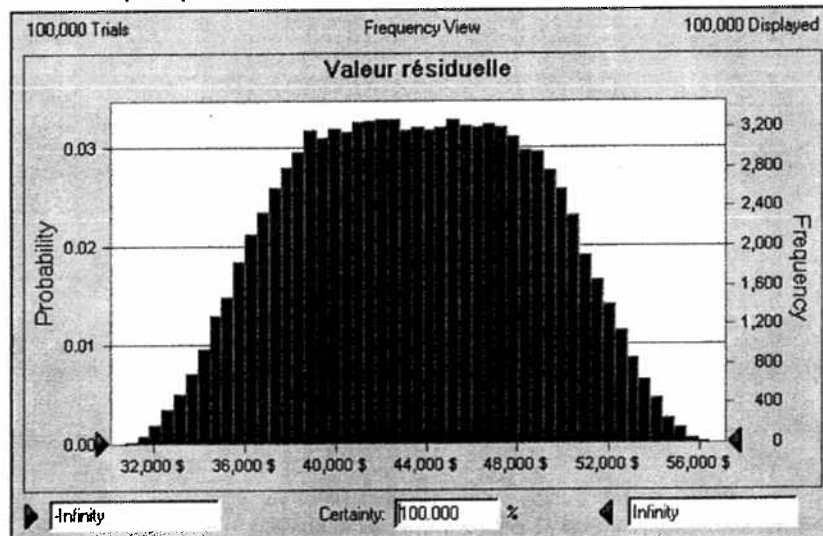
³⁷ Rapport annuel 2004, Agence métropolitaine de transport, p.45

Les deux graphiques qui suivent représentent la distribution de la valeur résiduelle telle que calculée lors des simulations. La première est calculée avec une distribution triangulaire de type minimum et maximum à +/- 30%. La deuxième est calculée en fonction d'une distribution constante.

Graphique : Valeur résiduelle



Graphique : Valeur résiduelle à probabilité égale



	VAN 4%	VAN 8%	VAN 10%	VAN 12%
TOTAL	15 690 \$	5 881 \$	3 650 \$	2 285 \$

Valeurs omises

L'analyse présente prend seulement en compte une partie des variables nécessaire à l'évaluation économique de ce projet. En fait, il serait possible d'ajouter deux autres variables pour peaufiner le modèle. Premièrement, le fait de transporter 10 000 passagers par jour pourrait réduire la circulation d'environ 8 000 automobiles. Ainsi, ce retrait d'une quantité non négligeable d'automobiles engendre des économies de temps dans le trafic, pour l'ensemble des automobilistes et autres utilisateurs de la route. Plus précisément, dans une étude utilisant le modèle Motrem 98 du Ministère des Transports du Québec, on divise les usagers de la route en divers catégories, pour lesquels les coûts du temps perdu et du temps de retard sont variable. Ajouté à cela, l'industrie du camionnage bénéficie aussi des gains de temps attribuable à la diminution de la congestion routière. En 1998, le coût total de la congestion routière pour la région de Montréal était de :

Tableau A Sommaire des coûts socio-économiques annuels attribuables à la congestion récurrente sur les autoroutes et les artères, 1998 (M\$1998)

Composante	M\$	%
Retards (temps suppl. de déplacement des automobilistes et des camionneurs)	704,1	90,4
Coûts d'utilisation des véhicules (sauf carburant, sans taxes)	54,7	7,0
Coût des carburants (sans taxes)	10,7	1,3
Émission de polluants atmosphériques	6,0	0,8
Émission de gaz à effet de serre	3,3	0,4
Coût total pour la société	778,7	100

source : Évaluation de la congestion routière dans la région de Montréal, socio économie des transports, 2004

Tableau 5 Valeurs du temps (\$/heure) des individus par classe de revenu et selon le motif de déplacement pour l'année 1998

Classe de revenu en 1995	Travail (affaires)	Navettage domicile-travail	Autre	Études
moins de 20 000 \$	6,46	6,00	5,55	1,61
20 000 \$ à 24 999 \$	16,32	13,77	11,21	4,08
25 000 \$ à 29 999 \$	19,96	16,60	13,24	4,99
30 000 \$ à 34 999 \$	23,60	19,33	15,05	5,90
35 000 \$ à 39 999 \$	27,13	21,97	16,81	6,78
40 000 \$ et plus	41,80	32,92	24,04	10,45

source : Évaluation de la congestion routière dans la région de Montréal, socio-économie des transports, 2004

Tableau 6 Paramètres et valeur du temps pour les déplacements de camions

Type de camion	Salaire horaire moyen d'un camionneur au Québec en 1998 ³⁰	Facteur d'ajustement du salaire	Productivité du camion	Délai de livraison	Valeur horaire
Camion régulier	16,71 \$	1,52	0,60 \$/h	0,50 \$/h	26,50 \$/h
Camion lourd	16,71 \$	1,58	1,50 \$/h	1,00 \$/h	28,90 \$/h

source : Évaluation de la congestion routière dans la région de Montréal, socio-économie des transports, 2004

Dans cet ordre d'idée, le temps économisé par l'ensemble des usagers de la route produit une valeur économique calculable. En ce sens, le train bénéficie aussi aux non-utilisateurs qui eux économise du temps de congestion routière et possiblement de retard au travail.

Tableau 12 Retard à destination du centre-ville de Montréal

Sous-région ou partie	Retard moyen (minutes)	Retard minimum-maximum (minutes)
Montréal (est)	13,5	13,0 - 20,9
Montréal (centre)	4,8	2,6 - 14,9
Montréal (ouest)	12,4	9,5 - 24,1
Rive-Sud immédiate	19,8	18,5 - 21,8
Laval	18,4	17,0 - 24,1
Couronne nord		22,7 - 27,9
Couronne sud		12,5 - 30,9

Note : La couleur de chaque cellule dépend de l'amplitude du retard : 0-10 :ivoire; 10-20 : or; 20+ : rouge.

source : Évaluation de la congestion routière dans la région de Montréal, socio-économie des transports, 2004

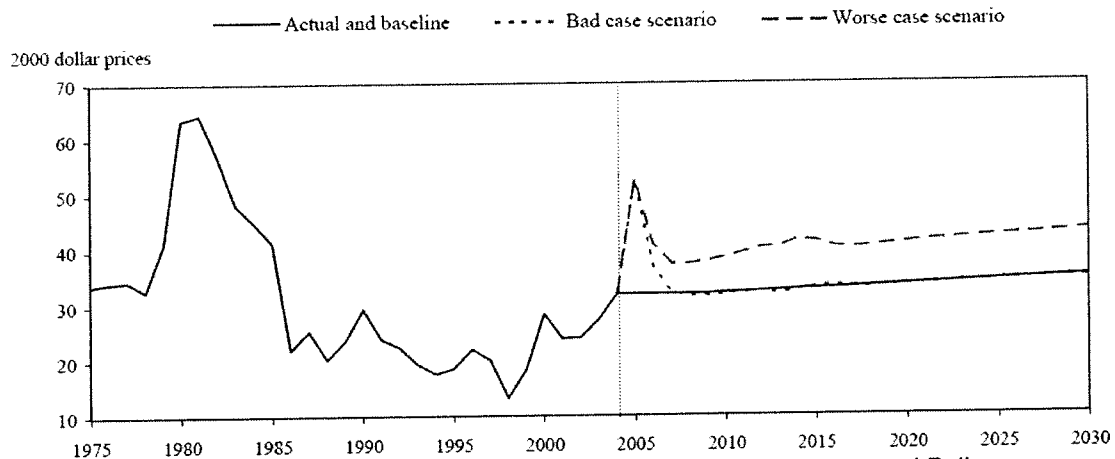
Deuxièmement, le gain de change étranger représente une autre source d'avantages et de coûts pour ce projet. D'un côté, l'achat du train comporte des importations de pièces et possiblement d'expertise étrangère. Ainsi, l'ensemble de ces importations devrait être multipliés par 4%³⁸ pour obtenir la perte de change étranger. Pour simplifier le problème, lorsque la balance commerciale se détériore en augmentant les importations, il faut emprunter l'argent des pays étranger pour qu'elle revienne circuler au pays. Ainsi le gain ou la perte de change étranger est nécessaire pour maintenir la balance des paiements et que la masse monétaire circulant dans une économie demeure croissante. Donc, la construction du train comporte des coûts imputables à l'achat de produits étrangers, qui doivent être comptabilisés dans une analyse économique de projet.

D'un autre côté, la balance commerciale du Québec s'améliore en réduisant les importations de pétrole et de produits automobiles. Jusqu'à présent, l'économie québécoise ne produit pas de pétrole brut, raffine du pétrole et possède une quantité considérable de compagnie produisant des pièces automobiles. De plus, l'ensemble des services de réparation automobile et de maintenance des routes est produit par une main d'œuvre et du capital local. Dans cet ordre d'idée, il semble assez difficile de comparer un dollar dépensé dans le secteur automobile à un dollar dépensé dans le secteur du train. Malgré cela, il est possible de comptabiliser les économies d'essences des 8 000 automobiles par jour qui ne circuleront pas sur les routes. Ainsi, le pétrole brut économisé représente un gain de change non négligeable à travers le temps. Ensuite, le Québec possède une industrie du raffinage situé principalement dans l'est de l'île de Montréal. Il est réalisable de calculer la part des intérêts québécois dans cette industrie par rapport au ratio capital-travail ; pour approximer la quantité d'argent qui quitte la province à partir du raffinage.

³⁸ Recommandé par M. Fernand Martin après les changements résultant du libre échange avec les États-Unis et l'introduction de la TPS. Auparavant, Jenkins et Kuo (1985) recommandait un taux de 6,5%

Le tableau ci-dessous montre les prévisions de l'OCDE en termes de prix du brut à long terme.

Figure 10. An oil supply crisis could push prices up significantly



source : OECD, Oil Price Developments : Drivers, Economic Consequences and Policy responses, dec. 2004

Pour le reste des effets en terme d'importation d'automobiles et de pièces l'automobile, il serait plutôt difficile d'évaluer l'impact de d'un transfert de consommation vers le train de banlieue. En fait, à cause de la composition de l'industrie québécoise de l'automobile qui produit des pièces pour plusieurs manufacturiers internationaux, le gain de change étranger est beaucoup trop diffus pour être évalué. L'impact économique du changement de préférence en termes de consommation de transport ne pourrait être calculé de manière assez précise, pour entrer dans un calcul fiable du gain de change étranger. Somme toute, le gain de change étranger provenant des économies d'importations en pétrole brut, ainsi que le gain relatif au raffinage pourrait être pris en considération dans une analyse économique plus exhaustive.

Valeur actualisée nette

La valeur actualisée nette du projet d'accroissement de la capacité du train Montréal – Deux-Montagnes est calculée dans le tableau ci-dessous. Ainsi, les montants totaux pour chaque année sont actualisés en fonction des taux recommandés par le Conseil du Trésor du Canada et de l'Agence métropolitaine de transport.

Tableau : Valeur actualisée nette

Valeur actualisée nette du projet (en milliers de \$ courants de 2006)					
année	Investissement	coûts incrémentaux	revenus incrémentaux	pollution incrémentale	Surplus
2006	-27880	- \$	- \$	- \$	- \$
2007	-66890	- \$	- \$	- \$	- \$
2008	-79005	- \$	- \$	- \$	- \$
2009	- \$	1 269 \$-	2 776 \$	19 \$	4 643 \$
2010	- \$	1 620 \$-	3 544 \$	16 \$	6 013 \$
2011	- \$	1 971 \$-	4 311 \$	19 \$	7 416 \$
2012	- \$	2 322 \$-	5 079 \$	22 \$	8 849 \$
2013	- \$	2 673 \$-	5 847 \$	26 \$	10 310 \$
2014	- \$	3 024 \$-	6 614 \$	29 \$	11 798 \$
2015	- \$	3 374 \$-	7 382 \$	32 \$	13 310 \$
2016	- \$	3 725 \$-	8 150 \$	36 \$	14 846 \$
2017	- \$	4 076 \$-	8 917 \$	39 \$	16 404 \$
2018	- \$	4 427 \$-	9 685 \$	42 \$	17 982 \$
2019	- \$	4 778 \$-	10 453 \$	46 \$	19 579 \$
2020	- \$	5 129 \$-	11 220 \$	36 \$	21 194 \$
2021	- \$	5 480 \$-	11 988 \$	38 \$	22 827 \$
2022	- \$	5 831 \$-	12 756 \$	41 \$	24 475 \$
2023	- \$	5 926 \$-	12 964 \$	41 \$	25 058 \$
2024	- \$	5 926 \$-	12 964 \$	41 \$	25 234 \$
2025	- \$	5 926 \$-	12 964 \$	41 \$	25 405 \$
2026	- \$	5 926 \$-	12 964 \$	41 \$	25 569 \$
2027	- \$	5 926 \$-	12 964 \$	41 \$	25 728 \$
2028	- \$	5 926 \$-	12 964 \$	41 \$	25 882 \$
2029	- \$	5 926 \$-	12 964 \$	41 \$	26 031 \$
2030	- \$	5 926 \$-	12 964 \$	41 \$	26 175 \$
2031	- \$	5 926 \$-	12 964 \$	41 \$	26 314 \$
2032	43 500 \$	- \$	- \$	- \$	- \$

Tableau : Valeur actualisée nette (suite)

Valeur actualisée nette du projet (en milliers de \$ courants de 2006)					
année	TOTAL	VAN 4%	VAN 8%	VAN 10%	VAN 12%
2006	27 880 \$-	27 880 \$-	27 880 \$-	27 880 \$-	27 880 \$-
2007	66 890 \$-	64 317 \$-	61 935 \$-	60 809 \$-	59 723 \$-
2008	79 005 \$-	73 045 \$-	67 734 \$-	65 293 \$-	62 982 \$-
2009	6 168 \$	5 483 \$	4 897 \$	4 634 \$	4 390 \$
2010	7 952 \$	6 797 \$	5 845 \$	5 431 \$	5 054 \$
2011	9 775 \$	8 034 \$	6 653 \$	6 070 \$	5 547 \$
2012	11 628 \$	9 190 \$	7 328 \$	6 564 \$	5 891 \$
2013	13 510 \$	10 266 \$	7 883 \$	6 933 \$	6 111 \$
2014	15 418 \$	11 265 \$	8 330 \$	7 192 \$	6 227 \$
2015	17 350 \$	12 190 \$	8 679 \$	7 358 \$	6 257 \$
2016	19 306 \$	13 042 \$	8 942 \$	7 443 \$	6 216 \$
2017	21 284 \$	13 825 \$	9 128 \$	7 460 \$	6 119 \$
2018	23 282 \$	14 542 \$	9 245 \$	7 418 \$	5 976 \$
2019	25 299 \$	15 194 \$	9 302 \$	7 328 \$	5 798 \$
2020	27 321 \$	15 777 \$	9 302 \$	7 194 \$	5 590 \$
2021	29 373 \$	16 310 \$	9 260 \$	7 032 \$	5 366 \$
2022	31 441 \$	16 786 \$	9 177 \$	6 842 \$	5 129 \$
2023	32 136 \$	16 498 \$	8 685 \$	6 358 \$	4 680 \$
2024	32 313 \$	15 951 \$	8 086 \$	5 812 \$	4 202 \$
2025	32 483 \$	15 418 \$	7 527 \$	5 311 \$	3 772 \$
2026	32 648 \$	14 900 \$	7 005 \$	4 853 \$	3 385 \$
2027	32 807 \$	14 397 \$	6 517 \$	4 433 \$	3 037 \$
2028	32 961 \$	13 908 \$	6 063 \$	4 049 \$	2 724 \$
2029	33 110 \$	13 433 \$	5 639 \$	3 698 \$	2 443 \$
2030	33 254 \$	12 973 \$	5 244 \$	3 376 \$	2 191 \$
2031	33 393 \$	12 526 \$	4 876 \$	3 082 \$	1 964 \$
2032	43 500 \$	15 690 \$	5 881 \$	3 650 \$	2 285 \$
	TOTAL	149 156 \$	21 945 \$	14 460 \$-	40 233 \$-

La valeur actualisée nette du projet montre que l'investissement de 173 millions de dollars pour augmenter la capacité du train Montréal – Deux-Montagnes est rentable à 8%. Donc, ce projet est économiquement rentable pour l'Agence métropolitaine de transport qui recommande ce taux. Mais, pour le taux d'actualisation de 10% le projet n'est pas rentable économiquement en considérant les variables présentement incluses dans cette évaluation de projet.

Valeur actualisée nette optimisée

La valeur actualisée nette optimisée consiste à déterminer le risque propre à chaque variable pour être en mesure d'actualiser chaque flux selon son risque. Ainsi, il existe deux méthodes pour l'ajustement du risque, soit le taux d'actualisation ajusté pour le risque (RADR) ou l'équivalent certain (EC). En fait, le RADR est équivalent à l'EC dans le cas de neutralité au risque et de distribution symétrique de la variance autour de la moyenne. Ceci est le cas dans pour le cas présent car le gouvernement est neutre au risque³⁹ et que les simulations ont été faites à l'aide de distribution normale, triangulaires et uniformes. En ce sens, nous avons calculé le RADR de chaque variable:

$$RADR_j = r_f + \beta_j(r_m - r_f) = r_f + \frac{\text{cov}[r_{j,t}, r_{m,t}]}{\sigma_m^2} \times (r_m - r_f)$$

Où on obtient le beta en régressant :

$$\ln(V_{j,t}/V_{j,t-1}) = \alpha + \beta_j \ln(TSX_t/TSX_{t-1}) + \varepsilon_t \quad \text{ou} \quad \ln(Y_t/Y_{t-1}) = r_{y,t}$$

Ainsi, le beta de chaque variable a été calculé en régressant la croissance de l'achalandage ($r_{ach.}$) sur la croissance de l'indice TSX (r_{TSX}) de 1983 à 2006 et la croissance des revenus ($r_{rev.}$) et coûts ($r_{coût}$) sur la croissance du TSX (r_{TSX}) de 1996 à 2006. Bref, l'opération a été faite pour les coûts et revenus et la croissance de l'achalandage a été utilisée comme variable proxy pour la pollution et le surplus du consommateur. Pour ce qui est des taux, nous avons choisi le taux sans risque de 3%, soit le taux social de préférence temporel (TSPT), et le taux de 8% du Secrétariat du Conseil du Trésor qui, sur la période de 1983 à 2006, est équivalent au rendement du marché (indice TSX).

³⁹ Secrétariat du Conseil du Trésor (1998), p.86

$$RADR_j = R_z + \beta_j(R_m - R_z) = 3\% + \beta_j \times (8\% - 3\%)$$

$$RADR_j = 0,03 + \beta_j(0,05)$$

$$\beta_{coût} = -0,060 \quad se(\beta_{coût}) = 0,095 \quad RADR_{coût} = 2,70\%$$

$$\beta_{rev.} = 0,217 \quad se(\beta_{rev.}) = 0,230 \quad RADR_{rev.} = 4,08\%$$

$$\beta_{ach.} = 0,469 \quad se(\beta_{ach.}) = 0,409 \quad RADR_{ach.} = 5,35\%$$

Valeur actualisée nette du projet (en milliers de \$ courants de 2006)						
année	Investissement	coûts inc.	revenus inc.	pollution inc.	Surplus	VAN-0
2006	27 880 -	-	-	-	-	(27 880)
2007	66 890 -	-	-	-	-	(65 132)
2008	79 005 -	-	-	-	-	(74 906)
2009	-	1 269 -	2 776	19	4 643	5 277
2010	-	1 620 -	3 544	16	6 013	6 458
2011	-	1 971 -	4 311	19	7 416	7 534
2012	-	2 322 -	5 079	22	8 849	8 506
2013	-	2 673 -	5 847	26	10 310	9 378
2014	-	3 024 -	6 614	29	11 798	10 156
2015	-	3 374 -	7 382	32	13 310	10 844
2016	-	3 725 -	8 150	36	14 846	11 448
2017	-	4 076 -	8 917	39	16 404	11 972
2018	-	4 427 -	9 685	42	17 982	12 423
2019	-	4 778 -	10 453	46	19 579	12 804
2020	-	5 129 -	11 220	36	21 194	13 114
2021	-	5 480 -	11 988	38	22 827	13 370
2022	-	5 831 -	12 756	41	24 475	13 571
2023	-	5 926 -	12 964	41	25 058	13 152
2024	-	5 926 -	12 964	41	25 234	12 537
2025	-	5 926 -	12 964	41	25 405	11 947
2026	-	5 926 -	12 964	41	25 569	11 381
2027	-	5 926 -	12 964	41	25 728	10 839
2028	-	5 926 -	12 964	41	25 882	10 319
2029	-	5 926 -	12 964	41	26 031	9 822
2030	-	5 926 -	12 964	41	26 175	9 345
2031	-	5 926 -	12 964	41	26 314	8 890
2032	43 500	-	-	-	-	11 260
BETA	0,0601 -	0,0601 -	0,2170	0,4691	0,4691	
r	2,70%	2,70%	4,08%	5,35%	5,35%	88 429

Dans cet ordre d'idée, le taux d'actualisation utilisé pour les coûts est de 2,70%, pour l'investissement de 2,70%, pour les revenus de 4,08%, pour la pollution de 5,35% et pour le surplus du consommateur de 5,35%. Dans le tableau ci-dessus, on retrouve la valeur espérée de chaque variable à chaque année. De plus, on trouve la valeur actualisée nette optimisée pour chaque période dans la colonne VAN-O. Il suffit de faire la somme des valeurs de la colonne VAN-O pour obtenir la VAN-O du projet d'investissement dans le train de banlieue.

En somme, la valeur actualisée nette optimisée du projet d'investissement de train est de 88,4 millions de dollars. Ainsi, selon cette méthode le projet est beaucoup plus rentable comparativement à l'actualisation de tous les flux monétaires au taux de 8%. Ceci est causé par le fait que la covariance entre le marché et les variables du modèle est relativement faible.

Si on considère la variance des estimateurs, on constate que l'on rejette pas l'hypothèse nulle $H_0 : \beta_j = 0$ au niveau de confiance de 95% pour toutes les variables du modèle. Ainsi, statistiquement il est possible que tous les betas soient nuls, ce qui nous rapproche de la position de Arrow (1970) qui indique que si la covariance entre le projet et le marché est nulle il faut actualiser au taux de préférence temporel. En ce sens, l'utilisation du TPST de 3% nous donne une valeur présente nette de 190 millions.

Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité permet d'évaluer l'impact d'un changement de certaines variables sur la valeur actualisée nette du projet. Bref, dans le tableau d'analyse de sensibilité, l'impact d'un changement de l'achalandage, du coût d'investissement, des revenus et des coûts variables sont étudiés.

Tableau : Analyse de sensibilité

Analyse de sensibilité				
	VAN 4%	VAN 8%	VAN 10%	VAN 12%
Cas type	149 156 \$	21 945 \$	14 460 \$-	40 233 \$-
surplus constant	119 009 \$	5 840 \$	26 515 \$-	49 393 \$-
pollution à coût élevé	151 755 \$	23 542 \$	13 176 \$-	39 185 \$-
Achalandage +10%	226 450 \$	79 935 \$	36 248 \$	4 367 \$
Achalandage +5%	191 620 \$	53 226 \$	12 677 \$	16 536 \$-
Cas type	149 156 \$	21 945 \$	14 460 \$-	40 233 \$-
Achalandage -5%	99 624 \$	13 176 \$-	44 454 \$-	66 067 \$-
Achalandage -10%	43 453 \$	51 553 \$-	76 751 \$-	93 542 \$-
Revenus +20%	201 641 \$	55 919 \$	13 591 \$	16 723 \$-
Revenus +10%	175 399 \$	38 932 \$	434 \$-	28 478 \$-
Cas type	149 156 \$	21 945 \$	14 460 \$-	40 233 \$-
Revenus -10%	122 914 \$	4 958 \$	28 486 \$-	51 989 \$-
Revenus -20%	96 672 \$	12 029 \$-	42 512 \$-	63 744 \$-
Coûts variables -20%	233 476 \$	76 527 \$	30 606 \$	2 462 \$-
Coûts variables -10%	191 316 \$	49 236 \$	8 073 \$	21 348 \$-
Cas type	149 156 \$	21 945 \$	14 460 \$-	40 233 \$-
Coûts variables +10%	106 997 \$	5 345 \$-	36 993 \$-	59 119 \$-
Coûts variables +20%	64 837 \$	32 636 \$-	59 527 \$-	78 005 \$-
Coût d'investissement -30%	194 022 \$	67 446 \$	30 640 \$	4 257 \$
Coût d'investissement -20%	179 067 \$	52 279 \$	15 606 \$	10 573 \$-
Coût d'investissement -10%	164 112 \$	37 112 \$	573 \$	25 403 \$-
Cas type	149 156 \$	21 945 \$	14 460 \$-	40 233 \$-
Coût d'investissement +10%	134 201 \$	6 779 \$	29 493 \$-	55 063 \$-
Coût d'investissement +20%	119 246 \$	8 388 \$-	44 527 \$-	69 893 \$-
Coût d'investissement +30%	104 291 \$	23 555 \$-	59 560 \$-	84 724 \$-

La description de l'analyse de sensibilité qui suit est divisée en 5 parties. Pour débiter, la VAN des divers scénarios utilisé pour l'analyse de risque est exposée. Ensuite, une analyse de sensibilité est effectuée sur les variables de l'achalandage, des revenus, des coûts variables et de l'investissement initial. Dans l'ensemble, la description qui suit se fait en fonction du taux d'actualisation de 8%, recommandé par l'Agence métropolitaine de transport.

En premier lieu, l'analyse de sensibilité montre les différentes valeurs du projet en fonction du cas type, du cas à surplus constant et du cas avec pollution DeNocker. On remarque qu'ils sont tous rentables au taux d'actualisation de 8%. En fait, le cas type offre une VAN de 21,9 millions de dollars. Le cas qui utilise une variable de surplus constant est rentable à 5,8 millions de dollars et le cas de la pollution augmenté donne une VAN de 23,5 millions de dollars.

En deuxième lieu, l'analyse de sensibilité se fait en variant l'achalandage de +/- 5% et +/- 10%. Il faut se rappeler que le modèle utilise une fonction de revenus et de coûts variables qui dépend de l'achalandage. Ainsi, on remarque que la VAN du projet est considérablement affecté par un changement d'achalandage. D'un côté, en augmentant de 5% l'achalandage, la VAN du projet passe de 21,9 millions à 53,3 millions, tandis qu'à 10% d'augmentation, le projet offre une VAN de 80 millions. De l'autre, en diminuant l'achalandage de 5% la VAN du projet de train devient déficitaire à -13,1 millions et en le réduisant de 10%, elle passe à -51,6 millions.

En troisième lieu, une analyse de sensibilité sur le niveau de revenus est effectuée pour une variation de +/- 10% et 20%. Ainsi, on constate que le projet prend de la valeur et atteint 38,9 millions à +10% de revenus et 55,9 millions à +20% de revenus. De plus, le projet demeure rentable à 10% de baisse de revenus avec une VAN de 5 millions. Mais, une baisse de revenus de l'ordre de 20% donne une VAN négative à -12 millions de dollars.

En quatrième lieu, l'analyse de sensibilité sur le niveau des coûts variables à 10% et 20%, montre qu'une augmentation de ces coûts, rend la valeur actualisée nette du projet négative. En ce sens, en augmentant les coûts de 10% la VAN du projet diminue à -5,3 millions et lorsque ces coûts augmentent de 20%, la VAN passe à -32,6 millions de dollars. D'un autre angle, une diminution des coûts variable de 10% fait grimper la VAN à 49,2 millions et une diminution de 20% des coûts offre une VAN de 76,5 millions de dollars.

Finalement, l'analyse de la sensibilité en fonction d'une variation des coûts d'investissement démontre, que le projet de train peut absorber une augmentation générale des coûts de 10% et demeurer rentable à 6,8 millions. Par contre, une augmentation de coûts d'investissement de 20% offre une VAN de -8,4 millions et un dépassement des coûts de 30%, occasionnerait des pertes économiques de 23,6 millions de dollars. Au contraire, si la réalisation du projet se fait avec des coûts d'investissements inférieurs de 10%, la VAN augmente à 37,1 millions. Plus encore, la VAN du projet passerait à 52,2 millions et 67,4 millions, en considérant des baisses de coût d'investissement respectives de 20% et de 30%.

Somme toute, le projet d'augmentation de la capacité du train peut encourir une perte de revenus de 10% et demeurer rentable. De plus, la VAN du projet reste positive en considérant un dépassement des coûts initiaux de 10%. Par contre, une diminution de l'achalandage de 5%, ou une augmentation des coûts variables de 10%, rend la VAN du projet négative.

Analyse du risque

Pour raffiner l'analyse du projet d'accroissement de la capacité du train de banlieue Montréal – Deux-Montagnes, une analyse de risque permet d'évaluer la probabilité de rentabilité de l'investissement. Dans cet ordre d'idée, l'analyse du risque relié au projet est effectuée en fonction des quatre modèles élaborés. Ainsi, l'analyse se fait par rapport au modèle type, au modèle avec investissement à probabilité constante, au modèle utilisant les valeurs de pollution de DeNocker et au modèle avec surplus du consommateur constant.

Tableau : Analyse de risque

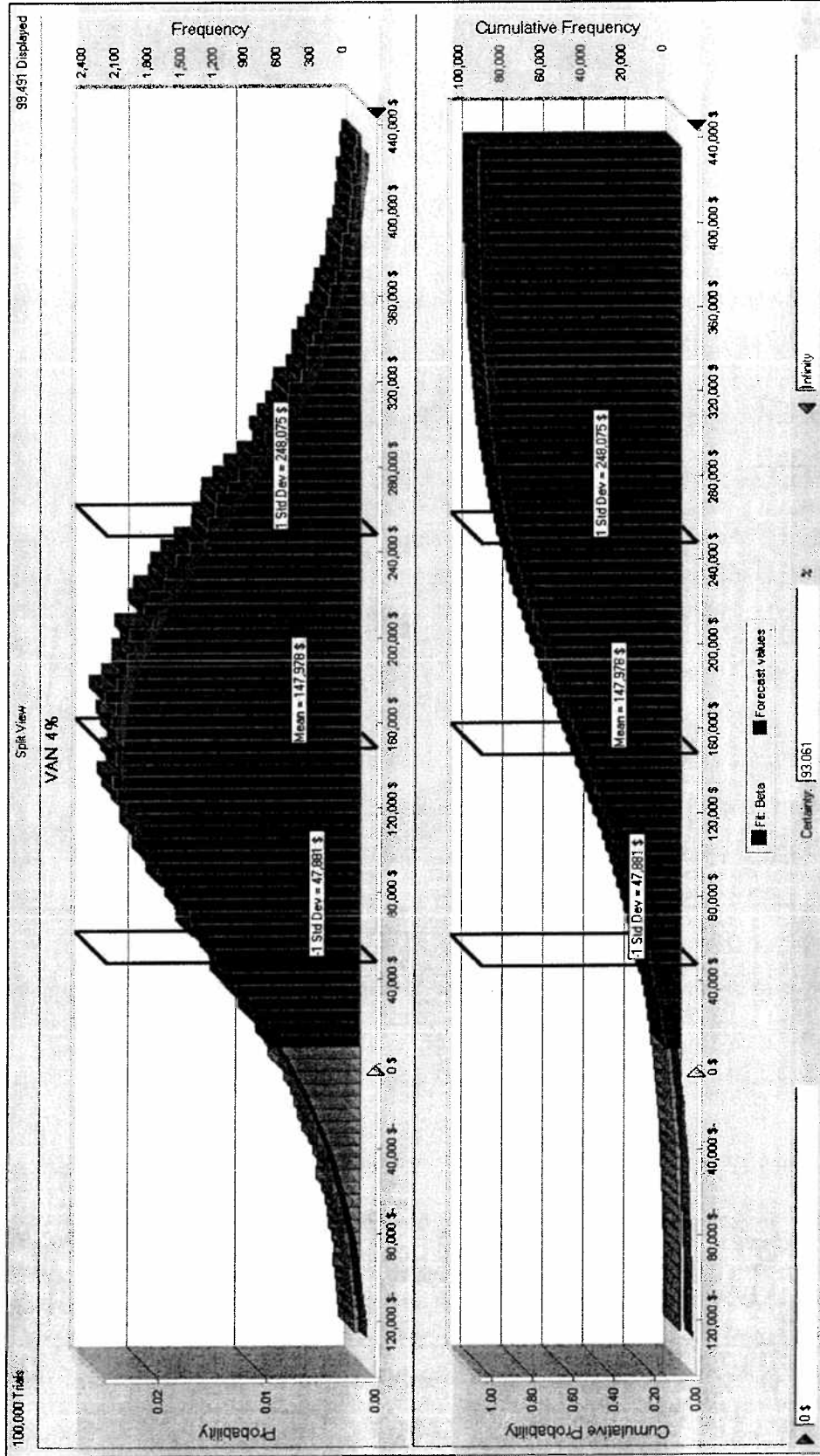
Probabilité de rentabilité économique (en milliers de dollars constants de 2006)				
	Cas type	Investissement constant	Pollution DeNocker	Surplus constant
VAN 4%	93,06%	92,62%	93,27%	88,14%
moyenne	147 978 \$	147 616 \$	150 690 \$	118 023 \$
Déviati on standard	100 097 \$	101 907 \$	100 504 \$	99 816 \$
VAN 8%	62,81%	62,28%	63,84%	53,26%
moyenne	21 380 \$	21 113 \$	23 041 \$	5 377 \$
Déviati on standard	65 209 \$	67 173 \$	65 455 \$	64 962 \$
VAN 10%	39,20%	39,50%	40,03%	31,10%
moyenne	14 843 \$-	15 079 \$-	13 511 \$-	26 822 \$-
Déviati on standard	54 049 \$	56 152 \$	54 244 \$	53 895 \$
VAN 12%	18,70%	19,69%	19,44%	13,68%
moyenne	40 487 \$-	40 697 \$-	39 401 \$-	49 590 \$-
Déviati on standard	45 499 \$	47 765 \$	45 655 \$	45 372 \$

Premièrement, le cas type utilise une distribution triangulaire de type min/max à 30%, les coûts de pollution de HBL Economics Decision inc, et le surplus du consommateur croissant. Les autres modèles, quant à eux, sont identiques au cas type, sauf pour leurs spécificités propres. Ainsi, le modèle à investissement constant utilise une distribution à probabilité constante pour l'investissement initial. Le modèle de pollution DeNocker remplace la table de coût de pollution de HBL Economics Decision par celle fournie par DeNocker et al. ; et finalement, le modèle à surplus constant, utilise des prix par kilomètre fixes pour le train et l'automobile de luxe.

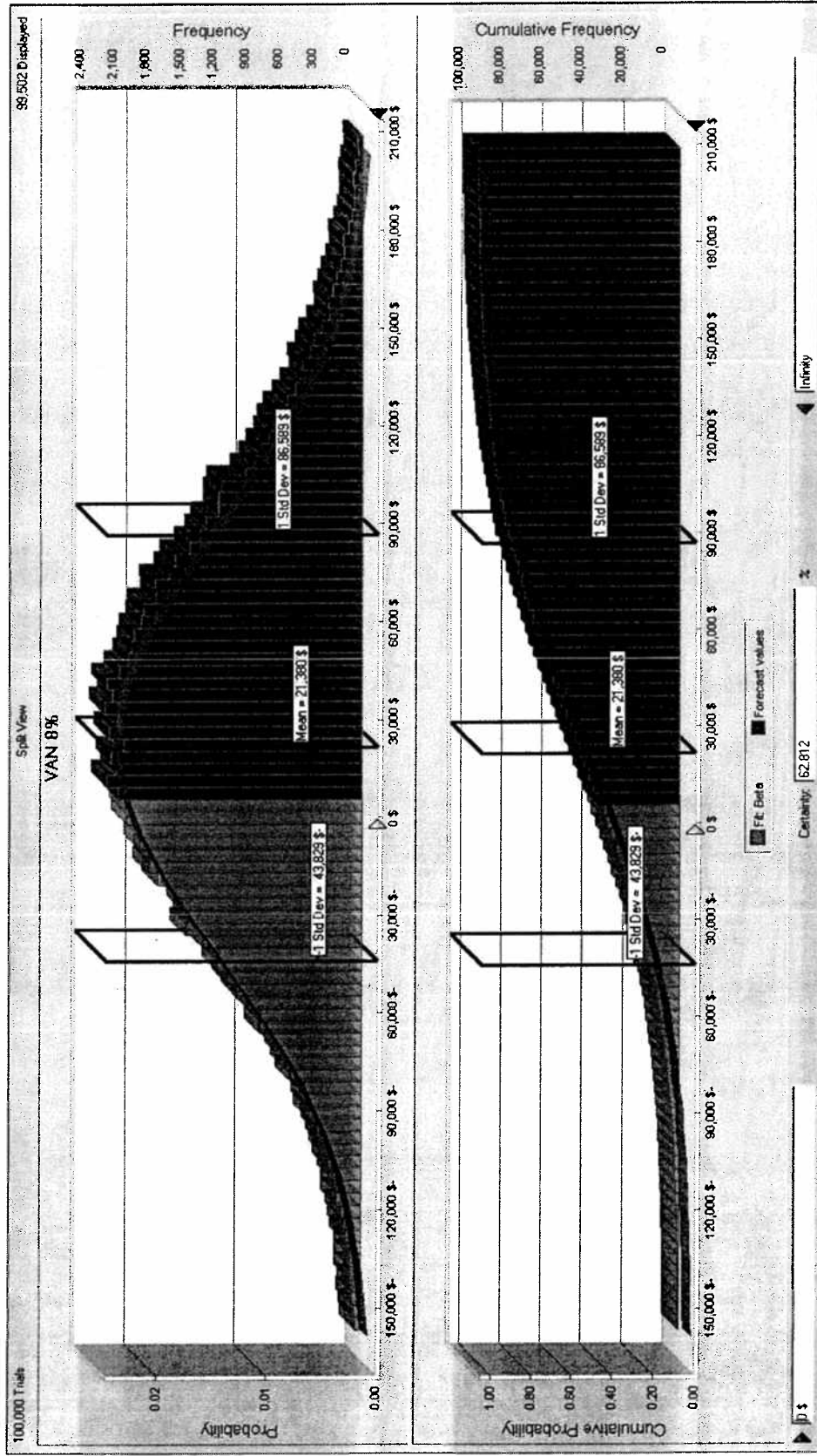
En fait, la valeur actualisée nette à 8% du projet est de 21,4 millions de dollars de 2006 pour le cas type. Pour ce même cas, on constate que la probabilité d'être rentable se situe à 63%. La distribution large de l'analyse de risque, provient de la variance associée à chaque variable de cette étude. Ainsi, l'ensemble des variables, à part de l'investissement initial, était dépendant de la variance associée à l'achalandage. Ajouté à cela, les revenus et les coûts contenaient eux aussi leur variance propre qui s'ajoutait à celle de l'achalandage. Dans ce sens, l'analyse de risque comporte une large distribution de valeurs probables.

En somme, on remarque peu de différence dans les probabilités de rentabilité des trois premiers modèles. Ainsi, pour chaque taux d'actualisation, la probabilité de rentabilité se maintient dans une fourchette de 1%. De plus, leurs moyennes restent dans un écart de 2,5 millions de dollars. Par contre, le modèle qui utilise un surplus du consommateur constant, se démarque à la baisse par rapport aux trois autres. En utilisant un taux d'actualisation de 8%, ce modèle a une probabilité d'être rentable de 8% inférieur au cas type. De plus, pour une VAN à 8%, la moyenne est de 16 millions inférieure au cas type. Tout de même, la valeur actualisée nette des quatre cas est positive à 8% de taux d'actualisation recommandé par l'Agence métropolitaine de transport.

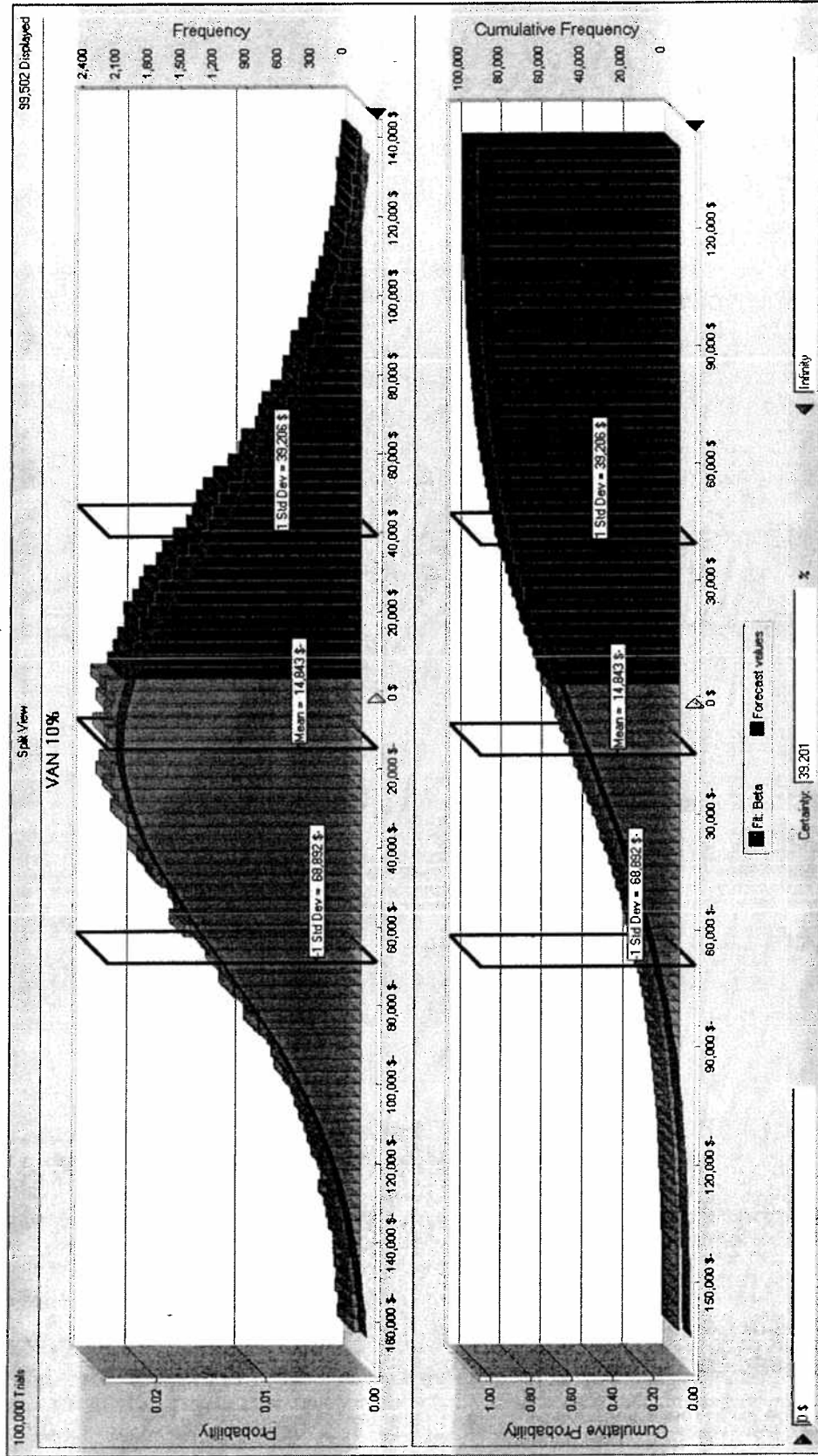
Graphique : Analyse de risque du cas type à 4%



Graphique : Analyse de risque du cas type à 8%



Graphique : Analyse de risque du cas type à 10%



Conclusion

L'évaluation économique du projet de l'accroissement de la capacité du train de banlieue Montréal – Deux-Montagnes permet de tirer plusieurs conclusions. En fait, l'investissement initial de 173 millions de dollars de 2006, permet d'augmenter la capacité du train de 30 000 à 40 000 passagers par jour. Ainsi, l'achalandage annuel total progresserait de 7,8 millions à 10,3 millions de passagers. Pour ce faire, il est nécessaire d'investir dans l'achat de 3 locomotives et 22 wagons neufs. Ajouté à cela, le plan de l'AMT prévoit la construction de deux gares, l'étagement de la jonction de l'Est et le doublement de la voie ferrée sur 7,5 km. Dans leur ensemble, ces investissements en matériel roulant et en infrastructures sont nécessaires à la réalisation de ce projet.

Dans cet ordre d'idée, l'analyse avantages-coûts incrémentale effectuée, comporte plusieurs variables. Du côté des coûts, l'investissement initial et les coûts variables incrémentaux sont considérés ; et du côté des revenus, les revenus incrémentaux, le surplus du consommateur, la pollution et la valeur résiduelle ont été inclus. Par contre, le manque de données sur l'amélioration de la congestion routière ne permet pas d'inclure cette valeur dans l'analyse. De même, le gain de change étranger est omis dans l'analyse présente. Pour terminer, la durée de vie du projet est de 25 ans.

À un taux d'actualisation de 8%, le coût initial versé sur 3 ans à une valeur actualisée nette de -157,5 millions de \$. De plus, les coûts variables incrémentaux sont de l'ordre de -32,9 millions de \$. Les revenus incrémentaux obtiennent une valeur de 71,9 millions de \$, tandis que le surplus du consommateur rend une VAN de 134,3 millions de \$. Ajouté à cela, la valeur de la pollution incrémentale n'est que de 0,278 millions de \$ et la valeur résiduelle des investissements après 25 ans est de 5,8 millions de \$.

Pour ce qui est de l'analyse des résultats finaux, la VAN totale du projet se chiffre à 21,9 millions de \$. Ensuite, en effectuant une analyse de sensibilité, on constate que le projet peut absorber une diminution de revenus de 10%, ou une augmentation des coûts initiaux de 10%, et demeurer rentable économiquement. Par contre, une réduction de l'achalandage de l'ordre de 5% ou une augmentation des coûts variables de 10%, rendent la valeur actualisée nette du projet déficitaire.

Ajouté à cela, une analyse de risque a été effectuée pour vérifier la probabilité de rentabilité du projet. Ainsi, l'analyse a été rendue sur quatre cas, dont le cas type, qui utilise une distribution triangulaire de type min/max à 30%, les coûts de pollution de HBL Economics Decision inc, et le surplus du consommateur croissant. Bref, l'analyse de ce cas montre une probabilité de rentabilité à 93% avec un taux d'actualisation de 4%. Cette probabilité diminue à 63%, pour un taux de 8%. Ensuite, la probabilité d'être rentable baisse à 39% avec un taux de 10% ; et finalement, la rentabilité n'arrive que dans 19% des cas, lorsque la VAN est calculée avec le taux à 12%.

Somme toute, le projet d'accroissement de la capacité du train Montréal – Deux-Montagnes obtient tout de même, une VAN de 21,9 millions de dollars courants de 2006. De plus, les variables du gain de change étranger et de réduction de la congestion, amplifierait positivement la valeur actualisée nette de ce projet. En ce sens, le projet à une probabilité d'être rentable économiquement de 63% et en ajoutant les valeurs de la congestion et du gain de change, cela permettrait d'augmenter cette probabilité. Ainsi, les 712 millions de kilomètres automobiles sauvés au cours de la durée de vie du projet, réduiraient considérablement les importations de brut au Québec, de même que la congestion sur les axes routiers adjacents à la ligne de train.

ANNEXE 1

Prix implicite du capital Lyon (1990)

Un investissement au temps 0 de 1\$ permet de consommer à l'infini une partie du rendement de l'investissement. En actualisant ce dernier au taux de préférence temporel on obtient le prix implicite du capital.

$$K_0 = 1$$

$$C_1 = p(1-s)$$

$$K_1 = 1 - \delta + sp \quad p = \text{taux de rendement privé}$$

$$C_2 = p(1 - \delta + sp)(1-s) = (p-sp)(1 - \delta + sp) \quad r = \text{taux de préférence temporel}$$

$$K_2 = (1 - \delta + sp)(1 - \delta) + [sp(1 - \delta + sp)] \quad s = \text{propension marginale à l'épargne}$$

$$= (1 - \delta + sp)^2 \quad \delta = \text{dépréciation}$$

$$C_3 = (p-sp)(1 - \delta + sp)^2 \quad \theta = \text{shadow price}$$

$$K_3 = (1 - \delta + sp)^3$$

⋮

On obtient le prix implicite du capital en actualisant le flux de consommation au taux marginal de préférence temporel :

$$\theta = \frac{(p-sp)}{(1+r)} + \frac{(p-sp)(1-\delta+sp)}{(1+r)^2} + \frac{(p-sp)(1-\delta+sp)^2}{(1+r)^3} + \dots$$

$$\theta = \frac{(p-sp)}{(1+r)} \left[1 + \frac{(1-\delta+sp)}{(1+r)} + \frac{(1-\delta+sp)^2}{(1+r)^2} + \dots \right]$$

$$\theta = \frac{(p-sp)}{(1+r)} \left[1 - \frac{(1-\delta+sp)}{(1+r)} \right]^{-1}$$

$$\theta_2 = \frac{p-sp}{r+\delta-sp}$$

La formulation de Lyon inclue la dépréciation de l'investissement dans son calcul du coefficient de prix implicite. D'un point de vue pratique, les rendements privés observés sur le marché sont déjà nets de leur dépréciation. Donc, il n'est pas nécessaire de l'utiliser pour le calcul du coefficient. Ainsi, il suffit de d'égaliser la dépréciation à 0 pour obtenir la première formule présentée :

$$\theta_t = \left[\frac{(1-s)p}{1+r} \right] * \left[1 + \sum_{i=1}^t \left(\frac{1+sp}{1+r} \right)^{i-1} \right] + \left[\frac{1+sp}{1+r} \right]^t$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \text{de } \theta_t = \frac{p-sp}{r-sp} \quad \text{si } s \neq 0$$

ANNEXE 2

Prix implicite du capital : Bradford (1975)

$v_t =$ shadow price

$p_t =$ taux de rendement privé

$r_t =$ taux de préférence temporel

$i_t =$ taux d'actualisation social

$s_t =$ propension marginale à l'épargne

$a_t =$ éviction de l'épargne privée

$(1 - a_t) =$ éviction de la consommation

$\alpha_t =$ réinvestissement des bénéfices

$(1 - \alpha_t) =$ consommation des bénéfices

Effet d'un investissement gouvernemental dans un modèle à deux périodes

période	t	t + 1
ΔC	$-(1 - a_t)$	$(1 + i_t)(1 - \alpha_{t+1})$
ΔI	$-a_t$	$(1 + i_t)\alpha_{t+1}$

Si on applique le prix implicite, on trouve l'effet total

$$(1) \quad VAN(\Delta C + \Delta I) = -(1 - a_t + a_t v_t) + \frac{(1 + i_t)}{(1 + r_t)} (1 - \alpha_{t+1} + \alpha_{t+1} v_{t+1})$$

La VAN est ≥ 0 si l'expression suivante est confirmée

$$(2) \quad \frac{(1 + i_t)}{(1 + r_t)} \geq \frac{1 + a_t(v_t - 1)}{1 + \alpha_{t+1}(v_{t+1} - 1)}$$

On assume un prix implicite constant $v_{t+1} = v_t = v$

CAS 1 : $a_t = \alpha_{t+1}$

Les proportions d'éviction de l'investissement et de réinvestissement des bénéfices sont les mêmes

$$(3) \quad \frac{(1 + i_t)}{(1 + r_t)} \geq 1$$

Le projet devrait être accepté si son taux marginal de rendement excède le taux marginal de préférence temporel

CAS 2 : $a_t = 1$ $\alpha_{t+1} = 0$

Toutes les ressources proviennent de l'investissement, sans réinvestissement.

$$(3') \quad \frac{(1+i_t)}{(1+r_t)} \geq v_t$$

Le projet devrait être accepté si son taux de rendement dépasse le taux du marché. Ceci est causé par l'effet dépressif sur la formation de capital

CAS 3 : $a_t = 0$ $\alpha_{t+1} = 1$

Toutes les ressources proviennent de la consommation et les bénéfices sont complètement réinvestis.

$$(3'') \quad \frac{(1+i_t)}{(1+r_t)} \geq \frac{1}{v_t}$$

Le projet devrait être accepté même si le taux de rendement est inférieur au taux marginal de préférence temporel.

CAS 4 : $a_t = a$ $\alpha_{t+1} = 0$

Une partie des ressources provient de l'investissement et il n'y a pas de réinvestissement.

$$(3''') \quad i_t \geq (1-a)r_t + ap_t$$

Ceci nous donne l'équation de Harberger (1971) qui propose que le taux d'actualisation social soit une somme pondérée des taux de préférence temporel et des taux de rendement du secteur privé.

Donc, le taux d'actualisation social excède le taux marginal de préférence temporel si l'éviction des investissements est plus grande que le réinvestissement. S'ils sont égaux il faut favoriser l'utilisation du taux social de préférence temporel. Dans le cas inverse ou l'éviction des investissements est plus petite que le réinvestissement, nous pouvons utiliser des taux d'actualisation inférieur que le taux de préférence temporel.

Shadow price		P = 0.15																											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
0	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32	1.39	1.46	1.53	1.60	1.66	1.73	1.79	1.85	1.90	1.96	2.01	2.07	2.12	2.17	2.22	2.27	2.31	2.35	2.40	2.44	2.48	2.48		
0.05	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32	1.39	1.47	1.54	1.61	1.68	1.74	1.81	1.87	1.93	1.99	2.05	2.11	2.17	2.22	2.28	2.34	2.40	2.46	2.51	2.57	2.62	2.67		
0.1	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32	1.40	1.47	1.55	1.62	1.69	1.76	1.83	1.90	1.96	2.03	2.09	2.16	2.22	2.28	2.34	2.40	2.47	2.53	2.60	2.66	2.72	2.78		
0.15	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32	1.40	1.48	1.56	1.63	1.71	1.78	1.85	1.93	2.00	2.07	2.14	2.20	2.27	2.34	2.40	2.48	2.55	2.62	2.68	2.76	2.83	2.90		
0.2	1.00	1.08	1.16	1.25	1.33	1.41	1.49	1.57	1.64	1.72	1.80	1.88	1.95	2.03	2.11	2.18	2.26	2.33	2.40	2.48	2.56	2.63	2.71	2.78	2.87	2.95	3.03		
0.25	1.00	1.08	1.16	1.25	1.33	1.41	1.49	1.58	1.66	1.74	1.82	1.90	1.98	2.07	2.15	2.23	2.31	2.38	2.46	2.54	2.63	2.72	2.81	2.90	3.00	3.08	3.17		
0.3	1.00	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.59	1.67	1.76	1.84	1.93	2.01	2.10	2.19	2.28	2.36	2.45	2.54	2.63	2.72	2.81	2.90	3.00	3.08	3.17	3.26		
0.35	1.00	1.08	1.17	1.25	1.34	1.42	1.51	1.60	1.68	1.77	1.86	1.95	2.05	2.14	2.23	2.33	2.42	2.52	2.62	2.72	2.82	2.92	3.02	3.12	3.22	3.33	3.43		
0.4	1.00	1.08	1.17	1.25	1.34	1.43	1.51	1.61	1.70	1.79	1.89	1.98	2.08	2.18	2.28	2.38	2.49	2.59	2.70	2.81	2.92	3.03	3.14	3.26	3.38	3.50	3.63		
0.45	1.00	1.08	1.17	1.25	1.34	1.43	1.52	1.62	1.71	1.81	1.91	2.01	2.11	2.22	2.33	2.44	2.55	2.67	2.78	2.90	3.03	3.15	3.28	3.41	3.55	3.68	3.82		
0.5	1.00	1.08	1.17	1.25	1.34	1.44	1.53	1.63	1.73	1.83	1.93	2.04	2.15	2.26	2.38	2.50	2.62	2.75	2.88	3.01	3.14	3.28	3.43	3.58	3.73	3.88	4.03		
0.55	1.00	1.08	1.17	1.26	1.35	1.44	1.54	1.64	1.74	1.85	1.96	2.07	2.19	2.31	2.43	2.56	2.69	2.83	2.97	3.12	3.27	3.43	3.59	3.75	3.92	4.10	4.28		
0.6	1.00	1.08	1.17	1.26	1.35	1.45	1.55	1.65	1.75	1.87	1.98	2.10	2.22	2.35	2.49	2.63	2.77	2.92	3.08	3.24	3.40	3.58	3.76	3.94	4.14	4.34	4.54		
0.65	1.00	1.08	1.17	1.26	1.35	1.46	1.56	1.66	1.77	1.89	2.01	2.13	2.26	2.40	2.55	2.70	2.85	3.01	3.18	3.36	3.55	3.74	3.94	4.15	4.37	4.60	4.84		
0.7	1.00	1.08	1.17	1.26	1.36	1.46	1.56	1.67	1.79	1.91	2.03	2.17	2.31	2.45	2.61	2.77	2.94	3.11	3.30	3.50	3.70	3.92	4.14	4.38	4.63	4.89	5.15		
0.75	1.00	1.08	1.17	1.26	1.36	1.46	1.57	1.68	1.80	1.93	2.06	2.20	2.35	2.51	2.67	2.84	3.03	3.22	3.42	3.64	3.87	4.10	4.36	4.62	4.90	5.20	5.50		
0.8	1.00	1.08	1.17	1.26	1.36	1.47	1.58	1.69	1.82	1.96	2.09	2.24	2.39	2.56	2.74	2.92	3.12	3.33	3.56	3.79	4.04	4.31	4.59	4.89	5.20	5.54	5.89		
0.85	1.00	1.08	1.17	1.26	1.36	1.47	1.58	1.71	1.85	1.99	2.15	2.31	2.48	2.68	2.88	3.10	3.33	3.58	3.84	4.13	4.43	4.76	5.11	5.49	5.89	6.32	6.77		
0.9	1.00	1.08	1.17	1.27	1.37	1.48	1.60	1.73	1.87	2.02	2.18	2.35	2.54	2.74	2.96	3.19	3.44	3.71	4.00	4.31	4.65	5.01	5.41	5.83	6.28	6.77	7.26		
0.95	1.00	1.08	1.17	1.27	1.37	1.48	1.61	1.74	1.89	2.04	2.21	2.39	2.59	2.80	3.03	3.29	3.58	3.85	4.17	4.51	4.88	5.28	5.72	6.20	6.71	7.26	7.84		
1	1.00	1.08	1.17	1.27	1.37	1.48	1.61	1.74	1.89	2.04	2.21	2.39	2.59	2.80	3.03	3.29	3.58	3.85	4.17	4.51	4.88	5.28	5.72	6.20	6.71	7.26	7.84		
1	2.62	2.66	2.59	2.63	2.67	2.70	2.73	2.77	2.80	2.83	2.86	2.88	2.91	2.94	2.96	2.99	3.01	3.04	3.06	3.08	3.11	3.13	3.15	3.17	3.19	3.21	3.23		
0.05	2.62	2.66	2.71	2.75	2.78	2.83	2.87	2.91	2.95	2.98	3.02	3.05	3.09	3.12	3.15	3.19	3.22	3.25	3.28	3.31	3.33	3.36	3.39	3.41	3.44	3.45	3.47		
0.1	2.73	2.78	2.83	2.88	2.93	2.97	3.02	3.07	3.11	3.16	3.20	3.24	3.29	3.33	3.37	3.41	3.45	3.49	3.52	3.56	3.60	3.63	3.67	3.70	3.74	3.78	3.82		
0.15	2.84	2.90	2.96	3.02	3.08	3.14	3.19	3.25	3.30	3.36	3.41	3.46	3.51	3.57	3.62	3.67	3.72	3.76	3.81	3.86	3.91	3.95	4.00	4.05	4.09	4.14	4.18		
0.2	2.97	3.04	3.11	3.18	3.25	3.31	3.38	3.45	3.51	3.58	3.64	3.71	3.77	3.84	3.90	3.96	4.02	4.09	4.15	4.21	4.27	4.33	4.38	4.45	4.51	4.57	4.63		
0.25	3.11	3.19	3.27	3.35	3.43	3.51	3.59	3.67	3.75	3.83	3.91	3.99	4.07	4.15	4.22	4.30	4.38	4.46	4.54	4.62	4.69	4.77	4.85	4.93	5.01	5.09	5.17		
0.3	3.27	3.36	3.45	3.55	3.64	3.73	3.83	3.92	4.02	4.11	4.21	4.31	4.40	4.50	4.60	4.70	4.80	4.89	4.99	5.09	5.19	5.29	5.40	5.50	5.60	5.70	5.80		
0.35	3.44	3.54	3.65	3.76	3.87	3.98	4.09	4.21	4.32	4.44	4.55	4.67	4.79	4.91	5.03	5.15	5.28	5.40	5.53	5.66	5.78	5.91	6.05	6.18	6.31	6.45	6.59		
0.4	3.62	3.74	3.87	3.99	4.12	4.25	4.39	4.52	4.66	4.80	4.94	5.08	5.23	5.38	5.53	5.68	5.84	6.00	6.16	6.32	6.48	6.65	6.82	6.99	7.17	7.35	7.53		
0.45	3.82	3.96	4.11	4.26	4.41	4.56	4.72	4.88	5.04	5.21	5.38	5.56	5.74	5.92	6.11	6.30	6.49	6.69	6.89	7.10	7.31	7.53	7.75	7.97	8.20	8.43	8.66		
0.5	4.04	4.20	4.37	4.55	4.72	4.90	5.09	5.28	5.48	5.68	5.88	6.10	6.32	6.55	6.78	7.01	7.26	7.51	7.76	8.03	8.30	8.57	8.86	9.15	9.46	9.77	10.08		
0.55	4.28	4.47	4.67	4.87	5.07	5.29	5.51	5.74	5.97	6.22	6.47	6.73	6.99	7.27	7.55	7.85	8.15	8.47	8.79	9.12	9.47	9.82	10.19	10.57	10.96	11.36	11.76		
0.6	4.55	4.77	4.99	5.22	5.47	5.72	5.98	6.25	6.53	6.82	7.13	7.44	7.77	8.11	8.46	8.82	9.20	9.59	10.00	10.43	10.87	11.32	11.80	12.29	12.80	13.31	13.82		
0.65	4.84	5.09	5.35	5.62	5.90	6.20	6.51	6.83	7.17	7.52	7.88	8.26	8.66	9.08	9.51	9.96	10.43	10.93	11.44	11.98	12.54	13.12	13.73	14.36	15.03	15.70	16.38		
0.7	5.16	5.46	5.75	6.06	6.39	6.74	7.10	7.48	7.89	8.31	8.75	9.21	9.69	10.20	10.74	11.30	11.88	12.50	13.15	13.82	14.53	15.28	16.06	16.88	17.75	18.63	19.52		
0.75	5.51	5.84	6.19	6.55	6.94	7.34	7.77	8.23	8.70	9.21	9.74	10.30	10.89	11.51	12.17	12.86	13.59	14.36	15.17	16.03	16.93	17.88	18.89	19.95	21.06	22.21	23.38		
0.8	5.90	6.27	6.67	7.10	7.55	8.02	8.53	9.06	9.63	10.23	10.87	11.55	12.27	13.03	13.83	14.69	15.60	16.56	17.58	18.66	19.80	21.02	22.30	23.67	25.11	26.61	28.16		
0.85	6.32	6.75	7.21	7.70	8.23	8.79	9.38	10.01	10.69	11.41	12.18	12.99	13.87	14.79	15.78	16.84	17.96	19.16	20.44	21.80	23.25	24.80	26.44	28.20	30.07	32.07	34.19		
0.9	6.78	7.28	7.81	8.38	8.99	9.64	10.34	11.09	11.89	12.76	13.67	14.65	15.72	16.85	18.06	19.36	20.76	22.25	23.85	25.56	27.40	29.36	31.47	33.72	36.14	38.72	41.44		
0.95	7.30	7.86	8.47	9.13	9.84	10.60	11.42	12.31	13.26	14.29	15.38	16.58	17.86	19.24	20.73	22.33	24.05	25.91	27.91	30.06	32.38	34.88	37.57	40.46	43.58	46.94	50.54		
1	7.86	8.51	9.21	9.97	10.79	11.68	12.65	13.69	14.82	16.04	17.37	18.80	20.35	22.03	23.85	25.82	27.95	30.26	32.75	35.46	38.38	41.55	44.98	48.69	52.71	57.04	61.68		

Shadow price		P = 0.050																											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
0	1.00	1.06	1.10	1.14	1.19	1.23	1.27	1.31	1.36	1.39	1.43	1.46	1.50	1.53	1.56	1.60	1.63	1.66	1.69	1.72	1.74	1.77	1.80	1.82	1.85	1.87			
0.05	1.00	1.05	1.10	1.14	1.19	1.23	1.27	1.32	1.36	1.40	1.43	1.47	1.51	1.54	1.58	1.61	1.65	1.68	1.71	1.74	1.77	1.80	1.83	1.85	1.88	1.91			
0.1	1.00	1.05	1.10	1.14	1.19	1.23	1.28	1.32	1.36	1.40	1.44	1.48	1.52	1.56	1.59	1.63	1.66	1.70	1.73	1.76	1.80	1.83	1.86	1.89	1.92	1.95			
0.15	1.00	1.05	1.10	1.14	1.19	1.23	1.28	1.33	1.37	1.41	1.45	1.49	1.53	1.57	1.61	1.65	1.68	1.72	1.76	1.79	1.83	1.86	1.89	1.93	1.96	1.99			
0.2	1.00	1.05	1.10	1.14	1.19	1.24	1.28	1.33	1.37	1.41	1.46	1.50	1.54	1.58	1.62	1.66	1.70	1.74	1.78	1.82	1.86	1.89	1.93	1.96	2.00	2.03			
0.25	1.00	1.05	1.10	1.14	1.19	1.24	1.28	1.33	1.38	1.42	1.46	1.50	1.55	1.60	1.64	1.68	1.72	1.76	1.81	1.85	1.89	1.93	1.97	2.00	2.04	2.08			
0.3	1.00	1.05	1.10	1.14	1.19	1.24	1.29	1.33	1.38	1.43	1.47	1.52	1.56	1.61	1.65	1.70	1.74	1.79	1.83	1.88	1.92	1.96	2.01	2.05	2.09	2.13			
0.35	1.00	1.05	1.10	1.15	1.19	1.24	1.29	1.34	1.39	1.43	1.48	1.53	1.58	1.62	1.67	1.72	1.77	1.81	1.86	1.91	1.95	2.00	2.05	2.09	2.14	2.19			
0.4	1.00	1.05	1.10	1.15	1.19	1.24	1.29	1.34	1.39	1.44	1.49	1.54	1.59	1.64	1.69	1.74	1.79	1.84	1.89	1.94	1.99	2.04	2.09	2.14	2.19	2.24			
0.45	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.46	1.50	1.56	1.60	1.65	1.71	1.76	1.81	1.86	1.92	1.97	2.03	2.08	2.14	2.19	2.25	2.30			
0.5	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.46	1.51	1.56	1.61	1.67	1.72	1.78	1.84	1.89	1.95	2.01	2.07	2.12	2.18	2.24	2.30	2.37			
0.55	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.41	1.46	1.52	1.57	1.63	1.68	1.74	1.80	1.86	1.92	1.98	2.04	2.11	2.17	2.24	2.30	2.37	2.43			
0.6	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.36	1.41	1.47	1.53	1.58	1.64	1.70	1.76	1.82	1.88	1.94	2.00	2.06	2.12	2.18	2.24	2.30	2.37	2.43			
0.65	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.31	1.36	1.42	1.48	1.53	1.59	1.66	1.72	1.78	1.85	1.91	1.98	2.05	2.12	2.20	2.27	2.35	2.42	2.50	2.58			
0.7	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.26	1.31	1.37	1.42	1.48	1.54	1.61	1.67	1.74	1.80	1.87	1.94	2.01	2.09	2.17	2.24	2.32	2.40	2.48	2.58	2.66			
0.75	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.26	1.31	1.37	1.43	1.49	1.56	1.62	1.68	1.75	1.82	1.90	1.97	2.05	2.13	2.21	2.29	2.38	2.47	2.56	2.65	2.76			
0.8	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.26	1.32	1.38	1.44	1.50	1.56	1.63	1.70	1.77	1.85	1.92	2.00	2.08	2.17	2.26	2.35	2.44	2.53	2.63	2.74	2.84			
0.85	1.00	1.05	1.10	1.15	1.21	1.26	1.32	1.38	1.44	1.51	1.57	1.64	1.72	1.79	1.87	1.95	2.03	2.12	2.21	2.30	2.40	2.50	2.60	2.71	2.82	2.94			
0.9	1.00	1.05	1.10	1.15	1.21	1.26	1.32	1.38	1.46	1.52	1.58	1.66	1.73	1.81	1.89	1.98	2.07	2.16	2.25	2.35	2.46	2.57	2.68	2.79	2.92	3.04			
0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.21	1.27	1.33	1.39	1.46	1.52	1.60	1.67	1.75	1.83	1.92	2.01	2.10	2.20	2.30	2.41	2.52	2.63	2.76	2.88	3.01	3.16			
1	1.00	1.05	1.10	1.15	1.21	1.27	1.33	1.39	1.46	1.53	1.61	1.68	1.77	1.85	1.94	2.04	2.13	2.24	2.35	2.46	2.58	2.71	2.84	2.98	3.12	3.27			

BIBLIOGRAPHIE

Agence Métropolitaine de Transport, *Rapport annuel 2004*, Agence métropolitaine de transport, 2003, 58 pages.

Agence Métropolitaine de Transport, *Budget d'exploitation 2006*, Agence métropolitaine de transport, 2005, 116 pages

Agence Métropolitaine de Transport, *Plan triennal d'investissement 2006-2007-2008*, Agence métropolitaine de transport, 2006, 180 pages

Arrow, K. & Kurz, M. (1970), Public Investment, the Rate of Return, and Optimal Fiscal Policy, *Baltimore*

Blinder, A.S. (1985) "Federal deficits, Interest Rates, and Monetary Policy: Comment." *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 17, No.4, pp.685-689

BOYER, M., GRAVEL, É. (2006), "Évaluation de projets : La valeur actualisée nette optimisée (VAN-O)", *Assurances et gestion des risques*, 74(2), juillet 2006, 163-185.

Bradford, D.F. (1975), Constraints on Government Investment Opportunities and the Choice of Discount Rate, *The American Economic Review*, Vol. 65, no. 5, pp. 887-899.

Brean, D., Burgess, D., Hirshhorn, R., Schulman, J. (2005), Treatment of Private and Public Charges for Capital in a "Full-Cost Accounting" of Transportation, *Final report*, 110 p.

Brook et al. (2004), Oil Price Developments : Drivers, Economic Consequences and Policy responses, *OECD*, , 51 pages

Boardman A.E., Greenberg, D.H., Vining, A.R., Weimer, D.L., (2001), Cost-Benefit Analysis, Concepts and Practice, *Prentice Hall*, 526 p.

Burgess, D. (1981), "The Social Discount Rate for Canada: Theory and Evidence, *Analyse de politiques*, v.7 no 3.

Burgess, D. (2006), Public Investment Criteria in Overlapping Generation Models of Open Economies, *International Tax and Public Finance*, Vol. 13, pp. 59-78

Caplin, A., Leahy, J. (2004), The Social Discount Rate, *Journal of Political Economy*, Vol. 112, no.6, pp. 1257-1268

- DeNocker et al. (1999), Externe kosten van elektriciteitsproductie in België, *W.P, VITO*, 14 pages
- DesRosiers, D. (2001), Total cost of ownership, *DesRosiers Automotive Reports* - Vol. 15, Issue 13, July 15, 5 pages
- Edwards, S. (1985), Country risk, foreign borrowing and the social discount rate in an open economy, *Working paper no. 1651, National Bureau of Economic Research*, Cambridge, MA
- Evans, D.J., Sezer, H. (2002), A time preference measure of the social discount rate in the UK, *Applied Economics*, Vol. 24, pp. 1925-1934
- Evans, D.J., Sezer, H. (2005), Social Discount Rates for Member Countries of the European Union, *Journal of Economic Studies*, Vol. 32, no. 5, pp. 47-59
- Evans, D.J., (2005), The Elasticity of Marginal Utility of Consumption : Estimates for 20 OECD Countries, *Fiscal Studies*, Vol. 26, no. 2, pp. 197-224.
- Evans, D.J., (2006), Social Discount Rates for the European Union, Working paper no.2006-20 for Milan European Economy Workshops
- Feldstein, M. (1964), Net Social Benefit Calculation and the Public Investment Decision, *Oxford Economic Papers*, Vol. 16, No. 1 pp. 114-131
- Feldstein, M. (1972), The Inadequacy of Weighted Discount Rates. *Cost-Benefit Analysis*. R. Layard(dir.), Hammondswoth, Angleterre, Penguin Books.
- Gollier, C. (2002), Time Horizon and the Discount Rate, *Journal of Economic Theory*, Vol. 107, pp. 463-473
- Gollier, C. (2005), Comment intégrer le risque dans le calcul économique? *Université de toulouse*, 10 p.
- Grouvil, L. & Joubert, F. (2004), Évaluation de la congestion routière dans la région de Montréal, *Études et recherches en transport, Ministère des Transports du Québec*, 123 pages
- HBL Decision Economics, (2002), Modèle coûts-avantages appliqué à l'évaluation de projets d'investissement dans les transports publics et les routes, *HBL Decision Economics inc*, 186 pages
- Jenkins, Glenn and Chun-Yan Kuo, (2007) The Economic Opportunity Cost of Capital for Canada—An Empirical Update, *QED Working Paper Number 1133, Department of Economics, Queen's University, Kingston, Canada*.
http://www.econ.queensu.ca/working_papers/papers/qed_wp_1133.pdf.

- Jenkins, G.P., Kuo, C.Y. (1998), Estimation of the National Parameters for Economic Cost-Benefit Analysis for the Philippines, *Development Discussion Papers, Harvard Institute for International Development*, no. 653
- Jenkins, G.P. (1980), Discount Rates for Economic Appraisal of Public Sector Expenditures, *Canadian Public Policy*, V1:3, pp.549-555
- Kula, E. (1984), Derivation of social time preference rates for the United States and Canada, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 99
- Kula, E. (2004), Estimation of a Social Rate of Interest for India, *Journal of Agricultural Economics*, Vol. 55, no.1, pp. 91-99
- LE PLAN, Révision du taux d'actualisation des investissements publics, *Commissariat Général du Plan*, (2005), 111 p.
- Lind, R.C. (1990), Reassessing the Government's Discount Rate Policy in Light of New Theory and Data in a World Economy with a High Degree of Capital Mobility, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 18, pp S8-S18
- Lyon, R. M. (1990) Federal Discount Policy, the Shadow Price of Capital, and Challenges for Reforms, *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 18, no. 2, partie 2,
- Martin, F. (2005), Évaluation de projets publics, *Faculté des arts et des sciences, département de sciences économiques*
- Mendelsohn, R. (1981), The Choice of Discount Rates for Public Projects, *The American Economic Review*, Vol. 71, No.1, pp. 239-241
- Montmarquette, C., Scott, I. (2007), Taux d'actualisation pour l'évaluation des investissements publics au Québec, *Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations (CIRANO)*, Rapport de projet.
- Moore, M.A., Boardman, A.E., Vining, A.R., Weimer, D.L., Greenberg, D.H. (2003), "Just Give Me a Number!" Practical Values for the Social Discount Rate, Working paper
- Pearce, D., Atkinson, G., Susana, M. (2006), Cost-Benefit Analysis and the Environment, *OECD Publishing*, 315 p.
- Policy Research Initiative, *Social Discount Rates for Canada*, Ottawa, 2007
- Ramsey, Frank P. (1928). "A Mathematical Theory of Saving." *Econ. J.* 38 (December):543-59.

- Ruggeri, G. (1999), The marginal cost of public funds in closed and small open economies, *Fiscal Studies*, Vol. 20, pp. 41-60
- Sandmo, A., Drèze, J.H. (1971), Discount Rates for Public Investment in Closed and Open Economies, *Economica*, Vol. 38, no. 152, pp. 395-412
- Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (1998), Guide de l'analyse avantages, *Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada*, 110 p.
- Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (2007), Canadian Regulatory Cost-Benefit Analysis Guide. 53p
- Scott, M.F., Dowley, M. (1977), The Test Rate of Discount and Changes in Base-Level Income in the United Kingdom, *The Economic Journal*, Vol. 87, no. 346, pp.219-241
- Sjaastad, L.A., Wisecarver, D.L. (1977), The Social Cost of Public Finance, *The Journal of Political Economy*, Vol. 85, no. 3, pp. 513-548
- Spackman, M. (2004), Time Discounting and the Cost of Capital in Government, *Fiscal Studies*, Vol. 25, no. 4, pp. 467-518.
- Sumner, M.T. (1980), Benefit-Cost Analysis in Canadian Practice, *Canadian Public Policy*, Vol. 1:2
- THE GREEN BOOK, Appraisal and Evaluation in Central Government, *HM Treasury (UK)*, (2003), 113 p.
- Vining, A.R., Richards, J., (2001), Building the Future, Issues in Public Infrastructure in Canada, *C.D. Howe Institute*, 223p.
- Weitzman, M.L. (1998), Why the Far-Distant Future Should Be Discounted at Its Lowest Possible Rate, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 36, pp. 201-208
- Zhuang, J., Liang, Z., Lin, T., De Guzman, F., (2007), Theory and Practice in the Choice of Social Discount Rate for Cost-Benefit Analysis: A Survey, *Asian Development Bank, Economics and Research Department Working Paper*, no. 94

