



Groupe opérationnel n° 1 « Mobilités, territoires et
développement durable »
Groupe opérationnel n° 11 « Politiques des transports »

Réponse à l'appel à propositions sur les
dimensions critiques du calcul économique

**« Réseau de recherche sur les dimensions critiques du calcul
économique »**

- **En réponse à l'appel à proposition transmis par les groupes 1 et 11 du Predit, un réseau de chercheurs s'est constitué pour apporter la réponse la plus riche et la plus ciblée possible.**
- **La version détaillée de cette réponse a pris la forme d'un ouvrage, transmis aux commanditaires de l'étude, et qui sera prochainement publié.**
- **Une version synthétique de ces recherches est proposée dans les pages qui suivent. Rédigée par Joël Maurice et Yves Crozet à partir des diverses contributions, elle vise à mettre en lumière certains développements particulièrement aptes à répondre aux questions vives qui sont aujourd'hui posées au calcul économique.**
- **Des annexes à cette synthèse sont également disponibles.**

Introduction.....	3
1) Le calcul économique : un avocat de l'intérêt général.....	5
1.1 La pertinence du calcul économique dans la recherche de l'intérêt général	6
1.2. Le calcul économique : du projet aux programmes.....	6
1.2.1. Application du calcul coûts-avantages comme aide à la décision de réaliser ou non un projet (ou groupe de projets) indépendant.	7
1.2.2. Programmation des investissements sous contraintes budgétaires	8
2) Taux d'actualisation, risques et calcul économique à l'envers	16
2.1) Ce que révèle la récente baisse du taux d'actualisation	16
Figure n°1 : De l'explicitation au traitement des risques	18
2.2) Questions sur la contrainte budgétaire et le coût d'opportunité des fonds publics	21
2.3) Vers un meilleur traitement des risques propres aux projets	25
2.4) Sensibilité aux valeurs tutélaires et calcul économique « à l'envers »	26
3) Acceptabilité et équité : des critères orthogonaux par rapport au calcul économique ?	31
3.1) Qu'est-ce que l'intérêt général d'une Région par rapport à l'intérêt général « national » ?	31
3.2) Equité <i>versus</i> utilité : le vote serait-il une solution inadaptée ?	38
3.3) De l'équité à l'acceptabilité : peut-on échapper à la préférence pour le statu quo ?	42
4) De l'acceptabilité à l'accessibilité : la redécouverte d'une notion ancienne.....	50
4.1) Du calcul économique à l'accessibilité : une autre déclinaison du calcul économique	51
4.2) L'accessibilité : une notion porteuse de consensus ?	54
Conclusion	57

Introduction

Au mois de février 2003, un rapport sur les grands projets d'infrastructure de transport était remis au ministre de l'Équipement et des Transports. Rédigé, à la demande du ministre, par le conseil général des Ponts et Chaussées et l'inspection des Finances, il passait au crible du calcul économique l'ensemble des projets de nouvelles infrastructures de transport terrestre (routes, fer, voies navigables). Ses conclusions ont été d'emblée contestées par tous ceux, notamment les élus locaux, qui voyaient dans ses résultats la remise en cause de la programmation d'infrastructures les concernant. Se faisant très largement l'écho de la protestation des élus, le CIADT¹ du 18 décembre 2003 annonçait le lancement de 50 grands projets d'infrastructure pour les 20 années à venir : un programme où les questions de financement et de rentabilité socio-économique étaient peu détaillées. Cet exemple, parmi beaucoup d'autres, illustre la perte de crédibilité des processus élaborés dans les années 60 pour garantir une certaine rationalisation des choix budgétaires. Le calcul économique ne semble plus à même de guider les décideurs publics dans la définition de l'intérêt général. Ses résultats ne vont plus de soi, il doit en quelque sorte se justifier.

Depuis les travaux de L. Boltanski et L. Thévenot², il est devenu connaissance commune que toute démarche de justification s'inscrit dans une vision du monde, généralement implicite. Ce constat s'applique évidemment dans le cas des infrastructures de transport. Le calcul économique, bien qu'il monétarise les coûts externes et les avantages non marchands comme les gains de temps, ou peut-être à cause de cela, est considéré comme une pratique technocratique : reflet d'un certain "monde" de pensée, ignorant d'autres dimensions, d'autres "mondes", réputés plus sensibles aux questions d'aménagement du territoire, d'environnement, de développement local, etc.

Le calcul économique est donc aujourd'hui en partie déconsidéré³ alors même que pour reprendre la formule de Marcel Boiteux : « *l'intérêt de faire du bilan socio-économique, non le critère, mais le noyau de l'estimation de la valeur d'un projet, c'est de permettre une analyse des raisons pour lesquelles on est conduit à s'écarter de la de la solution à laquelle ce seul bilan aurait conduit, et de pouvoir ainsi chiffrer le surcoût de la décision* »⁴. La capacité du calcul économique à chiffrer les coûts et les surcoûts, et donc de rendre commensurables et comparables différents projets est évidemment source de tensions. Le principal obstacle que rencontre le calcul économique provient de sa capacité à bousculer le jeu des intérêts. Pour cette raison, sa légitimité est régulièrement mise en doute, et il serait naïf de croire que les groupes de pression, quels qu'ils soient, sont prêts à se rendre aux arguments du calcul économique. Mais cela ne signifie pas qu'il doive être écarté, au contraire. Comme le montrent des exercices récents effectués sur des projets importants comme la liaison Seine-Nord-Europe, le calcul économique conduit à se poser des questions pertinentes. Ce qui est nécessaire est donc le renforcement de la pertinence du calcul économique.

Pour cette raison, suivant une demande du conseil général des Ponts et Chaussées, les Groupes opérationnels (GO) n° 1 et n°11 du PREDIT ont lancé un travail de recherche sur les

¹. Comité interministériel d'aménagement et de développement du territoire

² Boltanski L. et Thévenot L. (1991), De la justification. Les économies de la grandeur, Paris, Gallimard.

³ Pour une analyse détaillée, voir Y. Crozet, Calcul économique et démocratie : des certitudes démocratiques au tâtonnement politique, N°47 Cahiers d'Economie Politique, L'harmattan, 2004

⁴ Commissariat Général du Plan, Transports : pour un meilleur choix des investissements, Avril 2000

pistes de travail qui pourraient non pas refonder, mais enrichir le calcul économique afin de le rendre plus adapté aux questions qui se posent aujourd'hui en matière de développement des infrastructures de transport. En réponse à cette demande, un « Réseau de recherche sur les dimensions critiques du calcul économique » a été constitué à la fin de l'année 2004. Il vient de rendre ses travaux sous la forme d'un ouvrage construit en trois parties qui développent respectivement :

- la construction du calcul économique (hypothèses de trafic, structures de marchés, valeurs tutélaires, taux d'actualisation, risque et incertitude) ;
- la programmation des investissements (comment passer d'un ensemble de projets à un programme ordonné ?) ;
- l'aide à la décision publique (mesure des impacts, efficacité, équité et acceptabilité, questions d'aménagement du territoire).

Les pages qui suivent visent à mettre en lumière certains résultats de cette recherche, non pas en passant en revue toutes les contributions mais en rapprochant les travaux de recherche de quelques questions vives qui se posent aujourd'hui au décideur public. A l'heure où sont systématisés les procédures de « Débat public » pour tout projet d'importance, il n'est plus possible de se référer au seul « monde » du calcul économique, de la Valeur actuelle nette (VAN) ou du Taux de rentabilité interne (TRI) d'un projet. Mais il ne faut pas abandonner ce terrain là. Comme le suggèrent les travaux du « Réseau de recherche », ce n'est pas en contournant ou en fuyant le calcul économique qu'on améliore sa pertinence. C'est au contraire en prenant le temps de développer les questions qu'il pose que l'on peut entrer de plain pied dans d'autres « mondes ».

- Pour cette raison, cette synthèse commence par des réflexions directement issues d'un « monde » centré sur les VAN et les TRI comparés des différents projets. Nous commencerons ainsi par présenter la délicate question de la détermination du programme optimal d'investissement. Nous verrons que dans cette procédure d'établissement d'un programme optimal, la question du taux d'actualisation est centrale, tout comme celle du coût d'opportunité des fonds publics. Première illustration des bonnes questions que le calcul économique permet de poser.
- En prolongement de ces interrogations, et tout en restant dans le « monde » du calcul économique nous porterons ensuite une attention particulière à la question du taux d'actualisation dont la valeur et la signification ont profondément changé en France alors même que se déroulait la recherche sur les dimensions critiques du calcul économique. Nous éclairerons notamment ce fait majeur qu'est la question des risques dans l'évaluation des projets et le choix public. Nous aborderons aussi la question clé des valeurs tutélaires retenues par le calcul économique. Il est notoire que le changement de ces valeurs affecte les résultats du calcul économique, ce qui invite à des tests de sensibilité, y compris en réalisant ce que l'on peut appeler un calcul économique « à l'envers ».
- Nous nous éloignerons ensuite, au moins en apparence, du monde du calcul économique pour entrer dans le « monde » de l'acceptabilité. Indiquons d'emblée que l'objectif n'est pas ici de trouver les procédures, les astuces institutionnelles, qui permettraient de « faire passer » dans l'opinion publique un projet contesté. Le « monde » de l'acceptabilité nous invite plutôt à une meilleure définition des gagnants et des perdants, ce qui n'est rien d'autre qu'une forme de raffinement du calcul économique. Intéressante, cette façon de concevoir l'acceptabilité reste partielle. La question de fond n'est pas celle de tel projet particulier, mais renvoie à une indétermination croissante des préférences collectives en matière d'infrastructure de transport. Nous sommes entrés dans une nouvelle ère où la demande sociale ne se décline plus en kilomètres supplémentaires de bitume, de voie

ferrée ou de voie d'eau. Les arguments de maximisation du surplus collectif, que met en avant le calcul économique, doivent être combinés avec d'autres approches de l'intérêt général, qui se fondent sur des conceptions diverses, et parfois conflictuelles, de l'équité.

- Evoquer les questions d'équité fait courir le risque d'indécidabilité. Comme le montrent de nombreux Débats publics, la confrontation des légitimités tourne vite au dialogue de sourds pour ne pas dire à l'échange de vociférations. Il est donc nécessaire de trouver un terrain d'entente, une voie conduisant à un certain consensus. Or, contre toute attente, le « monde » du calcul économique peut se révéler utile dans ce « monde » du marchandage politique, qui ne lui est pas familier. En développant des indicateurs d'accessibilité, il est possible d'aborder sous un angle nouveau la détermination de l'intérêt général en matière d'infrastructures de transport. L'annexe 2 de la circulaire de Robien a ouvert des pistes dans ce domaine. Elles doivent être explorées, comme le rappelle souvent Jean Poulit, même si, en toute rigueur, nous recommandons de ne pas confondre indicateurs d'accessibilité et impacts directement mesurables sur la croissance économique.

1) Le calcul économique : un avocat de l'intérêt général

« L'instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport » a été diffusée puis mise à jour par circulaires ministérielles des 25 mars 2004 et du 27 mai 2005. Elle constitue la référence actuelle en la matière.

Elle procède de la Loi d'orientation sur les transports intérieurs du 31 décembre 1982 qui dispose, en son article 14 : « Les grands projets d'infrastructures et les grands choix technologiques sont évalués sur la base de critères homogènes intégrant les impacts des effets externes des transports relatifs notamment à l'environnement, à la sécurité et à la santé et permettant de procéder à des comparaisons à l'intérieur du même mode de transport et entre différents modes ou combinaisons de modes. Ces évaluations sont rendues publiques avant l'adoption définitive des projets concernés ».

La circulaire ministérielle précitée du 25 mars 2004 précise notamment : « Le bilan économique constitue le noyau central de l'évaluation, indicateur irremplaçable de repérage et d'ordonnement dans le processus de décision publique : cette méthode est la seule qui permette aujourd'hui des comparaisons chiffrées entre différents projets d'investissement concernés ». Cela, sans préjudice des autres éléments quantitatifs ou qualitatifs susceptibles d'intervenir dans les choix publics.

Héritière d'un riche acquis historique, l'instruction cadre intègre les apports de divers travaux récents relatifs notamment à la prise en compte des externalités, ainsi qu'à l'interaction du calcul économique et du débat public. Elle met en outre l'accent - comme le souligne la circulaire du 27 mai 2005- sur les implications de l'abaissement récent du taux d'actualisation et sur la nécessité de mieux analyser les risques ainsi que sur la prise en compte de contraintes budgétaires dans le choix de projets.

Ces préoccupations nouvelles et d'autres, comme l'incidence redistributive ou l'acceptabilité sociale des infrastructures de transports, invitent cependant à poursuivre les efforts d'analyse afin d'améliorer les méthodes d'aide à la décision publique et dans cette perspective, le Conseil général des Ponts et le Predit ont lancé le programme de recherche sur « les dimensions critiques du calcul économique » qui a été confié à notre réseau de laboratoires.

Pour rendre compte des résultats principaux de nos travaux, il paraît utile avant toute chose de revenir sur l'objectif même poursuivi par le calcul économique ou son synonyme, l'analyse coûts-avantages (ACA). Quelle est sa démarche ? que cherche-t-il à mesurer ? à quoi cherche-t-il à servir ?

Historiquement, l'analyse coûts-avantages a été fondée il y a plus de 150 ans par Jules Dupuit, auteur de deux articles célèbres publiés dans les Annales des ponts et chaussées : « De la mesure de l'utilité des travaux publics » (1844) et « De l'influence des péages sur l'utilité des voies de communication » (1849). Il y met en avant des notions auxquelles ont se réfère couramment depuis lors : la courbe de demande (exemple : nombre de franchissements d'un pont effectués en fonction du prix du péage) ; l'interprétation de cette demande comme résultant de décisions individuelles au regard de l'utilité procurée par chaque franchissement ; l'évaluation de cette utilité du franchissement en termes monétaires (surplus de l'utilisateur : la décision de franchissement n'est prise que si ce surplus est positif) ; l'évaluation du surplus collectif par agrégation des surplus individuels.

Cependant la théorie socio-économique a connu depuis Jules Dupuit d'importants développements dans de nombreux domaines. La question se pose donc de savoir dans quelle mesure les méthodes de l'analyse coûts-avantages –qui se sont elles-mêmes enrichies– sont cohérente avec l'état actuel des connaissances et des problématiques ; ou, plus précisément, de situer la portée et les limites du calcul économique.

Cette question est vaste et on ne prétend pas la traiter dans toute son ampleur. Elle est abordée sous un certain nombre d'angles dans les contributions rassemblées dans notre ouvrage collectif « les dimensions critiques du calcul économique » publié sous l'égide du Predit, auquel on suggère de se reporter. Dans ce qui suit, on se limitera à quelques aspects abordés dans l'ouvrage. On s'attachera principalement aux deux questions suivantes : 1/ le calcul économique est-il un instrument pertinent d'aide à la décision en matière de politiques publiques (et notamment d'équipement collectifs, tels que les infrastructures de transport) ? 2/ Le calcul économique permet-il en outre de hiérarchiser tous les projets jugés souhaitables ou de les classer par ordre préférentiel de réalisation et de bâtir ainsi des programmes ?

1.1 La pertinence du calcul économique dans la recherche de l'intérêt général

De caractère technique et rappelant des bases connues des habitués du calcul économique, cette sous-partie se retrouve dans **l'annexe 1**. Il est conseillé de s'y référer quand un rafraîchissement des bases théoriques est nécessaire.

1.2. Le calcul économique : du projet aux programmes

L'analyse coûts-avantages trouve son application la plus immédiate comme aide à la décision de réaliser ou non chaque projet individuel, pourvu qu'il puisse être considéré comme suffisamment indépendant des autres projets. Elle s'applique de même à des projets significativement corrélés entre eux en les considérant comme formant un tout, lui-même suffisamment indépendant de tout autre projet ou groupe de projets.

Mais la question se pose aussi de savoir dans quelle mesure l'analyse coûts-avantages est pertinente dans le cas où il existe des contraintes de financement qui concernent l'ensemble des projets. C'est tout particulièrement le cas s'il s'exerce une contrainte budgétaire empêchant de financer la totalité des projets qui seraient justifiés par une application

individuelle de l'analyse coûts-avantages. Il est alors nécessaire d'élaborer un programme, c'est-à-dire de déterminer quels projets il faut retenir (le cas échéant en les reconfigurant) et/ou dans quel ordre il convient de les réaliser.

Examinons successivement ces deux questions

1.2.1. Application du calcul coûts-avantages comme aide à la décision de réaliser ou non un projet (ou groupe de projets) indépendant.

On retrouve ici directement les dispositions édictées par l'instruction cadre, qu'il serait inutile de paraphraser. On se bornera à insister sur les points suivants.

Le bénéfice socio-économique B reflétant dans les conditions qu'on a rappelées la variation équivalente du revenu créée par le projet à l'échelle collective, il en découle logiquement le critère de base, selon lequel il convient de renoncer au projet si $B < 0$ et en revanche de la réaliser si $B > 0$ (le cas $B = 0$ étant en principe indifférent). Encore faut-il préciser que ce critère ne doit pas être appliqué à la première version venue du projet, mais à la variante qui procure la plus grande valeur possible de B . Le critère ne doit donc être appliqué qu'après avoir procédé à un travail d'optimisation pour notamment réduire les coûts actualisés directs (technologie d'investissement, d'entretien, etc) ainsi que les externalités négatives, maximiser les recettes actualisées directes (tarification eu égard à la courbe de demande) ainsi que les externalités positives, et déterminer la date de réalisation optimale⁵ (par exemple selon le critère du taux de rentabilité immédiate, lorsqu'il s'applique).

Il importe en particulier de se pencher sur la question des perdants et des moyens matériels ou financiers envisagés pour compenser en tout ou partie leurs pertes. Ces dispositions peuvent en effet dans certains cas, notamment si elles rétroagissent sur la demande, avoir des répercussions sensibles sur le niveau du bénéfice socio-économique (voir plus haut).

Enfin il importe de ne pas considérer les différents paramètres comme des grandeurs certaines, mais comme des variables aléatoires, aspects sur lequel on reviendra plus loin dans la présente note de synthèse (application du critère sur l'espérance mathématique de B ou intervention d'une aversion au risque conduisant à prendre en compte dans le critère de décision la dispersion de B).

Pour autant que ces différentes recommandations soient respectées, l'analyse coûts-avantages présente alors un intérêt manifeste : elle signale les projets à éviter (ceux qui provoqueraient une variation équivalente négative du revenu global, c'est-à-dire une détérioration du niveau de l'utilité collective) et recommande les projets à réaliser (ceux qui sont susceptibles de susciter une variation équivalente positive du revenu global, c'est-à-dire une amélioration du niveau de l'utilité collective). Sachant bien entendu qu'il ne s'agit que d'une aide à la décision, laquelle qui relève du politique et peut faire intervenir de nombreuses autres considérations dont la légitimité n'est pas en cause.

On rappelle à ce stade que, en principe, tout projet devrait être réalisé si son bénéfice socio-économique (optimisé) est positif, si peu que ce soit. S'il n'existe aucune contrainte de financement, il faut en effet évidemment réaliser un projet dont B vaut 1000, mais il serait dommage de se priver d'un projet qui peut dégager un B valant 1. Le critère est le signe de B ; la valeur de B (pourvu qu'elle soit positive) ne départage pas les projets⁶.

Mais la question se pose sous un angle très différent s'il existe des contraintes de financement. C'est ce que l'on va examiner maintenant.

⁵ Voir en particulier la contribution d'Emile Quinet, qui souligne l'importance du choix optimal de la date de réalisation.

⁶ Cela, dans la mesure où les projets sont indépendants. En revanche, comme on l'a vu, entre les variantes d'un même projet, qui sont par nature incompatibles entre elles, il faut prendre seulement en considération celle qui fournit la valeur de B .

1.2.2. Programmation des investissements sous contraintes budgétaires

La crainte d'un resserrement des contraintes de financement a été avivée par le récent abaissement du taux d'actualisation.

Selon une intuition répandue, l'abaissement du taux d'actualisation de 8% à 4% à la suite du rapport⁷ du Commissariat général du plan de février 2005 et de l'instruction cadre du 27 mai 2005 du ministre de l'équipement, des transports et du logement, devrait entraîner une augmentation du nombre des projets d'investissement socio-économiquement rentables et par voie de conséquence une augmentation l'enveloppe des financements nécessaires, donc en particulier une augmentation des fonds budgétaires appelés à contribuer à ces financements. Cela, au moment même où les finances publiques constituent une préoccupation majeure de la politique économique, portant à la fois, dans le cadre du Pacte de stabilité et de croissance, sur le déficit des finances publiques et sur l'importance de la dette publique en proportion du PIB, à quoi se rajoute un débat récurrent sur le niveau des prélèvements obligatoires. De ce télescopage entre une demande potentielle croissante de fonds publics et un resserrement des disponibilités naît une interrogation sur la programmation des projets socio-économiquement rentables : si l'on ne peut pas tous les financer, dans quel ordre et selon quel calendrier faut-il les réaliser ? Lesquels sont à écarter ?

Cette intuition d'un accroissement des projets socio-économiquement rentables est-elle fondée ? Certes, il est clair selon la théorie de la croissance optimale élémentaire que si le taux d'actualisation diminue, le capital par tête de croissance équilibrée augmente, donc le volume de l'investissement aussi. Mais l'abaissement du taux d'actualisation atténuant l'écrasement des avantages futurs, il peut rendre non-rentables des projets dont les avantages futurs sont en fait des inconvénients, comme par exemple les pollutions, planétaires ou locales⁸ ; la résultante de ces deux effets est donc ambiguë. En outre, comme le souligne Christian Gollier (Chapitre ? ?), le taux d'actualisation antérieur de 8% intégrait une prime de risque « forfaitaire », alors que l'adoption du taux d'actualisation de 4% doit s'accompagner d'un traitement explicite des risques projet par projet, de sorte que, au total sur l'ensemble des projets, les effets se compensent au moins partiellement et peut-être totalement. Ce point restant à élucider, on considérera ci-après, à titre de conjecture, la perspective d'une augmentation de la demande de fonds publics.

Il convient ici de rappeler que la question de la tension entre volume des projets socio-économiquement éligibles et enveloppe de fonds publics disponible n'est pas nouvelle. Ainsi, dans la première circulaire interministérielle que l'on peut considérer comme relativement

⁷ Commissariat général du plan (2005), *Le prix du temps et la décision publique*, président Daniel Lebègue, coordonnateur Philippe Hirtzman, rapporteur général Luc Baumstark, Ed. La documentation française

⁸ Exemple : Soit un projet dont l'investissement est 1 et qui comporte dans un an un bénéfice de 20 et dans deux ans un dommage de 20

Calcul du bénéfice actualisé :

$$\text{Avec 8\% : } B = 20 * \left[\frac{1}{1.08} - \left(\frac{1}{1.08} \right)^2 \right] - 1 = 0.37 \text{ : le projet est à retenir.}$$

$$\text{Avec 4\% : } B = 20 * \left[\frac{1}{1.04} - \left(\frac{1}{1.04} \right)^2 \right] - 1 = -0,26 \text{ : le projet est à rejeter.}$$

achevée quant à sa cohérence méthodologique, celle du 20 janvier 1970⁹, il était recommandé d'appliquer un coefficient de rareté des fonds publics à l'analyse coût avantage. Cette préconisation partait du constat que tous les projets réputés rentables, au sens où ils présentaient un bénéfice net actualisé (BNA) positif ne pouvaient être financés. Le coefficient de rareté appliqué à toute dépense publique abaisse, bien entendu, les soldes des bilans actualisés des projets. Cela revient à mettre en cohérence la capacité de financement des projets et le taux d'actualisation officiel, ainsi que cela a pu être recommandé par la littérature spécialisée¹⁰ puis exprimé d'une manière plus générale¹¹. Les débats se sont poursuivis au Commissariat général du Plan, on en trouve la trace notamment dans les rapports « Calcul économique et planification ¹² » (1973), « Les choix d'investissements publics décentralisés en période de croissance ralentie¹³ » (1981) et « Calcul économique et résorption des déséquilibres¹⁴ » (1983). La conclusion à laquelle ces rapports parviennent est que l'introduction d'une contrainte de fonds publics éloigne de la situation d'équilibre optimal de premier rang, qui sous-tend la théorie de l'actualisation, et conduit à la recherche d'un optimum de second rang¹⁵. Et que, « dans une optique de décentralisation des choix macro-économiques du Plan à l'intérieur de chaque enveloppe sectorielle d'équipements, un procédé approximatif mais commode est d'appliquer un coefficient majorateur affectant les dépenses – d'investissement et d'exploitation- ainsi que la part des avantages couverts par des recettes monétaires, de façon à réduire la rentabilité des projets d'investissement en compétition dans la mesure nécessaire pour que les financements des projets rentables s'adapte aux ressources disponibles¹⁶ ».

Jacques Thédié¹⁷ (1983) a développé cette approche en précisant que le coefficient majorateur est en fait annuel et peut varier « de manière très importante » d'une année à l'autre, en fonction tant de la contrainte budgétaire annuelle que de la liste des projets candidats. Il préconise pour chaque projet de calculer à l'aide de ces coefficients majorateurs annuels le « bénéfice actualisé généralisé (BAG) » dans les différentes hypothèses d'année de mise en service et d'inscrire l'opération l'année qui permet de maximiser ce BAG.

La question a également été examinée par André Laure et Claude Abraham dans leur article « Etude des programmes d'investissements routiers »¹⁸ (1984). Les auteurs mentionnent d'abord la règle selon laquelle, s'il n'existait pas de restriction budgétaire, il conviendrait de réaliser chaque projet à une date optimale, qui est celle où le taux de rentabilité socio-

⁹ MINISTERE DE L'EQUIPEMENT (1970), *Calcul de rentabilité des investissements routiers*, Circulaire du 20 janvier 1970, division des études et programmes.

¹⁰ ABRAHAM C. et THEDIE J. (1962), *Rentabilité des travaux routiers*, Rapport définitif du cycle d'étude 1961-1962, Ministère de l'Équipement, Direction des routes et de la circulation routière.

¹¹ ABRAHAM C. et THOMAS A. (1970), *Microéconomie, décisions optimales dans l'entreprise et dans la nation*, Dunod.

¹² COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN (1973), *Calcul économique et planification*, Président Ullmo Y., rapporteur Bernard A., Ed. La Documentation française
Voir notamment pages 62 et sq. « L'incompatibilité du taux d'actualisation et de l'enveloppe d'équipements publics : vrai ou faux problème ? »

¹³ COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN (1981) « Les choix d'investissements publics décentralisés en période de croissance ralentie », président Malinvaud E., rapporteur Ballardur J-P, miméo

¹⁴ COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN (1983) « Calcul économique et résorption des déséquilibres », président Malinvaud E., président du groupe technique Guesnerie R., rapporteurs, Walliser B. et Goudard D., Ed La Documentation française

¹⁵ Voir notamment « Calcul économique et planification », *jam cit*, page 21

¹⁶ *Ibid*, page 88

¹⁷ THEDIE J. (1983) « Du choix des investissements sous contrainte financière », *Annales des ponts et chaussées*, 1^{er} trimestre

¹⁸ ABRAHAM C. et LAURE A. (1984), *Etude des programmes d'investissements routiers*, *Annales des ponts et chaussées*, 1^{er} trimestre 1983

économique immédiate est égal au taux d'actualisation ; règle qui est applicable si l'on ne s'éloigne pas trop de certaines hypothèses simplificatrices. Les auteurs abordent ensuite « la recherche de l'emploi optimum de crédits insuffisants ». Ils proposent une méthode imaginant que l'on puisse réaliser seulement une fraction de chaque projet, cette fraction s'appliquant tant à l'investissement qu'aux avantages correspondants. Ils en concluent que « l'on obtient le programme optimum, c'est-à-dire le revenu actualisé maximum, en choisissant chaque année les opérations par ordre décroissant du ratio « avantages de l'année sur investissement » jusqu'à épuisement des crédits disponibles et en recommençant l'année suivante avec les opérations restantes ». Ces résultats reposent toutefois sur des hypothèses simplificatrices, notamment sur celle-ci : si la croissance des avantages d'un projet est une année donnée supérieure à la croissance des avantages d'un autre projet cette année-là, il en va de même pour toutes les autres années envisagées.

Par rapport à cet état des lieux préexistant, les dispositions accompagnant la récente diminution du taux d'actualisation de 8% à 4% apportent des éclairages complémentaires. On en retiendra ici deux qui ont trait aux finances publiques. L'un concerne le coût d'opportunité des fonds publics, censé refléter la perte d'efficacité socio-économique (distorsions) due aux impôts. L'autre porte sur l'existence supposée d'un plafonnement des fonds publics disponibles, susceptible de se traduire par un coût fictif de rareté (variable duale associée à la contrainte quantitative).

Ainsi, le rapport du Plan précité (2005) précise (page 87) sur ces deux points : « Le rapport recommande sur la question très controversée du coût d'opportunité des fonds publics de réviser le coefficient de 1,5 proposé par le Plan en 1985 ainsi que les modalités de son usage. Il recommande par ailleurs de renforcer le mécanisme de sélection des projets de manière à utiliser les ressources financières disponibles au mieux des intérêts des collectivités en s'appuyant sur le ratio bénéfice actualisé par euro public dépensé ».

De son côté, l'instruction cadre du 27 mai 2005 fournit en son annexe III les précisions suivantes :

- en matière de coût d'opportunité des fonds publics, « le calcul de rentabilité socio-économique prendra en compte les flux budgétaires nets sur la durée de vie du projet (en provenance de l'ensemble des collectivités publiques) que l'on majorera par un coefficient de 1,3 d'opportunité des fonds publics » ;
- en matière de contrainte budgétaire, « afin de tirer le meilleur parti d'un financement public limité, la règle de classement des projets doit être non pas le bénéfice actualisé induit par le projet, mais le bénéfice actualisé par euro public dépensé, prenant en compte l'ensemble des dépenses publiques et des recettes publiques éventuelles au cours de la durée de la vie du projet (actualisés au taux de 4%) ; en conséquence, on déterminera pour chaque projet, en sus des indicateurs de rentabilité socio-économique, le bénéfice actualisé pour la collectivité divisé par la valeur actualisée nette des dépenses budgétaires de toutes les collectivités publiques (nettes des recettes fiscales éventuellement générées), pendant la durée du projet. Cet indicateur pourra faire l'objet de l'analyse de sensibilité ».

Les réflexions engagées à la suite de la récente diminution du taux d'actualisation permettent-elles d'aller plus loin ? Les trois contributions qui suivent s'attachent à préciser plusieurs aspects relatifs à la programmation des investissements en situation de rationnement des fonds publics.

Dans leur contribution, Alain Bonnafous et William Roy examinent d'abord le taux de subvention nécessaire pour assurer la rentabilité financière d'un projet. Puis, considérant un

ensemble de 17 projets d'autoroute à péage, ils recherchent sous contrainte budgétaire l'ordre de réalisation optimal de ces projets, au moyen d'une simulation en nombres entiers. Ils comparent ensuite ce résultat au classement obtenu en utilisant divers indicateurs, comme le taux de rentabilité socio-économique, le taux de rentabilité interne et le ratio bénéfice actualisé par euro investi, pour conclure que ce dernier indicateur est celui qui fournit la meilleure approximation. Ils étayent enfin cette conclusion en utilisant le procédé de fractionnement des projets et le théorème de Kuhn et Tucker relatif à l'optimisation sous contraintes.

La contribution d'Emile Quinet et Alain Sauvant propose une méthode générale basée sur le procédé de fractionnement des projets et sur l'algorithme de programmation linéaire pour résoudre la question de la programmation dynamique optimale en temps discret des projets, que ceux-ci soient indépendants ou liés, que la contrainte budgétaire soit connue avec certitude ou probabilisée. Les auteurs insistent sur la nécessité de rechercher pour chaque projet sa date de réalisation optimale, qui dépend beaucoup –outre la contrainte budgétaire- de l'évolution de l'investissement en fonction de la date de mise en service et de la convexité de la courbe des avantages par comparaison avec les autres projets candidats. Des multiples simulations qu'ils ont faites, il ressort que, parmi les différents indicateurs envisageables, le mieux corrélé avec la programmation optimale semble être le taux de rentabilité immédiate et non pas le ratio bénéfice actualisé par euro public investi. Ils préconisent de décentraliser le choix entre plusieurs variantes d'un même projet, mais d'établir ensuite au niveau central l'ordre chronologique de réalisation tenant compte des contraintes budgétaires.

La contribution de Joël Maurice reprend l'examen de la programmation dynamique en temps discret, sous contrainte annuelle de fonds publics, en utilisant le procédé de fractionnement des projets et en interprétant les résultats de la programmation linéaire à la lumière du théorème de Kuhn et Tucker. L'auteur montre que la détermination d'un « prix fictif annuel de rareté des fonds publics » (voir encadré 3) permettrait de décentraliser complètement la recherche de l'optimum par maximisation du bénéfice fictif actualisé : choix de la variante optimale, y compris du mode de financement, et de la date optimale de mise en service. Il examine le critère auxiliaire du ratio bénéfice actualisé par euro public dépensé et souligne qu'il convient de considérer autant de valeurs de ce ratio que d'années envisageables pour la mise en service ; il en conclut que ce ratio ne fournit qu'un substitut imparfait à la communication de la série des prix fictifs des fonds publics.

Encadré 1
Critère du bénéfice fictif à l'origine des temps

On considère un ensemble de projets, que l'on suppose pour simplifier indépendants, chacun étant repéré par un numéro n , compris entre 1 et N .

Par application de l'instruction cadre des 25 mars 2004 et 27 mai 2005, on calcule pour le projet n son bénéfice socio-économique pour la collectivité donné par la relation¹⁹ :

$$B^n = -I^n + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{a_{(t_0+t)}^n}{(1+r)^t}$$

où r est le taux d'actualisation

¹⁹ Cette formule est simplifiée (sans perte de généralité) en passant sous silence les investissements éludés, les dépenses de gros entretien, ainsi que la valeur résiduelle des éléments constitutifs du projet, dont la durée est d'ailleurs supposée infinie.

I^n est le coût de l'investissement supposé réalisé au cours de l'année t_0^n
 $a_{(t_0^n+t)}^n$ est l'avantage socio-économique net procuré par le projet à la collectivité à la date $(t_0^n + t)$, c'est-à-dire au cours de la $t^{ième}$ année de fonctionnement

B^n ainsi calculé est actualisé à la date t_0^n d'achèvement du projet (qui est supposé mis en service au 1^{er} janvier de l'année $t_0^n + 1$).

On choisit ensuite une origine des temps, commune à tous les projets, par exemple l'année 2004 (instruction cadre précitée) et, pour simplifier, on compte toutes les dates à partir de cette origine. On calcule alors pour chaque projet n son bénéfice actualisé à l'origine des temps, que nous appellerons BOT^n , donné par :

$$BOT^n = \frac{B^n}{(1+r)^{t_0^n}}$$

On observe que B^n et BOT^n sont de mêmes signes.

Selon le critère de base, il convient de réaliser le projet si et seulement si²⁰ $BOT^n > 0$. Rappelons qu'on est censé avoir au préalable déterminé la variante du projet (technologie, tarification, date de réalisation, etc) maximisant BOT^n .

Supposons maintenant qu'il existe des contraintes budgétaires, variables selon les années. Cela se traduit de la façon suivante.

- Supposons que le projet n comporte une dépense publique DPI^n au titre de l'investissement et une dépense publique DPE_u^n au titre de l'exploitation à la date u (postérieure à la date de mise en service). A noter que DPI^n et DPE_u^n sont des soldes nets constitués par les dépenses publiques nettes des recettes publiques (tarifs, impôts, etc) et que leur signe n'est donc pas nécessairement positif.

- L'existence d'une contrainte budgétaire à la date t signifie que la somme des dépenses publiques de l'année t , au titre des investissements réalisés cette année-là et des dépenses d'exploitation relatives aux projets réalisés, antérieurement ne peut excéder une certaine enveloppe exogène C_t .

On peut alors (voir les trois contributions de Bonnafous et Roy, Quinet et Sauvart, et Maurice) associer chaque année t à l'enveloppe C_t un « multiplicateur » de Lagrange φ_t qui sera ci-après appelé « prix fictif de rareté des fonds publics de l'année t ».

Supposons que la série temporelle φ_t soit communiquée par les pouvoirs publics (comme c'est le cas pour le taux d'actualisation) à l'ensemble des services déconcentrés ou décentralisés. Il serait dès lors possible de calculer pour chaque projet n , à l'échelon géographique pertinent, le bénéfice fictif à l'origine des temps ainsi défini :

$$BFOT_t^n = BOT_t^n - \varphi_t \cdot \frac{DPI^n}{(1+r)^t} - \sum_{u=t+1}^{\infty} \varphi_u \cdot \frac{DPE_u^n}{(1+r)^u}$$

²⁰ Il est indifférent de le réaliser ou de le rejeter si $BOT^n = 0$

A noter que dans cette relation t désigne²¹ la date de réalisation t du projet.

Il est alors proposé (voir la contribution de J. Maurice à l'ouvrage collectif), en présence de contraintes budgétaires annuelles, de substituer le critère du bénéfice fictif à l'origine des temps $BFOT_t^n$ au critère habituel du bénéfice (simple) actualisé à l'origine des temps BOT_t^n , tout en appliquant exactement la même démarche en deux temps :

- d'abord, rechercher la variante optimale du projet, c'est-à-dire celle qui maximise $BFOT_t^n$, en jouant sur tous les paramètres (techniques, tarifaires, etc) mais aussi en recherchant la date optimale de réalisation (balayage des différentes valeurs possibles du paramètre t ;
- puis retenir le projet si et seulement si²² $BFOT_t^n > 0$.

Maurice propose en outre une piste de réflexion sur l'optimisation de l'appel aux financements privés, dont le remboursement sur fonds publics public serait gagé sur la chronique supposée connue des enveloppes budgétaires disponibles (voir encadré 4). Cette démarche conduirait à une valeur unique du « prix fictif de rareté des fonds publics » au lieu d'une série de prix fictifs annuels ; cette valeur pourrait être déterminée à dire d'experts (comme le fut la révision du taux d'actualisation). Le calcul du bénéfice fictif actualisé relatif à chaque projet au niveau décentralisé en serait facilité, renforçant ainsi les raisons de considérer ce critère comme le plus approprié et d'en recommander l'usage et la diffusion.

Encadré 2 Chronique optimale des préfinancements privés

Envisageons le cas, purement fictif, où les pouvoirs publics pourraient faire intervenir des partenaires privés sur tous les projets avec un seul et même taux d'intérêt, noté i .

Le partenariat public privé pourrait alors être utilisé pour déconnecter la chronique annuelle Y_t des financements de projet et la chronique annuelle C_t des rationnements de fonds publics, pourvu que la puissance publique puisse faire face à la charge de sa dette (intérêts et principal) en versant **exactement** le montant annuel C_t . Cette condition est remplie si et seulement si ces deux chroniques sont équivalentes lorsqu'on les escompte avec le taux consenti par les partenaires financiers, ce qui se traduit par l'identité :

$$\sum_{t=0}^{\infty} \frac{C_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^{\infty} \frac{Y_t}{(1+i)^t} = 0$$

Un tel préfinancement privé, s'il était réalisable, permettrait de substituer cette contrainte intertemporelle unique à la suite (infinie) des contraintes budgétaires annuelles. Une telle simplification permet de dégager d'importants degrés de liberté, donc d'atteindre un optimum sensiblement plus avantageux.

²¹ Cette notation simplifiée remplace la notation t_0^n utilisée plus haut

²² Le cas $BFOT_t^n = 0$ est indifférent.

On peut alors montrer que la réalisation de cet optimum intertemporel implique que le prix fictif de rareté des fonds public soit de la forme :

$$\frac{\varphi_t}{(1+r)^t} = \frac{\lambda}{(1+i)^t} \quad \text{équivalente à} \quad \varphi_t = \lambda \cdot \left(\frac{1+r}{1+i} \right)^t$$

Dès lors le critère du bénéfice fictif à l'origine des temps s'écrirait sous la forme simple suivante :

$$BFOT_t^n = BOT_t^n - \lambda \cdot DPFOT_t^n$$

où $DPFOT_t^n = \frac{DPI^n}{(1+i)^t} + \sum_{u=t+1}^{\infty} \frac{DPE_u^n}{(1+i)^u}$ est la somme des dépenses publiques actualisées à

l'origine des temps l'aide du taux d'intérêt des financements privés (et non à l'aide du taux d'actualisation).

Il en résulte qu'il conviendrait de réaliser le projet si et seulement si²³ :

$$\frac{BOT_t^n}{DPFOT_t^n} > \lambda.$$

Le premier membre n'est autre que le ratio « bénéfice socio-économique par euro de dépenses publiques actualisées, très proche de la définition donnée dans l'instruction cadre (seule différence : actualisation au taux des financements privés au lieu du taux d'actualisation de Plan).

Le recours au critère ratio bénéfice par euro public dépensé serait lui aussi simplifié, le montant des euros publics dépensé devant toutefois être actualisé en utilisant non pas le taux d'actualisation, mais le taux d'intérêt réel sans risque. Mais ce critère auxiliaire resterait néanmoins imparfait et susceptible de conduire à des ambiguïtés (voir encadré 5).

Il paraît donc dans tous les cas préférable de s'en tenir au critère du bénéfice fictif à l'origine des temps.

²³ Du moins si $DPFOT_t^n > 0$. Pour plus de détail, voir l'ouvrage précité.

Encadré 3

Ambiguïté du ratio bénéfice socio-économique par euro public dépensé.

Considérons un programme comportant deux périodes et deux seulement : l'année 1 et l'année 2.

Soit deux projets A et B correspondant l'un et l'autre à un investissement de 1€ intégralement financé sur fonds publics et donc les avantages n'ont ensuite aucun impact budgétaire. Compte tenu de la contrainte budgétaire, force est de répartir les deux projets sur les deux années.

Considérons le cas n°1 où le bénéfice à l'origine des temps prendrait les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous :

Année de réalisation	1	2
Projet A	5	4
Projet B	2	3

On observe que le ratio bénéfice par euro public dépensé (qui est ici égal au bénéfice à l'origine des temps) ne permet pas de se prononcer sur l'ordre de réalisation car A possède un ratio supérieur à B l'année 1 mais aussi l'année 2.

L'ordre de réalisation (A puis B) procure un bénéfice à l'origine des temps cumulé de 8 alors que l'ordre de réalisation (B puis A) procure un bénéfice à l'origine des temps cumulé de 6. Il convient donc dans ce cas n°1 de réaliser A, puis B

Considérons maintenant le cas n°2 où le bénéfice à l'origine des temps prendrait les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous :

Année de réalisation	1	2
Projet A	5	7
Projet B	2	3

Comme précédemment selon le ratio bénéfice par euro public dépensé A est classé en tête pour chacune des deux périodes.

L'ordre de réalisation (A puis B) procure un bénéfice à l'origine des temps cumulé de 8 alors que l'ordre de réalisation (B puis A) procure un bénéfice à l'origine des temps cumulé de 9. Il convient donc dans ce cas n°1 de réaliser B puis A.

On pourrait songer à se référer non au ratio lui-même, mais à son évolution. On pourrait par exemple partir de la situation fictive dans laquelle on réaliserait A et B l'année 1, puis se dire : il faut retarder A ou B ; lequel de ces deux mouvements est le plus avantageux ?

Dans le cas n°1, retarder A fait perdre 1 et retarder B fait gagner 1 : mieux vaut retarder B.

Dans le cas n°2, retarder A fait gagner 2 et retarder B fait gagner 1 : mieux vaut retarder A.

Mais ces comparaisons ont des inconvénients :

- elles ne peuvent pas être décentralisées : on ne peut conclure sur le projet A sans connaître le projet B ;
- elles sont lourdes et peuvent devenir fastidieuses si le nombre de projet s'élève et/ou si les dépenses ne sont plus unitaires dont pas aisément permutable dans le respect des enveloppes budgétaires annuelles.

2) Taux d'actualisation, risques et calcul économique à l'envers

Les travaux du Réseau de recherche se sont largement penchés sur la question du traitement du risque, ou plutôt des risques, par le calcul économique. L'essentiel de cette partie sera donc consacrée à ce point. Nous commencerons ainsi (2.1) par revenir sur la signification de la baisse du taux d'actualisation recommandée par le rapport Lebègue et concrétisée dans l'actualisation de la circulaire de Robien (25 mai 2005). Cela nous permettra de bien distinguer les risques macroéconomiques auxquels est confrontée la puissance publique (2.2) et les risques propres à chaque projet, risque qu'un PPP bien conçu peut aider à traiter au mieux, sous réserve que le réseau des services techniques de l'Etat soit capables de développer sa maîtrise des outils modernes de traitement des risques (2.3). Seront abordées également des questions plus classiques sur la sensibilité du calcul économique à certaines valeurs tutélaires, ce qui ouvre la voie au calcul économique « à l'envers »(2.4).

2.1) Ce que révèle la récente baisse du taux d'actualisation

En Janvier 2005, le Commissariat Général au Plan remettait un rapport préconisant la baisse du taux (réel) d'actualisation de 8 à 4%, et même 2% pour des horizons temporels supérieurs à 30 ans. A cette occasion, une critique récurrente s'éleva pour prédire une augmentation massive des projets d'investissements publics franchissant le test de la valeur actualisée nette (VAN) positive, en particulier pour les projets aux bénéfices s'étalant sur le très long terme (lutte contre l'effet de serre, biodiversité, gestion des déchets). Or, l'Etat français ne prévoit ni d'augmenter la pression fiscale, ni de creuser son déficit pour faire face au financement de ces investissements. Cette baisse du taux d'actualisation ne risque-t-elle pas alors d'être une « journée des dupes », une moindre exigence de l'Etat en termes de rentabilité des projets, qui serait immédiatement compensée par d'autres exigences ?

Pour répondre à cette question, rappelons que le choix d'un taux de 8% en 1985 avait été justifié en partie par la nécessité d'intégrer une prime de risque dans le calcul économique public. Evidemment, cette méthode consistant à réduire les VAN de tous les projets en augmentant uniformément le taux d'actualisation est critiquable à plus d'un point de vue. Elle ne peut être justifiée que si tous les projets d'investissement publics en concurrence de financement ont des risques propres comparables autant en intensité qu'en corrélation avec le risque macroéconomique, et qu'en étalement dans le temps. Dans le cas contraire, le choix d'un taux uniforme de 8% pénalise injustement les projets les moins risqués, ou ceux dont les incertitudes sont les plus éloignées dans le temps. Ce sont les raisons pour lesquelles le rapport de janvier 2005 rejette cette méthode et propose d'intégrer le risque dans l'évaluation de cash-flows équivalent certains de chaque projet plutôt que dans le choix du taux d'actualisation, c'est-à-dire qu'il propose d'intégrer le risque dans le numérateur plutôt que dans le dénominateur de la VAN.

Cette méthode a plusieurs avantages. Avant tout, elle rend au taux d'actualisation sa vraie fonction, celle d'un taux de change entre consommation future certaine et consommation immédiate. Le nouveau taux d'actualisation de 4% mesure donc le taux de change que se donne l'Etat pour ses propres arbitrages entre consommation immédiate et

consommation future. Il le fait, comme l'explique Christian Gollier, en tenant compte de trois composantes²⁴ :

- la préférence pure pour le présent, plus elle est forte et plus le taux d'actualisation est élevée ;
- les anticipations du trend de croissance future, plus la croissance attendue est forte et plus le taux d'actualisation est élevé ;
- les risques d'aléas sur la croissance future qui, s'ils sont forts, viennent baisser le taux d'actualisation.

Si le taux d'actualisation de 8% défini en 1985 était un taux pur, ne prenant en compte que ces trois composantes, son passage à 4% signifierait que la puissance publique anticipe plutôt un ralentissement de la croissance future, et une volatilité croissante des taux de croissance. La baisse du taux d'actualisation serait alors une reconnaissance par la puissance publique de la nécessité qu'il y a à accroître les investissements publics. Mais cette vision des choses est réductrice, elle oublie que le passage de 8% à 4% est avant tout une invitation à se poser des questions sur les risques.

Pour y voir clair, nous devons séparer deux types de risques qui étaient auparavant confondus dans le taux d'actualisation **et ne sont plus pris en compte par le taux de 4%**. Pour ne pas être victime d'une journée des dupes du taux d'actualisation, la question des risques doit être clarifiée.

- Il existe d'abord un risque propre à chacun des projets. Il se décompose en risques technique, économique, opérationnel... C'est une situation bien connue des gestionnaires d'infrastructure qui, lorsqu'ils se lancent dans un projet, demandent une prime de risque qui revient de fait à une hausse du taux d'actualisation. Il y a quelques années, était souvent avancée l'hypothèse selon laquelle le secteur privé, sous la pression d'actionnaires devenus tout puissants, ne se lançaient pas dans des projets dont le TRI (soit le taux d'actualisation qui annule la VAN) était inférieur à 15% ! Dans le secteur des transports, qu'ils soient publics (RFF) ou privés (Sociétés d'autoroutes), et même s'ils ne demandent pas des TRI de 15%, les gestionnaires doivent prendre en compte ce risque²⁵. La baisse du taux d'actualisation recommandée par le rapport Lebègue ne traite donc pas cette question. Elle propose un taux de base à appliquer à des projets sans risque.
- Contrairement à certaines idées reçues, il existe aussi des risques pour les pouvoirs publics. Dans l'analyse économique du rôle de l'Etat, ce dernier est souvent considéré comme neutre au risque (théorème d'Arrow-Lind), voire « risk lover » dans une certaine approche de la pensée keynésienne. Il est ainsi le seul par exemple à pouvoir dépenser dans des domaines où la rentabilité est lointaine ou indirecte, comme l'éducation ou certaines recherches fondamentales. Sur cette base, une logique opportuniste a conduit les acteurs privés, et les diverses composantes de l'appareil d'Etat, à solliciter très largement les fonds publics. Ceci provoque pour l'Etat l'équivalent d'un risque macroéconomique, pour lui et pour la collectivité dans son ensemble. Les multiples demandes de dépenses publiques peuvent ainsi conduire à une croissance des prélèvements obligatoires qui pourrait se traduire par une moindre incitation au travail et à l'investissement pour les acteurs privés. A la différence de la vulgate keynésienne, qui considérait toute

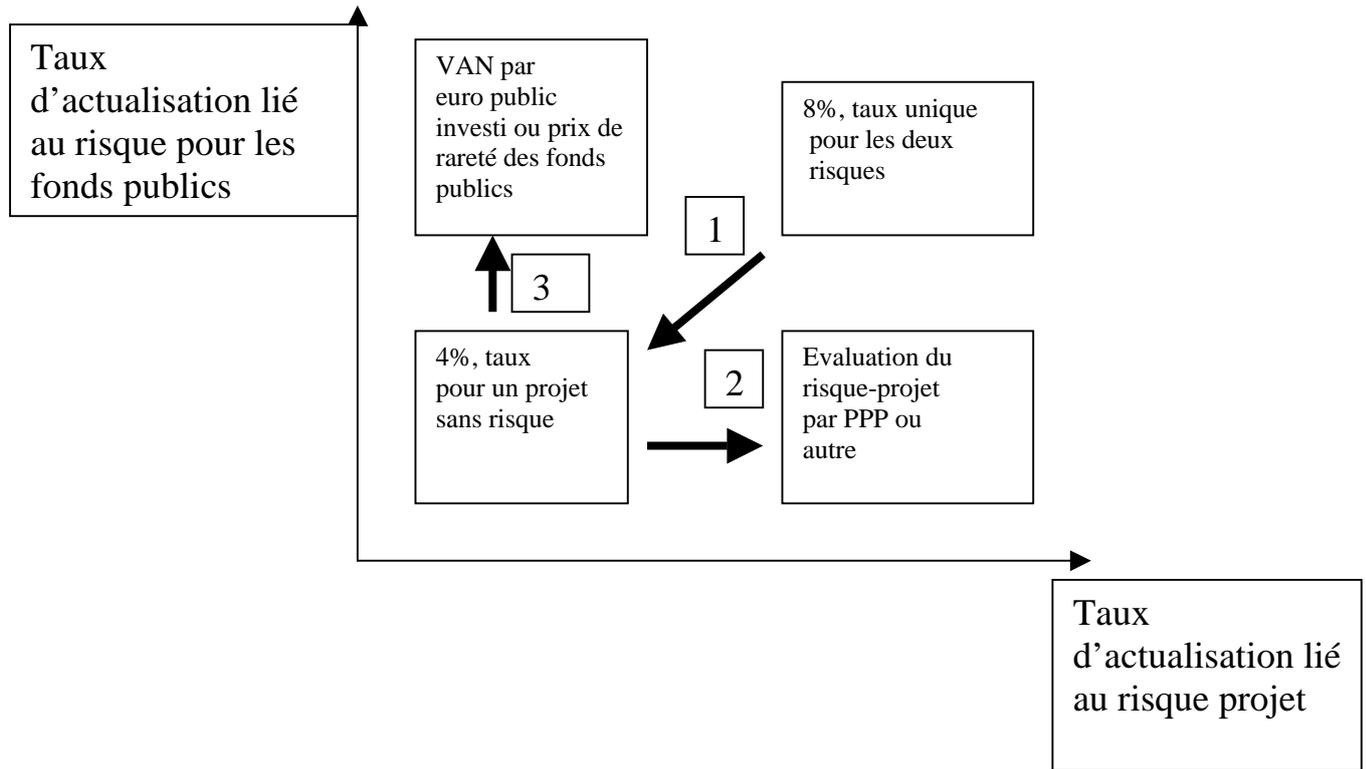
²⁴ Pour une présentation détaillée, voir annexe n°1

²⁵ Lors de la vente récente des Sociétés d'Autoroutes, les pouvoirs publics français, par l'intermédiaire de l'agence des participations de l'Etat (APE) et les acheteurs de ces sociétés se sont mis d'accord sur un taux d'actualisation légèrement supérieur à 6%, soit une prime de risque relativement faible.

dépense publique comme une source potentielle de croissance économiques, des auteurs comme Jean-Jacques Laffont ont proposé d'intégrer dans le raisonnement un coût d'opportunité des fonds publics.

Les travaux du réseau de recherche ont donc beaucoup insisté sur la prise en compte des risques. La baisse du taux d'actualisation ne doit pas induire en erreur, elle n'est pas une invitation à multiplier *a priori* les projets, elle est d'abord et essentiellement une invitation ferme à expliciter et traiter les risques, dans le sens que résume le schéma ci-dessous.

Figure n°1 : De l'explicitation au traitement des risques



Ce qui a été fait dans le rapport Lebègue n'est qu'une première étape de ce travail d'explicitation. Deux autres sont nécessaires.

- La première étape a essentiellement consisté à prendre conscience du caractère anormalement élevé du taux de 8% qui faisait par exemple peser sur les valeurs environnementales une dépréciation accélérée dans le futur alors même que le taux de 8% avait été fixé à ce niveau pour d'autres raisons. Le choix d'un taux de 4% est donc un moyen de sérier les problèmes. A un moment où la croissance ralentit, et alors que les questions environnementales deviennent cruciales, la collectivité ne peut pas continuer à déprécier aussi fortement le futur. Mais une fois franchie cette première étape, il ne faut pas ignorer que tous les projets ne se valent pas.
- Du point de vue du projet, certains font peser sur les opérateurs des risques opérationnels plus importants. Il faut donc les faire apparaître clairement et ne pas les masquer sous un taux d'actualisation élevé. C'est le sens profond du développement des PPP, car les opérateurs sont beaucoup plus capables que la puissance publique d'évaluer certains risques qui les concernent. Pour deux projets avec le même TRI, il est possible que, pour des raisons de risque, l'un trouve facilement des cofinancements privés, et pas l'autre. Ce qui revient à établir un taux d'actualisation du partenaire privé plus élevé que 4% (étape 2). C'est un constat essentiel, lorsque le secteur public négocie avec le privé, il est de fait

conduit à s'aligner sur le taux d'actualisation du privé, **risque compris**. La différence entre le taux privé et le taux public d'actualisation est alors une façon d'évaluer le risque. Et si le secteur public accepte de s'aligner sur la prime de risque du secteur privé, c'est souvent, du pur point de vue opérationnel, parce que le savoir faire ou la productivité du secteur public dans ces domaines ne permettent pas de substituer l'action publique à l'action privée. Le cas d'Eurotunnel est ici très significatif de ce qu'est l'aversion croissante de l'Etat à l'égard des risques opérationnels. En refusant d'investir le moindre penny public dans ce vaste projet, Madame Thatcher a obligé les acteurs privés à prendre en charge eux mêmes ces risques. Ils paient encore le prix de leur optimisme (ce qui montre le secteur privé aussi peut se tromper). Et elle a aussi (pour l'instant ?) protégé les finances publiques d'une ponction dont on peut aisément imaginer l'importance au vu des difficultés actuelles du consortium. Ce qui nous conduit au risque macroéconomique.

- Du point de vue des fonds publics, les projets pris dans leur ensemble font peser une menace sur la solvabilité à terme de l'Etat et/ou sur les acteurs privés du fait du comportement prédateur que pourrait représenter un excès de prélèvements obligatoires destinés à rembourser la dette publique. Pour combattre ce risque, l'Etat doit se donner un moyen de classer les projets. C'est le sens du taux de rentabilité immédiate (indicateur proposé par E. Quinet et A. Sauvart) ou la VAN par euro public investi (indicateur proposé par le rapport Lebègue). L'euro public est ici évalué sans le coût d'opportunité des fonds publics pour éviter les doubles comptes. Une autre façon de procéder est d'affecter aux fonds publics un coefficient multiplicateur annuel qui en augmente le coût.

Il est légitime que l'Etat se donne les moyens de choisir. Il faut insister sur le fait que l'Etat, et la collectivité, ont intérêt à faire jouer à fond l'effet de levier des capitaux publics. Financer 10 projets de montant unitaire x en mettant 10% d'argent public à chaque fois est évidemment plus performant pour la collectivité que de financer un projet de montant x avec 100% d'argent public. Car s'il y a de l'argent privé dans les dix premiers, c'est que le TRI est plus significatif. Concrètement, cela signifie que l'Etat n'est plus ce que nous pensions, un acteur neutre au risque, voire «*risk lover*». Il est en réalité devenu adverse au risque et cela explique pourquoi, d'une part il se décharge des risques opérationnels sur des acteurs privés (étape 2), et ensuite pourquoi il se protège de lui même et de sa tendance à céder aux sirènes de tous les porteurs de projet (étape 3).

Encadré

L'analyse coûts-bénéfices dans un contexte de concurrence intermodale et intramodale à la lumière de la contribution de Marc Ivaldi et Catherine Vibes

L'analyse coûts-bénéfices standard découle d'un ensemble d'hypothèses supposant notamment que le marché des biens privés est concurrentiel. Or en réalité nombre de marchés de transport sont caractérisés par une structure de marché où la concurrence est imparfaite, en raisons notamment de rendements croissants (monopoles ou oligopoles naturels) ou du comportement stratégique des firmes. De ce fait, l'étude d'un projet de nouvelle infrastructure de transport met en jeu les réactions stratégiques des firmes en place, qui vont modifier la qualité et le prix de leur offre. Peut-on et comment enrichir l'analyse coûts-bénéfices pour en tenir compte ?

Pour examiner cette question, les auteurs présentent dans leur contribution une analyse de la structure d'un marché donné, le trafic des passagers entre Cologne et Berlin, en développant une méthodologie qui serait aisément applicables à d'autres cas.

Sur cette liaison existent des modes alternatifs par route, fer (Deutsche Bahn) et air (Lufthansa et trois compagnies *low cost*). On distingue deux types de voyages : professionnels ou touristiques. On dispose de données sur les parts de marché, les prix, fréquences, vitesses, capacités, et sur certains coûts marginaux. Chaque voyageur i est censé se déterminer entre j alternatives classées en 4 g groupes (renoncer à voyager ou voyager soit par route, soit fer, soit par air) sur la base d'une fonction à choix discrets où le niveau de satisfaction est donné par $U_{ij} = \psi_j - h \cdot p_j + \sigma \cdot v_{ig} + (1 - \sigma) \cdot v_{ij}$, les variables aléatoires v_{ig} et v_{ij} suivant des lois de Gumbel. Les entreprises gestionnaires des différentes alternatives sont censées se livrer à une concurrence en prix à la Bertrand. Les auteurs calibrent le modèle compte tenu des données disponibles, ce qui leur permet de déterminer les valeurs des paramètres h, σ, ψ_j , pour chacune des deux catégories de voyageurs.

Puis les auteurs envisagent un nouveau projet : une liaison ferroviaire Cologne-Berlin sans arrêt entre ces deux gares (les liaisons actuelles s'arrêtent dans les différents Länder traversés). A l'aide du modèle précédent, ils regardent comment se déplace l'équilibre offre-demande.

Les résultats sont les suivants. Le marché se développe, nombre personnes qui s'en abstenaient effectuant désormais le voyage (ils représentent 15% des déplacements professionnels et 30% des déplacements touristiques). Les gestionnaires des alternatives préexistantes abaissent leurs prix (surtout le fer) mais ils perdent des parts de marché. Le train express conquiert une part 28% du marché des voyages professionnels et de 48% des voyages touristiques. Le surplus augmente au total de 18% pour les voyageurs professionnels et de 65% pour les touristes.

L'achèvement de l'analyse coûts-bénéfices supposerait une études intertemporelles plus précise : montée en régime des trafics, montant et chronique des dépenses liées à la nouvelle voie, etc.

Au total, cette contribution montre qu'il est à la fois très important de tenir compte de l'évolution de la structure du marché et qu'il existe des méthodes pour modéliser ces effets.

2.2) Questions sur la contrainte budgétaire et le coût d'opportunité des fonds publics

La constatation qui précède sur l'aversion croissante au risque de la puissance publique présente une faiblesse qu'il faut souligner. Faut-il en effet accepter que l'Etat soit adverse au risque en matière de dépense d'investissement alors qu'il continue largement à être « *risk lover* » en matière de dépenses de fonctionnement ? La réponse à cette question peut se faire à deux niveaux. Le premier qui renvoie à la question générale de la dette et des déficits publics, le second qui s'efforce de repérer les biais quasi-systématiques dans les évaluations des projets.

La volonté de ne pas laisser l'Etat se lancer dans un nombre trop élevé de projets d'investissements doit être resituée dans les débats qui ont été lancés il y a quelques années à propos des déficits publics. Au début des années 90, le processus de mise en place de la monnaie unique européenne a conduit les porteurs du projet à définir des normes de comportement pour les finances publiques des pays participants. Ainsi, en fixant à la dette publique un plafond de 60% du PIB, les critères de Maastricht, soutenus par des pays comme l'Allemagne et la France, souhaitaient mettre une certaine pression sur la candidature de pays comme l'Italie, mais aussi la Belgique où la dette publique dépassait alors 100% du PIB.

Quinze années plus tard, la dette et les déficits publics italiens restent élevés, mais ce pays a néanmoins intégré l'euro. Quant à la France et à l'Allemagne, elles sont également devenues des championnes du déficit public. La dette publique dépasse le seuil désigné comme critique des 60% du PIB, ce qui a poussé les gouvernements actuellement en place dans ces deux pays à engager un programme pluriannuel de réduction des déficits publics. Mais cet objectif même est parfois contesté lorsque l'on constate que le ratio d'endettement public est supérieur à 75% aux Etats-Unis et dépasse les 170% au Japon ! Ainsi que l'ont rappelé récemment J. Créel et H. Sterdyniak²⁶ en forme de réponse au rapport Pébereau, « *la dette publique n'est pas un poids sur les générations futures puisqu'elle a une contrepartie termes d'actifs détenus par les ménages*²⁷ ». Si ces derniers, notamment en prévision de leur retraite, demandent des titres de la dette publique, il n'y a pas de raison objective de réduire la dette.

Allons plus loin. Dans une économie française où l'Etat s'endette à un taux réel proche de zéro pour cent, et où les ménages acceptent de sacrifier une partie de leur consommation immédiate par l'épargne dans des livrets A, de rendement réel lui aussi pratiquement nul, ne serait ce pas une mesure de salut public que de développer les projets d'investissement public dont la rentabilité réelle certaine serait de 4% par an ? Ils contribueraient en effet à augmenter de façon certaine le bien-être du citoyen. En réalisant ce projet, l'Etat organise la réaffectation des ressources rares de la société de projets à rentabilité réelle à 0% vers des projets à rentabilité réelle à 4% !

Si les ménages acceptent de sacrifier une partie de leur consommation courante pour investir à taux nul, ils seront *a fortiori* prêts à faire de même pour une rentabilité de 4%. Si l'Etat décide l'abandon de ce projet, cela constitue un manque de clairvoyance, une gestion de « mauvais père de famille ». C'est particulièrement vrai dans le cas de grands projets d'infrastructure où la perte sociale exprimée en euros plutôt qu'en pour cent est potentiellement considérable.

²⁶ Lettre de l'OFCE, N°271, janvier 2006

²⁷ En toute logique ceci n'est vrai que si ce sont des ménages résidents qui directement ou indirectement détiennent les titres de la dette publique. Si les titres sont détenus par des non-résidents, le remboursement de la dette ne donnera pas naissance à un revenu pour les ménages résidents.

Pourtant, la baisse du taux d'actualisation en France a suscité une réaction unanime pour proclamer que seul un petit sous-ensemble de projets à rentabilité interne réelle certaine supérieure à 4% pourra être réalisé.

- Une première réaction est donc de considérer cette attitude comme frileuse, voire inadmissible de la part de hauts fonctionnaires dont la mission est de promouvoir le bien collectif. Faire appel à une contrainte budgétaire exogène n'est intellectuellement pas très satisfaisant. S'il existe réellement beaucoup de projets publics à 4%, une plateforme électorale devrait être aisément trouvée pour renverser un gouvernement qui s'opposerait à leur réalisation, fut ce en remettant en cause quelques engagements internationaux (Maastricht). La France n'a-t-elle pas voté non au projet de Constitution européenne. N'a-t-elle pas obtenu de fait un assouplissement des critères de Maastricht en ne faisant pas l'objet d'une procédure de l'Union européenne pour déficit excessif .
- Une attitude plus nuancée est aussi possible qui milite en faveur d'un travail approfondi de pédagogie et d'une meilleure utilisation de l'analyse coût-bénéfice. Car le vrai problème est la surestimation systématique de la rentabilité réelle des projets par les lobbies²⁸. En clair, puisque les projets sont annoncés avec une rentabilité supérieure, disons de 4%, à leur rentabilité réelle par les lobbies, l'Etat affiche, dans cette perspective, un taux d'actualisation implicite de 8% plutôt que de 4%. Si l'on souhaite échapper à ce piège s'impose un renforcement des capacités d'analyse coût-bénéfice de l'Etat, de manière à contrer l'excès d'optimisme stratégique des lobbies. Cet optimisme stratégique est d'autant plus difficile à combattre que la quantification des risques est délicate. L'accroissement de cette capacité d'expertise nécessite donc non seulement des hommes, mais aussi des données

On peut au final se demander si l'aversion au risque que manifeste de plus en plus la puissance publique n'a pas pour origine principale une mauvaise connaissance des risques. C'est assez évident pour ce qui concerne le risque macroéconomique. Il est évident que les déficits publics ont été, dans la plupart des pays développés, le résultat d'un concours de circonstances plutôt que le fruit d'une stratégie explicite. De façon récurrente, les gouvernements s'engagent à réduire les déficits et le montant de la dette publique. Certains pays y sont parvenus, comme l'Espagne, le Danemark, la Suède, mais d'autres ont plus de peine à le faire. Ainsi, on se trouve en présence d'un Etat schizophrène qui maintient, voire accroît les déficits et la dette publics, tout en se blâmant lui même d'une telle attitude.

Pour se protéger de ses propres turpitudes, mal assumées, ce même Etat se décharge de certaines de ses missions sur d'autres institutions comme les Banques centrales (politique monétaire) ou la Commission européenne (respect des critères de Maastricht). Certains vont même jusqu'à souhaiter, voire inscrire dans la Constitution (Cf la République tchèque), l'interdiction du déficit public ; ou à tout le moins l'interdiction d'un déficit qui ne serait pas justifié par des dépenses d'investissement (République fédérale d'Allemagne). Ces exemples renvoient aux artifices du « décideur résolu » que campait Jon Elster²⁹. Mais à y regarder de plus près, ce décideur résolu est avant tout ignorant. Craignant de succomber au chant des Sirènes de tous ceux qui veulent développer la dépense publique, il semble préférer

²⁸ Voir l'ouvrage « Mega projects », qui rappelle certains « fiascos » célèbres du fait, généralement, d'une surestimation des trafics attendus.

²⁹ J. Elster, *Le Laboureur et ses enfants*, Editions de Minuit 1988. Dans la seconde partie de cet ouvrage, se fondant sur l'attitude emblématique d'Ulysse en présence des Sirènes, l'auteur montre comment, pour ne pas succomber aux charmes des Sirènes, tout en goûtant au velours de leurs voix, Ulysse s'interdit de changer dans le futur ses préférences présentes.

l'ignorance à la connaissance. Il en résulte un discours globalement négatif sur la dépense publique alors qu'il serait nécessaire de mieux connaître les impacts des différents types de dépenses et les effets réels de l'endettement public sur la croissance économique et la répartition des ressources. Le résultat paradoxal de ce comportement est que la puissance publique se trouve de plus en plus dépendante des marchés financiers pour s'engager à long terme. Des opérateurs privés n'ont pas hésité à se lancer dans une concession de 75 ans (voire 99 ?) pour le Viaduc de Millau ; des intermédiaires financiers se sont montrés prêts à acheter des Obligations assimilables du Trésor ayant leur échéance à 50 ans. Alors que le Trésor public souhaitait lever 6 milliards d'euros, ce sont 19 milliards qui se sont présentés pour acheter des titres portant un taux **nominal** un peu supérieur à 4%. Il est donc clair que des capitaux privés sont prêts à s'investir ; la puissance publique doit accompagner ce mouvement en se montrant réellement plus résolue, c'est-à-dire moins ignorante. Elle doit notamment apprendre à mieux connaître les impacts comparés des dépenses de fonctionnement et des dépenses d'investissement.

Encadré

L'analyse des projets d'infrastructure de transport dans un cadre d'équilibre général à la lumière de la contribution de Stef Proost

L'analyse coûts-bénéfices standard découle d'un ensemble d'hypothèses supposant notamment que les prix des biens privatifs sont égaux à leurs coûts marginaux de production, corrigés toutefois par internalisation des coûts externes, que le financement des biens publics reflète bien la somme des disponibilités à payer de tous les membres de la société et qu'un système de transferts forfaitaires permet d'atteindre les critères de justice sociale censés reconnus par l'ensemble des citoyens. Stef Proost explore dans sa contribution comment étendre cette approche standard pour mieux tenir compte des distorsions de marchés, dues notamment à l'existence de taxes non forfaitaires et à des problèmes de distribution de revenus.

Il commence par montrer, à partir d'un exemple très simple, que l'instauration d'une taxe sur un bien privatif peut modifier la demande de celui-ci au point de la réduire à néant et de lui substituer la consommation d'un bien domestique dont la technologie de production est cependant beaucoup moins efficace. Il en résulte une détérioration de l'utilité collective.

Il se réfère ensuite à un modèle d'équilibre général calculable à une seule période et examine le cas d'un projet de transports dont les effets directs réduisent le coût de transports tant pour les marchandises que pour les voyageurs, mais tendent ainsi à augmenter la demande de transport, donc les coûts de congestion, effet indirect dont il convient aussi de tenir compte dans le déplacement de l'équilibre entre la situation sans projet et la situation avec projet. Il importe en outre de tenir compte des modalités de financement du projet.

A cet égard, l'auteur étudie d'abord le cas d'un financement de l'infrastructure de transport de coût I par une taxe uniforme G sur tous les individus. Soit $\phi(I, G)$ le coût unitaire de transport y compris congestion. Soit $R(G, \phi(I, G))$ la recette publique, de sorte que la contrainte budgétaire s'écrit $R(G, \phi(I, G)) = G$. Le financement G en fonction de I est donc

tel que : $\frac{dG}{dI} = \frac{1 - \frac{\partial R}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial I}}{1 - \frac{\partial R}{\partial G} - \frac{\partial R}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial G}}$ qui, dans le cas simplifié où on peut négliger l'impact de G

sur la congestion ($\frac{\partial \phi}{\partial G} = 0$), donne plus simplement $\frac{dG}{dI} = \frac{1 - \frac{\partial R}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial I}}{1 - \frac{\partial R}{\partial G}}$

Si on appelle « *coût marginal d'opportunité des fonds publics relatif à une taxe uniforme* » le multiplicateur³⁰ $\Gamma_G = \frac{1}{1 - \frac{\partial R}{\partial G}}$, l'auteur montre que l'analyse coûts-bénéfices standard doit

être modifiées pour soustraire au surplus des usagers un terme obtenu multipliant par le coût d'opportunité Γ_G le coût de l'ouvrage corrigé de toutes les autres rentrées fiscales induites par le projet que ce soit sur les transports, sur l'emploi, etc.

De même l'auteur étudie le cas où l'investissement serait financé par une taxe sur le travail. En désignant le taux préexistant de taxe proportionnelle sur le travail par τ_L , le nombre d'heures de travail du travailleur i par L_i , sa productivité horaire par e_i et son poids dans la fonction d'utilité collective par³¹ λ_i , il met en évidence le « *coût marginal d'opportunité des fonds publics relatif à une augmentation de la taxe proportionnelle sur les salaires* », donné par :

$$\Gamma_{\tau_L} = \frac{1}{1 + \frac{\partial \left(\sum_i e_i L_i \right) / \sum_i e_i L_i}{\partial \tau_L / \tau_L}} \cdot \frac{\sum_i \frac{\lambda_i}{\lambda^*} e_i L_i}{\sum_i e_i L_i}$$

Comme précédemment, l'analyse coûts-bénéfices standard doit être modifiées pour soustraire au surplus des usagers un terme obtenu multipliant par le coût d'opportunité Γ_{τ_L} le coût de l'ouvrage corrigé de toutes les autres rentrées fiscales induites par le projet que ce soit sur les transports, sur l'emploi, etc.

Enfin, l'auteur examine de cas où l'investissement est financé par une augmentation des taxes sur le transport de passagers et de fret. En désignant le taux préexistant de taxe proportionnelle sur les transports par τ_T et le nombre d'heures de transport du consommateur i par T_i , il met en évidence le « *coût marginal d'opportunité des fonds publics relatif à une*

³⁰ A noter que $\frac{\partial R(G, \phi)}{\partial G}$ est la dérivée partielle de R à congestion ϕ inchangée, ce que l'on peut écrire de façon

plus explicite $\left. \frac{\partial R(G, \phi)}{\partial G} \right|_{\phi}$.

³¹ Avec $\lambda^* = \sum_i \lambda_i$

augmentation de la taxe proportionnelle sur les transports », donné par :

$$\Gamma_{\tau_r} = \frac{1}{1 + \frac{\partial \left(\frac{\sum_i T_i}{\sum_i T_i} \right) / \sum_i T_i}{\partial \tau_r / \tau_r}} \cdot \frac{\sum_i \frac{\lambda_i}{\lambda^*} T_i}{\sum_i T_i}$$

Comme précédemment, l'analyse coûts-bénéfices standard doit être modifiée pour soustraire au surplus des usagers un terme obtenu multipliant par le coût d'opportunité Γ_{τ_r} le coût de l'ouvrage corrigé de toutes les autres rentrées fiscales induites par le projet que ce soit sur les transports, sur l'emploi, etc.

L'auteur cite les estimations suivantes des coûts d'opportunité des fonds publics obtenues par Kleven et Kreiner (2003, *working paper* de l'OCDE), en négligeant les effets indirects dus à la congestion :

	France	Royaume-Uni
Taxe uniforme	1,08	1,09
Taxe proportionnelle sur l'emploi	1,57	1,37

Enfin, l'auteur aborde les possibilités d'élargissement du modèle d'équilibre général à la prise en compte de la dynamique intertemporelle et du risque.

Sur la base de la contribution de Stef Proost, il apparaît donc qu'il y a lieu de moduler le coût d'opportunité des fonds publics selon l'assiette des prélèvements, la majoration de 30% préconisée par l'instruction cadre étant à cet égard une estimation moyenne sommaire.

Il existe en la matière un vaste domaine d'approfondissement pour des travaux ultérieurs.

2.3) Vers un meilleur traitement des risques propres aux projets

Ce constat général d'ignorance de l'Etat à l'égard des risques macroéconomiques impliqués par un éventuel excès (ou une insuffisance) des dépenses publiques, nous le retrouvons dans le champ des risques propres à chaque projet. Aujourd'hui, l'Etat se trouve dans l'incapacité d'évaluer le risque des projets d'investissement dont il dispose ce qui accroît sa méfiance. Il est vrai que certains de ces projets, souvent les plus importants (cf la liaison ferroviaire Lyon-Turin) sont risqués, voire même très risqués. La logique du calcul économique nécessite dès lors de déduire des flux socio-économiques espérés des primes de risque calculées selon les principes du Modèle d'Evaluation des Actifs Financiers. Ces primes de risque viennent évidemment amputer l'attractivité socio-économique des projets publics, et la rentabilité réelle équivalent certaine. La prise en compte du risque devrait fortement réduire le nombre de projets publics passant le test de la VAN équivalent-certain positive avec un taux d'actualisation de 4%. Mais les calculs doivent être faits.

On peut faire ici une analogie avec le secteur privé. Sur le marché américain tout au long du XX^{ème} siècle, la rentabilité réelle des actifs sans risque a été de 1% par an. Par contre, la rentabilité réelle moyenne des actions a été de 6.5% par an. Cela nous donne une prime exigée par les agents économiques pour compenser le risque de 5.5% par an ! L'incapacité de l'Etat à évaluer les risques pose alors un réel défi à l'utilisation efficace des fonds publics. Cette incapacité est d'autant plus surprenante que des institutions de bien plus petite taille telles que les banques, ont pour la plupart depuis 40 ans (Markowitz) développé des outils opérationnels pour mesurer et évaluer les risques. Si une telle incapacité des services de l'Etat devait persister, la solution de second rang consisterait à accroître le taux d'actualisation. Il s'agirait d'une solution très inefficace, parce que l'hétérogénéité portant sur l'intensité des risques des différents projets est a priori élevée. (voir aussi sur ces points l'annexe reprenant les travaux d'A. de Palma, L. Andrieu et N. Picard).

2.4) Sensibilité aux valeurs tutélaires et calcul économique « à l'envers »

Le calcul économique nécessite que soient fixées des valeurs tutélaires pour que soient clairement explicitées les prix que la collectivité attribue à des grandeurs aussi différentes que le temps, la pollution, le bruit ou les émissions de CO₂. Dans cette perspective, avec les deux rapports Boiteux (1994 et 2001), préparés par le Commissariat général du Plan, l'administration française a engagé des travaux importants pour préciser les méthodes utilisées dans les évaluations socio-économiques des investissements de transport. Un des enjeux principaux de ces travaux, qui s'inscrivent dans une longue tradition dans la sphère publique (administration et entreprises publiques) était de préciser les valeurs (prix fictifs) qui devaient permettre d'incorporer aux calculs économiques de rentabilité des investissements publics du secteur des transports, chaque fois que c'est possible, les coûts et les avantages non marchands associés au projet : l'épuisement des ressources non renouvelables, la congestion et les nuisances sonores liées au trafic, les effets de la pollution atmosphérique sur la santé, mais aussi les gains de temps et les vies épargnées etc. L'élaboration de ces valeurs a nécessité une large concertation et des compromis de la part des principaux acteurs représentés dans le groupe de travail. Le consensus, lent à obtenir sur certains dossiers, les études mobilisées pouvant conduire à des appréciations nuancées voire contradictoires, constitue néanmoins aujourd'hui, malgré les grandes incertitudes qui demeurent sur bien des points, une base solide sur laquelle il est possible d'appuyer le calcul économique public³². Comme le montre Luc Baumstark, rapporteur du Groupe Boiteux 2, l'analyse des modalités de production de ces valeurs, qu'on nomme parfois valeurs tutélaires, souligne l'utilité sociale des institutions, comme le Plan, devenu Centre d'Analyse Stratégique³³, qui offrent un espace

³² On trouvera de nombreuses explications dans les rapports du Plan [CGP 2001 ; 2005] qui décrivent précisément les procédures par lesquelles ces valeurs ont été fixées, en insistant sur les éléments qui faisaient difficulté au sein du groupe de travail.

³³ Le 27 octobre 2005, le Premier Ministre annonçait la transformation du Commissariat général du Plan. Le Centre d'analyse stratégique lui a succédé le 6 mars 2006. Le décret instituant sa création (décret n°2006-260, Journal Officiel du 7 mars 2006) précise que ce nouveau Conseil exerce, sous l'autorité du Premier Ministre, des missions de veille, d'expertise et d'aide à la décision pour la conduite des politiques publiques. Afin d'éclairer le Gouvernement dans la définition et la mise en œuvre de ses orientations stratégiques en matière économique, sociale, environnementale ou culturelle, il élabore, soit à la demande du Premier ministre, soit de sa propre initiative dans le cadre d'un programme de travail annuel des rapports, recommandations et avis.

<http://www.strategie.gouv.fr>

de concertation ouvert, et reconnu, dans lequel il est possible de produire des normes de référence qui deviennent un langage commun.

Ne voulant pas se substituer à ces institutions, les membres du réseau de recherche sur les dimensions critiques du calcul économique n'ont pas cherché à proposer de nouvelles valeurs tutélaires. Cela ne relevait pas de la commande qui leur avait été faite. Par contre, avait été évoqué dans l'appel à propositions la possibilité de développer le calcul économique « à l'envers », celui qui aide à faire émerger les valeurs tutélaires implicites de ceux qui émettent des avis favorables ou défavorables à un projet. Sans prétendre à l'exhaustivité, Guillaume Chevasson s'est penché sur le cas du mode routier et plus précisément autoroutier en se posant une question relativement simple et d'actualité. Depuis que la réduction de l'insécurité routière a été considérée comme une grande cause nationale, au même titre que la lutte contre le cancer et une meilleure insertion des personnes handicapées, de nombreuses mesures ont été prises pour réduire la vitesse sur les routes et autoroutes. Non seulement les conducteurs respectent mieux aujourd'hui les vitesses maximales, mais ces dernières ont été souvent réduites, notamment sur certains tronçons autoroutiers où le 110, voire le 90 km/h sont devenus la norme. A cette orientation plus attentive à la sécurité routière, se sont ajoutées des considérations environnementales et énergétiques. Ainsi que le rappelle souvent Alain Morchoine, en abaissant partout les vitesses maximales sur autoroutes à 110km/h, les émissions de CO₂, les consommations énergétiques et la pollution diminueraient pour le même niveau de trafic. Mais cela se ferait au prix de pertes de temps. Il est alors tentant de se demander si le jeu en vaut la chandelle. C'est là qu'apparaît une forme de calcul économique « à l'envers ».

Comme l'indiquent les données de trafic aujourd'hui disponibles, nous avons observé depuis le début des années 2000 une réduction significative des vitesses moyennes, sur l'ensemble du réseau, sans que cela puisse s'expliquer par des phénomènes accrus de congestion. La collectivité a ainsi réalisé un arbitrage en faveur de la sécurité et au détriment de la vitesse. Il s'en est suivi des pertes de temps que l'on peut chiffrer. Plus précisément, on peut même se demander si fait même de réclamer une réduction accrue des vitesses ne signifie pas que l'on accorde implicitement à la tonne carbone une valeur supérieure à ce qu'elle est actuellement (100 €). En effet, lorsque nous savons qu'une baisse de la vitesse sur autoroute équivaut à des pertes temps, il y a sans doute derrière cela une préférence pour la prise en compte d'une valeur du carbone plus élevée. de montrer que ceux qui promeuvent une baisse des vitesses.

Si nous prenons le cas des autoroutes de liaison (130 km/h), la vitesse moyenne (VP+PL) est passée de 107,5 km/h en 2000 à 105,8 km/h en 2004, soit une baisse de 1,6%.

Tableau 1 : Vitesses moyennes constatées sur autoroutes de liaison entre 2000 et 2004

	Mode	2000	2001	2002	2003	2004
Moyenne	Ensemble	107,5	107,0	107,9	105,8	105,8
Autoroutes de liaison	VP	124,0	124,0	123,5	119,0	118,5
	PL	91,0	90,0	92,3	92,7	93,0

Source : Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière

VP : moyenne jour/nuite ; PL : moyenne 2,3,4 essieux

En se fondant sur un projet autoroutier type, G. Chevasson examine la relation qui existe entre une baisse des vitesses et les valeurs du temps. Pour arriver à ces résultats, il prend comme

référence le bénéfice issu d'un scénario de base et il recherche les valeurs du temps qui entraînent la même variation à la baisse du bénéfice que celle engendrée par une baisse des vitesses.

Tableau 2 : Relation entre Vitesses sur autoroute et Valeurs du temps

Vitesses sur autoroute	Une baisse des vitesses de :	Vitesses en km/h	est équivalente à une baisse des VDT de :
Vitesses limites : VP : 130 km/h PL : 90 km/h	-5%	VP : 123,5 – PL : 85,5	-4,9%
	-10%	VP : 117 – PL : 81	-10,5%
	-15%	VP : 110,5 – PL : 76,5	-18,3%
	-20%	VP : 104 – PL : 72	-27,3%

Lecture du tableau : une baisse des vitesses sur autoroute de 10% est équivalente à une baisse des valeurs du temps de 10,5%.

Ce que nous disent ces résultats est que la baisse des vitesses observées depuis l'année 2000 peut s'apparenter à une baisse des valeurs du temps. Nous avons ici une relation qui, du point de vue du calcul économique, peut sembler paradoxale, puisque d'un côté la collectivité a augmenté les valeurs du temps entre le premier et le second rapport Boiteux, et d'un autre côté elle agit d'une manière qui sous-entend qu'elle les considère moins élevées, en tout cas sur la route. En d'autres termes, nous avons d'un côté une valorisation du temps qui constitue l'essentiel des avantages résultant d'un projet et qui détermine en grande partie sa rentabilité, et d'un autre côté nous assistons à des politiques de réduction de la vitesse qui vont à l'encontre de cette règle. Est-ce une aberration ? Ou peut-on rationaliser ces choix ?

En nous intéressant à la relation qui existe entre vitesses/valeurs du temps d'une part et valeur de la tonne de carbone d'autre part, nous pouvons trouver un début d'explication. Regardons l'effet d'une variation des valeurs du temps (ou des vitesses) sur le niveau implicite de la tonne de carbone.

Prenons comme référence le bénéfice issu du scénario de base et recherchons la valeur de la tonne de carbone qui a le même impact sur le bénéfice qu'une baisse des valeurs du temps.

Tableau 3 : Relation entre valeurs du temps et valeur de la tonne de carbone

	Une baisse des VDT de :	est équivalente à une hausse de la valeur du carbone de :	Valeur de la tonne de carbone en €	Impact sur le bénéfice
Valeurs du temps	-0,16%	+10%	110	-0,2%
	-0,81%	+50%	150	-0,8%
	-1,62%	+100%	200	-1,6%
	-6,46%	+400%	500	-6,4%
	-14,42%	+900%	1 000	-14,5%
	-22,23%	+1400%	1 500	-22,5%

Lecture du tableau : une baisse de 1,6% des valeurs du temps est équivalente à une augmentation de 100% de la valeur de la tonne de carbone.

Vitesses / Valeur de la tonne de carbone

De la même façon, regardons l'effet d'une variation des vitesses sur le niveau implicite de la tonne de carbone. Pour arriver à ces résultats, nous prenons comme référence le bénéfice issu du scénario de base et nous recherchons la valeur de la tonne de carbone qui a le même impact sur le bénéfice qu'une baisse des vitesses.

Tableau 4 : Relation entre vitesses et valeur de la tonne de carbone

	Une baisse de la vitesse sur autoroute de :	Soit : vitesses en km/h VP / PL	est équivalente à une hausse de la valeur t/Cb de :	Valeur de la tonne de carbone en €	Impact sur le bénéfice
Vitesse limites sur autoroute VP :130 km/h PL :90 km/h	-1,0%	128,7 / 89,1	+65%	165	-1,0%
	-1,6%	127,9 / 88,6	+84%	184	-1,4%
	-2,0%	127,4 / 88,2	+132%	232	-2,1%
	-5,0%	123,5 / 85,5	+301%	401	-4,8%
	-10,0%	117,0 / 81,0	+654%	754	-10,5%
	-11,5%	115 / 79,6	+794%	894	-12,8%
	-15,0%	110,5 / 76,5	+1150%	1 250	-18,5%
-20,0%	104,0 / 72,0	+1733%	1 833	-27,9%	

Lecture du tableau : une baisse de 5,0% des vitesses sur autoroute (VP : 123,5 km/h et PL : 85,5 km/h) a le même impact sur le bénéfice qu'une hausse de 301% de la valeur de la tonne de carbone.

Si nous essayons de rapprocher ces tableaux de la baisse des vitesses constatées sur autoroute, puis de la baisse des vitesses envisagées par certains, nous pouvons faire les constats suivants.

- En considérant que la baisse des vitesses observées entre 2000 et 2004 (-1,6%) soit prise en compte par le calcul économique lors de l'évaluation du projet, il apparaît que celle-ci peut s'apparenter à une prise en compte de la valeur d'une tonne de carbone de l'ordre de 184 € valeur 2005³⁴. Par ailleurs, cette valeur correspondrait à un coût de 12,1 centimes d'euro par litre d'essence et de 13,4 centimes d'euro par litre de diesel. La valeur de la tonne de carbone trouvée serait donc de 184 € jusqu'en 2010, puis augmenterait de 3%/an, conformément aux recommandations de la nouvelle instruction.
- Qu'en est-il maintenant de la proposition de baisser la vitesse réglementaire sur autoroute à 115 km/h au lieu de 130 km/h, ce qui correspondrait à une baisse de 11,5 % ?
 - Si la baisse concernait uniquement les voitures particulières, cela correspondrait à une prise en compte de la valeur de la tonne de carbone d'environ 575 € valeur 2005. Cette valeur correspondrait à un coût de 37,6 centimes d'euro par litre d'essence et de 41,8 centimes d'euro par litre de diesel.
 - Si la baisse concernait les voitures particulières et les poids lourds, c'est-à-dire que nous appliquons la même baisse aux vitesses réglementaires VP et PL, cela correspondrait à une prise en compte de la valeur de la tonne de carbone d'environ 894 € valeur 2005 (Cf. tableau 3). Par ailleurs, cette valeur correspondrait à un coût de 58,5 centimes d'euro par litre d'essence et de 65,0 centimes d'euro par litre de diesel. Est-ce la valeur très élevée de ces valeurs qui explique le faible succès de ceux qui souhaitent un abaissement de la vitesse maximale sur les autoroutes ?

³⁴ Année de la mise en service de l'autoroute. Année à partir de laquelle nous calculons les avantages.

Bien que ces résultats doivent être considérés avec précaution, ils ont l'intérêt de montrer que derrière l'idée d'abaisser les vitesses, se cache peut-être, hormis une préférence déclarée pour la sécurité routière, une préférence pour une valeur de la tonne de carbone plus élevée et pour des valeurs du temps plus faibles. Le glissement dans la hiérarchie des priorités entre la sécurité routière et les émissions de CO₂ est assez nette. Le nombre de morts sur les autoroutes est aujourd'hui très faible en France, une réduction des vitesses maximales aurait peu d'effet sur le résultat final. C'est donc bien pour des questions environnementales et énergétiques que pourrait se programmer une nouvelle baisse des vitesses maximales. Mais si ce devait être le cas, nous avons montré que cela impliquerait une valeur extrêmement forte de la tonne de carbone. Nous n'en sommes sans doute pas là !

3) Acceptabilité et équité : des critères orthogonaux par rapport au calcul économique ?

En écho aux débats publics, il est nécessaire de rappeler les raisons pour lesquelles montent aujourd'hui en puissance la demande de *statu quo* en matière d'infrastructures de transport³⁵. Alors que durant les Trente Glorieuses, le consensus était facile à obtenir sur la nécessité de mettre en œuvre de nouvelles infrastructures de transport, il n'en va plus de même aujourd'hui. Non seulement tout projet suscite des réactions de rejet en forme de « Nimby », mais il doit aussi faire face à des opposants qui ne sont pas seulement des opportunistes cherchant à modifier un tracé ou à faire monter les indemnités compensatrices. Des groupes de citoyens et des associations s'efforcent d'acquérir une compétence globale sur la question des transports. Ils proposent des solutions alternatives, ne se contentent pas de protester, mais évoquent des options que le maître d'ouvrage n'avait même pas envisagé. Face à cette nouvelle donne, le rôle de la puissance publique est complètement modifié. Ce ne sont plus les opposants au projet qui doivent montrer son caractère dangereux ou inadapté, c'est sur le décideur public que repose désormais la charge de la preuve. Il doit montrer qu'il y a bien amélioration sensible de l'intérêt général et prise en compte des pertes les plus notables. Dans cette perspective, le calcul économique peut-il être d'un certain secours ? Peut-il aider à mieux définir et mesurer l'intérêt général de façon à ce qu'émerge une solution acceptable par le plus grand nombre sinon consensuelle.

- Nous allons voir dans un premier temps que la réponse ne va pas de soi. Comme l'a montré A. Trannoy, définir ce qu'est l'intérêt général d'une région n'est pas évident et les critères à retenir sont multiples, voire contradictoires, conduisant à une forme de dilemme entre équité et utilité . (3.1).
- Nous élargirons ensuite le propos en montrant avec J.F. Thisse que si la détermination de l'intérêt général est délicate, c'est parce que sont mobilisées des références plurielles en matière d'équité, lesquelles se traduisent par un choc des légitimités. Le calcul économique est alors débordé par la multiplicité des demandes (3.2).
- Cette multiplicité des demandes peut conduire à la paralysie, tout comme peut le faire la coalition des oppositions. Comme le montrent Ch. Raux et S. Souche, si l'on s'en tient aux questions d'acceptabilité, le risque est grand que s'impose une préférence pour le *statu quo* (3.3).

3.1) Qu'est-ce que l'intérêt général d'une Région par rapport à l'intérêt général « national » ?

La compréhension de la dimension spatiale des équipements collectifs, et donc des problèmes d'équité, renvoie à une question peu discutée et, surtout, souvent mal comprise : à quelle échelle spatiale doit-on évaluer la performance d'un système d'équipements collectifs ? Outre les relations entre instances de niveaux différents impliquées dans les décisions d'implantation, il existe une difficulté conceptuelle fondamentale d'une autre nature, due au fait qu'une grandeur peut être pertinente à une échelle, disons au niveau local, mais ne plus l'être à une autre, par exemple au niveau national. S'il est vrai que certains principes

³⁵ Voir à ce sujet les résultats des travaux du groupe de citoyens qui a réfléchi sur la question de la mobilité des personnes et des marchandises dans la vallée du Rhône. Sans que l'on puisse résumer leurs recommandations à l'expression *statu quo*, leur principal constat est qu'en matière d'infrastructure, il est urgent d'attendre !

gouvernant l'organisation des territoires restent valables à toutes les échelles, cela ne veut pas dire qu'il en aille de même pour toutes les questions. La raison en est que les espaces économiques ne s'emboîtent pas comme les petites poupées russes ; ils ont leurs spécificités et celles-ci doivent être intégrées d'entrée de jeu.

En résumé, le choix d'un espace de référence se révèle être un choix critique pour les résultats attendus de toute politique de construction d'équipements ou d'infrastructures (Gérard-Varet et Thisse, 1997). Reste que ce choix devrait être, à son tour, être accompagné d'une intégration des préoccupations des autres niveaux concernés. C'est particulièrement important en matière de transport mais pas uniquement, où les enquêtes d'utilité publique se limitent uniquement aux communes traversées par les infrastructures, alors que les usagers couvrent en général une zone beaucoup plus large. L'évaluation doit être capable d'intégrer un maximum de dimensions. Faire l'impasse sur ces diverses questions pour des raisons d'opportunisme politique ou, pire, en les reléguant sans discussions sérieuses dans des mesures de décentralisation mal ficelées ne peut conduire qu'à des échecs et des désillusions. Il n'est pas inutile de préciser d'emblée quelques-unes des conséquences qu'impose la distinction entre échelles.

- Au niveau micro-spatial, on assiste depuis plusieurs décennies à un étalement croissant des villes. La déconcentration des emplois et la péri-urbanisation des logements en sont deux manifestations importantes que l'on rencontre en France, mais également dans plusieurs autres pays européens. La tendance est donc bien générale. A ce niveau d'analyse, ces phénomènes font penser à une certaine forme de décentralisation « locale » des activités.
- Simultanément, au niveau macro-spatial, une forme particulière de polarisation de l'espace se manifeste sous la forme d'une métropolisation croissante des économies. Le fait que les régions les plus prospères de l'Union européenne soient presque toutes organisées autour d'une grande métropole urbaine ne doit rien au hasard. Une telle polarisation des espaces nationaux renvoie ainsi à une centralisation « multirégionale » des activités, tendance qui semble s'opposer à la première³⁶. Il s'agit en fait d'une question d'échelle spatiale, laquelle est conceptuellement similaire à celle que pose l'agrégation des grandeurs économiques que l'on rencontre en théorie économique. Efforçons nous d'entrer dans cette problématique d'agrégation en nous intéressant à ce qui peut être considéré comme équitable.

D'emblée, la bonne échelle spatiale pour examiner l'impact des grandes infrastructures de transport en termes macroéconomiques semble être la région. Les échelons du département, de la zone d'emploi, de l'agglomération ou de la commune sont trop restreints pour être en mesure d'enregistrer tous les effets d'entraînement des grandes infrastructures de transport. La pertinence d'une certaine délimitation territoriale provient de l'histoire et de la géographie qui conditionnent la vie économique. Certaines régions possèdent une identité, fruit d'une longue histoire partagée, comme la Bretagne et l'Alsace. D'autres régions comme Rhône-Alpes n'ont pas de réalité historique, mais la proximité géographique sous l'impulsion de la

³⁶ Dans ce dernier cas, toutefois, il ne faut pas aller trop vite en besogne. En effet, il est tout à fait possible que, durant le processus de baisse des coûts de transport et l'effacement progressif des autres obstacles aux échanges commerciaux, les activités économiques commencent, dans une première phase du processus d'intégration, par se concentrer dans un nombre restreint de grandes régions urbaines pour, dans une seconde phase, se re-disperser vers un plus grand nombre de régions afin de bénéficier des avantages comparés des unes et des autres selon les firmes (Combes *et al.*, 2005). Qui plus est, la contradiction peut n'être qu'apparente puisque la taille des régions à dominance urbaine peut augmenter pendant que, simultanément, les centres-villes perdent des habitants et des activités.

métropole Lyon-Grenoble-Saint-Etienne assure à tous les territoires qu'elle rassemble un même destin économique. En tout état de cause, nous considérons comme donné le découpage en régions. Nous supposons que les liens de toutes sortes à l'intérieur d'une région sont suffisamment forts pour que la définition d'un intérêt commun puisse se faire sans trop de difficultés à travers l'instance représentative qu'elles se sont données avec le conseil régional. La légitimité de parler au nom de la région offerte par le suffrage universel constitue à cet égard un atout majeur pour les édiles régionaux dans leur discussion avec le pouvoir central. Les raisonnements effectués ci-dessous exigent en effet cette qualité démocratique des exécutifs régionaux.

Pour pouvoir parler d'équité entre régions comme entre toutes personnes morales, il faut encore que cela ait un sens, qu'une région soit considérée comme gagnante ou perdante, lorsqu'on passe du schéma de transport A au schéma de transport B. En d'autres termes, les régions ou plutôt les personnes qui parlent en leur nom, l'exécutif régional, doivent être capable de classer des options. Cet exécutif régional doit pouvoir se doter d'un ordre de préférence qui possède les attributs de la rationalité, transitivité et complétude.

L'objection majeure qui survient lorsqu'on parle de préférence d'une collectivité territoriale est de savoir si les préférences du décideur public, ici, l'exécutif régional, peuvent provenir d'une véritable agrégation des préférences soit des membres de l'assemblée, les conseillers élus, soit des électeurs votant dans la région en question. Le théorème d'Arrow a inscrit dans le marbre la difficulté d'agrégation des préférences individuelles, lorsqu'on désire agréger des préordres de préférences, c'est-à-dire des classements d'options. Dans le jargon de la théorie du choix social, les bases informationnelles du choix social sont alors dites ordinales et non-comparables. Ici, nous retiendrons un cadre informationnel plus riche, dit cardinal et comparable, qui semble pertinent si la discussion porte, non sur l'agrégation d'opinions, mais l'agrégation d'intérêts. Cette distinction due à Sen (1977) (voir aussi Roberts 1995), a un certain domaine de pertinence pour le problème en question. Une opinion, c'est par exemple, donner son avis s'il fallait ou non envoyer des troupes en Irak. On ne peut pas facilement associer un niveau de bien-être individuel à l'une des deux options en présence, sauf peut-être pour les soldats qui sont susceptibles de faire la guerre. Un intérêt, c'est par exemple, donner son opinion sur l'augmentation éventuelle du RMI de 100 Euros par mois par rapport à une situation de référence bien précise. Pour ceux qui vont bénéficier de cette mesure tout comme pour ceux qui vont financer cette mesure, il n'est pas très difficile de concevoir que chaque option correspond à un certain niveau de bien-être. Il n'est pas douteux que le débat concernant la réalisation ou non d'une infrastructure de transports qui affecte l'accessibilité d'un certain nombre de points du réseau et qui est susceptible d'engendrer des flux de revenu à plus ou moins long terme porte sur des questions d'intérêt. Par là même, il est légitime de considérer des fonctions de bien-être social du type de l'utilitarisme ou du maximin et le problème même de l'existence d'une préférence collective s'en trouve surmonté.

Il nous faut maintenant spécifier un peu plus cette fonction de bien-être régional qui agrège donc des fonctions d'utilités individuelles. Il nous faut répondre à la question de savoir si la fonction de bien-être est totalement indifférente au nombre d'individus dans la population. Cette question est importante car la mobilité des agents est au cœur de notre raisonnement. Il importe donc d'adopter des fonctions de bien-être adaptées à des situations de *population variable*. Considérons d'abord le cas d'école où tous les individus ont exactement les mêmes préférences et bénéficient de la même allocation. La dispersion des utilités est nulle, tous les individus bénéficient du même niveau d'utilité qui est donc le niveau d'utilité moyen. Supposons que la population d'une certaine taille un moment donné diminue suite à un surcroît de mortalité exogène qui n'affecte cependant pas le niveau d'utilité. Il semble assez évident que ce changement sera considéré comme défavorable par la plupart des décideurs

politiques, une diminution de la population est considérée comme un moins et une augmentation de la population considérée comme un plus, dans le cas où les individus sont placés dans une situation de parfaite égalité. Ce petit test invalide donc le critère de l'utilité moyenne comme critère de bien-être satisfaisant lorsque la taille de la population est susceptible de varier. Est-ce à dire qu'il faille retenir le critère de l'utilité totale comme critère de bien-être ? Blackorby et alii (2005) nous incitent à être prudent sur ce point et à retenir un critère un peu plus sophistiqué. Plaçons nous au XIX^{ème} siècle et prenons l'exemple d'une région pauvre qui fait face à une importante fécondité et qui n'arrive pas à nourrir tous ses enfants vu la pauvreté de son sol. Tout supplément de population ne permet pas d'accroître la production qui stagne et qui est à répartir entre un plus grand nombre de bouches. En retenant l'hypothèse classique de décroissance de l'utilité marginale, l'utilité totale ne sera jamais plus élevée que lorsque toute la population sera tellement grande que la production par tête diminue jusqu'à tendre vers zéro. L'utilitarisme total conduit à une conclusion que le philosophe Parfit (1984) a qualifiée de répugnante, le maximum d'utilité sociale est atteint quand toute la population est au seuil de mourir de faim. Pour éviter une telle conclusion, Blackorby et alii (2005) ont proposé d'introduire un seuil d'utilité dit critique, c , tel que la fonction de bien-être s'écrit comme la somme³⁷ des différences entre les utilités individuelles U_i et ce niveau critique sur l'ensemble de la population.

Ainsi le bien-être dans la région j à la date t s'écrit avec une population d'individus égale à n_{jt}

$$W_{jt} = \sum_{i=1}^{n_{jt}} (U_{i,jt} - c_t) \quad (1)$$

qui s'écrit encore

$$W_{jt} = n_{jt} \overline{U_{i,jt}} - n_{jt} c_t \quad (1')$$

en définissant l'utilité moyenne comme

$$\overline{U_{i,jt}} = \frac{1}{n_{jt}} \sum_{i=1}^{n_{jt}} U_{i,jt}.$$

Considérons le cas d'un pays dans lequel un certain nombre d'individus a un niveau d'utilité inférieur au niveau critique. Le niveau de bien-être dans ce pays va augmenter si les habitants dont le niveau d'utilité est plus faible que le niveau critique émigrent. Par contre, le bien-être va baisser si ce sont les individus dont le niveau d'utilité est plus élevé que le niveau critique qui émigrent. Si la valeur du niveau critique est zéro, on retrouve l'utilitarisme classique. Ce paramètre a une valeur strictement positive si les utilités sont contraintes à être positives ou nulles.

Il nous faut maintenant spécifier les utilités individuelles dans un contexte de mobilité spatiale entre deux régions, la région 1 et la région 2³⁸. Dans chaque région, à chaque date, l'utilité du ménage est fonction du revenu y et de nombreux facteurs non monétaires a dont des facteurs hédoniques exogènes comme le climat et autres facteurs culturels. Ainsi le niveau d'utilité dans chaque région $j = 1, 2$ s'écrira

³⁷ On pourrait introduire un concernement collectif pour l'égalité en transformant les fonctions d'utilité et le niveau critique par une fonction concave. Nous nous sommes dispensés de le faire car il ne semble pas que les problèmes d'équité verticale occupent une grande place dans la définition de la politique de transport inter-régionale. En matière d'interurbain, cette préoccupation devrait être réintroduite.

³⁸ On pourrait évidemment considérer le cas de k régions. L'essentiel du raisonnement tient avec deux régions.

$$U_{ijt} = U_i(y_{ijt}, a_{jt}). \quad (2)$$

Le modèle traditionnel pour analyser des migrations (voir, par exemple, Gobillon et Le Blanc (2003) pour une tentative d'estimation et Gobillon (2001) et Jayet (1996) pour des revues de littérature en langue française) introduit des coûts de migrations monétaires et non monétaires. Ici, pour simplifier, nous considérons uniquement des coûts de migrations monétaires m_{12} qui viennent en déduction du revenu si l'individu migre de la région 1 à la région 2. Ainsi le ménage migre à la date t

$$U_i(y_{i2t} - m_{12}, a_{2t}) - U_i(y_{i1t}, a_{1t}) > 0 \quad (3)$$

c'est-à-dire, si le différentiel d'utilité compte tenu du coût de migration est à l'avantage de la région 2.

Le modèle est complètement spécifié quand est précisé comment les infrastructures de transport jouent sur les arguments de la fonction d'utilité et de la décision de migration. Dans chaque région, une variable T_{jt} , que l'on peut ou pourrait vouloir multidimensionnelle, enregistre la qualité et la quantité d'infrastructure de transport auquel ont accès les habitants de la région à la date t . Cette variable impacte les trois variables clés de la décision de migration. Elle influe sur le revenu dans la région car les infrastructures sont l'un des inputs de la fonction de production à côté du facteur travail et du capital privé. Par conséquent, la productivité marginale du travail dépend positivement de la qualité de l'infrastructure de transport et par là même le salaire, au moins à long terme (pour une discussion théorique et un survey des résultats empiriques on pourra se reporter au chapitre 1 de Lafourcade (1998) et à Charlot et Lafourcade (2000)). En second lieu, l'accessibilité est sans nul doute l'un des facteurs de bien-être non monétaires à prendre en compte dans le vecteur a . En troisième lieu, le coût de migration dépend bien de la qualité des infrastructures des deux régions. Plus on peut revenir aisément dans la région de départ et plus le coût de migration est faible. On en déduit un phénomène bien connu des économistes et des géographes mais pas toujours intégré dans le discours politique, à savoir qu'à court terme au moins, l'amélioration des relations de transport entre une région riche et une région pauvre peut se traduire par une accélération des migrations de cette dernière vers la première. Il existe donc des relations de dépendance matérialisées par les fonctions suivantes

$$y_{ijt}(T_{jt}), a_{jt}(T_{jt}), m_{12}(T_{1t}, T_{2t}), \quad j=1,2 \quad (4)$$

Chaque région cherche donc à maximiser la fonction objectif (1) par rapport aux infrastructures de transport qui lui sont propres et compte tenu des relations structurelles, (2), (3), (4), la première indiquant les préférences des agents, la seconde les décisions de migration et la troisième comment le transport influe la production, le bien-être et la décision de migration. En dynamique, le bien-être total est la variable d'état, et les infrastructures jouent le rôle d'une variable de contrôle. Bien sûr le modèle n'est pas encore bouclé, car il faut indiquer comment l'infrastructure de transport est financée. Cela dépend essentiellement du modèle d'organisation politique du territoire comprenant les régions 1 et 2.

Nous en arrivons au cœur de l'argumentation qui consiste en la construction de critères d'équité entre régions. On imagine une situation hypothétique de contrat social entre régions avant leur union.

Dans la situation originelle, chaque région est autonome politiquement, décide de lever des impôts et de l'affectation du produit de ces impôts levés sur son territoire à une politique d'infrastructures sur ce territoire qui sont les seuls instruments de politique publique considérés ici. Elle peut même passer des accords avec l'autre région qui portent sur la réalisation d'infrastructures communes, une autoroute joignant, par exemple, leurs deux capitales. L'issue de telles négociations peut être décrite par un équilibre de Nash ou par une solution de *bargaining* comme la solution de Nash. Si elle demeure autonome, chaque région connaît une trajectoire de développement en terme de revenu, de facteurs non-monétaires de bien-être et de croissance de population. Ces différentes trajectoires commandent alors celle de la variable d'état qui est l'utilité totale au sens de l'équation (1). L'évolution de cette utilité totale incorpore l'évolution de la démographie.

Ces régions sont placées devant un choix hypothétique. Il leur est offert de renoncer à leur souveraineté pour fusionner et fonder un espace unifié, centralisé. Plus précisément, elles renoncent à lever l'impôt sur leurs consommateurs régionaux et ainsi renoncent à façonner de manière indépendante leurs infrastructures de transport sur une longue période de temps ; les décisions concernant les infrastructures intéressant la région sont prises à l'échelon central et sont financées par l'impôt central. Les régions s'accordent également sur le fait de renoncer à lever tout obstacle juridique à la migration de leur population dans le cadre du territoire formé par la réunion des deux régions. Voilà les deux options entre lesquelles chaque région doit choisir dans cette situation originelle.

Etre rationnel, c'est évaluer les différents termes du choix : en quoi le choix va-t-il affecter l'utilité totale modelée par les équations (1), (2), (3), (4) ? Sur la base du modèle, une grande infrastructure qui dessert la région présente deux types de bénéfices : un bénéfice d'accessibilité qui entre immédiatement comme argument de la fonction d'utilité des agents résidents dans la région, dès la construction de la ligne – c'est un bénéfice statique –, et un bénéfice dynamique du fait que cette infrastructure est susceptible d'attirer de nouvelles activités, de nouvelles populations et, par là même, le taux de croissance de la population régionale va s'en trouver modifié. Cette possibilité d'effets d'agglomération engendrée par la grande infrastructure de transport n'est pas univoque. L'économie géographique considère les choix de localisation des agents comme résultant d'une tension entre forces d'agglomération et forces de dispersion. Selon les modèles d'économie géographique, (Combes et Lafourcade (2001) pour une revue de littérature), lorsque les coûts de transport sont élevés, une baisse de ceux-ci engendre une augmentation de la polarisation. En revanche, lorsque les coûts de transport sont très faibles, les effets de dispersion peuvent l'emporter en raison d'effets de congestion dans les zones centrales induits par la diminution cumulée des coûts de transport. Toutefois, ce raisonnement ne vaut que pour une baisse généralisée du coût de transport qui touche toutes les zones. Que se passe-t-il si le coût de transport baisse partout sauf dans une zone donnée, c.a.d. en cas de développement asymétrique du réseau de transport ? Il est encore probable que le bénéfice d'accessibilité soit positif pour les consommateurs de cette zone, en raison d'un effet de réseau. Par contre, cette région peut encourir une perte quand la phase de polarisation se déclenche dans les autres régions reliées par l'infrastructure en raison de la mobilité des facteurs dans l'espace national. Le fait qu'une région ne soit pas traversée par une infrastructure de transport est de nature à modifier la trajectoire de croissance de la variable d'état en terme d'utilité totale ; il va y avoir création d'effet d'agglomération autour des têtes de réseaux. Dans un espace unifié, les régions entrent en concurrence au regard des

décisions d'infrastructure, ce qui n'est pas le cas ou moins le cas lorsque les régions appartiennent à des espaces nationaux différents. Par exemple, toutes choses égales par ailleurs, une autoroute entre Paris et Lyon³⁹ affecte plus sensiblement les perspectives de croissance en Auvergne qu'une autoroute entre Bruxelles et Paris évitant le Nord de la France n'affecte la croissance de cette région. Les habitants de Clermont tout comme ceux de Lille sont mobiles et peuvent déménager à Paris mais en plus les premiers peuvent déménager pour Lyon alors que le passage de frontière réduit la mobilité des Lillois vers Bruxelles.

Nous plaçons les élus locaux dans une situation hypothétique d'information parfaite, ils connaissent les effets dynamiques des infrastructures de transport, ce qui signifie en particulier que les relations de dépendance définies par (4) sont bien identifiées. Une région, avant d'accepter la proposition de fusion, s'interroge sur les garde-fous qu'elle peut exiger du fonctionnement concret de l'État central. Ces garde-fous font partie intégrante du « contrat social » librement consenti entre les régions. La première garantie provient d'une application immédiate d'une analyse coûts-bénéfices au choix entre autonomie et fusion. Aucune région n'acceptera de joindre son destin à celui d'un ensemble plus vaste si elle ne gagne pas en bien-être. Le critère absolument minimal d'équité inspirée de la littérature sur le partage des coûts entre opérateurs (on pourra se reporter à Moulin (2003)), s'appelle le *stand alone test* (test d'isolement). Dans une question de partage de coût d'un équipement, il ne faut pas que le coût qu'on vous impose soit supérieur à celui que vous subiriez si vous aviez réalisé l'équipement seul. Si la région transpose la logique de ce test au problème qui l'occupe, elle demande à ce **que le pilotage de la variable de contrôle par l'État central, le réseau de transport, soit tel que la trajectoire de sa variable d'état, son bien-être total donné par la formule (1), soit au moins aussi favorable avec la fusion qu'en restant isolée.** Cela revient à demander qu'aucune région partie prenante à la fusion ne voie sa situation se détériorer après celle-ci. Toutes doivent bénéficier *a minima* des économies d'échelle de vivre ensemble. Ce premier critère est un critère minimal d'équité ; s'il n'est pas respecté, l'unité du grand territoire est menacée, la tentation de sécession peut devenir irrésistible (pour une analyse économique des problèmes de stabilité dans la formation de juridictions, on peut se reporter à Alesina et Spolaore (2003), Le Breton et Weber (2003) et Haimanko et alii. (2005) et à Rota Graziosi (2004), pour une revue de littérature). Il apparaît donc également comme un critère de stabilité de la coalition de régions. Il peut être invoqué à n'importe quelle étape de la trajectoire.

Le critère précédent autorise encore des répartitions très inégales du gain à la coopération. On peut également songer à des critères d'équité plus exigeants selon lesquels l'écart initial en valeurs relatives, par exemple entre l'Ile-de-France et la Bretagne, n'augmente pas suite à la fusion ; les trajectoires des deux variables d'état sont alors parallèles. En d'autres termes, dès que **la fusion des territoires s'opère, t=1, le pilotage de la variable de contrôle par l'État central, le réseau de transport, doit être tel que les bien-être totaux régionaux croissent d'une manière homothétique :**

$$\frac{W_{1t}}{W_{2t}} = \frac{W_{10}}{W_{20}} \quad \text{pour tout } t \geq 1.$$

Ce critère dit d'**équité fort pour la suite** renvoie donc à une répartition proportionnelle des fruits de la fusion aux poids économiques originels donnés par W_{10} , W_{20} . L'écart initial en

³⁹ Nous ne prenons pas partie ici sur le point de savoir qui de Paris ou de Lyon va bénéficier le plus de l'autoroute, c.a.d. sur le point de savoir si nous sommes dans la partie décroissante ou croissante du U mis en lumière par les économistes géographes.

termes relatifs entre les deux régions n'augmente pas. Si cette clause n'est pas respectée, la région perdante est en droit de contester les décisions d'infrastructure et de demander des compensations.

Tout ceci conduit à un résultat inattendu mais somme toute logique du calcul économique. Dans le cas où une région peut calculer ce que seraient pour elles les gains et les pertes liées à la (non) réalisation d'une infrastructure, elle va entrer avec les autres régions et avec l'Etat dans une logique de marchandage. Pour comprendre le processus de détermination de l'intérêt général, il faut donc comprendre les mécanismes de ce marchandage. Comment, dans le cadre d'une logique de recherche de consensus, le principe d'équité peut singulièrement compliquer la tâche du décideur public.

3.2) *Equité versus utilité* : le vote serait-il une solution inadaptée ?

Que ce soit en tant qu'usagers ou en tant que riverains, il est clair qu'un nombre grandissant de Français et d'Européens ont abandonné toute attitude de passivité ou de résignation face à de la construction d'équipements collectifs. De nouvelles installations modifient, souvent de manière sensible, l'environnement et/ou les valeurs foncières, provoquant ainsi des réactions qui peuvent être brutales. A l'inverse, l'absence ou la fermeture de certains équipements au sein de territoires à faible densité fait que la population concernée a souvent le sentiment d'être délaissée, ce qui engendre un mécontentement pouvant avoir des répercussions politiques importantes. C'est donc sans surprise que les décideurs publics s'interrogent afin de savoir comment la population concernée va réagir à ces nouvelles décisions. L'acceptation d'un système d'équipements collectifs par la population devient, par conséquent, un critère additionnel à prendre en compte. A cette occasion, soulignons qu'une question-clé est de savoir de quelle population nous parlons et, donc, de se rappeler que les jugements peuvent différer selon les échelles spatiales. En effet, un équipement considéré comme hautement nécessaire pour l'ensemble de la collectivité (un aéroport ou un incinérateur de déchets) est souvent tout aussi hautement indésirable au niveau local.

A première vue, il semblerait qu'une telle question ne soit pas du ressort de la théorie économique. Sans prétendre y répondre de manière exhaustive, il est pourtant légitime de mentionner quelques résultats qui viennent compléter utilement ce que l'on a vu dans les sections précédentes. Dans la suite de cette section, le principal mécanisme de décision collective utilisé dans nos sociétés, à savoir le *vote à la majorité*, va être mobilisé pour appréhender l'idée d'acceptabilité par la population. Cette approche est évidemment réductrice car le concept d'acceptabilité est plus large⁴⁰.

On commencera par rappeler que, dans un jeu de vote, on appelle « gagnant de Condorcet » toute action pour laquelle il n'existe pas d'autre action admissible qui lui soit strictement préférée à la majorité absolue des votants. Par conséquent, on parle d'une *localisation de Condorcet* si l'on ne peut en trouver une autre au sein d'un ensemble préétabli qui la défasse lors d'un vote où l'une est opposée directement à l'autre. Une des difficultés principales que pose une localisation de Condorcet est qu'elle peut tout simplement ne pas exister. Pour s'en convaincre, revenons à l'exemple des trois hameaux formant un triangle équilatéral discuté dans la première section et partons de la localisation située au centre O du cercle passant par les trois hameaux. On a vu que cette localisation satisfaisait un grand nombre de critères susceptibles d'être retenus, de sorte que le décideur peut assez légitimement penser qu'elle est *a priori* politiquement acceptable. Pourtant, si on demande à la population des trois hameaux de choisir entre la localisation O et une autre, M , située au milieu du côté AB du triangle de la

⁴⁰ Voir Raux et Souche (2004).

figure , la totalité des usagers vivant dans les deux hameaux reliés par ce côté va choisir M à la majorité absolue car M est plus proche des habitants de ces hameaux que la localisation O

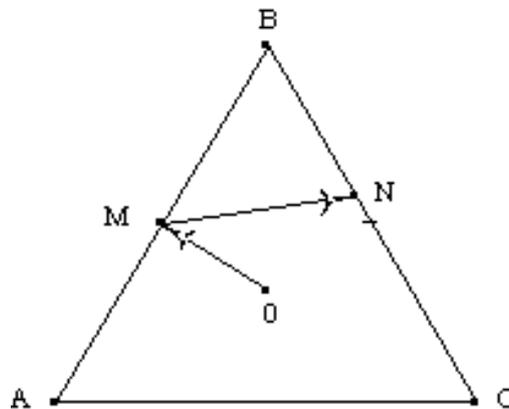


Figure 3. Instabilité du vote

Cela signifie-t-il que cette nouvelle localisation est politiquement acceptable ? La réponse est de nouveau négative. Certains habitants vont, en effet, proposer une troisième localisation N située sur le côté BC du triangle, mais qui soit légèrement plus proche du point B que du point C (voir figure 3). Dans ce cas, tous les habitants de ces deux hameaux vont préférer M à N . On devine et on peut effectivement démontrer que ce processus va se poursuivre indéfiniment, sans jamais converger puisque aucun hameau ne peut obtenir une majorité de suffrages. Par conséquent, la population est incapable de prendre une décision finale concernant son école, attestant ainsi de la difficulté de trouver un compromis démocratique portant sur la localisation d'un équipement. En fait, on retrouve ici le fameux *paradoxe de Condorcet*, mais sous une forme quelque peu différente.

Rappelons que cet exemple suppose que les trois hameaux ont la même taille. Au contraire, si un des hameaux, disons A , possède une taille qui excède la moitié de la population totale, alors le lieu correspondant est évidemment une localisation de Condorcet. Qui plus est, cette localisation est également celle qui minimise la somme des distances, un résultat connu comme étant le « théorème de la majorité ». En d'autres termes, vote et utilitarisme conduisent à la même solution, un résultat qui reste vrai dans le cas d'un nombre quelconque de points et pour n'importe quelle métrique⁴¹. En revanche, la solution démocratique diverge d'avec la solution équitable qui est toujours donnée par le centre du cercle passant par les trois points.

Malheureusement, les résultats généraux permettant une comparaison systématique du vote et de critères de bien-être sont assez peu nombreux. Toutefois, ceux qui sont disponibles jettent un éclairage original et pertinent sur la question de l'acceptabilité d'une localisation (Hansen et Thisse, 1981 ; Hansen *et al*, 1986). Considérons, en premier lieu, le cas d'un réseau de transport au sein duquel il est impossible de tourner en rond⁴². A titre d'exemple, mentionnons la très grande majorité des réseaux fluviaux, mais aussi le système autoroutier de la France qui fut pendant longtemps étoilé et centré sur Paris. Dans un tel cas de figure, il existe toujours une localisation de Condorcet, quelle que soit la forme du réseau et la répartition spatiale des usagers. De plus, ce point se confond avec celui qui minimise la somme des distances pondérées par le nombre d'usagers en chaque lieu. Il y a donc, comme dans le cas du théorème de la majorité, concordance entre vote et utilitarisme. Toutefois,

⁴¹ L'existence d'une très grande agglomération suffit donc pour réconcilier les deux procédures.

⁴² En théorie des graphes, une telle structure est appelée un arbre.

comme on peut s'y attendre, cette équivalence n'est plus valable dans le cas d'un réseau contenant des circuits. D'une part, un gagnant de Condorcet n'existe plus nécessairement et, d'autre part, quand il existe, il peut diverger considérablement de la solution utilitariste. On comprend donc mieux pourquoi une décision publique, prise dans l'intérêt général, peut engendrer un large mécontentement au sein de la population concernée.

La comparaison des deux procédures dépend évidemment de la répartition des usagers, de sorte qu'il est pratiquement impossible d'énoncer des résultats un peu généraux. Dans de tels cas, il est habituel de retenir le critère dit du « plus mauvais cas » : *quel est l'écart maximum entre les deux solutions envisagées ?*

Si c désigne un gagnant de Condorcet et u la solution du problème minisum, l'inégalité suivante est toujours satisfaite :

$$D(c) \leq 3 D(u). \quad (1)$$

Autrement dit, la perte d'utilité générale subie en retenant une localisation de Condorcet ne peut jamais excéder 200% de l'utilité générale. Il est important de comprendre que ce résultat correspond à l'écart maximum qui puisse être atteint. En pratique, il sera souvent plus faible. Quoiqu'il en soit, il convient d'être conscient que l'emploi d'une procédure de vote pour choisir la localisation d'un équipement collectif est susceptible de provoquer des pertes significatives de bien-être pour l'ensemble de la population ; inversement, l'utilisation du critère utilitariste peut mécontenter de larges segments de la population.

En revanche, si l'on se restreint à des solutions locales, c'est-à-dire à des comparaisons ou à des évaluations en des points situés dans un voisinage de la localisation candidate – voisinage qui peut être grand ou petit, selon les cas –, *l'ensemble des gagnants locaux de Condorcet coïncide avec l'ensemble des maxima locaux du critère minisum*. Autrement dit, en se limitant à ne considérer que des localisations alternatives pas trop éloignées d'un lieu correspondant à un minimum local de la somme pondérée des distances, ce lieu est également accepté par la majorité des usagers à condition de se limiter à des comparaisons par paires dans lesquelles on ne retient que des localisations alternatives qui ne soient pas non plus trop éloignées. On peut ainsi réconcilier, du moins partiellement, vote et utilitarisme. Le bilan est donc loin d'être aussi négatif qu'on n'aurait pu le craindre à première vue.

Les résultats portant sur la comparaison entre vote et équité sont moins nombreux. Toutefois, comme ci-dessus, on peut borner supérieurement l'écart entre les deux localisations. Si r désigne la localisation équitable, l'inégalité (1) doit être remplacée par la suivante :

$$M(c) \leq 2M(r).$$

Au lieu d'une perte de 200%, le vote entraîne maintenant une perte maximum de 100% cette fois-ci en termes d'équité. Ce moindre écart révèle, une fois de plus, que le choix d'un critère est loin d'être neutre en termes d'acceptabilité.

En conclusion, demander aux usagers de choisir la localisation d'un équipement au moyen d'un vote est susceptible de conduire à une indécision permanente, quand ce n'est pas à des pertes pouvant être importantes en termes d'utilité générale et/ou d'équité. Malgré la simplicité du contexte retenu, qui n'exclut cependant pas une certaine généralité puisque le réseau et l'équipement sont de nature quelconque, ces résultats suffisent à révéler la difficulté

qu'il peut y avoir pour un décideur public à retenir une localisation particulière sans provoquer une opposition pouvant être vaste, opposition qui, par ailleurs, est loin d'être démunie de légitimité puisqu'elle trouve sa source dans le mécanisme de base des démocraties.

Dans quelle mesure ces résultats et préconisations dépendent-ils de l'hypothèse d'un seul équipement à localiser ? Le problème prend ici une nouvelle dimension, à savoir que les usagers sont aussi des contribuables. Dans un tel contexte, il est raisonnable de penser que ceux-ci vont comprendre, du moins à partir d'un certain niveau de dépenses, qu'un accroissement du nombre d'équipements doit, immanquablement, conduire à une augmentation du même ordre de grandeur des impôts à supporter. Chaque usager est ainsi confronté à un arbitrage nouveau. Soit l'usager se déclare en faveur d'un plus grand nombre d'installations au prix d'un revenu réduit et, donc, d'une consommation plus faible des autres biens, soit il souhaite préserver son revenu et renonce par-là même à un parc plus large d'équipements.

Afin de mettre en lumière ce nouvel arbitrage et ses implications politiques éventuelles, on suppose que l'on demande aux usagers de voter sur le nombre d'équipements à installer ainsi que sur leur localisation. Par soucis de simplicité, on considère un espace donné par un segment de droite de longueur L . On suppose en outre que la distribution des individus le long de ce segment est uniforme, de sorte que la densité de population est égale à N/L . Le vote est alors modélisé à l'aide d'une procédure en deux étapes. Dans la première, les individus choisissent à la majorité absolue le nombre d'équipements qu'ils souhaitent ; dans la seconde, ils choisissent leur localisation. On a pris l'habitude de résoudre ce genre de problème en suivant la méthode de rétroaction, ce qui veut dire que le nombre d'équipements est, d'abord, supposé donné et que les usagers doivent choisir où les installer. Ensuite, connaissant le résultat de ce scrutin, ils déterminent collectivement le nombre total d'équipements souhaité, chacun anticipant correctement où sera situé l'équipement le plus proche pour chaque nombre susceptible d'être choisi. En d'autres termes, la procédure de décision est séquentielle et se déroule en présence d'anticipations des usagers. Malgré un certain manque de réalisme, cette approche nous permet d'appréhender l'idée que se font les usagers de l'arbitrage fondamental discuté précédemment.

La solution de la seconde étape est immédiate et intuitive : tout usager se déplaçant vers l'équipement le plus proche, chaque équipement est installé au centre de son aire de service puisque la distribution des usagers est uniforme. Ceci revient à dire que les équipements sont répartis de manière équidistante le long de l'intervalle. Venons-en maintenant au choix du nombre d'équipements. Cette question est plus délicate à traiter que la précédente, car elle réclame de préciser comment les équipements sont financés. On suppose ici que tous les usagers ont le même revenu Y et que les coûts sont couverts par un impôt sur le revenu dont le taux est donné par t . Si un nombre n d'équipements est construit, les dépenses sont égales à nG . Du fait de la contrainte budgétaire, les recettes doivent alors être égales à $(tY)N$. C'est donc sans surprise que l'on constate que le montant des impôts individuels, et, par conséquent, le taux d'imposition t , croissent avec le nombre d'équipements. En revanche, ce montant diminue avec la densité et/ou le revenu des usagers. Autrement dit, si la multiplication des équipements provoque une augmentation des dépenses publiques, celle-ci a plus de chance d'être acceptée lorsque la population est dense et riche.

Le choix du nombre d'équipements peut alors être formulé de la manière suivante. On consulte la population en lui demandant si elle préfère accroître le nombre proposé d'une unité, procédure qui commence en comparant les nombres 1 et 2. Le nombre d'équipements finalement choisi est celui qui est préféré à la majorité absolue à n'importe quel autre. Le mécanisme ainsi retenu est plus subtil qu'il ne semble *a priori*. En effet, lorsque le nombre n d'équipements est augmenté d'une unité, cela affecte la localisation des autres et, par

conséquent, l'accès de tous les usagers à l'ensemble du parc. Certains d'entre eux peuvent ainsi se trouver dans la situation où, à la fois, ils payent plus d'impôts et souffrent d'une accessibilité moins bonne aux équipements. D'autres bénéficient d'une meilleure accessibilité qui est, à leurs yeux, insuffisante pour compenser l'augmentation des impôts qui en résulte. Restent ceux pour qui le gain en accessibilité l'emporte sur la réduction de leur consommation qu'impose un élargissement de la taille du parc.

Dans l'exemple considéré, on peut démontrer qu'il existe un seul nombre satisfaisant cette condition. Il est donné par le nombre entier le plus élevé n^* pour lequel l'inégalité suivante est vérifiée⁴³ :

$$n^*(n^*-1) < (t Y) N / 2G \quad (2)$$

Venons-en maintenant au critère utilitariste, dans la mesure où il est raisonnable de supposer que le planificateur cherche à minimiser la somme des coûts totaux qu'entraîne le système dans son ensemble. Dans le cas présent, cela équivaut à sommer les coûts de construction payés par les pouvoirs publics au travers de l'impôt et les coûts d'accès supportés directement par les usagers⁴⁴. Comme précédemment, les équipements sont répartis de manière équidistante le long du segment. La détermination du nombre d'équipements est, en revanche, plus simple que dans celui de la procédure de vote. On vérifie aisément que le nombre optimal pour le critère utilitariste est donné par le plus grand des nombres entiers n° satisfaisant la nouvelle inégalité :

$$n^\circ(n^\circ-1) < (t Y) N / 4G \quad (3)$$

En comparant les membres de droite des inégalités (2) et (3), on constate sans peine que **le nombre d'équipements minimisant les coûts totaux est inférieur au nombre choisi par la population à l'occasion d'un scrutin** ($n^\circ < n^*$). Le corollaire immédiat de cette proposition est que les équipements ont de bonnes chances d'être trop nombreux au regard du critère d'utilité générale. En d'autres termes, le recours à une procédure de vote est susceptible de déboucher sur des dépenses publiques élevées. Plus inattendu, **la solution adoptée par les électeurs correspond très exactement à la solution obtenue si le planificateur avait appliqué le critère d'équité plutôt que celui de l'utilité générale**. Même si ce résultat est établi dans un cadre d'hypothèses très particulier, il n'en reste pas moins très suggestif d'une tendance lourde : se référer à l'équité et développer des procédures de vote en lien avec ce choix conduit à accroître sensiblement les dépenses publiques. Le calcul économique est alors complètement débordé. Il ne peut plus prétendre ordonner les préférences collectives car ces dernières deviennent l'addition des préférences individuelles. On se trouve alors dans une situation d'indécidabilité, qui peut aussi se traduire par le statu quo. Demander l'impossible peut conduire à ne rien obtenir. Il suffit pour illustrer cette idée de raisonner non pas sur la demande de tel ou tel équipement, mais sur l'acceptabilité d'un nouvel équipement.

3.3) De l'équité à l'acceptabilité : peut-on échapper à la préférence pour le statu quo ?

L'acceptabilité des politiques de transport reste une « expression-valise » aux contours assez flous, où se pressent des définitions multiples et variées, malgré (ou à cause de ?) l'abondance des projets européens consacrés à la question, et de la littérature qui s'en est ensuivie. Ce courant de recherche assez récent fait suite aux prises de position de la

⁴³ Pour une démonstration de ce résultat, voir Cremer *et al.* (1983) ou Fujita et Thisse (2003, chapitre 5).

⁴⁴ De manière alternative, on pourrait retenir un critère rawlsien où l'objectif serait de minimiser le coût le plus élevé supporté par un membre de la population concernée. Un tel critère, parce qu'il privilégie l'équité spatiale, conduirait à un plus grand nombre d'entités politiques et, par conséquent, à des coûts plus élevés pour l'ensemble des agents. Dans le cas présent, on peut démontrer que cette solution est identique à celle choisie par le recours à une consultation populaire (Fujita et Thisse, 2003, chapitre 5).

Commission Européenne quant à la politique de transport et notamment en faveur de la tarification au coût marginal social (CE, 1998). Dans cette littérature on trouve souvent des inventaires à la Prévert des différents critères d'acceptabilité, où l'on a assez de mal à faire son marché pour aider à la prise de décision en matière de politique publique de transport.

L'expérience des débats publics autour des projets d'infrastructure ou de mise en place de changements tarifaires, que ce soit l'augmentation chaque année des tarifs des transports collectifs ou, plus exceptionnellement, la mise en place d'un péage urbain, montre que les arguments utilisés relèvent de l'équité ou plus trivialement de la justice, et rarement de l'efficacité économique supposée de ces projets.

On écartera d'emblée la vision cynique, qui consisterait à dire que tous ces débats autour de la « justice » ne sont qu'un rideau de fumée utilisé par les porteurs d'intérêts, qui utiliseraient les arguments de l'intérêt public pour justifier le leur. Cette vision cynique est réductrice car souvent ces porteurs d'intérêts sont sincères. Il faut donc prendre acte d'une justice perçue qui est une donnée de la politique publique.

Il est trivial de constater que ce qui semble efficace sur le plan économique (la raison d'être du calcul économique) n'est pas nécessairement considéré comme juste. A partir des travaux de Zajac (1995) nous pouvons identifier au moins cinq principes de justice positive qui pourraient s'appliquer avec pertinence au cas de la politique publique de transport.

- Bien qu'il n'y ait que peu de référence explicite à l'efficacité économique dans les débats publics, certaines inefficacités sont perçues comme injustes, surtout si elles consistent en une perpétuation de privilèges pour certains groupes qui s'opposent à leur remise en cause.
- Dans un papier fondateur, Kahneman, Knetsch et Thaler (1986) ont établi à l'aide d'un support empirique l'existence d'un droit sur les termes de la transaction de référence, i.e. les droits issus du statu quo : le sentiment d'injustice apparaît lorsque la décision publique entraînant un changement de contexte, ne tient pas compte de la transaction de référence (exemple, la gratuité de la route, ou le droit à ne pas voir débarquer une autoroute au fond du jardin de sa maison de campagne...).
- On s'attend à ce que la société nous protège contre les conséquences négatives de changements économiques sur lesquels nous n'avons pas prise.
- On exige un droit de regard sur le service public quand il s'agit d'un monopole, surtout quand il sert ce qui est considéré comme un droit (par exemple le transport public).
- On réclame l'égalité de traitement : cette égalité fait référence aux différentes dimensions de l'équité (verticale, horizontale et spatiale) que nous développons ci-après.

Ces principes vont être plus ou moins pertinents selon les situations, et parfois même contradictoires : comment préserver le statu quo tout en remettant en cause les privilèges pour certains groupes ? A travers une revue des résultats de travaux de recherches européennes et en nous aidant de la riche littérature académique sur les questions de justice et d'équité en tant que de besoin, nous tenterons de mettre un peu d'ordre dans une problématique, l'acceptabilité des politiques publiques dans les transports. Autrement dit, nous nous proposons de construire une sorte de grille de lecture.

L'état de l'art sur l'acceptabilité des politiques de transport peut s'organiser autour de quelques grands thèmes. Pour comprendre l'acceptabilité, il faut d'abord la définir. Mais l'opération est délicate. L'utilisation de ce terme sert à décrire des attitudes et des comportements d'acteurs souvent empreints de subjectivité, ce qui en rend difficile l'évaluation. Il convient d'ailleurs d'identifier ces acteurs : parle-t-on de l'acceptabilité d'une nouvelle mesure par les automobilistes ou les usagers des transports collectifs, ou par les producteurs de services de transports (opérateurs) ou encore par d'autres acteurs ? Afin d'établir si les conditions de mise en œuvre de la nouvelle mesure sont favorables à la réussite

du projet, il devient nécessaire de spécifier le contexte et la manière dont un « problème » est perçu. La question de la perception va également intervenir dans l'appréciation des solutions proposées par les acteurs. Elle s'appuie sur des arguments d'équité et de justice qui prennent souvent le pas sur ceux de l'efficacité au sens économique.

Acceptabilité et acceptation : une tentative de compréhension et de définition

Même si la question de l'acceptabilité fait l'objet de nombreux travaux de recherche, sa définition semble assez floue. Les projets européens PRIMA et CUPID cherchent à intégrer la question de l'acceptabilité dans l'étude de faisabilité et dans l'évaluation *ex ante* d'un projet. Ils ont une conception très large et générale de l'acceptabilité. Pour d'autres projets comme AFFORD et MC-ICAM, c'est plutôt le refus *ex post* – la non acceptation – qu'il faut comprendre puisqu'elle peut faire échouer la réalisation d'un projet. Notre objectif est ici de tenter de donner une définition de l'acceptabilité, ou tout au moins d'en préciser les contours à travers en particulier la distinction entre une mesure dite acceptable (*versus* non acceptable) et une mesure dite acceptée (*versus* non acceptée).

L'acceptabilité peut d'abord se comprendre dans le sens de ce qui est ou non acceptable *ex ante*. Avant qu'une nouvelle mesure ne soit expérimentée, les acteurs peuvent déjà porter sur elle un jugement favorable ou défavorable, en la jugeant acceptable ou non. Dans la littérature, on trouve l'expression « d'acceptation subjective » (*attitudinal acceptance* dans le projet PATS) ou « d'acceptabilité » d'une nouvelle mesure (Schade (2003), Schade et Schlag (2003)).

L'acceptabilité peut ensuite être abordée sous l'angle de ce qui est ou non accepté, une fois la mesure mise en œuvre. Cette attitude *ex-post* peut être désignée par l'expression « d'acceptation comportementale » (*behavioural acceptance* dans le projet PATS) ou « d'acceptation » (Schade (2003), Schade et Schlag (2003)). Dans cette logique, il est possible de définir l'acceptation comportementale comme « une absence de résistance à l'implémentation d'un système » (Van der Laan, 1998, p.39, in Schade et Schlag (2003)).

Finalement, il semble se dégager deux pistes pour mieux comprendre l'acceptabilité : la première cherche à comprendre qui accepte ou n'accepte pas et s'intéresse donc aux acteurs du processus d'acceptation, l'autre se demande sous quelles conditions l'on accepte ou l'on n'accepte pas telle ou telle mesure.

Les acteurs concernés

Les acteurs sont au cœur de la question de l'acceptabilité, encore faut-il savoir de quels acteurs il s'agit. Pour certains travaux, seuls les avis des automobilistes ou des passagers, c'est-à-dire des utilisateurs de transport, sont pris en compte (projet AFFORD). Pour d'autres il faut tenir compte non seulement des citoyens en général (Odeck et Brathen, 1997), mais également des opérateurs, des politiciens, et des groupes d'intérêt (CUPID, PATS).

Pour faciliter cette lecture complexe des jeux d'acteurs de la décision politique et de leurs arguments, l'approche proposée par Weck-Hannemann (1999) dans le cadre de la recherche européenne sur l'acceptabilité du péage (PATS, 2001) revêt une grande utilité. En s'inspirant d'une analyse du marché politique, l'auteur étudie les réactions des divers acteurs aux mesures de politique environnementale dans le secteur des transports. Elle identifie les différents acteurs – à savoir les politiques, les groupes d'intérêts, et les citoyens-électeurs – et les organise selon qu'ils appartiennent à l'offre ou à la demande de transport.

L'acceptabilité par les politiques : la théorie dite du Public Choice, initiée dans les années soixante par J. Buchanan et G. Tullock, étend au champ politique le raisonnement économique en terme de marché. La structure du vote (en particulier la date de la prochaine

élection) et l'existence de groupes de pression, seraient susceptibles d'influencer les procédures de prise de décision publique. Ainsi les politiques eux-mêmes trouveraient intérêt à accroître leur pouvoir discrétionnaire et à affaiblir la contrainte budgétaire, en favorisant par exemple des outils orientés sur la productivité fiscale. On peut supposer qu'ils préfèrent les revenus qui doivent aller dans le budget public général, leur fournissant la flexibilité d'usage de ces ressources additionnelles au lieu d'avoir à les retourner aux citoyens ou aux contribuables, sous forme de transferts d'argent ou de réduction de taxes. Cependant, cette politique n'est possible que lorsque la contrainte de réélection n'est pas trop forte. A l'approche des échéances électorales, le pouvoir discrétionnaire des politiciens diminue et ils doivent alors prendre en compte les intérêts des électeurs.

L'acceptabilité par les groupes d'intérêt : selon ce point de vue, ce sont les instruments en faveur des groupes les mieux organisés, qui seront favorisés au détriment des autres groupes moins structurés. Il est clair que les usagers individuels (automobilistes ou passagers des transports collectifs) sont dans une situation comparative défavorable par rapport aux opérateurs ou producteurs, quant à la capacité de s'organiser en groupes d'intérêts. Il en est de même pour les contribuables. Les instruments tarifaires peuvent servir l'intérêt de groupes différents selon l'usage des revenus, affectés par exemple au financement d'infrastructure ou à la fourniture de services. Les instruments tarifaires ou fiscaux sont d'autant plus acceptés par les groupes d'intérêts qu'ils leur permettent de modérer l'incitation à changer de comportement, d'obtenir des exonérations, de faire supporter la charge financière par d'autres, et d'affecter les recettes pour en retirer les bénéficiaires.

L'acceptabilité par les citoyens et électeurs : cette question renvoie à la résistance, généralement observée dans l'opinion, à la généralisation de l'usage des mécanismes de prix pour gérer des biens relevant de la sphère collective. Cette résistance recouvre les aspects de la redistribution des revenus, de l'équité du système de prix pour rationner la demande, et de l'éthique de ce système pour gérer des biens environnementaux non renouvelables.

Pour chaque groupe d'acteurs participant au processus de décision, il est alors possible de repérer leurs intérêts spécifiques et leur influence sur les résultats du processus de prise de décision, de façon à connaître qui sont les gagnants et perdants des mesures à mettre en place.

Le contexte et la perception du problème

A travers la notion de contexte, c'est le cadre socio-économique, législatif, institutionnel, culturel, ainsi que les habitudes qui préexistent à la mise en œuvre de la mesure qui sont pris en compte. Ce contexte n'est pas immuable, il est conditionné par l'évolution de longue durée. Les résistances semblent se réduire au cours du temps comme le montre l'exemple du péage à Oslo où la résistance s'est réduite à partir du moment où le système est devenu opérationnel (cf. infra).

Il apparaît que la connaissance du cadre juridique – qui borne l'éventail des possibles – et des pratiques de mobilité, est une des conditions nécessaires à la mise en œuvre d'une mesure : par exemple, en France, la loi n'autorise pas la mise en place d'un péage urbain sur une infrastructure existante. Par ailleurs, les informations sur les caractéristiques socio-démographiques des individus (niveaux de revenu et d'éducation, âge, sexe), sur les comportements de mobilité (motif de déplacement, actif/inactif, mode de transport, localisations résidentielle et professionnelle) sont utiles pour comprendre ce qui influence les réponses des acteurs. Ces caractéristiques vont pour partie déterminer les marges de manœuvre dont les individus disposent.

Une situation législative confuse et peu claire, des expériences négatives, des traditions peu favorables aux démarches proposées peuvent freiner le processus de décision (MC-ICAM). Pour Schade et Schlag (2003) les normes, voire les tensions sociales, influencent

l'acceptabilité publique d'une stratégie de tarification. Le contexte intervient également à travers le niveau (local, régional, national, international) de la prise de décision. Si les nouvelles mesures concernent la vie locale, une prise de décision locale est perçue comme plus proche des attentes des individus, et peut ainsi paraître plus acceptable. L'exemple de Rotterdam montre comment l'expérimentation d'une tarification routière unique du Randstaad envisagée par l'échelon national, a été source de conflit entre l'échelon national et régional et a finalement échoué sous la pression des régions métropolitaines qui y étaient opposées (Harsman, 2003).

L'acceptabilité est également liée à la perception ou non d'un problème (PATS, 2000 ; Schade et Schlag, 2003 ; MC-ICAM, CUPID, INPHORMM). Si nous percevons qu'une situation pose problème nous allons chercher à trouver des solutions (Schade et Schlag, 2000). Pour ces auteurs, les habitants les plus contraints et ceux des régions densément peuplées perçoivent avec plus d'acuité les problèmes liés à la mobilité et attendent aussi davantage de solutions. Les résultats du projet AFFORD montrent que la pollution de l'air, la congestion automobile et la pénurie des places de stationnement, sont les contraintes perçues comme les plus importantes. Dans cette optique, une nouvelle mesure dont les objectifs seraient clairement affichés et dont on percevrait l'efficacité, serait plus acceptable (Schade et Schlag, 2000 ; Weck-Hannemann, 1999).

Rietveld et Verhoef (1998) distinguent la composante individuelle et la composante collective (ou sociale) de la perception d'un problème. Quand les personnes disent être touchées individuellement par un problème, elles lui donnent également une dimension sociale. Pour ces mêmes auteurs, le niveau de revenu *via* la valeur du temps, joue un rôle déterminant dans l'évaluation de la mesure. Précisément, la sensibilité à la congestion serait corrélée positivement avec l'âge, un haut niveau d'éducation et l'utilisation de la voiture particulière.

L'efficacité de la mesure et sa perception

Il faut distinguer l'*efficacité* (l'adéquation entre résultats et objectifs) et l'*efficience* (l'articulation entre moyens et résultats). La tarification est par exemple considérée comme moins efficace que les mesures de restriction quand il s'agit de réduire la circulation automobile (Schade et Schlag, 2003).

Fernandez et Rodrik (1991) expliquent que si les gouvernements n'adoptent pas certaines réformes, alors que les économistes les préconisent pour accroître l'efficacité de la politique publique, c'est notamment à cause de l'incertitude sur la distribution des gains et des pertes consécutifs à ces réformes : autrement dit, les futurs gagnants ou perdants de la réforme ne peuvent pas être identifiés au préalable. Cette incertitude expliquerait le biais en faveur du statu quo, et ainsi contre toute réforme qui accroîtrait l'efficacité.

Un autre élément d'explication de ce décalage nous ramène à la question de la perception. Il peut en effet exister une différence entre les effets d'une nouvelle mesure affichés par ses promoteurs, et leur perception par les acteurs : une nouvelle tarification – comme l'introduction d'une tarification à la distance – estimée plus efficace par l'opérateur de transports collectifs urbains, peut être perçue négativement par les usagers qui la jugent inéquitable pour ceux de la périphérie. Les arguments d'équité et de justice occupent alors le devant de la scène.

L'équité de la mesure

Les acteurs ont donc recours aux arguments d'équité et de justice pour débattre de l'acceptabilité d'une nouvelle mesure. Une nouvelle difficulté apparaît puisque l'équité elle-

même est polysémique. En suivant la littérature⁴⁵, l'équité semble s'articuler autour des thématiques suivantes : les gagnants et les perdants à la mise en œuvre d'une nouvelle mesure, la redistribution des recettes issues de la réforme tarifaire, et les compensations possibles.

La mise en œuvre d'une nouvelle mesure créerait des gagnants et des perdants. L'introduction d'un changement tarifaire comme le péage urbain serait inéquitable puisqu'elle toucherait d'abord les plus pauvres (Evans, 1992 ; Emmerink et al, 1995). Dans cette optique, les travaux de Else (1986), Guiliano (1992) et Langmyhr (1997), mettent en évidence que les gagnants seraient ceux qui bénéficient des plus hauts revenus. Pour Jakobsson et al (2000), l'inéquité du péage routier serait d'autant plus forte que ce dernier porterait atteinte à la liberté de se déplacer (selon le mode de transport et le lieu). La liberté de se déplacer serait un droit fondamental selon Schlag et Teubel (1997). L'introduction d'un péage en milieu urbain conduirait également à accroître le coût de la localisation dans les régions ou les villes qui le mettraient en œuvre, créant ainsi une inéquité territoriale (Emmerink et al, 1995).

La question de la redistribution des recettes du péage semble jouer un grand rôle dans l'acceptabilité d'une nouvelle mesure. Goodwin (1989) a proposé une règle d'affectation des recettes du péage urbain entre améliorations des routes, de l'offre en transports collectifs et de l'environnement physique urbain ; il a également esquissé (1995) les principes d'une convergence et non plus d'une opposition entre amélioration de l'environnement et efficacité économique. Small (1992) a proposé une stratégie de distribution des impacts de programmes financés avec les recettes du péage qui intègre les différents groupes d'intérêt et qui verse une compensation aux usagers affectés. D'autres auteurs voudraient que ces recettes soient utilisées pour les modes les plus respectueux de l'environnement (Schlag et Teubel, 1997). Pour Harrington et al. (2001), la redistribution des recettes peut prendre la forme d'une compensation *via* la diminution des taxes existantes. Thorpe (2002) s'intéresse à la capacité libérée sur les infrastructures existantes grâce à la réduction du trafic. Il suggère que le bénéfice d'une allocation en faveur des mesures d'amélioration de l'environnement (voies réservées pour les bus notamment) soit ajouté aux gains de temps dont bénéficient les automobilistes qui continuent à utiliser l'infrastructure à péage.

On en vient naturellement à la question de la compensation. Parmi les principes de justice économique qu'énonce E. Zajac – évoqués en introduction –, il y a la revendication d'un droit à l'assurance : on s'attend à ce que la collectivité assure les individus contre des pertes entraînées par un changement des conditions économiques et, si ce n'est pas le cas, cette situation est considérée comme injuste.

On sait depuis les travaux de Hicks et Kaldor, qu'une compensation hypothétique suffit à justifier une politique dès lors que les avantages des gagnants l'emportent sur les pertes des perdants. On peut donc *a priori* penser qu'une compensation effective contrebalancerait le rejet du mécanisme d'allocation par les prix.

Néanmoins il apparaît que ce principe de compensation serait rejeté au motif que les « perdants compensés » ont l'impression que l'on « achète » leurs votes pour permettre aux riches de profiter des biens rendus ainsi disponibles (Frey et al, 1996 ; Kunreuther and Easterling, 1996). C'est pourquoi Oberholzer-Gee et Weck-Hannemann (2002) suggèrent que la compensation doit ressembler le moins possible à un achat de votes et doit viser à récompenser, dans la même « dimension » que la perte, ceux qui acceptent de réduire leur consommation du bien rare parce qu'ils contribuent à l'amélioration du bien-être collectif. L'une des conséquences est qu'il est nécessaire que les sommes qui sont prélevées dans le

⁴⁵ Pour un survey voir Souche (2003).

secteur des transports soient utilisées pour des compensations effectuées dans le transport et non pas dans un autre secteur.

Enfin, il faut faire face au soupçon d'un enrichissement indu du gouvernement sur le dos des automobilistes (Emmerink et al, 1995). L'un des principes de justice économique énoncé par Zajac est relatif au pouvoir abusif du monopole : « *The fewer the substitutes for a regulated or monopoly firm's output, and the more the output is considered an economic right, the more the public expects to exert control over the firm. Denial of control is considered unjust.* » (Zajac, 1995, p. 127).

A partir des principes explicités par Rawls dans sa théorie de la justice (1971), Raux et Souche (2004) ont développé un cadre d'analyse de l'acceptabilité des changements dans le secteur des transports, qui combine l'efficacité économique (orienter efficacement la demande) avec trois dimensions de l'équité : l'équité verticale au sens de l'attention à porter aux personnes les plus fragiles économiquement ; l'équité horizontale au sens de la répartition de la charge entre contribuables et usagers des transports, et entre usagers des différents modes ; enfin et surtout, l'équité territoriale qui se réfère à la garantie d'accessibilité aux aménités, et à la liberté d'aller et venir. Une première démarche peut être alors d'identifier les groupes de perdants ou de gagnants selon ces trois dimensions.

La perception de la justice

Ce que l'on perçoit des caractéristiques d'un projet permet de comparer les différentes alternatives et de les rendre ainsi plus ou moins acceptables.

Schade et Schlag (2000) estiment que la justice perçue peut être assez différente de la distribution réelle des coûts et des avantages d'une nouvelle mesure. Il semble exister deux niveaux de perception de l'équité quand on compare l'évolution de notre situation entre avant et après la mise en œuvre de la nouvelle mesure. Le niveau d'équité intrapersonnelle peut être résumé par la question suivante, « ma situation personnelle est-elle ou non améliorée par la nouvelle mesure ? ». Le niveau d'équité interpersonnelle revient à poser la question, « ma situation personnelle est-elle plus ou moins améliorée – ou détériorée – que celle des autres par la nouvelle mesure ? ».

Baron et Jurney (1993) dissocient le consentement à voter pour une mesure et le jugement que l'on porte sur cette mesure. Frey et Jegen (2001) nous permettent de comprendre pourquoi. Ils expliquent en effet, que les attitudes sont différentes des comportements : il est tout à fait possible d'afficher une sensibilité aux questions environnementales, tout en utilisant chaque jour son automobile. Toutefois, Baron et Jurney (1993) affirment que sur les décisions qui conduisent à un dilemme social, c'est-à-dire une situation où les préférences individuelles sont différentes de la préférence collective, il faut exercer un pouvoir de coercition. Dans cette logique, les auteurs du rapport européen TAPESTRY (2001) identifient différentes phases à respecter pour qu'un changement de comportement se produise à l'issue d'une campagne publicitaire. Ils insistent en particulier sur : l'identification des comportements, des attitudes et de l'acceptation avant la campagne publicitaire ; l'identification des groupes cibles ; la mesure des changements dans les comportements, les attitudes et l'acceptation après la campagne ; l'identification du contexte et des facteurs d'influence externes.

De plus, il semble qu'une nouvelle mesure soit mieux acceptée si nous avons le choix entre plusieurs alternatives (Schade et Schlag, 2000).

Le degré d'acceptabilité est également influencé par l'attitude des individus par rapport aux alternatives et aux mécanismes de régulation qui peuvent être proposés. Frey et Pommerehne (1993) se sont posé la question suivante : pourquoi la régulation d'une demande excessive par les prix est-elle considérée comme injuste alors que les économistes préconisent ce principe ? Face à une situation de rareté en eau, ils identifient et testent plusieurs procédures d'allocation

des ressources qui renvoient à autant de principes de justice. Ils trouvent que pour rationner l'excès de demande, une procédure traditionnelle de file d'attente ou une procédure administrative sont jugées plus justes qu'une procédure tarifaire qui consiste à faire payer plus cher les ressources devenues rares. Ils en concluent que les économistes devraient inclure des aspects moraux ou éthiques dans leur analyse s'ils veulent améliorer leur capacité à conseiller des politiques. Dans un contexte de bien public, Frey et Oberholzer-Gee (1996) montrent également que, quand il s'agit de trouver un lieu d'implantation pour un bien public localement non désiré, la compensation ne suffit pas et que les procédures de décision perçues comme justes jouent un rôle essentiel.

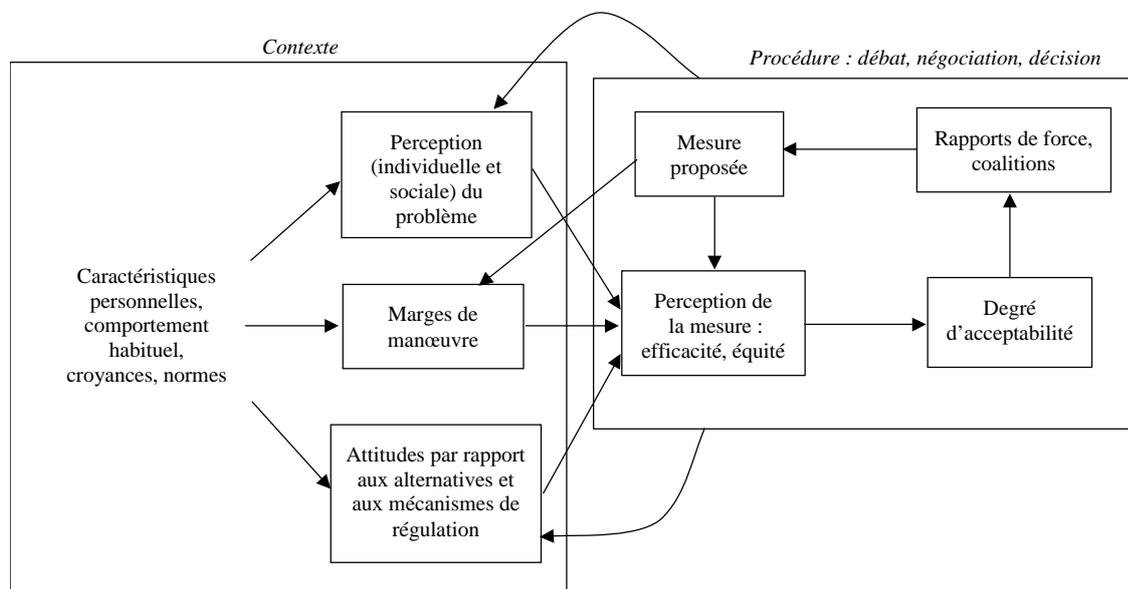
Les études de cas ainsi que la revue de la littérature ont montré que l'acceptabilité n'était pas uniquement un résultat mais également un processus. Une nouvelle mesure est soit acceptée soit refusée, mais cet aboutissement n'est que la conséquence d'un long cheminement. En effet, l'acceptabilité est aussi le produit d'un jeu d'acteurs qui poursuivent des intérêts qui leurs sont propres, et entre lesquels se font et se défont les alliances.

Ces intérêts sont fortement dépendants du contexte et du moment dans lesquels la nouvelle mesure est introduite. Ils vont être relayés par des leaders d'opinion dont le leadership est positivement corrélé à leur capacité d'expertise, leur expérience et leur créativité (Childers, 1986) mais également à la forme et aux moyens de pression dont ils disposent pour s'exprimer (Champagne, 1990).

Le processus d'acceptabilité met en œuvre un mécanisme de concertation et de prise de décision au cours duquel des coalitions se forment. Le débat sur l'acceptabilité, les mesures de compensation peuvent alors devenir des outils de persuasion pour parvenir à l'acceptabilité ou au rejet de la mesure.

Parvenus à ce stade, nous proposons une mise en ordre conceptuelle des différents aspects analysés plus haut (cf. Figure).

Figure 4 : Une proposition de schéma conceptuel du processus d'acceptabilité



Dans ce schéma sont synthétisés les différents éléments de l'analyse précédente. Ce schéma distingue deux grands ensembles, l'un ayant trait au « contexte », l'autre à la « procédure » de débat et négociation menant au résultat final. Le « contexte » distingue trois éléments, qui sont la perception individuelle et sociale du problème, les marges de manœuvre individuelles, et les attitudes face aux alternatives et mécanismes de régulation. Ces trois éléments, d'une

part sont conditionnés par les caractéristiques socio-économiques personnelles – comportements habituels, croyances et normes –, d'autre part conditionnent la perception de la mesure, notamment dans ses dimensions d'efficacité et d'équité. La « procédure » menant au résultat final (acceptation ou non du projet) fait interagir dynamiquement la modification éventuelle de la mesure proposée, dont les caractéristiques influent sur la perception de cette dernière, puis sur son degré d'acceptabilité. En fonction de cette perception, des coalitions se forment, des rapports de force s'établissent qui, en retour, vont ou non modifier la mesure. Enfin, dernière rétroaction, la procédure de débat et négociation vient modifier la perception individuelle et sociale du problème, et les attitudes face aux alternatives et mécanismes de régulation.

Au total, les réflexions sur l'acceptabilité ont de quoi désespérer les partisans du calcul économique. Compte tenu des multiples causes possibles de blocage du processus de décision, l'ensemble des solutions probables de la négociation collective pourrait bien être un ensemble vide. Il est donc essentiel que les Débats publics et autres procédures collectives de décision soient d'une certaine façon ordonnées. De même que l'on peut contourner le théorème d'impossibilité de Arrow en incitant les votants à adopter une unimodalité des préférences (cf les travaux de Duncan Black), de même il est possible de centrer les débats sur une notion qui va aider à ordonner les débats ; l'accessibilité.

4) De l'acceptabilité à l'accessibilité : la redécouverte d'une notion ancienne

Les projets d'infrastructures de transport connaissent depuis quelques années une inflexion majeure. Loin de tomber dans la paralysie évoquée à la fin de la partie précédente, nous voyons au contraire surgir de multiples projets. Mais ils surprennent par leur contenu et ne ressemblent pas à ce qui prévalait dans les années 60 ou 70. Là où, il y a peu, étaient encore privilégiés les projets routiers et autoroutiers, se dessinent désormais d'autres priorités. Beaucoup d'élus de grandes villes ont opté pour le tramway, mode urbain relativement lent mais qui semble faire l'unanimité pour lui, notamment du fait de sa capacité à... gêner la circulation automobile. Ce qui semble pour le moins paradoxal. Dans le même ordre d'idées, beaucoup de Conseils régionaux souhaitent donner la priorité aux TER, tout en se déclarant prêts à financer partiellement d'éventuelles nouvelles lignes à grande vitesse. Dans les deux cas, tout se passe comme si la route et l'autoroute n'étaient plus considérées comme prioritaires alors qu'elles représentent la grande majorité des déplacements. La route ne trouverait-elle comme défenseurs que les seuls élus des Conseils généraux, désormais en charge de la plus grande partie du réseau routier ?

Il est d'une certaine façon possible de répondre favorablement à cette question, et cela risque de se confirmer dans les années à venir pour deux séries de raisons.

- La première se situe en zone urbaine où les problèmes de congestion routière ne peuvent généralement pas être résolus par la mise en place de nouvelles infrastructures, du fait du manque d'espace et du coût exorbitant des infrastructures souterraines. Comme ils ne souhaitent généralement pas s'orienter vers des solutions de type péage urbain, les élus des villes centres se sont donc plus ou moins explicitement tournés vers les transports collectifs et les modes doux (marche à pied, deux roues). Mais ce choix mérite d'être interrogé. En quoi cette nouvelle orientation est-elle conforme à l'intérêt général ?

- Pour la mobilité interurbaine à longue distance, un nouveau phénomène se déploie depuis quelques années et va s'accroître. Le développement de l'avion et du TGV relèguent progressivement l'automobile au rang des modes moins performants. Les mesures gouvernementales pour améliorer la sécurité routière renforcent cette tendance. En promouvant des « routes apaisées⁴⁶ », voire des « autoroutes apaisées »⁴⁷, un signal est envoyé aux automobilistes : qu'ils ne comptent pas sur une amélioration de leur vitesse moyenne de déplacement ! Il suffit pour s'en convaincre de regarder les progressions relatives des trafics des routes et autoroutes, des TGV et des avions. Il est important de souligner ici que le phénomène n'est pas uniquement dû à la hausse du prix des carburants. Les prix des billets de TGV et des billets d'avion augmentent sans que le trafic en soit affecté. Ce n'est pas le cas de l'automobile car pour elle, la hausse du coût monétaire n'est pas contrebalancée par l'accès à une vitesse accrue, au contraire. En toute logique, les utilisateurs privilégient donc les modes qui réduisent le coût généralisé du déplacement.

Ainsi, la question des gains de temps reste cruciale, mais elle ne doit pas être abordée sous le seul angle du coût généralisé. Celui-ci doit être replacé dans une logique plus globale, celle de l'accessibilité, laquelle permet d'abord de comprendre les évolutions récentes, pour la mobilité urbaine comme pour la mobilité interurbaine. Elle peut ensuite servir de vecteur à l'émergence de préférences collectives plus explicites et cohérentes avec les recommandations du calcul économique. Pour le montrer, nous commencerons par rappeler ce que sont les indicateurs d'accessibilité (4.1), puis nous en verrons quelques implications concrètes (4.2).

4.1) Du calcul économique à l'accessibilité : une autre déclinaison du calcul économique

W.G. Hansen a développé en 1959 une mesure de l'accessibilité. Pour ce faire, il considère en préambule que la distribution des déplacements s'effectue proportionnellement au nombre de biens des zones réceptrices et proportionnellement à une fonction décroissante du coût généralisé. Il met en évidence la notion d'indices de choix en faisant varier sur une liaison ij les conditions d'urbanisation en j (par exemple, augmentation du nombre d'emplois offerts) ainsi que les conditions de transport (accroissement du coût du transport) entre ces deux zones. Dès lors, il interprète la loi de distribution des déplacements sur cette liaison ij , de la façon suivante : « pour que la satisfaction de l'utilisateur reste constante [malgré les changements intervenus] il suffit qu'à toute progression linéaire du coût du transport soit associée une progression multiplicative des choix offerts à la destination ».

Du modèle gravitaire à la théorie de l'accessibilité

Le modèle gravitaire⁴⁸ a été développé pour modéliser la distribution spatiale des déplacements entre origines et destinations. Il suppose que l'espace où se déroulent ces déplacements ait été découpé en zones. La loi de distribution des déplacements s'exprime ainsi :

⁴⁶ Voir le colloque organisé sur ce thème en mars 2006 par la Direction des Routes

⁴⁷ Voir les projets avancés dans la région grenobloise

⁴⁸ Cette présentation a été adaptée et enrichie à partir de Bonnafous et Masson (2003).

où :

T_{ij} est le flux de déplacements de la zone i vers la zone j ,

k un paramètre du modèle,

O_i la « masse » émettrice de la zone origine i (exemple, le nombre d'actifs dans la zone),

D_j la « masse » attractive de la zone de destination j (exemple, le nombre d'emplois dans la zone),

$f(c_{ij})$ une fonction de résistance au déplacement, avec c_{ij} le coût généralisé de déplacement de la zone i vers la zone j .

Les fondements théoriques de ce modèle ont été posés par Wilson (1970).

On introduit en outre des contraintes de cohérence, relatives aux marges de la matrice des T_{ij} .

Avec une contrainte telle que $\sum_j T_{ij} = O_i$ on obtient le modèle contraint aux origines, ce qui

donne

$$T_{ij} = O_i \frac{D_j f(c_{ij})}{\sum_k D_k f(c_{ik})} \quad (1)$$

La partie de droite de ce modèle, soit $\frac{D_j f(c_{ij})}{\sum_k D_k f(c_{ik})}$, peut aussi être interprétée comme un

modèle de probabilité de choix de destination à partir d'une zone origine i donnée.

Si l'on rajoute la contrainte $\sum_k T_{kj} = D_j$ on obtient le modèle doublement contraint qui se

reformulerait en :

$$T_{ij} = k_i O_i k_j D_j f(c_{ij})$$

$$\text{avec : } k_i = \frac{1}{\sum_j k_j D_j f(c_{ij})} \text{ et } k_j = \frac{1}{\sum_i k_i O_i f(c_{ij})}$$

La résolution de ces équations passe par un calcul itératif (méthode de Furness). Les méthodes sont maintenant éprouvées et convergent correctement en général.

Le calage économétrique s'appuie en général sur une fonction de résistance de forme exponentielle négative, soit :

$$f(c_{ij}) = \exp(-\beta c_{ij}) \quad (2)$$

$$\text{On définit } A_i = \sum_j D_j \exp(-\beta c_{ij}) \quad (3)$$

indicateur d'accessibilité le plus courant (Hansen, 1959) : on retrouve le dénominateur du modèle (1).

La variation de surplus, dérivée du modèle gravitaire, entre une situation 1 (avant) et une situation 2 (après), associée à une zone particulière i , peut se calculer ainsi

$$\Delta S_i = -\sum_j \int_{c_{ij}^1}^{c_{ij}^2} T_{ij} dc_{ij} \quad (4)$$

J.G. Koenig (1974) formalise par la suite cette seconde approche dans la « théorie économique de l'accessibilité urbaine », en reprenant la théorie microéconomique du

consommateur fondée sur la maximisation de l'utilité sous contraintes. La théorie économique de l'accessibilité urbaine s'attache essentiellement à évaluer l'accessibilité aux emplois. Pour cela, Koenig émet l'hypothèse que le consommateur associe une utilité nette (correspondant à la différence entre les avantages retirés par le travail, tels que le salaire ou l'intérêt porté à l'activité professionnelle, et les coûts liés au travail, tel que le coût généralisé entre le domicile et le travail) à chaque emploi offert dans la zone. D'autre part, il suppose que l'utilité brute d'un emploi est une variable aléatoire dont la loi de probabilité est une exponentielle négative (voir équation n°3 dans l'encadré ci-dessus). L'intérêt de cette théorie réside dans deux résultats principaux.

- D'une part elle établit un lien entre le modèle gravitaire de distribution du trafic et la théorie microéconomique du consommateur.
- D'autre part, elle permet une analyse désagrégée de l'utilité en fonction des différentes catégories de consommateurs.

Toutefois, bien que les études empiriques valident cette théorie fondée sur des hypothèses microéconomiques et sur l'utilisation d'une fonction exponentielle négative concernant l'utilité brute d'un emploi, il convient de rester prudent quant au passage de l'accessibilité comme « indicateur de la qualité de service » à un élément du calcul économique visant à évaluer l'intérêt économique d'un projet. Il serait par exemple imprudent de dériver de ces gains d'utilité un effet mesurable sur la croissance économique.

En développant la théorie économique de l'accessibilité urbaine, Koenig considère un réseau de transport comme vecteur d'opportunités. Ainsi, par le biais de la performance d'un réseau de transport, l'accessibilité devient une mesure de l'offre d'opportunités disponibles pour un ménage (ou un ensemble de ménages), Wachs et Koenig (1979). Camagni, en 1996, reprend et développe l'idée d'accessibilité comme source de nouvelles opportunités. Il considère de fait l'accessibilité pour les entreprises comme « la possibilité de recueillir le maximum d'informations stratégiques avec un avantage temporel sur les concurrents » tandis que pour les personnes « c'est le pouvoir de bénéficier de services contraints à des localisations spécifiques ». On retrouve dans son approche le caractère positif du concept d'accessibilité qui ne prend pas seulement compte des coûts inhérents à tout déplacement mais également les avantages que l'individu retire de l'utilisation d'un réseau de transport.

En établissant un lien entre opportunités et accessibilité, ces auteurs reconnaissent l'impact direct de l'accessibilité sur les activités des individus. Plus l'accessibilité d'une zone destination est importante à partir d'une zone origine, plus les individus localisés dans cette dernière étendent leur champs d'activités possibles et par conséquent leur satisfaction. Cette optique est d'ailleurs reprise dans le cadre des évaluations économiques des projets de transport en milieu urbain⁴⁹ où il est stipulé que « les indicateurs d'accessibilité visent à mesurer la satisfaction que les individus retirent du système de transport ».

A la suite des travaux de Koenig, les économistes et géographes ont pu développer des indicateurs d'accessibilité, pour un point quelconque de l'espace, par une certaine combinaison de la densité et de la vitesse (voir équation (3) dans l'encadré ci-dessus).

- La densité renvoie à la quantité relative d'opportunités (emplois, nombre d'habitants, de commerces, d'établissements scolaires...) que recèle une zone donnée, celle qui est accessible dans un temps de parcours considéré comme acceptable, par exemple un heure par jour aller et retour.

⁴⁹ *Transports urbains et calcul économique*. Document de travail n°97-1. Ministère de l'économie et des finances. Direction de la prévision.

- La vitesse est une composante clé du coût généralisé de déplacement, lequel associe le coût monétaire et la valeur du temps passé dans les transports. Plus cette valeur du temps progresse, et plus la vitesse occupe un poids important dans le coût généralisé. D'autant plus que l'amélioration de la vitesse augmente mécaniquement l'espace accessible et donc le nombre d'opportunités.

Ce qui est nouveau aujourd'hui est que dans la prise en compte de l'accessibilité, la question de la vitesse est considérée différemment. Le consensus qui est en train de s'établir, en zone urbaine comme pour la mobilité interurbaine, les sources d'une amélioration de l'accessibilité sont de moins en moins le fait de l'automobile.

4.2) L'accessibilité : une notion porteuse de consensus ?

Nous savons désormais pourquoi les politiques publiques ont été et sont encore aimantées par les gains potentiels de vitesse des nouvelles infrastructures de transport. Une autoroute, ou l'élargissement d'une route nationale, faisaient et font encore parfois faire à l'accessibilité un véritable bond. La zone accessible, et donc l'univers de choix, pour se loger ou pour chercher un emploi, s'étendent sensiblement dès que l'on se dote de modes de transport rapides. Mais, pour la mobilité quotidienne cette tendance à l'accroissement des vitesses automobiles pour « faire gagner du temps » aux usagers se heurte à deux difficultés.

- La première est que contrairement à l'opinion commune, la vitesse automobile ne garantit pas la performance urbaine. D'une certaine façon il s'agit d'une fuite en avant qui pousse à défaire la ville comme le montrent les cas des villes nord américaines. Malgré une vitesse moyenne des déplacements plus rapide, on y observe une accessibilité moindre que dans les villes européennes, alors même que le budget monétaire (en % du PIB par tête) et le budget temps consacrés à la mobilité quotidienne y sont supérieurs⁵⁰.
- La seconde est qu'elle accentue tendanciellement les phénomènes de congestion, notamment pour l'accès aux zones denses, la densité étant la caractéristique clé de la ville attractive.

Il n'est donc pas surprenant que, dans les zones urbaines denses, les politiques publiques aient connu une inflexion majeure. Sans négliger les enseignements de la notion d'accessibilité, tout s'est passé comme si les élus des villes européennes mais aussi asiatiques avaient cessé de tout miser sur la vitesse, pour se tourner d'une part vers la densité et d'autre part sur la fiabilité.

- En développant des modes relativement lents comme le tramway, les nouvelles politiques de mobilité ont proposé aux habitants de reconsidérer leur propre vision de l'accessibilité. Plutôt que de se polariser sur la vitesse, et la distance qu'elle autorise, les habitants sont invités à tenir compte dans leurs choix des avantages de la densité et d'une certaine proximité. On se tourne donc vers une redensification, notamment des zones traversées par les nouvelles lignes de tramway.

⁵⁰ Voir à ce sujet

1) Y. Crozet, Assessing the Long-Term Outlook for current business models in the construction and provision of Urban Mass Transit Infrastructures and Services, in *Global Infrastructure Needs : prospects and implications for public and private actors*, OECD, 2006, pp.179-229,

2) Y. Crozet et I. Joly, Budget temps de transport et vitesses : les nouveaux enjeux pour les politiques de mobilité urbaine, in « La ville aux limites de la mobilité », (sous la direction de M. Bonnet et P. Aubertel, , PUF, 2006, pp. 287-296

- Là où la taille de l'agglomération le nécessite, tant en termes de distance à parcourir que de masse de population à transporter quotidiennement, des TCSP plus performants que le tramway s'imposent. Les métros et les trains express régionaux sont dans ce cas nécessaires et les besoins d'investissement dans ce champ sont nombreux dans toutes les grandes villes du monde.
- Comme pour montrer que fiabilité et vitesse étaient désormais l'apanage des transports collectifs, de nombreuses agglomérations ont fait en sorte de contenir, voire de réduire la vitesse moyenne des automobiles en zone urbaine en ne cherchant pas à diminuer la congestion. En première analyse pour des raisons de sécurité routière et d'environnement, mais en fait surtout pour mettre fin à la spirale qui fait qu'un investissement routier additionnel se traduit en peu de temps par un trafic supplémentaire (voir la conjecture de Mogridge⁵¹).

Les quelques cas où des villes ont mis en place un péage urbain (Singapour, Londres, Stockholm, Oslo, Bergen, Trondheim et bientôt Milan...) ne doit pas induire en erreur. Dans la zone de péage, l'objectif est effectivement de maintenir une certaine fluidité et donc une vitesse garantie pour les déplacements automobiles. Mais du fait du péage, cette possibilité n'est disponible que pour une partie réduite de la population. Pour le plus grand nombre, ce sont les transports collectifs qui sont appelés à garantir l'accessibilité aux opportunités urbaines. La maîtrise des flux automobiles par le péage, comme à Londres, ou par la restriction des voiries disponibles, comme à Paris, ne constitue donc que deux formes partiellement différentes de réponse à une même question : celle de l'accessibilité.

Les politiques publiques doivent tenir compte de cette nouvelle donne. Elles ne peuvent plus s'épuiser à maintenir l'accessibilité automobile sur des espaces toujours plus vastes. Elles doivent au contraire, en articulation avec les politiques déjà conduites dans les villes centres des agglomérations pour développer les transports en commun, se soucier de favoriser l'amélioration de l'accessibilité en transport en commun pour les relations centre périphérie. Cela maintiendra dans la ville centre la présence concomitante d'emplois, d'activités commerciales et de résidents, tout en évitant la coupure spatiale, temporelle et sociale avec une périphérie qui n'a de sens que par rapport au centre. Ainsi, au-delà des frontières administratives, de plus en plus formelles, la ville, au sens d'aire métropolitaine, conservera son unité fonctionnelle.

Aussi, plutôt que d'évoquer la nécessité du report modal vers les TC pour des raisons essentiellement environnementales, il semble plus pertinent d'expliquer que le report modal est ce qui garantit l'accessibilité urbaine pour le plus grand nombre. Le phénomène nouveau est donc que la route, qui a largement dominé l'histoire urbaine du XX^{ème} siècle, est dans les villes de moins en moins considérée comme un mode d'avenir car elle n'a pas les moyens d'améliorer l'accessibilité générale.

Dans une moindre mesure, le même mécanisme est à l'œuvre pour la mobilité à grande distance. La voiture a été exclue du club des modes rapides par l'avion et les TGV. Le succès de ces deux modes de transport rapide est spectaculaire depuis quelques années. En France, alors que les trafics routiers et autoroutiers stagnent ou progressent légèrement, les TGV et les avions transportent de plus en plus de personnes, sur des distances de plus en plus longues. La

⁵¹ L'anglais Mogridge a expliqué dans les années 70 pourquoi, en zone urbaine, tout investissement routier a tendance à dégrader tendanciellement les vitesses moyennes des automobiles car l'offre d'infrastructure stimule la demande au-delà de ce que permettent les nouvelles capacités, tout en conduisant dans le même temps à une dégradation de l'offre en transports en commun.

grande vitesse modifie progressivement nos choix en matière de loisirs et de vacances. Quant il devient possible, pour un prix abordable, d'aller passer un week end prolongé en Afrique du Nord ou en Europe de l'Est ; quand la SNCF offre des tarifs attractifs pour une escapade à Marseille, Vannes ou à Saint-Malo, nous sommes incités à revoir nos programmes d'activités. Si, comme le constatent les spécialistes du tourisme, les Français partent plus souvent, plus loin et moins longtemps en vacances, c'est parce qu'ils adoptent progressivement le réflexe « grande vitesse ».

De plus en plus les élus locaux tiennent compte de cet état de fait. Si les maires et les conseillers généraux sont toujours attentifs à l'entretien et aux améliorations locales du réseau routier, ils sont de plus en plus nombreux à s'intéresser aux possibilités de développement d'un aéroport local (par la venue de compagnies Low Cost) et aux projets de LGV. L'évolution des positions des participants au Débat public sur la LGV PACA a été à ce titre intéressante. Alors que les élus niçois se positionnaient au départ en faveur d'un tracé le plus court possible entre Nice et Paris, ils ont progressivement accepté l'idée qu'un passage par Marseille pouvait être une option intéressante. Cela s'explique aisément. L'accessibilité à Paris est assez bonne depuis Nice par les navettes aériennes. Une ligne TGV n'améliorerait que modérément les choses dans la mesure où le trajet serait d'au moins quatre heures entre les deux villes. Par contre, une ligne à grande vitesse entre Nice et Marseille améliorerait de façon très sensible l'accessibilité régionale dans une zone où il est difficile d'attendre quelque chose de l'accessibilité routière.

Il nous paraît donc important de développer dans les Débats publics l'usage des cartes et indicateurs d'accessibilité. Ces derniers étant directement liés au calcul économique, tout en étant plus concrètement liés à ce que peut être l'intérêt général, ils peuvent être un moyen de donner au débat un tour moins partisan. De même que les jours de grand départ, les usagers de l'autoroute A7 ont intégré la logique de la courbe débit-vitesse (une moindre vitesse autorise un plus grand débit), de même l'arbitrage entre différents projets ou tracés peut être infléchi en tenant compte des indicateurs et cartes d'accessibilité. Ce type d'indicateurs a aussi l'intérêt d'ouvrir à une réflexion qui n'est pas fondée que sur la seule dimension transport des projets d'infrastructure. Il serait notamment très intéressant que des services comme le SETRA ou les CETE soient capables de prendre en compte les modèles comme « Urbansim », en plein développement, qui intègrent l'interaction entre transports et localisations. A l'heure où les préoccupations environnementales deviennent cruciales, ce serait une façon de souligner que la recherche de l'intérêt général est aussi capable de réfléchir à long terme sur la meilleure répartition possible des activités et des ménages sur le territoire.

Conclusion

Au terme de cette synthèse d'un travail de recherche qui a mobilisé de nombreux spécialistes, il n'est pas inutile de formuler quelques recommandations. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous souhaitons surtout souligner quelques pistes de recherche que nous avons ouvertes et qui mériteraient d'être approfondies dans les mois et années à venir. En reprenant les quatre grandes thématiques retenues dans cette note de synthèse, nous classerons nos recommandations en quatre grandes catégories

1) Investissement et rareté des fonds publics

Comme le montrent les interrogations actuelles autour du projet Lyon-Turin ou du canal Seine-Nord, la puissance publique hésite à se lancer dans des projets coûteux dotés d'une rentabilité incertaine. Sur ce point, le calcul économique est une source de bonnes questions. Mais il ne faut pas se polariser sur les seuls méga-projets. Il est important de montrer que les dépenses d'investissement ont des effets bénéfiques importants, et qu'elles ne doivent pas être cannibalisées par les dépenses de fonctionnement. A ce titre, il est important de développer les **travaux de recherche sur les composantes du coût d'opportunité des fonds publics et symétriquement sur les impacts différentiels des dépenses publiques**. Plutôt que d'opposer entre eux des projets d'investissement, ne faudrait-il pas souligner la nécessité qu'il y a à développer les dépenses d'investissement.

2) Valeurs tutélaires et risques

- Notre réseau de recherche n'avait pas pour vocation de faire des propositions en matière de valeurs tutélaires. Mais il est sans doute nécessaire de revoir, ne serait-ce qu'à la marge dans certains cas, les valeurs proposées par le groupe Boiteux. **C'est sans doute dans le domaine du changement climatique et de la valeur de la tonne de carbone que des méta-analyses sont nécessaires**. A l'heure où se développent les marchés de permis d'émission négociables, et alors même que les valeurs qu'ils affichent aujourd'hui ne sont pas très éloignées de celle proposée par le groupe Boiteux, il y a là une question à suivre de près.

- La question des risques est devenue majeure dans l'évaluation des projets d'infrastructure. L'annexe III de la directive de Robien actualisée (27 mai 2005) invite à ce que des progrès soient faits dans ce sens. Il est ici important de bien noter deux dimensions différentes du problème. D'une part celle qui relève de l'analyse de risque faite par des capitaux privés où se comportant comme tels (cas de RFF). **D'autre part celle qui s'interroge sur la notion de risque pour la puissance publique. Quels sont ces risques ? Y-a-t-il une aversion croissante au risque de la puissance publique ?** Dans ce domaine des recherches nouvelles sont nécessaires qui ne soient pas que la transposition à la sphère publique des méthodes déjà bien éprouvées dans la sphère privée.

3) Acceptabilité et équité

A l'heure où se réunit à Lille (les 14 et 15 septembre 2006) un colloque ayant pour titre « L'institution du débat public, état des lieux et perspectives de recherche », il doit être clair que notre réseau de recherche n'avait pas pour vocation d'analyser la nouvelle donne que constituent les débats publics. Mais nous ne les avons pas ignorés non plus. Nous avons essayé d'éclairer ce résultat relativement logique mais mal anticipé qui fait que les débats publics font rarement émerger une solution, et par dessus tout une solution qui soit en accord avec les conclusions du calcul économique. Nous avons d'abord cherché à montrer pourquoi cette situation est logique, pourquoi il peut y avoir contradiction entre équité et utilité. Mais nous avons aussi souligné que la puissance publique n'est pas pour autant désarmée. Les

travaux de recherche peuvent l'aider à repérer les conditions et le contexte de l'acceptabilité, lesquels peuvent aider à mieux définir les dimensions de l'équité qui sont en jeu. Il est important que le calcul économique ne se désintéresse pas de ces questions. **En cherchant à mieux définir qui sont les gagnants et les perdants, et comment ces derniers peuvent être indemnisés, les travaux de recherche ont encore de beaux jours devant eux, y compris dans leur collaboration avec les services techniques comme les CETE.**

4) Accessibilité et interaction entre transports et localisations

S'il est un domaine où la collaboration est nécessaire entre chercheurs et Réseau des Services Techniques du ministère des Transports, c'est bien celui de l'accessibilité. A l'heure où la population s'équipe de système de guidage GPS, alors que la sensibilité est de plus en plus forte aux gains et pertes de temps, pressés que nous sommes en cela par les nouvelles technologies de l'information et de la communication, l'analyse des projets d'infrastructure doit adopter ces nouvelles technologies. On ne peut plus se contenter d'étudier et de présenter des projets à partir des seuls tracés et trafics. **La puissance des systèmes d'information géographiques (SIG) doit être mobilisée pour illustrer les enjeux des nouveaux projets, notamment en termes d'accessibilité.** C'est sans doute le moyen le plus puissant pour redonner au calcul économique, sous une forme renouvelée mais respectueuse de ses principes, toute la place qu'il mérite.



Groupe opérationnel n° 1 « Mobilités, territoires et
développement durable »
Groupe opérationnel n° 11 « Politiques des transports »

Réponse à l'appel à propositions sur les
dimensions critiques du calcul économique

Annexes du document de synthèse

« Réseau de recherche sur les dimensions critiques du calcul économique »

- **En réponse à l'appel à proposition transmis par les groupes 1 et 11 du Predit, un réseau de chercheurs s'est constitué pour apporter la réponse la plus riche et la plus ciblée possible.**
- **La version détaillée de cette réponse a pris la forme d'un ouvrage, transmis aux commanditaires de l'étude, et qui sera prochainement publié.**
- **Une version synthétique de ces recherches aussi été rédigée par Joël Maurice et Yves Crozet**
- **Les pages qui suivent constituent les annexes de cette synthèse..**

Annexe n°1 : Joël Maurice	3
Le calcul économique est-il un instrument pertinent d'aide à la décision publique ?	3
1. Quelques rappels sur les fondamentaux du calcul économique mis en avant par Jules Dupuit	3
2. Le surplus de Deput vis-à-vis de théorie socio-économique standard.....	6
2.1) Surplus de Dupuit et optimum du consommateur	6
2.2) Surplus de Dupuit et optimum collectif	9
Annexe n°2 : les variables déterminantes du taux d'actualisation (Christian Gollier)	15
1) Le Choix du taux d'actualisation	16
2) Prise en compte du risque du projet.....	20
Annexe n°3 : Le Dilemme entre équité spatiale et utilité générale (J.-F. Thisse)	23
Annexe n°4 : L'analyse des risques (A. de Palma, L.Andrieu, N. Picard).....	28

Annexe n°1 : Joël Maurice

Le calcul économique est-il un instrument pertinent d'aide à la décision publique ?

Pour examiner cette question, il paraît utile de rappeler en quoi consiste la démarche en revenant aux fondamentaux de Jules Dupuit, puis de la comparer à la théorie économique standard actuelle, pour situer quelles approximations sont inhérentes au calcul économique et si elles sont acceptables au regard de sa facilité de mise en œuvre, de sa maniabilité.

1. Quelques rappels sur les fondamentaux du calcul économique mis en avant par Jules Dupuit

Considérons, avec Jules Dupuit, le cas des franchissements d'un pont à péage (ou de l'utilisation d'un canal à péage).

Le constat de base est que le nombre de franchissements q du pont dépend du prix p du péage ; q diminue quand p augmente. Raisonnons pour le moment en accroissements finis. Voir **figure 1**.

- *La courbe de demande et son interprétation en termes d'utilité monétarisée*

Si le prix du péage est nul ($p_0 = 0$) le nombre de franchissements est q_0 (ce nombre est fini, car en dehors de son coût monétaire tout franchissement du pont à des coûts généralisés, par exemple le temps de la traversée).

Si le prix du péage augmente du montant (petit) Δp_1 , ce prix passant de 0 à $p_1 = p_0 + \Delta p_1$, le nombre de franchissements diminue de Δq_1 , passant de q_0 à $q_1 = q_0 - \Delta q_1$. Cela signifie que chaque usager qui renonce à l'un de ces Δq_1 franchissements consent à payer pour ledit franchissement un prix au maximum égal à p_1 . Autrement dit : l'usager est indifférent entre utiliser la somme de p_1 euros soit pour pouvoir franchir le pont, soit pour pouvoir acquérir et consommer une certaine quantité d'autres biens (par exemple p_1 kilogrammes de blé dont le prix unitaire est de 1 euro), cette consommation et le franchissement du pont présentant pour lui exactement la même utilité. Corollaire : il choisit le franchissement du pont si le prix du péage est inférieur à p_1 et l'achat de p_1 kg de blé si le prix du péage est supérieur à p_1 . Dupuit attribue à « l'utilité absolue¹ » de chacun de ces Δq_1 franchissements la valorisation monétaire p_1 .

Et ainsi de suite. Si le prix du péage augmente du montant (petit) Δp_j , ce prix passant de p_{j-1} à $p_j = p_{j-1} + \Delta p_j$, le nombre de franchissement diminue de Δq_j , passant de q_{j-1} à $q_j = q_{j-1} - \Delta q_j$. Cela signifie que chaque usager qui renonce à l'un de ces Δq_j franchissements consent à payer pour ce franchissement un prix au maximum égal à p_j .

¹ On dirait plutôt aujourd'hui une utilité brute.

Dupuit attribue à « l'utilité absolue » de chacun de ces Δq_j franchissements la valorisation monétaire p_j .

A chaque augmentation du prix du péage, le nombre de franchissement diminuant, il arrive un moment où une ultime augmentation Δp_M , faisant passer ce prix de p_{M-1} à $p_M = p_{M-1} + \Delta p_M$, réduit le nombre de franchissements à néant, les faisant passer de q_{M-1} à $q_M = q_{M-1} - \Delta q_M = 0$. Cela signifie que chaque usager qui renonce à l'un des Δq_M franchissements consent pas à payer pour ce franchissement un prix au maximum égal à p_M Dupuit attribue à « l'utilité absolue » d'un tel franchissement la valorisation monétaire p_M .

- *L'utilité relative ou surplus de l'usager*

Supposons maintenant que le prix du péage soit fixé à p_h , positif mais inférieur à p_M . Les franchissements effectués seront ceux pour lesquels les usagers sont prêts à payer un prix supérieur ou égal à p_h .

Supposons par exemple que $p_k > p_h$: les Δq_k franchissements valorisés au prix p_k seront effectués. Chacun comporte une « utilité absolue » p_k , mais comme l'usager doit payer le péage p_h , Dupuit attribue à « l'utilité relative » d'un tel franchissement la valorisation monétaire $(p_k - p_h)$. Ce qui peut s'interpréter (fictivement) ainsi, en deux temps :

- d'abord, l'usager franchit le pont en payant le prix p_k , donc en renonçant à consommer un panier de biens coûtant p_k (ex : p_k kg de blé) : comme on l'a vu ci-dessus, le franchissement laisse à ce stade sa satisfaction inchangée ;
- mais ensuite, le gestionnaire du pont se contente du prix de péage p_h , donc rend le montant $(p_k - p_h)$ à l'usager, qui peut ainsi consommer un panier de biens d'un coût égal à $(p_k - p_h)$ (ex : $(p_k - p_h)$ kg de blé), ce qui améliore sa satisfaction.

Cette utilité relative est donc une expression monétarisée de gain d'utilité procuré à l'usager-consommateur (par rapport à la situation sans pont). C'est par définition le surplus de l'usager-consommateur.

- *Surplus de Dupuit pour l'ensemble des usagers*

Dupuit propose ensuite d'agrèger les utilités relatives.

Ainsi, les franchissements dégageant une utilité relative chacun de $(p_k - p_h)$ étant au nombre de Δq_k , ils procurent ensemble une utilité relative $(p_k - p_h) \cdot \Delta q_k$

Puis on agrège sur tous les franchissements dégageant une utilité relative positive ou nulle.

Le surplus de Dupuit pour l'ensemble des usagers est alors :

$$S(p_h) = \sum_{k=h+1}^M (p_k - p_h) \cdot \Delta q_k \quad (1)$$

Sur la **figure 1** la relation (1) est représentée par l'aire hachurée. Elle peut également se calculer par la relation (2) suivante :

$$S(p_h) = \sum_{k=h+1}^M p_k \cdot \Delta q_k - p_h \cdot q_h \quad (2)$$

On peut aussi transformer la relation (1) par des calculs simples pour aboutir aux relations à la relation équivalente (3) ci-dessous :

$$S(p_h) = \sum_{k=h}^M q_k \cdot \Delta p_{k+1} \quad (3)$$

- *Transposition en cas de fonction continue*

Il est souvent formellement plus maniable de supposer que la fonction de demande $q(p)$ est continue. On est également conduit à utiliser la fonction inverse $p(q)$ donnant le prix du péage correspondant au nombre de franchissements q . Voir **figure 2**.

Les résultats discrets ci-dessus se transposent alors comme suit.

Si le péage est fixé au prix p^* , appelons q^* la demande correspondante. Le surplus de Dupuit pour les usagers est égal à l'aire hachurée. Il peut être calculé indifféremment par l'une des formules suivantes :

$$S(p) = \int_{q=0}^{q^*} (p(q) - p^*) \cdot dq \quad (3)$$

ou

$$S(p) = \int_{q=0}^{q^*} p(q) \cdot dq - (p^* \cdot q^*) \quad (3)$$

Une intégration par parties fournit alors la formule équivalente (4) ci-dessous :

$$S(p) = - \int_{p=p^*}^{p_M} q(p) \cdot dp \quad (4)$$

- *Analyse coût-avantages du pont*

Le surplus calculé par l'une des formules ci-dessus est celui des usagers.

Il faut en outre tenir compte de l'organisme concessionnaire² du pont, qui tire des péages un montant de ressources égal au produit $(p^* \cdot q^*)$ et qui doit financer l'investissement (par exemple par annuités constantes) et l'entretien courant du pont, ce qui peut représenter par exemple une charge annuelle C . Le bénéfice du concessionnaire est donc :

$$\Pi = (p^* \cdot q^*) - C \quad (5)$$

La somme du surplus des usagers et du bénéfice du concessionnaire se définit comme étant le **bénéfice socio-économique** B apporté par le projet (ici le pont à péage), par rapport à la situation dans laquelle on n'aurait pas réalisé le projet (situation de référence) ; à noter que le

² Qu'il soit public ou privé.

bénéficie socio-économique et chacune de ses composantes sont donc bien par construction même de nature comparative et différentielle.

Compte tenu de (3) et (5), on obtient :
$$B = \int_{q=0}^{q^*} p(q).dq - C \quad (6)$$

Dans cette relation, il est clair que le bénéfice socio-économique dépend du coût (annuel) C de l'ouvrage, mais aussi -à travers la borne supérieure q^* - du prix p^* du péage³. On est donc conduit à s'interroger sur les valeurs les plus souhaitables qu'il convient de donner aux deux paramètres C et p^* . L'analyse coûts-avantages ne se limite donc pas au calcul d'une valeur particulière du bénéfice socio-économique, elle ouvre sur une démarche d'optimisation. L'intuition suggère de chercher à maximiser le bénéfice socio-économique, et à vérifier que ce maximum est positif.

Cependant, si l'analyse coûts-avantages découle pratiquement en ligne directe des considérations introduites et développées par Jules Dupuit, la question se pose de savoir comment elle se situe par rapport aux importantes évolutions de la théorie économique enregistrée depuis lors. On pourra notamment se reporter aux contributions de Charles Raux et alii « De la modélisation des comportements au calcul économique : l'équité des politiques de transport » dans l'ouvrage collectif « dimensions critiques du calcul économique » publié sous l'égide du Predit.

2. Le surplus de Dupuit vis-à-vis de théorie socio-économique standard

Examinons successivement la question de l'optimum individuel et celle de l'optimum collectif

2.1) Surplus de Dupuit et optimum du consommateur

- *Optimum du consommateur et fonction de demande*

Telle qu'elle est aujourd'hui, la théorie micro-économique standard du consommateur considère que ledit consommateur, dont le panier de consommation comporte des biens j (j variant de 1 à J) en quantités respectives q_j , choisit ces q_j de façon à maximiser sa satisfaction mesurée par sa fonction d'utilité $U(q_j)$, sous sa contrainte de revenu

³ On remarque en particulier que si l'on veut que le péage finance exactement le pont, il faut que les comptes du concessionnaire soient équilibrés, c'est-à-dire que son bénéfice Π soit nul. Le surplus collectif est alors identique au surplus des usagers.

Le prix p^* du péage qui annule le bénéfice du concessionnaire est alors solution de l'équation : $(p^* \cdot q^*) = C \Leftrightarrow q^* = C / p^*$, ce qui est représentée par une hyperbole équilatère. La détermination du péage revient alors à discuter l'existence d'intersections entre cette hyperbole et la courbe de demande et, en cas de solutions multiples, de choisir la plus appropriée.

En cas de profit positif, on peut montrer que le surplus collectif est moindre. En cas de profit négatif, il faudrait tenir compte d'une subvention, laquelle serait payée par l'impôt, ce qui pose le problème de savoir qui paye cet impôt et quelles sont les pertes d'utilité correspondantes.

$\sum_{j=1}^J p_j \cdot q_j \leq r$, en considérant comme exogènes⁴ d'une part son propre revenu r , d'autre part le prix unitaire p_j des bien j .

Ce processus d'optimisation sous contrainte conduit alors l'utilité du consommateur à atteindre une valeur maximale, qui dépend des paramètres r et p_j , est notée $V(r, p_j)$ et se nomme « utilité indirecte ».

On peut alors montrer (théorème de Roy) que la quantité de bien k consommée à l'optimum par le consommateur, nommée « fonction de demande du bien k », est donnée par la relation :

$$q_k(r, p_j) = \frac{\frac{\partial V(r, p_j)}{\partial p_k}}{\frac{\partial V(r, p_j)}{\partial r}} \quad \text{où } j = 1, \dots, J \quad (7)$$

- *Cas simplifié à deux biens*

Supposons que le panier du consommateur comprenne seulement deux biens :

- un bien « composite représentatif » (ex : du blé), en quantité q_1 et dont le prix est exogène et pour simplifié fixé à 1 (ce bien sert de numéraire)
- un bien (ou service) spécifique (ex : franchissement d'un pont), en quantité q_2 et dont le prix (exogène) est p_2

Intéressons nous à la demande de ce bien spécifique. La relation (7) s'écrit :

$$q_2(r, p_2) = \frac{\frac{\partial V(r, p_2)}{\partial p_2}}{\frac{\partial V(r, p_2)}{\partial r}} \quad (8)$$

Si l'on maintient inchangés le revenu r mais si l'on modifie le prix p_2 du bien n°2, on peut tracer la courbe représentant les variations de $q_2(p_2)$. On trouve la courbe de demande de Dupuit.

Supposons par exemple⁵ que le prix p_2 soit porté de p_2^M à p_2^*

Considérons alors le surplus de Dupuit du consommateur $S = - \int_{p_2^M}^{p_2^*} q_2(p_2) \cdot dp_2$ (9)

⁴ Le consommateur est « price-taker » : il considère les prix comme fixés et insensibles à sa propre demande ou à son propre pouvoir de négociation. De même, son revenu est considéré une donnée exogène ; cette hypothèse pourrait être relâchée en introduisant le loisir et /ou l'effort dans la fonction d'utilité, mais on s'en abstiendra ici.

⁵ Mêmes bornes que dans l'exemple donné plus haut pour présenter le surplus de Dupuit.

Considérons aussi la variation de l'utilité indirecte qui résulterait de la même variation du prix p_2 , toutes autres paramètres restant inchangés : $\Delta V(p_2) = \int_{p_2^M}^{p_2^*} \frac{\partial V}{\partial p_2} . dp_2$ (10)

- *Introduction de la fonction d'utilité séparable semi-linéaire*

Compte tenu de (8), il est clair que les relations (9) et (10) sont identiques si et seulement si $\frac{\partial V}{\partial r} = 1$ quel que soit p_2^* .

Mais cela doit être vrai également pour toute valeur (fixe, mais quelconque) du revenu r . Cela n'est possible que si V prend la forme suivante, dite séparable semi-linéaire :

$$V(r, p_2) = r + v(p_2) \quad (11)$$

Cette forme se généralise au cas où il existe, à côté du bien numéraire q_1 , plusieurs biens spécifiques q_2, q_3, \dots, q_J , avec $J > 2$. La fonction d'utilité indirecte s'écrit alors :

$$V(r, p_2, p_3, \dots, p_j) = r + v(p_2, p_3, \dots, p_j) \quad (12)$$

Cette forme est la seule pour laquelle le surplus de Dupuit coïncide avec la variation d'utilité procurée au consommateur par la réalisation du projet.

- *Variation équivalente de revenu et surplus de Dupuit*

Dans le cadre de la théorie économique standard, si le consommateur passe d'une situation n°1 dans lequel le niveau des prix des différents biens est p_j^1 à une situation n°2 dans laquelle le niveau des prix des différents biens est p_j^2 , et si son revenu r est inchangé, il éprouve une variation d'utilité : $\Delta V = V(r, p_j^2) - V(r, p_j^1)$.

Il est d'usage, à l'instar de Jules Dupuit, de rechercher une expression monétaire de cette variation d'utilité. A cette fin, on définit la *variation équivalente de revenu VER* comme étant la variation de revenu qui, dans la situation sans projet c'est-à-dire avec les prix p_j^1 de la situation 1, procurerait au consommateur le même niveau d'utilité que la réalisation du projet, c'est-à-dire le niveau d'utilité correspondant au revenu r et au niveau des prix p_j^2 de la situation n°2. Par définition de *VER*, on a donc : $V(r + VER, p_j^1) = V(r, p_j^2)$ (13)

Dans le cas particulier d'une fonction d'utilité séparable semi-linéaire (12), la relation (13) se traduit par la relation simple suivante : $VER = v(p_2^2, p_3^2, \dots, p_j^2) - v(p_2^1, p_3^1, \dots, p_j^1)$ (14)

Il apparaît alors *VER* n'est autre que le surplus S du consommateur calculé par Dupuit. On le vérifie immédiatement dans le cas simple de deux biens examiné plus haut, mais ce résultat peut se généraliser.

Toutefois, si la fonction d'utilité ne revêtait pas la forme particulière séparable semi-linéaire, il existerait un écart entre la valorisation monétaire *VER* et le surplus de Dupuit S , qui n'en serait qu'une approximation.

- *Avantages et inconvénients de l'hypothèse d'une utilité séparable semi-linéaire*

La forme (12) de la fonction d'utilité ne va pas sans inconvénients. Ainsi, l'utilité marginale du revenu est (par construction) constante et égale à 1 : que le consommateur ait un revenu de 10 euros, de 100 euros ou de 1000 euros, s'il gagne 1 euro de plus son utilité indirecte connaîtra la même augmentation marginale $\Delta V = 1$; or il est généralement considéré comme plus réaliste que l'utilité soit une fonction croissante mais concave du revenu, c'est-à-dire que l'utilité marginale du revenu soit une fonction décroissante du revenu. Autre particularité, avec une telle fonction d'utilité, la demande du bien spécifique dépend du prix de ce bien, mais elle est indépendante du revenu ; dit autrement, si le revenu du consommateur augmente de Δr , sa consommation de bien spécifique (nombre de franchissements du pont) restera inchangée et l'ajustement se fera par une diminution de sa consommation de bien-numéraire à due concurrence de la diminution de revenu.

On remarque aussi que les formes les plus courantes des fonctions d'utilité ne sont pas séparables semi-linéaires⁶.

- *Enseignements à ce stade*

L'adoption du surplus de Dupuit comme équivalent monétaire de la variation de l'utilité procurée au consommateur par le projet n'est donc rigoureuse que si la fonction d'utilité est du type séparable semi-linéaire. Dans le cas général, le surplus de Dupuit n'est qu'une approximation de la variation équivalente de revenu et la plupart du temps, il n'est pas simple d'évaluer l'erreur correspondante.

Mais le calcul du surplus est simple. Dans tous les cas où le calcul de la variation équivalente de revenu est inaccessible ou exagérément compliqué, il ne serait donc guère raisonnable de se priver de l'estimation approchée que peut fournir le calcul du surplus du consommateur.

2.2) Surplus de Dupuit et optimum collectif

- *De l'optimum individuel à l'optimum collectif*

⁶ Pour une fonction d'utilité Cobb-Douglas avec deux biens de la forme $U = q_1^{\alpha_1} \cdot q_2^{\alpha_2}$, l'utilité indirecte s'écrit

$$V = \frac{r}{p_1^{\alpha_1} p_2^{\alpha_2}} \text{ et la demande de bien n}^\circ 2 \text{ est } q_2 = \frac{\alpha_2 \cdot r}{p_2}$$

Pour une fonction CES avec deux biens de la forme $U^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} = q_1^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + q_2^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}$, la forme de l'utilité indirecte est

$$V = \frac{r}{(1 + p_2^{1-\sigma})^{\frac{1}{1-\sigma}}} \text{ et la fonction de demande du bien n}^\circ 2 \text{ est } q_2 = \frac{r \cdot p_2^{-\sigma}}{1 + p_2^{1-\sigma}}$$

Dans les deux cas, l'utilité marginale du revenu n'est pas égale à 1 (elle dépend du prix p_2) et la demande de bien n^o2 est proportionnelle au revenu.

On n'a donc pas $VER = V(p_2^*) - V(p_2^M)$ mais $VER = r \cdot \frac{V(p_2^*) - V(p_2^M)}{V(p_2^M)}$

Telle qu'elle est aujourd'hui, la théorie économique standard du bien-être cherche à atteindre l'efficacité socio-économique au sens de Pareto : les biens disponibles sont alloués entre les consommateurs membres de la collectivité de telle sorte qu'aucune modification de cette allocation ne permettrait d'améliorer la satisfaction d'au moins un consommateur sans porter atteinte à la satisfaction d'au moins un autre consommateur⁷. Sous un certain nombre d'hypothèse concernant la forme des fonctions d'utilité et des fonctions de production, on montre alors que tout optimum de marché concurrentiel est un optimum de Pareto⁸ et réciproquement que tout optimum de Pareto peut être réalisé sous la forme d'un marché concurrentiel impliquant l'existence d'un système de prix et de transferts forfaitaires entre les agents⁹ : l'optimum visé sera atteint si¹⁰ chaque consommateur maximise son utilité sous contrainte de son revenu (après transferts), en considérant le dit système de prix comme exogène. Il y a en fait une infinité d'optima de Pareto, chacun étant caractérisé par le niveau minimal d'utilité que l'on garantit aux individus i , ou –ce qui revient au même– par les transferts forfaitaires mis en place.

L'approche utilitariste de l'optimum collectif paraît adopter un point de vue différent en cherchant à maximiser la somme des utilités des individus, chacun étant le cas échant pondéré par un « poids » a_i . En réalité, on peut interpréter l'approche utilitariste comme un cas particulier d'application du deuxième théorème du bien-être (voir encadré 1). Comme tel, l'optimum utilitariste implique un système de prix et de transferts forfaitaires et peut être atteint sous la forme d'un marché concurrentiel si chaque consommateur maximise sa fonction d'utilité sous sa contrainte de revenu (après transfert) en considérant le système de prix comme exogène.

Encadré 1 Optimum collectif utilitariste et optimum de Pareto

Simplifions en appelant \overline{X}_j que la ressource totale du bien j .

Dans le deuxième théorème du bien-être, on se fixe le niveau d'utilité \overline{U}_i que l'on cherche à garantir au consommateur i , sauf pour le consommateur n°1, dont on cherche à maximiser l'utilité. On est donc conduit à considérer le Lagrangien :

$$\Lambda_1 = \text{Max} U_1(x_j^1) + \sum_{i=2}^I b_i \cdot (U_i(x_j^i) - \overline{U}_i) + \sum_{j=1}^J d_j \cdot \left(\overline{X}_j - \sum_{i=1}^I x_j^i \right)$$

La solution de ce problème permet entre autre de calculer les multiplicateurs de Lagrange b_i , en fonction des paramètres exogènes que sont les planchers exogènes d'utilité $\overline{U}_2, \overline{U}_3, \dots, \overline{U}_I$.

On pourrait inversement regarder ces valeurs des coefficients b_i comme des poids, fixés de façon exogène, et considérer le Lagrangien :

⁷ A contrario, si l'on pouvait modifier l'allocation de telle sorte que l'un au moins des consommateurs en fût plus satisfait sans qu'aucun consommateur y perde, c'est bien que l'allocation initiale serait perfectible, donc peu ou prou inefficace.

⁸ Premier théorème du bien-être.

⁹ Deuxième théorème du bien-être.

¹⁰ Cette condition est nécessaire mais non suffisante : il faut aussi que les entrepreneurs cherchent à maximiser leur profit sous la contrainte de leur fonction de production, en considérant eux aussi le système de prix comme exogène.

$$\Lambda_2 = \text{Max} U_1(x_j^1) + \sum_{i=2}^I b_i \cdot (U_i(x_j^i)) + \sum_{j=1}^J d_j \cdot \left(\overline{X}_j - \sum_{i=1}^I x_j^i \right)$$

La solution de ce problème déterminera alors pour chaque consommateur i une utilité qui ne sera autre que les planchers d'utilité précités \overline{U}_i . Si maintenant on fait varier les poids b_i , les utilités atteintes par chaque consommateur évolueront de façon endogène. Chaque système de poids détermine donc une solution qui (si elle existe) peut être considérée comme un optimum de Pareto.

Venons en à l'approche utilitariste, qui cherche à maximiser la somme pondérée des utilités. Le lagrangien s'écrit :

$$\Lambda_3 = \text{Max} \sum_{i=1}^I b_i \cdot (U_i(x_j^i)) + \sum_{j=1}^J e_j \cdot \left(\overline{X}_j - \sum_{i=1}^I x_j^i \right)$$

Il suffit de diviser les deux membre par a_1 (supposé non nul) pour se ramener à la forme du Lagrangien Λ_2 .

- *Le cas particulier de fonctions d'utilité individuelles séparables semi-linéaires.*

Considérons maintenant le cas particulier où tous les poids a_i sont pris égaux à 1 et où en outre chaque fonction d'utilité est supposée du type séparable semi-linéaire, le bien q_1 servant de numéraire. L'utilité collective s'écrit alors : $W = \sum_{i=1}^I (r_i + v_i(p_j))$

$$\text{Sa différentielle est : } dW = \sum_{i=1}^I \left(dr_i + \sum_{j=2}^J \frac{\partial v_i(p_j)}{\partial p_j} dp_j \right) \quad (15)$$

Compte tenu de la forme (12) : $\frac{\partial v_i(p_j)}{\partial p_j} = x_j^i(p_1, \dots, p_j, \dots, p_J)$, demande optimale de produit j

Or $\sum_{i=1}^I \left(- \sum_{j=1}^J x_j^i \cdot dp_j \right) = dS_i$, variation du surplus de Dupuit du consommateur i .

$$\text{La relation (16) peut dès lors s'écrire : } dW = \sum_{i=1}^I (dr_i) + \sum_{i=1}^I (dS_i) \quad (16)$$

La variation de l'utilité collective est donc la somme de deux termes ;

Le second n'est autre que somme des variations des surplus individuels des consommateurs.

Le premier est la variation du revenu consolidé de l'ensemble des ménages. Comment l'interpréter ? Il convient tout d'abord de souligner que dans la théorie du bien-être comme dans celle de l'optimum utilitariste les seuls agents pris en considération sont les consommateurs¹¹. Il n'est nullement mention du surplus des autres agents que l'on mentionne pourtant dans instruction sur le calcul économique : surplus des entreprises, de l'Etat, des

¹¹ Cela trouve son origine dans le fait que la finalité de l'économie est d'améliorer la satisfaction des êtres humains, ou si l'on préfère leur niveau de vie, la production n'étant pas une fin en soi.

banques, du reste du monde¹². L'explication réside¹³ dans l'hypothèse que tous ces autres agents, ou bien ont des comptes équilibrés, ou bien redistribuent l'excédent (ou le déficit) de leurs comptes aux ménages sous forme d'augmentations des revenus du travail, des revenus du capital, ou de transferts publics (allocations ou impôts).

- *Le cas de fonctions d'utilité individuelles quelconques*

Le cas général où les fonctions d'utilité individuelles sont quelconques est beaucoup moins simple. Pour ne pas alourdir l'exposé on renvoie à l'ouvrage précité et notamment à la contribution de Charles Raux et alii « De la modélisation des comportements au calcul économique : l'équité des politiques de transport » ainsi qu'à celle de Stef Proost « L'analyse des projets d'infrastructures de transport dans un cadre d'équilibre général ».

On aboutit à la même conclusion que ci-dessus : l'agrégation des surplus des consommateurs et des variations des revenus (transmis par les autres agents) n'est qu'une approximation en termes monétaires des effets globaux du projet sur l'ensemble du corps socio-économique.

On peut ajouter (voir Quinet, 2000, Principes d'économie des transports) que cette approximation est certainement meilleure pour les projets « marginaux », c'est-à-dire de taille petite par rapport au cadre macro-économique, pour lesquels en quelque sorte on peut se contenter d'un développement limité du premier ordre, que pour les projets de grandes dimensions.

- *L'internalisation des externalités*

Une autre préoccupation de la théorie du bien-être ou de l'optimum utilitariste consiste à bien prendre en compte l'ensemble des consommateurs (présents ou futurs), y compris ceux qui ne sont pas usagers directs du projet mais qui peuvent être affectés indirectement par ses externalités positives ou négatives le cas échéant. D'important progrès ont été faits à ce sujet tant sur le plan méthodologique que sur celui de l'estimation des « valeurs tutélaires » à utiliser à cet effet dans le calcul économique. Il convient à l'évidence d'intégrer ces acquis et de chercher à les améliorer. On se bornera ici à signaler dans l'ouvrage précité les contributions de Luc Baumstark « la mesure de l'utilité sociale des investissements : l'enjeu du processus de production de valeurs tutélaires : de l'expérience à la prospective » et celle de Guillaume Chevasson « c L'influence relative des différentes valeurs tutélaires : une étude de sensibilité des indicateurs socio-économiques ».

- *Gagnants et perdants*

L'existence éventuelle d'effets externes négatifs est un cas manifeste où le projet peut détériorer la satisfaction de certains membres de la collectivité. Il peut d'ailleurs y avoir nombre d'autres catégories de perdants. Il faut bien entendu réaffirmer que le calcul économique se doit de prendre soigneusement en compte ces contrecoups défavorables.

On reproche parfois au calcul économique de conduire à des conclusions simplistes et injustes dans la mesure où seul compterait le signe du bilan socio-économique consolidé et où par

¹² Dans une économie ouverte, il serait erroné d'oublier ce poste. Mais la complication s'étend au calcul du surplus car les consommateurs affectés par le projet ne sont pas nécessairement des nationaux.

¹³ Voir notamment Lesourne et Levy-Lambert-Dupuy.

exemple un projet comportant un solde de +100 pour les gagnants et de – 90 pour les perdants serait justifié au regard de l'analyse coûts-avantages.

Il doit être clair que le calcul économique pertinent ne peut se contenter d'une conclusion aussi sommaire.

Il convient de souligner tout d'abord que, en l'absence d'indemnisation des perdants, ce projet ne serait pas « Pareto améliorant » ; il soulève donc un problème d'économie politique : y aura-t-il pour l'approuver une majorité, et si oui cette majorité pourra-t-elle légitimement imposer ses intérêts par rapport à ceux de la minorité?

Mais même s'il y a indemnisation des perdants paraît possible du fait que la somme des gains dépasse la somme des pertes, la « compensation » ne va pas de soi. Certes, on pourrait imaginer des prélèvements proportionnels sur les gains qui alimenteraient une caisse de compensation des pertes ; mais la mise en œuvre d'un tel dispositif reste problématique. Une compensation complète ou partielle pourrait aussi être prise en charge directement dans le projet, par exemple sous forme d'investissements supplémentaires (exemple : murs anti-bruit), mais cela renchérit alors le coût du projet donc, dans le cas illustratif ci-dessus du pont à péage, cela conduit à élever le prix du péage, à réduire la demande, par conséquent à réduire le surplus des gagnants et par suite le bénéfice socio-économique total ; ce dernier, dans certains cas, peut alors devenir négatif (voir encadré 2).

La question de la compensation (montants, mécanismes) des perdants par les gagnants ne doit donc pas être éludée tacitement dans l'analyse coût-avantages. Elle devrait en former un élément constitutif.

Encadré 2

Peut-on et comment compenser les pertes des perdants ?

Dans l'exemple du pont à péage, supposons que la fonction de demande soit $q = 1 - p$, avec $0 \leq p \leq 1$ (voir figure).

En fonction de p , le surplus des usagers est $S = (1 - p)^2 / 2$ et la recette du concessionnaire est $Y = p \cdot (1 - p)$. Cette recette est maximale pour $p = 1/2$ et vaut alors $\bar{Y} = 1/4$.

Supposons par exemple qu'il n'y ait aucune externalité et que le péage optimal soit $1/4$, ce qui correspond au surplus des usagers $S = 9/32$ et à la recette $Y = 3/16$, qui équilibre exactement le coût direct du projet : $C = 3/16$.

Supposons maintenant qu'il existe des externalités négatives (du bruit, une aggravation des inondations en cas de crues, etc) et que pour les investissements nécessaires pour en compenser les effets coûtent $1/8$.

Pour financer cette dépense supplémentaire, si l'on envisageait de prélever sur les usagers une taxe proportionnelle à leur surplus, il faudrait en fixer le taux à $4/9$ (car $\frac{4}{9} \cdot \frac{9}{32} = \frac{1}{8}$). Mais on voit mal quel procédé conduirait chaque usager à révéler son « utilité absolue » à la Dupuit pour la soumettre à ce prélèvement.

Si on demande alors au concessionnaire de financer l'investissement complémentaire et de relever le tarif du péage en conséquence, il est clair que le coût total du projet atteint alors $\frac{3}{16} + \frac{1}{8} = \frac{5}{16}$, c'est-à-dire excède la recette maximale $\bar{Y} = 1/4$. Le renchérissement du péage réduit en effet trop fortement le nombre des usagers. Le projet n'est pas réalisable sous cette forme.

- *Enseignements à ce stade*

Les enseignements déjà tirés en matière de surplus individuels se transposent en matière de bénéfice socio-économique.

Sauf dans le cas où l'on pourrait utiliser des modèles sophistiqués utilisant des fonctions d'utilité « pertinentes », l'agrégation des surplus individuels des consommateurs et de la variation des revenus des autres agents fournit une évaluation monétarisée du solde des gains et des pertes du projet pour la collectivité qui n'est qu'une approximation (hypothèse implicite des fonctions d'utilité séparables semi-linéaires). Sous réserve d'intégrer au mieux les effets externes et d'approfondir l'analyse des gagnants et des perdants, l'analyse coût-avantages, malgré ses imperfections, fournit un instrument de mesure dont on ne saurait se dispenser.

Annexe n°2 :
les variables déterminantes du taux d'actualisation (Christian Gollier)

On considère une économie « à la Lucas (1978) » en temps discret, avec un agent représentatif éternel. L'existence d'un agent représentatif dans une économie hétérogène est démontrée par exemple par Constantinides (1982). Gollier (2001a) montre comment prendre en compte l'inégalité des richesses dans le calcul économique. L'espérance de vie infinie de l'agent représentatif signifie implicitement que les consommateurs intègrent les préférences de leurs descendants comme si c'étaient les leurs. Cet agent représente les générations présentes et futures.

Dans ce modèle, je ne cherche pas à expliquer la croissance économique. Elle prend la forme d'un vecteur exogène de variables aléatoires (c_0, c_1, c_2, \dots) de dimension infinie, où c_t représente la consommation par habitant à la date t . On suppose connue la distribution de probabilité de ce vecteur, conditionnellement à toutes les informations disponibles aujourd'hui ($t=0$). Cette distribution caractérise le risque macroéconomique et son évolution dans le temps. Le bien-être intertemporel de l'agent représentatif est mesuré par la valeur actuelle de son flux d'espérance d'utilité future :

$$V_0 = \sum_{t=0} e^{-\delta t} E u(c_t).$$

Le paramètre de préférence pure pour le présent est noté δ . La fonction d'utilité u est supposée croissante et concave.

On considère un projet d'investissement caractérisé par un vecteur de cash-flows aléatoires (X_0, X_1, X_2, \dots) , où X_t est le bénéfice net des coûts à la date t généré par l'investissement. On suppose connue la distribution de probabilité de ces cash-flows, ainsi que leur corrélation avec le risque macroéconomique.

Les bénéfices et les coûts du projet sont équitablement partagés par les consommateurs. Soit ε la part des cash-flows nets perçus par chaque consommateur. Si le projet d'investissement est réalisé, l'agent représentatif obtiendra un niveau de bien-être égal à

$$V_1 = \sum_{t=0} e^{-\delta t} E u(c_t + \varepsilon X_t).$$

Evidemment, le projet est socialement désirable si l'agent représentatif voit son bien-être intertemporel augmenté grâce à la réalisation de l'investissement, c'est-à-dire si V_1 est supérieur à V_0 . Comme on suppose une population de grande taille, la part ε est très petite. En conséquence, V_1 est supérieur à V_0 si

$$\frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left[\sum_{t=0} e^{-\delta t} E u(c_t + \varepsilon X_t) \right]_{\varepsilon=0} > 0,$$

ou encore si

$$\sum_{t=0} e^{-\delta t} E X_t u'(c_t) > 0.$$

Comme X_0 et c_0 sont certains, on peut réécrire cette condition nécessaire et suffisante comme

$$VAN = X_0 + \sum_{t=1} e^{-r_t} B_t > 0, \quad (1)$$

avec

$$e^{-r_t} = e^{-\delta t} \frac{E u'(c_t)}{u'(c_0)} \quad (2)$$

et

$$B_t = \frac{E X_t u'(c_t)}{E u'(c_t)}. \quad (3)$$

On voit que le projet d'investissement est socialement désirable si sa VAN exprimée par (1) est positive. Le taux d'actualisation r_t défini par (2) est indépendant du projet considéré. Il est donc unique et universel, mais peut varier en fonction de la maturité t du cash-flow. Par contre, le cash-flow équivalent certain B_t dépend à la fois des incertitudes sur c_t et sur X_t . Ainsi, on voit que nous avons effectivement séparé les problématiques de choix de taux d'actualisation et de prise en compte du risque du projet. La formule (1) nous montre donc la procédure à suivre pour mener à bien l'évaluation des projets d'investissement.

Proposition : Lorsque les cash-flows (X_0, X_1, \dots) d'un projet d'investissement ainsi que les anticipations de croissance économique (c_0, c_1, \dots) sont incertains, ce projet est socialement efficace si sa valeur actualisée nette est positive. Cette VAN est évaluée en deux étapes : Pour chaque maturité t ,

- 1) *On calcule le bénéfice équivalent certain B_t à partir de la formule (3) ;*
- 2) *On actualise ce bénéfice au taux r_t défini par la formule (2).*

Finalement, la VAN est obtenue en sommant ces bénéfices équivalents certains actualisés.

1) Le Choix du taux d'actualisation

Le taux d'actualisation socialement efficace dérivé de la formule (2) peut se réécrire comme

$$r_t = \delta - \frac{1}{t} \ln \left(\frac{Eu'(c_t)}{u'(c_0)} \right). \quad (4)$$

Cette formule se retrouve dans tous les livres de référence en finance, tel Cochrane (2001). Elle fonde la théorie moderne de la structure par terme des taux d'intérêt initiée par Vasicek (1977) et Cox, Ingersoll et Ross (1985). Elle est généralement traduite dans un cas très particulier, qui combine deux hypothèses supplémentaires. La première suppose que l'utilité marginale est une fonction puissance : $u'(c) = c^{-\gamma}$, où γ est l'indice relatif d'aversion au risque. La seconde hypothèse caractérise le processus de croissance exogène. Supposons pour l'instant que le logarithme de la consommation suive un mouvement Brownien de tendance connue μ et de volatilité σ . Ceci implique que $\ln c_t$ est normalement distribué d'espérance $c_0 e^{\mu t}$ et de variance $\sigma^2 t$. En combinant ces deux spécifications, on obtient que

$$\frac{Eu'(c_t)}{u'(c_0)} = E \exp(-\gamma(\log c_t - \log_0)) = \exp(-\gamma(\mu t - 0.5\gamma\sigma^2 t)). \quad (5)$$

Dans la seconde égalité, j'ai utilisé la propriété bien connue selon laquelle l'approximation d'Arrow-Pratt est exacte dans le cas de risque normalement distribué et fonction exponentielle.¹⁴ En combinant les équations (4) et (5), on obtient que

$$r_t = \delta + \gamma\mu - \frac{1}{2}\gamma^2\sigma^2. \quad (6)$$

Dans Gollier (2002a) et Gollier (2005), je donne une intuition à cette formule qui permet de déduire le taux d'actualisation efficace à partir des anticipations de croissance de l'économie et des préférences des agents. En bref, le taux d'actualisation socialement efficace a trois composantes, comme indiqué dans le membre de droite de l'équation (6). La première composante est le taux de préférence pure pour le présent, δ . La seconde composante est un effet richesse. Parce que l'agent représentatif anticipe une hausse de sa consommation ($\mu > 0$), un euro supplémentaire à l'avenir a un effet sur son utilité plus faible qu'un euro supplémentaire immédiat, puisque son utilité marginale est décroissante avec la consommation ($\gamma > 0$). Cet effet richesse est positif sur le taux d'actualisation, et incite à réduire nos efforts pour améliorer notre avenir. Pourquoi faire des sacrifices pour un avenir de toute façon plus riche que le présent ? Cet effet richesse est d'autant plus élevé que les anticipations de croissance sont optimistes, et que l'utilité marginale décroît rapidement. La troisième composante décrit un effet de précaution. Comme l'utilité marginale est convexe avec la consommation, une augmentation de l'incertitude sur la consommation future augmente la valeur d'un euro supplémentaire en t , telle que mesurée par l'espérance de l'utilité marginale. L'incertitude réduit donc le taux d'actualisation. Exactement comme les ménages augmentent leur épargne lorsque leurs revenus futurs deviennent plus aléatoires, au

¹⁴ Voir par exemple Gollier (2001b, page 57).

niveau collectif, il est efficace d'accroître les investissements en situation d'incertitude macroéconomique. Cet effet précaution est croissant avec la volatilité σ de la croissance du PIB par habitant.

Calibrons l'équation (6). Durant le vingtième siècle, la croissance réelle du PIB par habitant a été en moyenne de $\mu \approx 2\%$ par an,¹⁵ tandis que sa volatilité est estimée à $\sigma \approx 2\%$. Pour des raisons d'éthique intergénérationnelle, fixons $\delta=0$. Finalement, quelle valeur de γ retenir pour cette calibration ? Ce choix revêt effectivement une importance considérable. Les études autant expérimentales qu'économétriques sont très nombreuses, mais apportent une réponse contrastée à cette question. Je ne chercherai pas ici à synthétiser ces travaux. Je propose donc de faire une analyse par introspection. Supposons que votre richesse soit sujette à un risque de gain ou de perte de $\alpha\%$. Quel pourcentage π de votre richesse êtes-vous prêt à payer pour éliminer ce risque ? Le tableau 1 lie votre réponse π à cette question à votre indice relatif γ de votre aversion au risque. Au vu de ce tableau, il semble raisonnable de choisir une valeur de γ comprise entre 1 et 4. Suivant Hall (1988), je choisis $\gamma=2$.

Tableau 1 : Prime de risque π et aversion relative au risque γ .

	$\alpha=10\%$	$\alpha=30\%$
$\gamma=0,5$	$\pi=0,3\%$	$\pi=2,3\%$
$\gamma=1,0$	$\pi=0,5\%$	$\pi=4,6\%$
$\gamma=4,0$	$\pi=2,0\%$	$\pi=16,0\%$
$\gamma=10$	$\pi=4,4\%$	$\pi=24,4\%$
$\gamma=40$	$\pi=8,4\%$	$\pi=28,7\%$

Avec de telles anticipations de croissance et de telles préférences intertemporelles, il est socialement efficace de choisir un taux d'actualisation de 3,92%. L'effet richesse $\gamma\mu$ à lui seul conduit à sélectionner un taux d'actualisation de 4%, tandis que l'effet précaution $0.5\gamma^2\sigma^2$ réduit ce taux de seulement 0,08%. A court terme, l'incertitude est si faible qu'elle n'affecte pratiquement pas le taux d'actualisation socialement efficace.

Penchons-nous maintenant sur une question cruciale pour la problématique du développement durable : faut-il choisir un taux d'actualisation plus faible pour actualiser des cash-flow plus éloignés dans le temps ? D'un point de vue théorique, rien n'interdit a priori que ce taux r_t décroisse avec t . Néanmoins, la formule (6) nous montre que, sous la spécification étudiée ci-dessus, le taux d'actualisation est indépendant de l'horizon temporel. Il faut comprendre que les effets richesse et de précaution jouent en sens opposés lorsqu'on modifie la maturité étudiée. Plus on s'éloigne dans le temps, plus l'espérance de c_t est grande, ce qui doit nous inciter à choisir un taux d'actualisation croissant avec l'horizon temporel. Par contre, plus on s'éloigne dans le temps, plus l'incertitude sur c_t est importante, ce qui doit nous inciter à

¹⁵ Il est nécessaire de rappeler ici que μ désigne l'espérance de croissance du logarithme de la consommation, qui est différent de l'espérance $\hat{\mu}$ du taux de croissance de la consommation. En fait, par le Lemme d'Ito, on a que $\hat{\mu} = \mu + 0.5\sigma^2$. Comme σ est petit, la différence est faible.

choisir un taux d'actualisation décroissant avec l'horizon temporel. Dans le cas où $u'(c) = c^{-\gamma}$ et où la croissance du logarithme de la consommation suit un Brownien constant, l'équation (6) montre que ces deux effets s'annihilent l'un l'autre.

Gollier (2002b) relâche l'hypothèse $u'(c) = c^{-\gamma}$, tandis que Weitzman (2004) et Gollier (2004) relâchent l'hypothèse de mouvement Brownien constant. Deux justifications émergent qui peuvent justifier un taux d'actualisation décroissant. La première porte sur l'hypothèse d'un décrochage du trend de croissance μ d'un niveau élevé durant les T premières périodes à un trend de croissance μ' plus faible au-delà. Dans ce cas, les taux d'actualisation socialement efficace de court terme et de long terme correspondront à la formule (6) utilisée respectivement avec μ et μ' . La structure par terme du taux d'actualisation est donc décroissante dans ce cas, exactement comme la « yield curve » sur les marchés financiers peut être inversée lorsque l'on anticipe un retournement conjoncturel en phase haute du cycle macroéconomique.

La deuxième justification d'un taux d'actualisation décroissant est basée sur l'existence d'une relation convexe entre la variance de c_t et t , alors qu'elle était linéaire dans le cas Brownien constant. Il s'agit donc d'une situation où le risque est relativement plus important à long terme qu'à court terme, ceci par rapport au cas Brownien constant. Dans une telle situation, l'effet précaution va dominer à long terme, ce qui nous incite à choisir un taux d'actualisation plus petit à long terme qu'à court terme. Une telle situation se présente par exemple lorsqu'il existe une incertitude sur le paramètre μ du trend de croissance. Il semble en effet irréaliste de supposer que l'économie croîtra pour toujours autour d'un trend de 2%. Supposons alternativement que ce trend puisse prendre une valeur parmi n valeurs possibles μ_i , $i=1, \dots, n$, respectivement avec probabilité p_1, \dots, p_n . Dans ce cas, on obtient aisément une généralisation de la formule (5) :

$$\frac{Eu'(c_t)}{u'(c_0)} = \sum_{i=1}^n p_i \exp(-\gamma(\mu_i t - 0.5\gamma\sigma^2 t))$$

En utilisant la formule (4), on obtient la proposition suivante.

Proposition (Gollier (2004)) : Lorsqu'il existe une incertitude sur le trend de croissance μ du logarithme de la consommation par habitant, le taux d'actualisation r_t socialement efficace s'écrit comme suit :

$$r_t = \delta - 0.5\gamma^2\sigma^2 - \frac{1}{t} \ln \left(\sum_{i=1}^n p_i \exp(-\gamma\mu_i t) \right). \quad (7)$$

Contrairement au cas Brownien constant décrit par la formule (6), le taux d'actualisation est ici une fonction de l'horizon temporel t . On peut vérifier que cette fonction est décroissante en t , avec un taux à très court terme égal à

$$r_{t \rightarrow 0} = \delta + \gamma \left(\sum_{i=1}^n p_i \mu_i \right) - \frac{1}{2} \gamma^2 \sigma^2,$$

et un taux à long terme qui tend vers

$$r_{t \rightarrow \infty} = \delta + \gamma \min_i \mu_i - \frac{1}{2} \gamma^2 \sigma^2.$$

Ainsi, si on pense qu'il y a autant de chance que le trend de croissance soit de 1% ou 3%, le taux d'actualisation socialement efficace est égal à 3,92% à court terme, mais est égal à seulement 1,92% à long terme. En fait, dans une telle configuration, il est facile de vérifier que l'utilisation de la formule (7) dans le calcul économique revient à calculer la VAN deux fois, une fois avec un taux constant de 5,92% et une fois avec un taux constant de 1,92%, et de prendre comme VAN effective la moyenne de ces deux valeurs actualisées. Mathématiquement, ceci revient au même que de calculer la VAN une seule fois, mais avec le taux d'actualisation décroissant (7). La méthode basée sur la moyenne des VAN est évidemment singulièrement plus facile à mettre en œuvre.

2) Prise en compte du risque du projet

Revenons à la formule (1) qui définit la VAN du projet, et intéressons-nous maintenant au risque du projet lui-même. On peut interpréter B_t dans la formule (1) comme le « bénéfice équivalent certain » à imputer au projet à la date t , et donc à actualiser au taux r_t . La formule (3) caractérise la manière dont ce bénéfice équivalent certain doit être calculé. Le cas le plus simple correspond à la situation où le risque du projet est indépendant du risque macroéconomique, c'est-à-dire lorsque X_t et c_t sont deux variables indépendantes. Dans ces circonstances, on a que $EX_t u'(c_t)$ est égal à $EX_t Eu'(c_t)$, ce qui implique par (3) que $B_t = EX_t$. Ceci nous donne le résultat de Arrow et Lind (1970), que l'on peut résumer de la façon suivante.

Proposition (Arrow et Lind (1970)) : Lorsque le risque du projet est non corrélé au risque macroéconomique, l'évaluation de ce projet doit se faire en neutralité au risque, c'est-à-dire que $B_t = EX_t$.

Le problème est plus délicat lorsque le risque du projet est corrélé au risque macroéconomique, ceci malgré l'hypothèse de grande taille de la population. En fait, on peut réécrire la formule (3) comme

$$B_t = EX_t + \text{cov} \left(X_t, \frac{u'(c_t)}{Eu'(c_t)} \right). \quad (8)$$

Il est utile de rappeler ici que l'utilité marginale de la consommation est décroissante. En conséquence, cette formule indique que le bénéfice équivalent certain B_t est plus petit que le bénéfice espéré EX_t si les bénéfices du projet sont positivement corrélés avec la croissance

économique, comme on peut le supposer dans la plupart des cas.

Proposition (MEDAF) : *Lorsque le risque du projet est positivement corrélé au risque macroéconomique, l'évaluation de ce projet doit intégrer une prime de risque qui réduit la valorisation du bénéfice futur à actualiser, ceci malgré la dissémination du risque du projet dans une population très large.*

On a l'habitude d'opérationnaliser cette théorie en utilisant une approximation de la formule (8). Soit C_t l'espérance de c_t . L'approximation de Taylor du premier degré de $u'(c_t)$ autour de C donne $u'(C_t) + (c_t - C_t)u''(C_t)$. Approximons par ailleurs $Eu'(c_t)$ par $u'(C_t)$. On peut donc approximer B_t par

$$B_t \approx EX_t - \gamma \frac{\text{cov}(X_t, c_t)}{Ec_t} \quad (9)$$

où γ est le coefficient d'aversion relatif pour le risque $\gamma = -C_t u''(C_t) / u'(C_t)$. Ainsi, la « prime de risque » est croissante en l'aversion au risque du consommateur représentatif et en la covariance entre le rendement du projet et le PIB/hbt, résultat classique du Modèle d'Evaluation Des Actifs Financiers (MEDAF).

Jusqu'à maintenant, j'ai supposé que la décision consistait soit à mettre en œuvre le projet d'investissement immédiatement, soit à l'abandonner définitivement. En réalité, dans la plupart des cas, il est possible de ne pas investir immédiatement, mais de conserver l'option d'investir ultérieurement. Or, reporter un investissement dans le temps, c'est rendre possible l'acquisition d'informations supplémentaires sur sa rentabilité sociale. Ainsi, même si un projet a une VAN positive, il peut être socialement efficace de reporter cet investissement dans l'attente de ces informations.

Pour illustrer, considérons un projet d'investissement de coût initial I irréversible supporté à la date de mise en œuvre de l'investissement, et qui génère un bénéfice unique R aléatoire à la date suivant cette mise en œuvre. Supposons néanmoins que cet aléa soit indépendant du risque macroéconomique, de manière à ce que nous puissions utiliser une évaluation neutre au risque. Finalement, on sait qu'en date $t=I$, une information s non corrélée avec le risque macroéconomique sera disponible, ce qui permettra au planificateur de réviser la distribution du bénéfice R . Comparons deux stratégies. La première stratégie consiste à investir immédiatement, ce qui génère une VAN égale à

$$H_0 = -I + e^{-r} ER.$$

La deuxième stratégie consiste à reporter la décision d'investissement à la date $t=I$. Evidemment, on utilise à cette date l'information s disponible, et on investit que si

$$-I + e^{-r} E[R|s]$$

est positif. En conséquence, la stratégie de report génère en $t=0$ une espérance de VAN égale à

$$H_1 = e^{-r_1} E \max \left[0, -I + e^{-r_1} E \left[R | s \right] \right] > 0.$$

On voit qu'il faut investir immédiatement non pas si la VAN espérée H_0 est positive, mais plutôt si H_0 est plus grand que H_1 . H_1 est la « valeur d'option » de report. Dans certaines applications, elle peut être très élevée. Son calcul nécessite souvent la mise en œuvre de techniques d'optimisation dynamique stochastique relativement complexes. Elles sont utilisées dans un certain nombre de grandes entreprises privées, en particulier dans le domaine de la production minière et de la pharmacie, mais leur utilisation reste embryonnaire dans le secteur public malgré leur importance cruciale dans certains domaines comme l'énergie, les transports ou les télécommunications. De très importants développements, à la fois théorique et empiriques, ont été réalisés dans ce domaine depuis les travaux pionniers d'Henry (1974) et Arrow et Fischer (1974). Les lecteurs intéressés pourront se reporter sur le livre récent de Smit et Trigeorgis (2004) pour de plus amples analyses. Devezeaux et Gollier (2001) ont développé une application dans le domaine de la valorisation de la réversibilité du site de stockage de déchets nucléaires.

Annexe n°3 : Le Dilemme entre équité spatiale et utilité générale (J.-F. Thisse)

Décrivons maintenant le problème de la localisation d'un équipement de manière plus formelle. Pour cela, on considère un espace métrique (X, d) . Si X représente l'ensemble de tous lieux pertinents pour le problème considéré, d est la distance mesurant l'éloignement entre toute paire de lieux de X ; d peut être donné par la distance euclidienne, la longueur du plus court chemin reliant deux points quelconques d'un réseau de transport, voire toute autre métrique que l'on désirerait retenir dans un contexte particulier, comme le nombre de rues que les enfants doivent traverser pour atteindre leur école. On se donne également un nombre fini de points x_1, \dots, x_m de X , représentant les localisations des usagers de l'équipement considéré – les maisons des enfants dans le cas de l'école discuté précédemment. Une remarque importante s'impose à ce stade : le choix de ces points est susceptible de varier sensiblement avec l'échelle spatiale retenue¹⁶. En outre, il dépend avant tout de l'information dont le décideur dispose. Par exemple, ces points pourraient correspondre aux capitales régionales, aux communes françaises, voire, si l'analyse est très fine, aux localisations individuelles des usagers. On rencontre de nouveau le problème souligné précédemment : le choix d'un niveau d'agrégation spatiale n'est pas neutre pour les recommandations à faire.

Dans le contexte présent, il faut insister sur le fait que les localisations des usagers sont considérées comme des données, tandis que *seule* la localisation de l'équipement est variable. Plus précisément, cette dernière est choisie en fonction de la position des usagers dans l'espace de référence X , tandis que les localisations des usagers ne sont pas susceptibles d'être modifiées. On verra plus tard que cette hypothèse, qui décrit assez bien la faible mobilité géographique des populations européennes, est loin d'être sans conséquences pour la politique à suivre.

A chaque point x_i est ensuite associé un nombre N_i représentant, par exemple, le nombre d'usagers vivant en ce lieu. Ce nombre pourrait lui-même être pondéré par un coefficient exprimant le « souci » que le décideur se fait vis-à-vis du groupe installé en cet endroit ; il peut également correspondre au nombre espéré d'usagers dans un espace où la mobilité serait élevée. Rappelons qu'en théorie économique, on appelle *utilité* toute indicatrice du degré de satisfaction ressentie par la personne considérée. Dans ce qui suit, il s'agit plus précisément ici de « l'utilité indirecte », qui est exprimée en termes des contraintes auxquelles cette personne est confrontée. Il est alors courant – mais aussi commode – de retenir comme première approximation de la véritable utilité d'un usager résidant en x_i une fonction linéaire de son revenu et de la distance le séparant de l'équipement dont la localisation est dénotée s :

$$U_i(s) = Y - d(x_i, s) \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

Y désignant le revenu d'un usager et $d(x_i, s)$ la distance entre sa localisation et celle du service public. En retenant l'expression (1), on fait l'hypothèse hautement irréaliste que tous les individus possèdent le même revenu. Il faut insister sur le fait que cette hypothèse est faite pour une seule raison : je souhaite me concentrer *exclusivement* sur la dimension spatiale du problème de la localisation des équipements. Les critères proposés dans les prochaines sections conservent toute leur pertinence lorsque les revenus diffèrent entre individus, à condition du moins qu'ils soient connus du décideur.

¹⁶ Sauf s'il est possible d'utiliser un modèle entièrement désagrégé, ce qui devient possible du fait des nouvelles techniques de traitement de l'information, tels que les SIGs.

En outre, dans la mesure où la satisfaction des usagers décroît avec la distance qu'ils doivent parcourir pour se rendre à l'équipement, l'expression (1) peut être considérée comme une approximation du premier ordre de la véritable fonction d'utilité. On pourrait, sans rien changer à ce qui suit, pondérer la distance par un coefficient spécifique à chaque usager et qui mesure la perte de satisfaction – son coût d'accès – que lui impose un allongement de la distance à parcourir. La difficulté est alors d'un autre ordre : comment le décideur peut-il déterminer la valeur de ces coefficients pour chaque usager ? On retrouve ici le problème classique de la révélation des préférences individuelles, bien connu par ailleurs en économie publique. Qui plus est, cette formulation des préférences individuelles néglige le fait que, du point de vue d'un usager, la désirabilité d'un équipement varie souvent de manière non monotone avec la distance qui les sépare. Si celle-ci est trop grande, il va se plaindre d'être pénalisé par une mauvaise accessibilité au service public, mais une trop grande proximité l'amène souvent à contester le choix ainsi fait à cause des nuisances diverses que l'équipement engendre dans son voisinage immédiat (encombrement de la voirie et difficulté de stationnement, différentes formes de petites pollutions auxquelles le reste de la population est souvent insensible)¹⁷.

L'application du critère maximin conduit au choix d'une localisation qui minimise la fonction suivante :

$$M(s) = \underset{i=1,\dots,N}{\text{Max}} d(x_i, s) \quad (2)$$

Cette fonction satisfait le critère d'anonymat, à savoir que la dénomination des usagers n'a pas d'influence sur la décision finale. C'est, en effet, la minimisation de la fonction $R(s)$ qui détermine qui sera l'usager le plus mal loti, dans la mesure où le bien-être de celui-ci dépend de la localisation retenue pour l'équipement. En théorie de la localisation, on a pris l'habitude d'appeler ce critère *minimax* du fait du renversement des signes des variables dans les fonctions d'utilité. Sa diffusion en théorie de la localisation est contemporaine, bien qu'indépendante, des travaux de Rawls.

Le problème minimax fut introduit en géométrie il y a plus de cent trente-cinq ans par Sylvester sous la forme suivante : déterminer le centre d'une circonférence de rayon minimal incluant un ensemble donné et fini de points du plan. Une méthode simple de résolution consiste à partir de circonférences centrées en x_1, \dots, x_m et de rayon identique, mais suffisamment grand, pour que leur intersection commune soit non vide. On réduit alors la valeur du rayon de manière progressive jusqu'à ce que la taille de l'intersection commune soit inférieure à une tolérance donnée *a priori*. Tout point de cette intersection est une solution du problème maximin. Depuis, des algorithmes considérablement plus performants ont été élaborés, permettant de trouver très rapidement une solution au problème (2) pour des distances pouvant différer de la distance euclidienne, mais aussi pour un très grand nombre m de points décrivant les localisations des usagers. On est, par conséquent, capable de travailler à une échelle spatiale extrêmement fine, retenant les quartiers, les rues et même les habitations.

Si le problème (2), sous sa forme mathématique, est assez ancien, ce n'est que récemment qu'il fut interprété en termes d'application du critère maximin en théorie de la localisation. En fait, la grande majorité des modèles de localisation ont retenu plutôt une approche de type *utilitariste* définie comme la somme du bien être des individus appartenant à la collectivité considérée. Dans le cas présent, cela revient à sélectionner une localisation qui minimise la somme des distances aux usagers :

¹⁷ Notons que cette attitude n'a rien à voir avec les comportements de type « Not in my backyard », plus connu par son acronyme NIMBY.

$$D(s) = \sum_{i=1}^m N_i d(x_i, s) \quad (3)$$

ou encore, puisque le nombre total d'usagers $N = \sum_{i=1}^m N_i$ est donné, la distance moyenne définie par :

$$\bar{D}(s) = \sum_{i=1}^m (N_i / N) d(x_i, s) \quad (4)$$

Une localisation optimale minimise donc la somme des distances parcourues par les enfants. Autrement dit, on agrège les pertes de satisfaction individuelles en les additionnant. C'est la raison pour laquelle, en théorie de la localisation, on lui a donné le nom de critère *minisum*¹⁸. Il est clair qu'une telle localisation satisfaisant ce critère est toujours efficace ; en revanche, elle est rarement équitable car les lieux occupés par un nombre élevé d'usagers ont un impact fort comparé à ceux possédant peu d'habitants. L'avantage de l'approche utilitariste est de réduire au maximum le coût supporté par l'ensemble de la population, en accordant à chacun le même poids. En outre, en accordant plus de poids aux grandes masses d'usagers, on pourrait penser qu'une localisation utilitariste est susceptible de recevoir l'appui de nombreux usagers, ce qui la rendrait « politiquement » souvent plus acceptable qu'une localisation équitable. J'y reviendrai dans la section suivante.

En conséquence, on peut affirmer qu'il y a généralement *conflit entre équité spatiale et utilité générale*. Une manière possible de le « résoudre », proposée par Morrill et Symons (1977), est d'affecter un exposant $\alpha \geq 1$ à la distance dans l'expression (3). Lorsque celui-ci prend une valeur unitaire, on retrouve le critère minisum. A l'autre extrême, lorsque α tend vers l'infini, on obtient le critère minimax. En conséquence, l'idée de retenir des valeurs intermédiaires de ce paramètre, pouvant exprimer des attitudes différentes du décideur vis-à-vis des inégalités spatiales, semble assez naturelle. Dès lors, la fonction

$$D_\alpha(s) = \sum_{i=1}^m N_i d^\alpha(x_i, s) \quad (5)$$

peut être considérée comme l'expression d'un *compromis* entre les critères d'utilité générale et d'équité. On peut alors interpréter l'exposant α comme étant le degré d'*aversion pour l'inégalité* qui caractérise les préférences du décideur.

Remarque Si l'on insère l'expression (1) dans une fonction CES, qui est elle-même une généralisation de (5), on obtient la fonction d'utilité suivante :

$$U(s) = \left\{ \sum_{i=1}^m N_i [Y - d(x_i, s)]^\rho \right\}^{1/\rho}$$

sachant que $\rho = 1/\alpha < 1$. On remarque alors que le degré d'aversion pour l'inégalité devient

$$-\frac{U''(s)}{U'(s)} = \frac{1}{\rho} \frac{1}{1-\rho} \left\{ \sum_{i=1}^m N_i [Y - d(x_i, s)]^\rho \right\}^{-1}.$$

Celui-ci étant une fonction décroissante du revenu des usagers, on peut donc affirmer que *l'arbitrage entre utilité générale et équité spatiale est moins contraignant lorsque les usagers disposent d'un revenu plus élevé*¹⁹.

Toutefois, une certaine prudence s'impose lorsque l'on emploie ce type d'approche. Ainsi, en étudiant la localisation de casernes de pompiers dans la province du Luxembourg en Belgique – le découpage provincial belge correspond au découpage départemental français –, Richard *et al.* (1990) observent que le temps moyen d'intervention des pompiers augmente rapidement dès que le paramètre α prend des valeurs légèrement supérieures à l'unité. Cela suggère que le conflit entre utilitarisme et équité spatiale puisse, en pratique, être sévère – et que dire alors

¹⁸ Il existe un large accord au sein de la communauté scientifique pour penser que la première formulation de ce problème remonte à Fermat quand il posa la question : comment trouver le point qui minimise la somme des distances aux sommets d'un triangle ?

¹⁹ Je remercie Marc Fleurbaey de m'avoir suggéré cette idée.

de celui entre utilitarisme et justice. Je me répète donc : un recours trop systématique au seul critère d'équité spatiale, voire même à des objectifs moins contraignants de ce point de vue, est de nature à affecter considérablement le bien-être d'une grande partie de la population. Cela se fera soit au travers d'une accessibilité assez faible aux équipements pour une population importante, soit en augmentant le nombre d'équipements mais en pesant lourdement sur les budgets des collectivités concernées.

A ce stade, un certain nombre de points cruciaux pour l'ensemble du chapitre doivent être soulevés. Premièrement, il faut préciser que tout ce que l'on vient de voir ne se limite en rien au cas d'une école : toute la discussion qui précède garde sa pertinence pour la très grande majorité, si pas la totalité, des équipements collectifs habituels. Deuxièmement, l'espace de référence retenu étant quelconque, *l'approche proposée* n'est nullement confinée au cas d'un équipement à construire dans une commune, mais *peut être étendue au cas de plusieurs équipements susceptibles de couvrir un territoire de dimension a priori quelconque*, par exemple toute une région, voire même la totalité du territoire national. A ce niveau macro-spatial, les arbitrages précédents subsistent dans leur intégralité, même si la formalisation est, elle, un peu plus complexe. C'est davantage au niveau des modalités de financement que se pose une question nouvelle, à savoir celle du *nombre* d'équipements désirés.

Cette dernière observation est importante car le problème de l'équité spatiale se matérialise, principalement, par ce qu'on ne peut souvent construire qu'un nombre très restreint d'équipements par rapport au nombre de sites occupés par les usagers. Précisons de nouveau que si l'on pouvait installer un équipement en chacun de ces sites, c'est-à-dire à domicile comme le Minitel ou l'Internet, les disparités spatiales n'auraient plus guère de raison d'être. C'est la présence d'économies d'échelle dans la production de nombreux services collectifs qui empêche cette multiplication à l'infini des équipements. En d'autres termes, l'origine de la question de l'équité spatiale réside dans la combinaison de la *dispersion de la demande* et de la *concentration spatiale de l'offre* causée par l'existence d'une taille minimum des équipements. Si, de plus, on rappelle la liberté dont on dispose dans la spécification concrète des lieux de demande x_i , il devrait être clair que l'existence des outils proposés ici est de nature à aider considérablement le décideur dans ses choix en matière d'aménagement d'espaces publics de différentes natures. Dans ce contexte élargi, le fait de disposer d'outils d'évaluation performants est fondamental car ils permettent l'étude et la comparaison d'un très grand nombre de scénarios possibles (Labbé *et al.*, 1995 ; Peeters *et al.*, 2002), là où les méthodes habituelles restreignent considérablement l'ensemble des opportunités considérées du fait de la lourdeur des procédures d'évaluation.

Remarquons, enfin, que la répartition spatiale des usagers admet deux facettes, à savoir la distribution de la population sur l'ensemble X – dont le rôle est largement reconnu –, mais aussi la *position relative* des points de X dans l'espace – un aspect du problème qui est trop souvent ignoré, en théorie comme en pratique. Une répartition plus ou moins symétrique de ces points a plus de chances de favoriser une convergence entre les critères utilitariste et d'équité, ce qui simplifie considérablement le processus de décision. En revanche, une dispersion très asymétrique va probablement accentuer la divergence entre ces deux critères, compliquant par la même la prise de décision. On n'en sait malheureusement pas beaucoup plus, l'impact de la dispersion spatiale des usagers sur la localisation désirable d'un équipement étant, à la fois, complexe et assez peu étudié²⁰. C'est d'autant plus regrettable que le rôle joué par cet aspect du problème varie largement avec la configuration et la capacité des différents réseaux de transport que les usagers peuvent emprunter. L'absence de résultats

²⁰ Voir Thomas (2002) pour un panorama des travaux des géographes sur la question.

significatifs dans ce domaine montre donc, s'il était nécessaire de s'en convaincre, la nécessité de disposer de *méthodes numériques* de résolution performantes pouvant aider significativement la planification des infrastructures de transport.

Il est important de conclure cette section en se rappelant que la solution pratique à certaines difficultés que le décideur peut rencontrer réside dans le recours à des installations légères et potentiellement mobiles, susceptibles de suivre l'évolution de la distribution spatiale des usagers, en lieu et place d'équipements lourds et immobiles, qui sont trop souvent privilégiés par les élus locaux pour des raisons de prestige, par exemple le maintien d'une ligne ferroviaire plutôt que son remplacement par une ligne de bus. Bien que connue depuis longtemps, cette manière de faire mérite d'être rappelée car elle est souvent « oubliée » pour de mauvaises raisons telles que, par exemple des formes extrêmes de justice distributive ou des questions de susceptibilité entre différentes juridictions ou niveaux de décision.

Annexe n°4

Intégration du risque et de l'incertitude dans la construction du calcul économique*

L. Andrieu, CERMICS, ENPC

A. de Palma, THEMA, Université de Cergy-Pontoise et ENPC

N. Picard, THEMA, Université de Cergy-Pontoise et INED

6 juin 2006

Résumé. Ce document constitue l'une des douze contributions du réseau de recherche sur les dimensions critiques du calcul économique. Nous nous intéressons ici à la question du risque et de l'incertitude dans la construction du calcul économique et nous essayons plus particulièrement de distinguer ce qui relève de l'analyse (comment évaluer l'aversion au risque par exemple), et ce qui pourrait relever des recommandations. Dans ce document, nous commençons par rappeler les idées de base de l'analyse de projets, à savoir l'analyse des coûts et des bénéfices, et la façon dont les notions de risque et d'incertitude sont actuellement intégrées dans cette analyse. Nous rappelons ensuite les notions de base en économie et en finance permettant de comparer des variables aléatoires (MEDAF et ordre stochastique), puis nous présentons différentes mesures de risque développées essentiellement dans le monde financier. Ces mesures, intégrées dans une analyse de projet permettraient de mieux contrôler les risques associés à la réalisation d'un projet. Nous distinguons en particulier deux classes de mesures de risque : la première classe, qui regroupe des mesures telles que l'*expected shortfall*, permet de contrôler les risques "en l'absence d'évènements exceptionnels" ; la seconde, qui comprend par exemple la *Conditional Value-at-Risk*, permet la prise en compte des risques extrêmes. Enfin, nous introduisons un ratio d'efficacité permettant d'évaluer la performance d'un projet par rapport à un projet de référence.

*Nous remercions S. Proost (K.U. Leuven, Belgique), C. Gollier (IDEI, Université de Toulouse), E. Doumas (ENPC), J.-L. Prigent (THEMA, Université de Cergy-Pontoise), R. Lindsey (University of Alberta, Canada) et W. Rothengatter (Université de Karlsruhe, Allemagne) pour leurs suggestions et commentaires. Nous remercions aussi J. Maurice (ENPC) et E. Quinet (ENPC) pour leurs commentaires et remarques détaillés.

1 Introduction

L'objectif de ce document est de proposer un guide des principaux critères permettant de prendre en compte le risque dans le calcul économique appliqué au choix des projets d'investissement dans le domaine des infrastructures des transports.

Dans l'analyse coûts-bénéfices (ACB) classique, la valeur d'un projet est égale à la somme des bénéfices actualisés, diminuée de la somme des coûts actualisés. Cette approche suppose la plupart du temps (et presque toujours en pratique) que ces flux financiers sont déterministes. Cette hypothèse est rarement vérifiée. Les aléas (sur l'offre et la demande) affectent non seulement les paramètres inclus dans l'ACB (par le truchement de la prime de risque, par exemple), mais aussi la manière dont les flux financiers sont pris en compte lors de l'évaluation de projets. Cette évaluation nécessite dans ce cas de prendre en compte les préférences du preneur de décision. Ces préférences sont censées agréger d'une certaine manière les préférences des citoyens affectés par le projet (soit directement, par ses effets perçus, soit indirectement, par la fiscalité inhérente). Ces préférences sont traduites par une fonction d'utilité. La manière dont ces aléas affectent la prise de décision dépend de la façon d'introduire l'attitude face au risque et ses liens avec l'actualisation.

La méthode la plus couramment utilisée dans la théorie du consommateur consiste à introduire une attitude face au risque à chaque période. L'avantage de cette méthode consiste à ne pas supposer une compensation parfaite des fluctuations d'une période à l'autre. Son inconvénient majeur est de ne pas pouvoir prendre en compte les corrélations entre aléas aux différentes périodes. Cette approche, qui est bien adaptée à la théorie du consommateur, est davantage problématique dans l'analyse des flux financiers.

La méthode proposée ici nous semble plus adaptée à l'évaluation de projets par le décideur public. En effet, celui-ci est plus intéressé par la valeur actualisée des flux financiers de chaque projet dans chaque état de la nature que par une agrégation des risques à chaque période. Ceci ne signifie pas que le preneur de décision public soit neutre au risque. De fait, nous supposons qu'il est indifférent à la répartition temporelle du risque (moyennant une fonction d'actualisation des coûts et des bénéfices aléatoires). L'attitude du décideur public face au risque est ici modélisée sur le résultat de ce calcul d'actualisation. À l'inverse, la méthode classique évoquée dans le paragraphe précédent actualise les utilités espérées. Ces dernières modélisent séparément les attitudes face aux risques des différentes périodes. La méthode classique revient alors implicitement à supposer ces aléas indépendants entre eux. Cette hy-

pothèse nous paraît très difficilement défendable dans le cadre de l'évaluation de projets.

L'instruction cadre préconise un taux d'actualisation de 3,5% net par an pour une période de 30 à 50 ans et un taux de 3% net au-delà de 50 ans. D'après [39], ce taux doit être modifié pour prendre en compte les différents risques inhérents à chaque projet. Nous pensons que la prise en compte du risque par le truchement d'une modification du taux (préconisée dans le document [39]) doit être complétée par une étude plus fine (et davantage transparente) qui prenne explicitement en compte l'ensemble des causes de risque internes et externes. Cette étude sera l'objet du présent article.

Ce document s'organise en quatre sections. La section 2 propose un bref rappel des pratiques courantes permettant d'apprécier un projet d'investissement : nous discutons d'une part de l'ACB, et d'autre part de la façon d'introduire la notion de risque dans l'évaluation de projets. Il s'agit là d'une étape fondamentale de l'évaluation d'un projet, car le risque est responsable historiquement de la plupart des échecs et faillites. Nous rappelons dans la section 3 quelques notions de base permettant de comparer des actifs financiers, puis nous proposons deux critères d'évaluation de projets. Ces critères, très répandus en finance et dans le domaine de l'assurance depuis déjà quelques années, permettent de mieux contrôler le risque associé à la réalisation du projet. Bien que cette approche ne nécessite pas la connaissance d'une fonction d'utilité, nous sommes capables de la relier à l'approche en termes d'utilité espérée. Enfin, des conclusions succinctes sont présentées dans la section 4.

2 L'analyse des coûts et des bénéfices

2.1 Les enjeux

L'analyse des coûts et des bénéfices¹ constitue la plus importante des informations requises pour les décisions d'investissement. Il s'agit d'une procédure permettant d'évaluer l'utilité d'un projet à travers le surplus exprimé en termes monétaires qu'il dégage en comparant ses coûts et ses bénéfices. Les idées de base de l'ACB remontent à 1844 ([23]), mais c'est entre 1939 et 1960 que cette analyse connaît son véritable essor, notamment grâce à M. Allais, P. Massé et M. Boiteux (voir par exemple [2], [37] ou [8]).

¹Nous utilisons ce terme à la suite de J.-J. Laffont, là où d'autres emploient le terme d'analyse des coûts et des avantages.

Au niveau européen, cette analyse est aujourd’hui explicitement exigée par les nouveaux règlements régissant les fonds structurels pour l’appréciation des grands projets : elle sert d’instrument de prise de décisions collectives entre la Commission européenne, les états membres, les auteurs du projet, *etc.* (cf. [29], [30] ou [34]). Dans [30], les auteurs recommandent que l’ACB énonce les points suivants :

- l’objectif de la nouvelle infrastructure,
- les raisons qui motivent sa réalisation,
- une description de l’infrastructure actuelle que remplacera l’infrastructure nouvelle,
- un aperçu des problèmes et des risques que comporte l’infrastructure actuelle,
- une description du fonctionnement de la nouvelle infrastructure,
- une énumération des bénéfices espérés,
- les problèmes ou risques qu’implique la nouvelle infrastructure,
- une estimation des coûts que pourrait comporter un possible échec de l’infrastructure,
- un état des coûts de l’infrastructure actuelle,
- les bénéfices qui seront réalisés,
- un aperçu de sa durée de vie possible.

Concrètement, cette analyse comporte deux types d’évaluations distinctes : l’analyse socio-économique et l’analyse financière. Bien que ces deux analyses reposent sur des éléments communs, elles sont souvent effectuées de manière assez autonome.

2.2 Les pratiques

2.2.1 L’analyse socio-économique

L’analyse socio-économique évalue la contribution du projet au bien-être économique de la région ou du pays. Elle est réalisée au nom de l’ensemble de la société (et pas au nom du gestionnaire de l’infrastructure, comme dans l’analyse financière). Dans le domaine des transports, les objectifs socio-économiques sont généralement liés à l’amélioration des conditions de voyage pour les marchandises et les passagers, ainsi qu’à l’amélioration de la qualité de l’environnement et du bien-être de la population bénéficiaire.

Le secteur des transports étant souvent caractérisé par l’existence de “tarifs administratifs” (lorsque les modes de transports collectifs sont subventionnés par exemple) et de coûts “externes” (les coûts environnementaux tels que

la pollution, le bruit ou les accidents), l'analyse économique permet donc d'éclairer certains aspects spécifiques. Elle comporte trois phases :

1. *la correction des taxes/subventions et autres transferts* : on déduit des flux de l'analyse financière les paiements qui n'ont pas de contrepartie réelle en ressources, comme les subventions et taxes indirectes sur les intrants et les extrants,
2. *la correction des externalités* : on inclut dans les sorties et les entrées les coûts et avantages externes pour lesquels il n'existe pas de cash-flow (comme le temps épargné par l'investissement dans les transports par exemple),
3. *la conversion des prix du marché en prix fictifs* : on inclut les coûts et avantages sociaux.

Les résultats de cette analyse peuvent être exprimés de différentes manières, notamment par le *taux de rentabilité économique* (TRE qui est un indicateur de la profitabilité socio-économique d'un projet défini comme le rapport entre l'excédent brut d'exploitation et le capital).

Pour une présentation plus détaillée de l'analyse socio-économique, notamment dans le secteur des transports, on pourra consulter [29] ou [30].

2.2.2 L'analyse financière

L'objet de l'analyse financière est d'utiliser les prévisions du cash-flow (flux de trésorerie) du projet afin de calculer des taux de rendement appropriés : la *valeur actuelle nette* (VAN) et le *taux de rentabilité interne* (TRI). Dans le secteur des transports, cette analyse sera généralement conduite du point de vue du gestionnaire public ou privé de l'infrastructure.

Le critère fondamental de l'analyse financière est la VAN, qui mesure la création de valeur engendrée par l'investissement. Elle est donnée, pour l'horizon n (durée de l'amortissement ou durée de la concession), par la formule suivante :

$$\text{VAN}(S, r) = \sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+r)^t} + \frac{R_n}{(1+r)^n}, \quad (1)$$

où S_t est le flux financier² net pour l'année t , $S = (S_0, \dots, S_n)$, r est le taux d'actualisation choisi dont la valeur est fixée par le Commissariat Général du Plan ([39]) et R_n est la valeur résiduelle de l'investissement en période n .

²Le flux financier net S_t dépend de l'excédent brut d'exploitation ainsi que des investissements effectués.

Si la VAN de l'investissement est positive, cela signifie que la recette totale actualisée est supérieure aux dépenses actualisées : l'investissement est rentable au taux d'actualisation choisi. Le critère d'acceptation est donc que la VAN soit positive en prenant comme taux d'actualisation le taux du marché.

Il existe dans l'analyse financière un critère auxiliaire, le TRI. Le TRI d'un projet est le taux qui annule la VAN. L'investissement est rentable si le TRI obtenu est supérieur ou égal à un taux d'actualisation fixé. Bien que très utilisé, ce critère peut dans certains cas être un faux ami. En effet, lorsqu'il y a plusieurs changements de signe dans le flux de trésorerie d'un projet, ce projet peut présenter plusieurs taux de rentabilité interne. Dans ce type de situation, le critère à retenir est alors celui de la VAN, mais une étude de sensibilité de la VAN au taux d'intérêt r est conseillée. Plaçons-nous par exemple en temps continu (T désigne l'horizon de temps considéré), on a alors :

$$VAN(S, r) = \int_0^T S_t e^{-rt} dt,$$

et donc

$$\frac{\partial VAN(S, r)}{\partial r} = - \int_0^T t S_t e^{-rt} dt.$$

En règle générale, $\frac{\partial VAN}{\partial r} < 0$, mais on peut avoir $\frac{\partial VAN}{\partial r} > 0$ dans certains cas où S_t est négatif pendant certaines périodes. Cette situation est représentée sur la Figure 1.

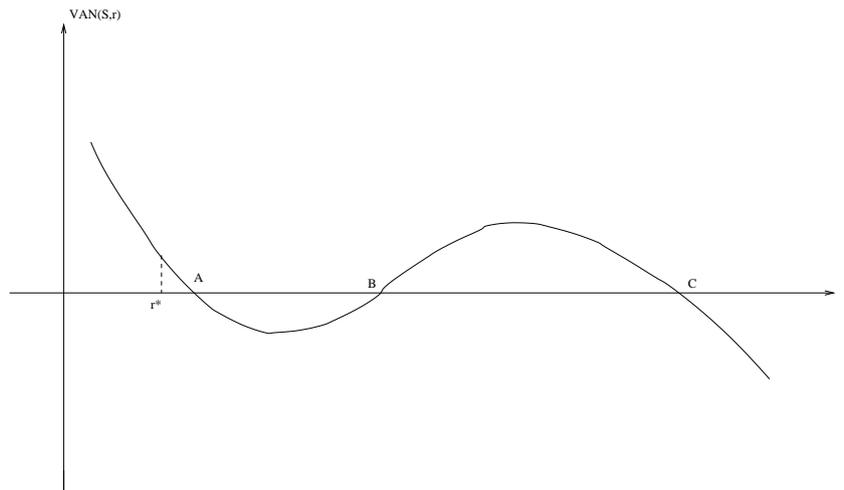


FIG. 1 – Sensibilité de la VAN au taux d'intérêt

Sur ce schéma, A , B et C sont les différents TRI du projet. On note r^* le taux du marché. On observe alors que le critère de la VAN va être très sensible au paramètre r : en sous-estimant le taux d'intérêt on aura une VAN positive, alors qu'en le surestimant légèrement (si $r^* > A$ mais $r^* < B$), on aura une VAN négative.

Le critère de la VAN suppose que les revenus dégagés sont réinvestis au taux d'actualisation alors que le critère du TRI suppose un réinvestissement au taux trouvé : le critère du TRI peut ainsi être très optimiste. Il semble donc souhaitable de privilégier le critère de la VAN. Pour plus de détails sur l'analyse financière, on pourra se reporter à [21].

Dans l'ACB, l'appréciation d'un projet d'investissement se fait toujours par rapport à un projet d'investissement alternatif (statut quo ou solutions alternatives). On peut pour cela utiliser l'un des critères de décision usuels en avenir incertain non probabilisable, à savoir le critère de Savage (ou critère "Min-Max" de regret). Ce critère consiste à identifier pour chacun des scénarios le projet le plus favorable, puis à évaluer le manque à gagner que représenterait par rapport à ce projet l'adoption de chacun des autres projets, et enfin à retenir le projet conduisant au plus petit des regrets maximums. Ce critère de décision traduit clairement une attitude de prudence de la part de l'investisseur.

Supposons par exemple qu'un décideur ait à choisir un projet d'infrastructures parmi trois projets A (solution de référence), B et C ayant comme VAN respectives (en millions d'euros) dans les scénarios ξ_1 et ξ_2 :

	ξ_1	ξ_2
A	19.8	19
B	18.2	20
C	21.3	18.4

TAB. 1 – VAN associées au projet

On commence tout d'abord par déterminer pour chacun des scénarios le projet ayant la plus grande VAN : il s'agit pour ξ_1 du projet C , et pour ξ_2 du projet B . On en déduit la matrice des regrets suivante :

	ξ_1	ξ_2	regret maximum
<i>A</i>	1.5	1	1.5
<i>B</i>	3.1	0	3.1
<i>C</i>	0	1.6	1.6

TAB. 2 – Matrice des regrets associée au projet

On recherche alors le minimum des regrets maximaux, qui correspond ici au projet *A*. Ce critère conduit donc à retenir le seul projet dont la VAN n'est maximale dans aucun scénario.

Concernant les investissements en infrastructures par exemple, il est souhaitable d'inclure des comparaisons avec la situation antérieure (*A* dans l'exemple précédent), avec les itinéraires alternatifs, et enfin avec les systèmes de transport alternatifs éventuels dans le cadre de projets routiers. La solution de référence correspond généralement à une décision de ne rien faire. Toutefois, dans certains cas, cela peut créer un problème dans le secteur des transports. En effet, si la solution de référence était "catastrophique", *i.e* si la décision de ne pas investir entraînait une paralysie du trafic et donc un coût social élevé, tout projet entraînerait des avantages importants, quel que soit son prix. Dans le cas d'un phénomène de congestion grave, pour éviter de déformer les résultats de l'analyse, il est donc nécessaire de configurer une solution de référence intégrant des interventions minimales.

Les idées générales de l'ACB ayant été rappelées, intéressons-nous maintenant à la façon dont le risque est intégré dans le choix de projets.

2.3 Risque, incertitude et choix de projets

Comme nous l'avons dit dans l'introduction, l'un des objectifs principaux de ce document est de réfléchir à la prise en compte du risque et de l'incertitude dans l'évaluation de projets d'investissements. Il est donc important de bien distinguer ces deux notions : nous parlerons de risque lorsque les résultats futurs (revenus, coûts) ne sont pas connus de manière certaine, mais sont entachés d'aléas, auxquels le modélisateur peut associer une loi de probabilité. Si cette opération n'est pas possible, on parle d'incertitude, et c'est alors à chaque individu (modélisateur ou preneur de décision) de se représenter les lois de probabilités gouvernant les événements aléatoires.

La distribution des aléas peut être estimée à partir de données historiques. Notons néanmoins que lorsque les événements sont rares (par exemple, ca-

tastrophes naturelles, instabilité politique, etc), le modélisateur sera obligé de postuler des lois de probabilité. La notation correspondante dans ce cas est celle de probabilités subjectives, telle qu'introduite par Savage. Lorsque le modélisateur ignore totalement les probabilités des événements rares, l'incertitude est totale et des critères de type "Min-Max" sont recommandés.

Le risque et l'incertitude restent encore largement absents de l'ACB. La prise en compte de l'incertitude est plus difficile si la période d'actualisation est plus longue car les aléas ont dans ce cas plus de chance de se réaliser, se combiner, et avoir des conséquences plus significatives. Dans beaucoup d'études pratiques, les travaux permettant d'estimer la demande et les coûts se contentent de prendre des taux de croissance constants, qui sont de plus en plus discutables lorsque la période considérée est plus longue. Non seulement les taux de croissance ne sont pas constants, mais de plus ils sont entachés d'aléas. Pour prendre en compte l'aléa, il est nécessaire de caractériser les lois de probabilité associées à l'évolution de la demande et l'évolution des coûts. Une approche simple consiste à spécifier la manière dont la variabilité des prédictions (sur la demande et les coûts) augmente au cours du temps. De cette manière, on associe l'économétrie à l'ACB. Cette démarche est nouvelle et reste à être développée.

2.3.1 Risque et incertitude

Lorsque l'avenir est probabilisable (cf [31]), on peut continuer à utiliser des critères de type de celui du bénéfice actualisé (analyse socio-économique) ou de la VAN (analyse financière) : si le taux d'intérêt r est exogène, il suffit de pondérer les variables par leur probabilité respective de façon à pouvoir calculer pour chaque projet en concurrence l'espérance mathématique de la VAN,

$$\mathbb{E}[\text{VAN}(S, r)] = \sum_{t=0}^n \frac{\mathbb{E}[S_t]}{(1+r)^t}, \quad (2)$$

ou sa variance

$$\text{var}[\text{VAN}(S, r)] = \sum_{t=0}^n \frac{\text{var}[S_t]}{(1+r)^{2t}} + 2 \sum_{t \neq t'} \frac{\text{cov}(S_t, S_{t'})}{(1+r)^{t+t'}}, \quad (3)$$

avec $\text{cov}(S_t, S_{t'})$ la covariance de S_t et $S_{t'}$. L'approche moyenne-variance décrite ici constitue une première approximation permettant de tenir compte d'éléments stochastiques dans la VAN. Nous reprendrons dans la section 2.3.3 la discussion de la VAN stochastique.

Lorsque les risques affectant les différentes variables d'un projet ne sont pas indépendants, il est utile de mener en plus une analyse plus approfondie de la distribution de la VAN ; cette analyse permettra par exemple de déterminer avec quelle probabilité la VAN d'un projet sera supérieure à une valeur donnée *a priori*.

Lorsque les risques ne sont pas probabilisables (voir [10]), il faut élaborer tous les scénarios envisageables, puis calculer pour chacun de ces scénarios les indicateurs souhaités (VAN, ...). L'emploi d'un critère issu de la théorie des jeux, tel le critère du Min-Max de regret de Savage, peut également venir compléter cette analyse de projets.

Dans le secteur des transports, il existe plusieurs *sources d'aléas* possibles :

- la demande,
- les coûts de production : facteurs de production, coûts des matières et de l'énergie, salaires, internalisation des nuisances locales ou globales (effet de serre)...
- le contexte concurrentiel et la régulation (Eurostar),
- le temps d'exécution,
- les variables économiques (macro-économiques, régionales, ...),
- les variables financières,
- les risques spécifiques à la concession (durée, obligations, rachat, déchéance,...),
- activation de clauses juridiques,
- les ressources humaines pour la gestion du projet,
- les risques géologiques (cf. la liaison Lyon-Turin).

On distingue également les risques diversifiables et les risques non diversifiables. En particulier, les chocs macro-économiques, le climat et l'environnement géo-politique qui affectent la demande sont la conséquence de chocs non diversifiables. Il est important de différencier les investissements majeurs en terme de degré de diversifiabilité. En effet, les primes de risques à prendre en compte dans l'ACB sont plus élevées pour les risques non diversifiables (voir [9]). La situation est plus complexe dans le cas des PPP (public-private partnership) étant données les difficultés à définir ex ante le partage des risques subis ex post.

Dans le secteur du transport routier par exemple, les facteurs critiques influençant la réussite d'un investissement incluent les prévisions en matière de circulation, le manque d'élasticité de l'investissement (une capacité excessive est souvent requise au début de l'exercice) ou encore l'influence décisive

des activités secondaires (l'efficacité d'une autoroute est fonction d'un bon réseau d'embranchement par exemple).

2.3.2 L'analyse de la sensibilité et des risques

L'analyse des risques consiste à étudier la probabilité qu'un projet donnera des résultats satisfaisants (en termes de VAN par exemple), ainsi que la variabilité du résultat par rapport à la meilleure estimation préalablement effectuée. La procédure actuellement recommandée pour l'évaluation des risques repose sur les deux éléments suivants : l'analyse de sensibilité et l'analyse de probabilité des risques. Une présentation plus approfondie de ces deux analyses peut être trouvée dans [29] ou [30]. Rappelons que, avant que cette procédure ne soit recommandée, le risque était pris en compte via une augmentation du taux d'actualisation. Dans la procédure actuelle, le taux d'actualisation est choisi indépendamment des risques, et une analyse explicite des risques est demandée (voir [39]).

L'objectif de l'analyse de sensibilité (voir section 7.4 du document [39]) est de sélectionner les variables et paramètres "critiques" du modèle, *i.e.* ceux dont les variations par rapport à la valeur utilisée comme meilleure estimation dans le cas de référence entraînent les modifications les plus importantes sur les indices économiques et financiers calculés (bénéfice actualisé, VAN,...). Parallèlement, les simulations financières concernent l'étude des capacités de réaction du système après un choc important. Bien évidemment, les hypothèses comportementales utilisées jouent un rôle crucial, généralement sous-estimé. Dans le secteur des transports, l'analyse de sensibilité peut se concentrer par exemple sur les coûts d'investissement et de fonctionnement ou sur la demande attendue, en particulier le trafic généré. L'analyse de probabilité des risques consiste en l'étude des probabilités d'un projet d'obtenir un taux de rendement satisfaisant et de la variabilité par rapport à la meilleure estimation du taux de rendement.

2.3.3 Prise en compte du risque dans le secteur des transports

On se limitera ci-après à l'analyse du risque en termes financiers, à titre d'exemple, la transposition à l'analyse du risque en termes économiques ne soulevant pas de difficulté particulière. Cette section est rédigée à partir de [17]³.

³Le lecteur pressé pourra passer à la Section 3, sans que la compréhension de ce document en soit altérée. Nous référons aussi le lecteur au chapitre de M. Ivaldi, dans le présent ouvrage.

VAN stochastique. Le principe du taux d'actualisation de 8% (qui est censé prendre en compte les risques) permet d'écarter des projets à rentabilité moyenne faible, mais ne s'adresse pas réellement aux sources de risques. Ce critère a aujourd'hui été abandonné. Une autre manière de modéliser le risque (lorsqu'il est modélisé) consiste à prendre le modèle déterministe et à surimposer une variable aléatoire (sur le coût, la demande, etc.). En raisonnant sur base de l'équation de la VAN, on peut ainsi en dériver une version stochastique dans laquelle on s'intéresse à la variable aléatoire VAN_{sto} :

$$\text{VAN}_{sto}(I, R, C, i) = \sum_{t=0}^n \frac{-\lambda I(t) + R(p, K_t, \epsilon, t) - C(p, K_t, \eta, t)}{(1+i)^t}$$

où R désigne le revenu du projet, C son coût, I_t est l'investissement en t , K_t représente le stock de capital en t , p le niveau des péages, ϵ et η représentent des termes aléatoires et enfin i est le taux d'actualisation. Notons que ces deux termes ϵ et η peuvent être corrélés (ces corrélations ne sont pas toujours prises en compte, même dans les simulations de Monte Carlo⁴). Dans ce cadre probabiliste, l'évaluation d'un projet se mesure par une densité de probabilité (associée à la variable aléatoire). On s'intéressera, par exemple, à la probabilité que la VAN_{sto} soit plus petite qu'une valeur cible, ou à la probabilité que VAN_{sto} soit inférieure à une valeur donnée, ou encore à la probabilité que la valeur de la VAN_{sto} soit négative (ou l'on utilisera d'autres indicateurs de performance). Cette formulation nous amènera à réfléchir à d'autres stratégies de prise en compte et de gestion des risques (voir la section 3.2.1).

Signalons enfin que les risques majeurs (les catastrophes naturelles, les attentats, les grèves de durée excessive, etc.) ne semblent être que très rarement pris en compte par les opérateurs majeurs.

Fonction de survie. L'un des risques importants pour certains types de projets (par exemple, les chemins de fer) est l'abandon du projet ou de la variante de ce projet parce que son exploitation est devenue trop coûteuse pour l'exploitant. Ceci peut survenir quand il y a un changement de la politique locale de transport ou lorsqu'une entreprise arrête ses activités. Une approche autre que l'utilisation d'une période plus courte pour le test financier serait d'utiliser une fonction de survie. L'excédent brut d'exploitation pour chaque année future serait alors pondéré par un coefficient de survie (par

⁴De façon générale une méthode de Monte Carlo estime l'espérance d'une variable aléatoire X par la moyenne arithmétique sur un échantillon de n simulations indépendantes de celle-ci : $\mathbb{E}[X] \approx \bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$. La loi forte des grands nombres assure la convergence presque sûre de \bar{X}_n vers $\mathbb{E}[X]$ et le théorème limite centrale fournit l'erreur pour n grand.

exemple 95% de survie chaque année). Les coefficients de survie peuvent être calculés pour les projets individuels (en fonction, par exemple, de la durée des mandats politiques régionaux) ou peuvent être des fonctions basées sur l'expérience. La fonction de survie fournit des résultats différents par rapport à la méthode consistant à considérer des périodes d'évaluation plus courtes. Certaines fonctions de survie (exponentielles) conduisent à des résultats similaires à l'utilisation d'un coût de capital accru.

Incitation et asymétrie d'information. Les évaluations des coûts relatifs aux travaux de construction ou de maintenance sont potentiellement biaisées parce que ces coûts ne sont pas totalement internalisés par le principal (constructeur) et parce qu'il n'existe pas un marché totalement compétitif. Les travaux pris en charge par l'agent (l'exploitant) ou par tout autre organisme ne sont pas suffisamment incitatifs étant donné que les bénéfices et les coûts ne sont pas partagés dans le cadre de contrats qui spécifient les prises en charge en cas de dépassement des coûts projetés ou en cas de rallongement de la durée des travaux.

La demande projetée est entachée de risque. Ces risques seront évalués de manière différente par les différents acteurs en présence : États, régions, opérateurs publics et privés. Les différents agents ont différents niveaux d'information, différentes incitations et différents niveaux de contrôle de la demande. La participation au risque doit être fonction de ces différences. Les asymétries d'information jouent aussi un rôle important dans les négociations en cours (modèle principal/agent). Pour plus de précisions on pourra consulter [33] ou [43] (ouvrage plus synthétique).

Partage des risques entre le principal et l'agent. La participation d'autres partenaires dans l'investissement semble importante : l'investissement dans une ligne de chemin de fer à vocation régionale constitue ainsi un exemple type d'un problème de "hold-up" en économie industrielle. En effet, une fois qu'un responsable d'infrastructure A (le principal) a consenti aux investissements (sunk cost) en infrastructure et en matériel et les a réalisés, il est tentant pour l'exploitant régional B (l'agent) de renégocier les péages vers le bas étant donnée la position captive (et asymétrique) de A (ceci sera moins le cas, une fois que les marchés seront effectivement ouverts à la concurrence internationale).

Le niveau de risque supporté par A est une fonction décroissante de sa participation dans le projet. Prenons l'exemple d'un projet qui nécessite un investissement total de 100. La rentabilité est telle que A investit 20 et les autres partenaires 80. Les bénéfices actualisés pourraient varier entre 80 et

120. Le risque pour A est donc, en termes actualisés, une rentrée nette de +20 à -20 pour un investissement de 20. Imaginons que le même projet est légèrement moins rentable et que ceci amène A à investir uniquement 10. Les risques n'ayant pas changé, A risque maintenant de +20 à -20 pour un investissement de 10. La diminution de la participation a donc donné lieu à une augmentation de ses risques. Le problème de base est que A porte tout le risque financier parce que les autres parties remettent un subside fixe au moment de l'investissement. Dans une entreprise privée, un risque accru pour un investissement nécessite une augmentation de la partie financée par des fonds propres. Cette logique semble inversée dans le cas de A.

Enfin, les différents acteurs en présence possèdent des degrés d'aversion au risque différents. De fait, une règle stricte de non dépassement d'un budget correspond à une aversion au risque localement infinie, ce qui n'est pas raisonnable. Il est vrai que les individus (par exemple, les investisseurs) se focalisent sur certains chiffres (les pertes possibles par exemple) mais il n'y a pas de raison qu'une organisation telle que A possède une aversion pour le risque localement infinie.

De plus, en toute logique, les partages du risque doivent se faire en fonction de l'aversion au risque de chacun des agents. La règle théorique de partage des risques est simple, puisqu'elle préconise que l'agent doté de l'aversion au risque la plus forte supporte la plus petite quantité de risque. Il reste à déterminer comment les différents acteurs en présence (principalement État, régions, les entreprises A et B), peuvent être classés en fonction de leur degré d'aversion au risque. Le partage des risques peut diminuer son impact pour l'ensemble des agents. Par exemple, l'entreprise B et les régions peuvent participer aux surplus et aux déficits comme le ferait le capital à risque dans le cas d'une entreprise privée.

Flexibilité des prix. Les prix peuvent être déterminés par un monopole en fonction des coûts et de la demande estimée. Ceux-ci peuvent aussi être le résultat de la concurrence entre des opérateurs privés et des opérateurs publics. La prise en compte de la concurrence ne peut être faite sans l'aide d'un modèle économique sous-jacent.

Nous avons développé, dans le cadre des projets REVENUE et FUNDING (projets européens de DG TRENEN) un outil pour l'ACB : MOLINO I (pour REVENUE I) et MOLINO II (pour FUNDING, voir [18] et [19]). Cet outil permet de calculer l'évolution des recettes (transports individuels ou en commun et transports de fret) pour des infrastructures (route, rail, air, etc.). MOLINO, qui est basé sur un modèle CES pour les usagers, ainsi que pour les entreprises, résout deux types de problèmes. Le premier est celui du choix

des agents (choix de routes ou de temps de départ). Dans ce cas, l'équilibre est un équilibre entre l'offre et la demande. Lorsque les biens sont des substituts parfaits, l'équilibre est celui de Wardrop. Sinon, il s'agit d'un équilibre qui égalise les temps de trajet généralisé attendus. Le second équilibre est un équilibre économique, en fonction de la structure du marché : monopole d'État, concurrence entre opérateurs privés, entre opérateurs privés et services publics, etc. L'impact de la flexibilité des prix, pris en compte dans MOLINO, est illustré en appendice.

Dans la section suivante, nous rappelons quelques concepts fondamentaux en économie et en finance permettant de comparer différents actifs financiers : le Modèle d'Évaluation des Actifs Financiers (MEDAF) et la notion d'ordre stochastique. Le MEDAF permet de comparer des actifs financiers suivant un critère de moyenne/variance ; la notion d'ordre stochastique est quant à elle beaucoup plus générale puisqu'elle permet de comparer des variables aléatoires multi-dimensionnelles.

3 Mesures de risque et ACB

3.1 Brefs rappels sur l'évaluation des actifs financiers

3.1.1 Le MEDAF

Le Modèle d'Évaluation des Actifs Financiers (MEDAF), ou Capital Assets Pricing Model (CAPM) développé au début des années 70 par Sharpe est utilisé pour évaluer des actifs financiers dans un marché en équilibre. Nous présentons ici les fondements de ce modèle dans son contexte originel. Pour une présentation dans le contexte de la VAN, voir le chapitre de C. Gollier dans cet ouvrage. Il est basé sur le fait que seul le risque de marché r_M , ou risque diversifiable, est rémunéré par les investisseurs dans un tel marché. La rentabilité R exigée par un investisseur est alors égale au taux de l'argent sans risque r_F majoré d'une prime de risque uniquement liée au risque de marché de l'actif :

$$R = r_F + \beta(r_M - r_F),$$

où β est le coefficient de volatilité de l'actif indiquant la relation existant entre les fluctuations de la valeur de l'actif et les fluctuations du marché.

Ce modèle est devenu la référence théorique de toute l'industrie de la finance. L'hypothèse forte de ce modèle est que, pour choisir entre différents portefeuilles possibles, les individus choisissent sur la base du rendement espéré et de la variance du rendement. On peut montrer que cela revient à

supposer que les distributions sont gaussiennes, ou bien que les individus ont des fonctions d'utilité quadratiques.

Bien que très populaires, le critère "moyenne/variance" et le critère "moyenne/écart-type", ne suffisent pourtant pas toujours à comparer deux variables aléatoires, et peuvent même conduire à des aberrations, comme le montrent P. Bernhard et G. Cohen dans [12]. En effet, supposons que l'on souhaite maximiser un rendement J pour les décisions A et B , et pour les "états de la nature" ξ_1 et ξ_2 équiprobables :

	ξ_1	ξ_2
A	0	20
B	21	21

TAB. 3 – VAN associées au projet

On a $\mathbb{E}[J(A, \xi)] = 10$ et $\mathbb{E}[J(B, \xi)] = 21$. On prend comme mesure de l'incertitude la variance : $\sigma^2(J(A, \xi)) = 100$ et $\sigma^2(J(B, \xi)) = 0$. Alors, si on choisit de maximiser $\mathbb{E}[J] + \alpha \sigma^2(J)$, avec $\alpha > 0$, la stratégie A devient préférable à la stratégie B dès que $\alpha > 0.11$. Cependant, ce résultat est absurde car la stratégie B est optimale, puisqu'elle domine (rendement supérieur) la stratégie A dans tous les états de la nature.

Une approche systématique pour comparer des variables aléatoires entre elles consiste à utiliser la notion d'ordre stochastique. Un ordre stochastique peut être vu comme un ordre partiel sur un ensemble de fonctions de répartition.

3.1.2 Ordres stochastiques et fonctions d'utilité

Supposons qu'un investisseur compare des rendements aléatoires dont il connaît les lois. Si ses préférences satisfont certaines propriétés, Von Neumann et Morgenstern (1944, voir [40]) ont montré qu'elles peuvent se représenter par l'espérance d'une fonction. Plus précisément :

Définition 1 (le critère d'espérance d'utilité). Les préférences d'un individu satisfont au critère d'espérance d'utilité s'il existe une fonction croissante u appelée fonction d'utilité telle que l'individu préfère le rendement

aléatoire X au rendement aléatoire Y si et seulement si l'espérance d'utilité de X est supérieure à celle de Y :

$$X \text{ préféré à } Y \Leftrightarrow \mathbb{E}[u(X)] \geq \mathbb{E}[u(Y)]. \quad (4)$$

La croissance de la fonction d'utilité exprime simplement le fait que l'investisseur aime la richesse. On remarque que le critère d'espérance de gain est le cas particulier obtenu pour la fonction $u(x) = x$.

La notion d'ordre stochastique permet de déterminer des conditions sur les fonctions de répartition de X et Y qui assurent que l'égalité (4) est vérifiée pour une classe de fonctions d'utilité donnée.

La dominance stochastique à l'ordre 1. Soient X et Y deux rendements aléatoires scalaires.

Définition 2 (Dominance stochastique à l'ordre 1). Le rendement X domine le rendement Y au sens de la dominance stochastique à l'ordre 1 ($X \succeq_{\text{DS1}} Y$) si et seulement si

$$\psi_X(\eta) \leq \psi_Y(\eta), \quad \forall \eta \in \mathbb{R},$$

où ψ_Z désigne la fonction de répartition de la variable aléatoire Z , pour $Z = X, Y$.

La dominance stochastique à l'ordre 1 peut également être caractérisée à l'aide des fonctions d'utilité. En effet, X domine Y au sens de la dominance stochastique à l'ordre 1 si et seulement si X est préférée à Y par tout individu dont la fonction d'utilité est croissante (individu ayant une utilité marginale du revenu positive) :

Proposition 3. *On a l'équivalence suivante :*

$$X \succeq_{\text{DS1}} Y \Leftrightarrow \mathbb{E}[u(X)] \geq \mathbb{E}[u(Y)], \quad \forall u : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \text{ croissante.}$$

Ce critère est un critère partiel qui ne permet pas de décider dans toutes les situations, par exemple lorsque les fonctions de répartition se coupent. Dans ce cas, on peut recourir au critère de la dominance stochastique à l'ordre 2.

La dominance stochastique à l'ordre 2. X et Y désignent toujours des rendements aléatoires scalaires. Introduisons la fonction ψ_X^2 qui est la primitive de la fonction de répartition :

$$\begin{aligned} \psi_X^2 : \mathbb{R} &\rightarrow \mathbb{R}^+ \\ \eta &\mapsto \int_{-\infty}^{\eta} \psi_X(\xi) d\xi, \end{aligned}$$

continue, positive, croissante et convexe.

Définition 4 (Dominance stochastique à l'ordre 2). La dominance stochastique à l'ordre 2 (DS2) est définie par :

$$X \succeq_{\text{DS2}} Y \Leftrightarrow \psi_X^2(\eta) \leq \psi_Y^2(\eta), \quad \forall \eta \in \mathbb{R}.$$

On peut montrer que la dominance stochastique à l'ordre 1 implique la dominance stochastique à l'ordre 2.

Comme pour la dominance stochastique à l'ordre 1, les fonctions d'utilité permettent également de caractériser la dominance stochastique à l'ordre 2. On peut dire que X domine Y au sens de la dominance stochastique à l'ordre 2 si et seulement si X est préférée à Y par tout individu dont la fonction d'utilité est croissante et concave (individu averse au risque et ayant une utilité marginale du revenu positive) :

Proposition 5. (Rothschild et Stiglitz, [42]) *On a l'équivalence suivante :*

$$X \succeq_{\text{DS2}} Y \Leftrightarrow \mathbb{E}[u(X)] \geq \mathbb{E}[u(Y)], \quad \forall u : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \text{ continue, croissante et concave.}$$

Moments d'ordre 3 et fonctions d'utilité. Comme nous l'avons rappelé au début de la section, le critère moyenne/variance ne suffit pas toujours à comparer deux variables aléatoires : si deux variables aléatoires ont même moyenne et même variance, ce critère ne donnera ainsi aucune indication sur la dispersion de la distribution de ces variables par rapport à un rendement de référence par exemple. Afin d'intégrer cette notion de dispersion de la distribution par rapport à un rendement de référence, il est utile de revenir à la théorie de l'utilité espérée et de considérer les moments d'ordre 3 de la fonction d'utilité. En effet dans [38] les auteurs donnent le résultat suivant :

Théorème 6. $\mathbb{E}[u(X)] \geq \mathbb{E}[u(Y)]$ pour toute fonction u telle que $u'''(x) > 0 \forall x \in \mathbb{R}$ si et seulement si les lois de X et Y diffèrent et vérifient :

- i) $\mathbb{E}(X) = \mathbb{E}(Y)$,

- ii) $\int_0^1 \int_0^z [\psi_Y(y) - \psi_X(y)] dy dz = 0,$
 iii) $\int_0^x \int_0^z [\psi_Y(y) - \psi_X(y)] dy dz \geq 0 \forall x \in [0, 1]$ et > 0 pour $x \in]0, 1[.$

Lorsque les moyennes et les variances de deux variables aléatoires sont identiques, il semble donc utile d'examiner les moments d'ordre 3 des fonctions d'utilité associées afin de mieux capter certains risques (dissymétrie des distributions).

Remarque. En économie, il semble également pertinent de s'intéresser à la dominance stochastique à l'ordre 4, car l'ordre 4 permet de faire le lien entre l'épargne de précaution et l'aversion au risque.

Signalons enfin que dans [4], la notion d'ordre stochastique a été définie pour le cas de variables aléatoires n -dimensionnelles. Ceci peut être utile lorsque l'on doit comparer des variables aléatoires en fonction de plusieurs critères : dans une ACB, on peut par exemple vouloir prendre en compte un critère financier et un critère environnemental.

Dans la dernière section de ce document, nous introduisons d'autres mesures de risque issues du monde financier, qui vont permettre de renforcer le contrôle des risques financiers d'un projet d'investissement.

3.2 Mesures de risque et ACB

3.2.1 La *Value-at-Risk* (VaR)

Définition. La VaR d'un projet correspond au *montant de pertes monétaires maximum sur un horizon de temps donné, si l'on exclut un ensemble d'événements défavorables ayant une faible probabilité de se produire.* Autrement dit, la VaR du projet associée aux pertes X , notée $\text{VaR}_X(p)$, est donc la plus petite quantité q telle que, avec une probabilité au moins égale à p , les pertes n'excèdent pas q :

$$\text{VaR}_X(p) = \min \left\{ q \mid \mathbb{P}\{X \leq q\} \geq p \right\}.$$

Ce minimum est atteint car $\psi_X(q) = \mathbb{P}\{X \leq q\}$ est croissante et continue à droite. Lorsque $\psi_X(\cdot)$ est continue et strictement croissante, $\text{VaR}_X(p)$ est l'unique solution de l'équation $\psi_X(q) = p$, ce qui correspond au niveau de probabilité p_1 sur la Figure 2. Autrement, cette équation peut n'avoir aucune solution (lorsqu'il existe une masse atomique de probabilité, comme pour p_3), ou au contraire avoir plusieurs solutions (lorsque la densité de probabilité est nulle pour une plage de valeurs, comme pour p_2).

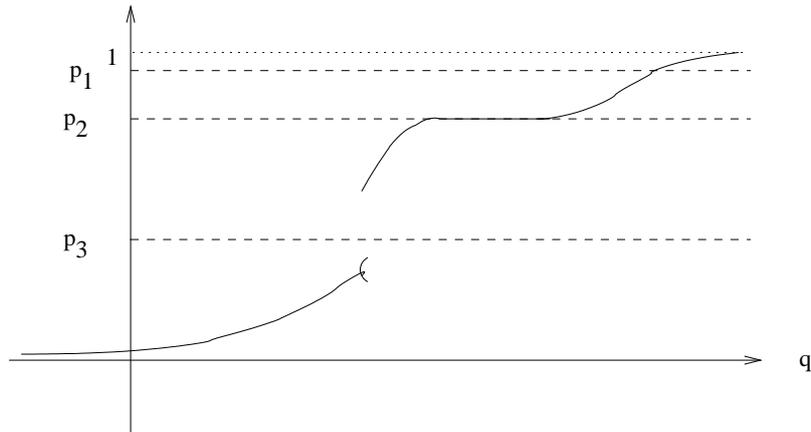


FIG. 2 – Value-at-Risk

Pour un horizon de temps donné, si la VaR à 95% d'un projet vaut 100, cela signifie que, "en l'absence d'événements exceptionnels"⁵, il y a 95% de chances que les pertes associées à ce projet sur l'horizon de temps considéré soient inférieures à 100. Ceci est illustré sur la Figure 3 représentant la fonction de répartition associée aux pertes X .

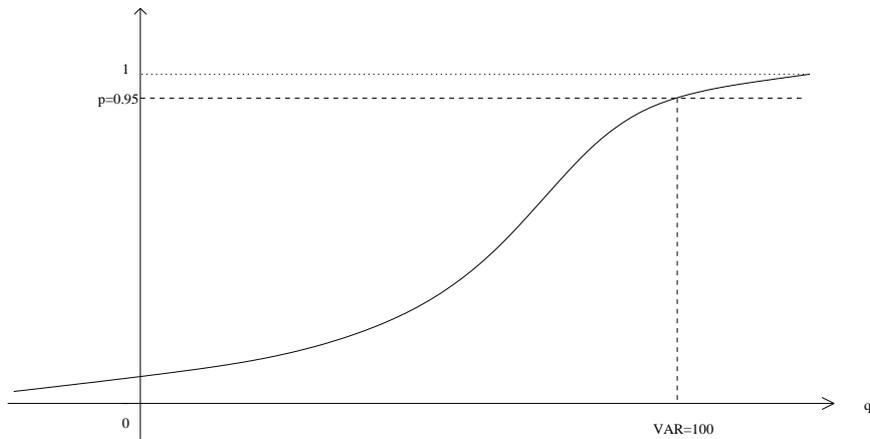


FIG. 3 – $VaR_X(0.95) = 100$

La VaR d'un projet permet donc d'exprimer en un seul chiffre le montant à risque de ce projet ; elle dépend de :

- la distribution de perte du projet en fin de période,

⁵La probabilité que l'un de ces "événements exceptionnels" se produise est ici de 5%.

- le niveau de confiance, qui est égal à 1 moins la probabilité des événements défavorables,
- la période de temps sur laquelle on désire mesurer la VaR.

Application à la gestion de projet. Dans l'évaluation d'un projet, nous proposons par exemple de calculer la VaR du projet en considérant non pas les pertes associées au projet, mais la VAN du projet. On pourrait ainsi garantir, avec une certaine probabilité, que la VAN ne serait pas inférieure à un certain seuil acceptable donné.

Remarque. Pour se ramener à des mesures de risque formulées en termes de coûts, on ne considérera pas directement la VAN, mais l'opposée de la VAN.

Méthodes de calculs. Il existe plusieurs méthodes permettant de calculer la VaR : l'analyse historique, la méthode variance-covariance et la simulation de Monte Carlo.

L'*analyse historique* repose sur l'hypothèse que la distribution des rendements observée à partir des données historiques se reproduira à l'avenir. Les avantages de cette approche sont d'une part que l'implémentation est relativement aisée, et d'autre part, qu'il n'y a aucune hypothèse sur les lois de distribution. Mais cette approche nécessite beaucoup de données historiques, et suppose implicitement que le passé va se reproduire de façon statistiquement identique, ce qui est très discutable.

La *méthode variance-covariance* repose sur l'hypothèse que les rendements du projet et des facteurs de risque ont des distributions normales. Cette hypothèse n'est pas empiriquement justifiée, mais elle permet de simplifier énormément les calculs. Si l'implémentation est aisée, le principal inconvénient de cette méthode est qu'elle sous-estime les événements rares, puisque l'hypothèse de normalité n'est pas empiriquement justifiée.

Enfin, la *simulation de Monte Carlo* est la plus rigoureuse des trois méthodes, mais elle requiert une puissance et un temps de calculs importants.

Les limites de la VaR. Si la VaR fournit un indicateur simple et global de l'exposition d'un projet au risque, elle admet cependant certaines limites.

Dans la mesure où il y a plusieurs méthodes de calcul de la VaR, il est important de se demander si la méthode de calcul choisie est adaptée au projet considéré. C'est ce qu'on appelle le *backtesting* : il s'agit de confronter la VaR calculée avec les rendements effectivement réalisés. Mais cet exercice

semble difficile à réaliser lorsque l'on évalue un projet d'investissement en raison de l'horizon d'étude considéré, plusieurs années en général (notons qu'en finance la VaR est calculée à dix jours, ce qui rend l'exercice de backtesting plus pertinent).

Une autre limite de la VaR est directement liée au concept lui-même. En effet, celle-ci ne fournit aucune indication sur l'ampleur des pertes si un événement défavorable devait se produire. Pour remédier à cette limite, on peut s'intéresser à une mesure de risque proche de la VaR, mais qui capte mieux le problème des variations extrêmes : la *Conditional Value-at-Risk*.

3.2.2 La *Conditional Value-at-Risk* (CVaR)

Définition et propriétés. Par définition, la CVaR d'un projet correspond au coût de ce projet calculé en moyenne sur les cas les plus défavorables. Elle s'écrit de la façon suivante :

$$CVaR_X(p) = \mathbb{E}[X \mid X \geq VaR_X(p)], \quad (5)$$

où X est une variable aléatoire (le coût du projet par exemple) et $VaR_X(p)$ la VaR de X pour un niveau de confiance p .

Remarque. Nous donnons ici la définition usuelle de la CVaR, valable pour des distributions de coûts continues. Pour des distributions discrètes, la définition de la CVaR est plus complexe car il s'agit d'une moyenne pondérée entre la VaR et l'espérance des coûts strictement supérieurs à la VaR.

La CVaR est caractérisée par la queue de la distribution de la variable aléatoire, et permet ainsi de contrôler la moyenne de cette variable aléatoire pour les pires scénarios. Elle possède également des propriétés intéressantes en pratique, puisqu'il s'agit d'une mesure de risque cohérente (ce qui n'est pas le cas de la VaR).

Remarque. Soit $(\Omega, \mathcal{F}, \mathcal{P})$ un espace de probabilité et \mathcal{X} un ensemble convexe de variables aléatoires de Ω dans \mathbb{R} . On rappelle qu'une mesure de risque ρ est dite cohérente si elle est :

1. monotone : si un projet coûte toujours plus qu'un autre, alors il est plus risqué, *i.e.* si $X, Y \in \mathcal{X}$ et $Y(\eta) \geq X(\eta) \forall \eta \in \mathbb{R}$, alors $\rho(X) \geq \rho(Y)$;
2. équivariante par translation : disposer d'une réserve de trésorerie pour le financement d'un projet diminue d'autant le risque de ce projet, autrement dit

$$\text{si } a \in \mathbb{R}^+ \text{ et } X \in \mathcal{X}, \quad \text{alors } \rho(X + a) = \rho(X) - a ;$$

3. positivement homogène : le risque est proportionnel à la taille du projet, *i.e.* si $b \in \mathbb{R}^+$ et $X \in \mathcal{X}$, alors $\rho(bX) = b\rho(X)$;
4. sous-additive : cette propriété garantit que la diversité diminue le risque, et concerne donc davantage la gestion de portefeuilles financiers ($\forall X, Y \in \mathcal{X}, \rho(X + Y) \leq \rho(X) + \rho(Y)$) .

En pratique, $\rho(X)$ mesurant les risques associés aux coûts X d'un projet, on ne retiendra que les projets dont les mesures de risque sont peu élevées.

Application à la gestion de projet. Afin de mieux évaluer un projet d'investissement, on pourrait par exemple envisager de calculer la CVaR associée à la VAN de ce projet. On pourrait ainsi garantir que la VAN ne serait pas en moyenne inférieure à un certain seuil acceptable donné pour les pires scénarios, autrement dit les scénarios défavorables ayant une faible probabilité de se produire.

Méthode de calcul. D'après la Définition 5, on observe qu'il faut avoir préalablement calculé la VaR pour pouvoir calculer la CVaR. En fait, le calcul de la VaR n'est pas obligatoire; Rockafellar et Uryasev ([41]) ont en effet montré que la CVaR pouvait être obtenue en résolvant un problème de minimisation, et que la VaR était solution de ce problème de minimisation :

Théorème 7 (Formule fondamentale de minimisation). *On a*

$$CVaR_X(p) = \min_{\nu \in \mathbb{R}} \left[\nu + \frac{1}{1-p} \mathbb{E}[\max\{X - \nu, 0\}] \right]. \quad (6)$$

En particulier, on a toujours

$$VaR_X(p) \in \arg \min_{\nu \in \mathbb{R}} \left[\nu + \frac{1}{1-p} \mathbb{E}[\max\{X - \nu, 0\}] \right],$$

et

$$CVaR_X(p) = VaR_X(p) + \frac{1}{1-p} \mathbb{E}[\max\{X - VaR_X(p), 0\}].$$

Remarque. Avec cette expression de la CVaR, on montre facilement que cette mesure est une mesure de risque cohérente en se rappelant que $y \mapsto \max\{y - \nu, 0\}$ est convexe et monotone. Le calcul de la CVaR s'est ainsi ramené à un problème d'optimisation classique.

Dans l'analyse de projets, il semble plus pertinent de considérer des rendements (de type VAN par exemple) que des coûts. Si l'on raisonne en termes de VAN, la quantité qui nous intéresse est

$$\mathbb{E}[VAN|VAN \leq q],$$

ce qui se réécrit en termes de coûts

$$\mathbb{E}[-VAN|-VAN \geq z].$$

En utilisant la linéarité de l'espérance conditionnelle, la CVaR s'écrit finalement

$$CVaR_{VAN}(p) = -\min_{\nu \in \mathbb{R}} \left[\nu + \frac{1}{1-p} \mathbb{E}[\max\{-VAN - \nu, 0\}] \right]. \quad (7)$$

3.2.3 *Downside risk measures*

La VaR et la CVaR sont deux des mesures de risques les plus utilisées dans le domaine de la gestion des risques financiers, aussi bien par les banques que par les investisseurs institutionnels. Mais il existe également d'autres classes de mesures de risque, dont l'une d'elles (*downside risk measures*) nous semble particulièrement bien adaptée pour la gestion de projets.

Dans cette section, $J_A(\xi)$ désigne la variable aléatoire représentant les rendements d'un projet associés à la décision A et à la variable aléatoire ξ . Pour chaque décision A , $J_A(\xi)$ est une variable aléatoire ayant une distribution induite par celle de ξ . On suppose que J_A est strictement croissante. La distribution de probabilité sous-jacente de ξ sera supposée avoir une densité, que l'on notera $\phi_A(\xi)$. Les *downside risk measures* sont des mesures définies sur la notion de moments partiels (introduite en 1977 par Bawa et Lindenberg); pour plus de détails sur cette notion, on pourra consulter [6].

Définition et propriétés. La théorie de *Downside Risk Aversion* ([7], [38]) permet de définir des mesures de risque qui sont basées sur les moments partiels de la distribution des rendements du projet d'investissement :

$$R_\gamma(\theta) = \mathbb{E} \left[(\max\{\theta - J_A(\xi), 0\})^\gamma \right] = \int_{-\infty}^{J_A^{-1}(\theta)} (\theta - J_A(\xi))^\gamma \phi_A(\xi) d(\xi), \quad (8)$$

avec $\gamma \geq 0$, θ un niveau de rendement de référence (le rendement moyen du projet par exemple).

Remarque. Le cas où $\gamma \rightarrow \infty$ correspond au risque associé au pire rendement possible (voir [26] par exemple). On retrouve la VaR en choisissant $\hat{\theta}(p)$ tel que $R_0(\hat{\theta}(p)) = 1 - p$. Lorsque $\gamma = 0$, cette mesure de risque correspond à la probabilité d'être en dessous d'un certain seuil. Lorsque $\gamma = 1$ on retrouve l'*expected shortfall*.

Un investisseur qui cherche à maximiser l'espérance mathématique de son niveau d'utilité sous ce type de contrainte de risque va donc résoudre le problème d'optimisation suivant :

$$\max_A \left(\mathbb{E}[J_A(\xi)] - M \mathbb{E} \left[\left(\max\{\theta - J_A(\xi), 0\} \right)^\gamma \right] \right), \quad (9)$$

où M est l'aversion au risque de l'investisseur. On peut alors déduire la classe de fonctions d'utilité associée aux *downside risk measures* :

$$u(x) = \begin{cases} x - M(\theta - x)^\gamma & \text{si } x \leq \theta, \\ x & \text{sinon,} \end{cases}$$

avec $M \geq 0$ (pour assurer que $u(\cdot)$ est croissante) et $\gamma \geq 0$. On se ramène ainsi à la théorie de l'utilité espérée en maximisant $\mathbb{E}[u(x)]$. En choisissant γ petit (resp. grand), l'investisseur s'intéresse aux petits (resp. grands) écarts de rendement en dessous du niveau de référence θ . Lorsque $\gamma < 1$, l'investisseur veut prendre des risques, alors que lorsque $\gamma > 1$, il est averse au risque. La fonction d'aversion relative au risque en dessous du seuil θ est :

$$ARR(x) = -\frac{x u''(x)}{u'(x)} = \frac{M x \gamma (\gamma - 1) (\theta - x)^{\gamma-2}}{1 + M \gamma (\theta - x)^{\gamma-1}}. \quad (10)$$

On observe que pour $1 < \gamma \leq 2$, l'aversion relative au risque est croissante, alors que pour $\gamma > 2$, cette aversion peut être croissante ou décroissante.

Application à la gestion de projet. Cette classe de mesures de risque nous semble particulièrement bien adaptée dans l'évaluation de projets d'investissements. En effet, considérons le cas où $\gamma = 1$; cette mesure de risque est alors appelée *expected shortfall*. Si l'on choisit comme niveau de référence la VAN de l'infrastructure existante (ce qui correspond à la décision de ne rien faire), on va pouvoir comparer différents projets en terme d'écarts moyens de leur VAN en dessous de la VAN de référence. Cette façon de mesurer le risque s'intègre ainsi facilement dans le cadre d'une ACB.

3.2.4 Ratio d'efficacité

Notons X une variable aléatoire désignant par exemple le rendement d'un projet, et θ un niveau de rendement de référence (comme le rendement du projet existant). Nous proposons d'introduire le ratio d'efficacité suivant :

$$R_{eff} = \frac{\mathbb{E}[\max\{\theta - X, 0\}]}{\mathbb{E}[\max\{X - \theta, 0\}]}.$$

Idéalement, un projet devrait avoir un ratio d'efficacité R_{eff} compris entre 0 et 1, autrement dit en moyenne et par rapport à un rendement de référence donné, les pertes seraient inférieures aux gains. Le cas où R_{eff} vaut 0 correspond à un projet dont le rendement moyen est supérieur ou égal au rendement de référence θ . Enfin, ce ratio permet également de comparer des projets risqués entre eux : plus le ratio R_{eff} est petit, plus le projet est performant.

3.3 Illustration numérique

Considérons un projet d'investissement à deux périodes, donnant pour chacun des quatre scénarios ξ_i envisagés les excédents bruts d'exploitation en millions d'euros suivants, avec $EBE0$ l'investissement initial, $EBE1$ l'excédent brut d'exploitation (EBE) à la fin de la première période et $EBE2$ l'EBE à la fin de la seconde période :

I	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4
$EBE0$	-10	-10	-10	-10
$EBE1$	10	10	5	5
$EBE2$	15	11	9	7

TAB. 4 – EBE associés au projet

Les probabilités associées à ces scénarios sont les suivantes :

	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4
probabilité	0.25	0.5	0.15	0.1

TAB. 5 – Probabilités des scénarios

On notera VAN_i la VAN du projet pour le scénario ξ_i . On prend comme taux d'actualisation $r = 10\%$. On a :

VAN_1	VAN_2	VAN_3	VAN_4
11.48	8.18	1.98	0.33

TAB. 6 – VAN associées au projet

Supposons que la VAN de l'investissement existant (seuil de référence), notée θ , soit égale à 7.

L'*expected shortfall* de ce projet vaut :

$$R_1(\theta) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \max\{\theta - VAN_i, 0\} = 1.42.$$

Ceci signifie donc l'écart moyen entre la VAN du projet I et la VAN du projet actuel sera de 1.42 millions d'euros.

Le ratio d'efficacité pour ce projet vaut

$$R_{eff} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{\max\{\theta - VAN_i, 0\}}{\max\{VAN_i - \theta, 0\}} = 0.83,$$

autrement dit, par rapport à l'investissement existant, ce projet générera en moyenne des rendements supérieurs aux pertes.

Pour calculer la CVaR d'ordre $p = 0.95$ de ce projet, on utilise la formule du Théorème 7, dans laquelle on discrétise l'espérance :

$$\begin{aligned} CVaR_{0.95}(VAN) &= -\min_{\nu \in \mathbb{R}} \left[\nu + \frac{1}{1-p} \mathbb{E}[\max\{-VAN - \nu, 0\}] \right] \\ &= -\min_{\nu \in \mathbb{R}} \left[\nu + \frac{1}{4(1-p)} \sum_{i=1}^4 [\max\{-VAN_i - \nu, 0\}] \right] \\ &= 0.33 \end{aligned}$$

Pour ce projet, on peut donc dire que la moyenne sur les 5% plus petites valeurs de VAN est de 0.33 million d'euros ; la VaR associée au projet vaut 0.33 million d'euros.

Remarque. Sur cet exemple, comme la variable aléatoire prend un nombre fini de valeurs, la CVaR est constante par morceaux : la CVaR d'ordre $p = 0.95$ est identique celle à d'ordre $p = 0.90$ par exemple ; mais cette remarque est fautive pour les VaR : la VaR d'ordre $p = 0.95$ vaut 0.33 million d'euros alors que la VaR d'ordre $p = 0.90$ vaut 1.98 millions d'euros.

Considérons maintenant un autre projet, donnant les EBE et les VAN suivants :

I	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4
$EBE0$	-10	-10	-10	-10
$EBE1$	12	12	7	7
$EBE2$	13	5	7	10

TAB. 7 – EBE associés au projet

	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4
probabilité	0.4	0.3	0.1	0.2

TAB. 8 – Probabilités des scénarios

VAN_1	VAN_2	VAN_3	VAN_4
11.65	5.04	2.15	4.63

TAB. 9 – VAN associées au projet

L'*expected shortfall* de ce projet vaut 1,55 millions d'euros, le ratio d'efficacité vaut 0.83 et la CVaR à 0.95 vaut 2.15 millions d'euros.

Sur cet exemple, on constate que ces deux projets sont comparables en termes de VAN (la VAN moyenne du premier projet vaut 7.29 millions, celle du second vaut 7.31 millions), comparables en termes d'*expected shortfall* (1.42 millions pour le premier projet, 1.55 millions pour le second) et comparables en termes de performance (un ratio d'efficacité de 0.83 pour les deux projets) ; mais un calcul de CVaR montre que le second projet est beaucoup plus risqué que le second (la CVaR vaut 0.33 million pour le premier projet alors qu'elle vaut 2.15 millions pour le second).

En termes d'analyse de projet, l'utilisation de l'*expected shortfall* et de la CVaR permet donc d'une part de mesurer l'écart moyen entre la VAN du projet et un seuil de référence (la VAN de l'investissement actuel); et d'autre part de quantifier la VAN moyenne pour les pire scénarios. Le ratio d'efficacité permet quant à lui d'évaluer la performance du projet par rapport à un projet de référence donné.

4 Conclusions, recommandations et perspectives

Dans ce document, notre objectif était de réfléchir à la façon d'intégrer les notions de risque et d'incertitude dans l'analyse des coûts et des bénéfices. Après avoir rappelé les principes de cette analyse, nous avons présenté les techniques actuelles permettant d'intégrer ces deux notions dans l'analyse des projets. L'originalité de notre travail a ensuite été de proposer d'améliorer la gestion du risque lié à un projet d'investissement en intégrant aux critères usuels d'appréciation de ce projet deux mesures de risque supplémentaires (l'*expected shortfall* et la CVaR) et un ratio d'efficacité. Ces propositions permettent de prendre en compte le risque d'une manière compatible avec la théorie économique néo-classique.

L'*expected shortfall* permet de contrôler les risques "en l'absence d'évènements exceptionnels" : elle mesure l'écart moyen de la VAN d'un projet par rapport à une VAN de référence. Cette mesure s'intègre bien dans une ACB puisqu'elle permet de comparer un projet donné à un projet alternatif. La CVaR d'ordre p permet de déterminer la moyenne sur les $(1 - p)$ plus petites valeurs de VAN d'un projet. Contrairement à l'*expected shortfall*, la CVaR va donc permettre de mesurer les risques extrêmes. Enfin, le ratio d'efficacité permet d'évaluer la performance du projet par rapport à un projet de référence donné.

D'un point de vue opérationnel, ces indicateurs de risque se calculent grâce à une méthode de Monte Carlo :

- on commence par calculer la VAN (ou toute autre variable aléatoire que l'on souhaite contrôler) pour un scénario en générant un ou plusieurs aléas modélisant les différents risques affectant la VAN (risque géologique, risque de construction, de demande...),
- en répétant ce processus sur un grand nombre de scénarios on construit la distribution de la VAN recherchée; le nombre de scénarios doit être suffisamment important pour que la distribution soit représentative

- (pour estimer le nombre de scénarios, on pourra se reporter à la convergence des algorithmes de type Monte Carlo),
- on calcule enfin à partir de cette distribution les indicateurs de risque retenus.

Au terme de ce travail, nous recommandons dans le cadre d'une analyse de projets de faire successivement :

1. l'analyse des coûts et des bénéfices pour déterminer les taux de rendements des projets (VAN et TRI) et établir des comparaisons avec la situation antérieure, et éventuellement avec d'autres projets alternatifs,
2. l'analyse de sensibilité afin de bien identifier les variables aléatoires qui ont un réel impact sur les résultats attendus,
3. le calcul de mesures de risques et d'indicateurs d'efficacité pertinents pour bien évaluer les risques financiers.

Dans notre étude, nous n'avons pas proposé de traitement spécifique en fonction du type de risque considéré. Il pourrait ainsi être intéressant par la suite de proposer de traiter différemment les risques diversifiables de grandes amplitudes et les risques non diversifiables de petites amplitudes.

Enfin, une autre voie d'amélioration possible pour ce travail pourrait être de développer les propriétés économétriques de la demande ou des coûts. On pourrait ainsi essayer de faire le lien entre l'analyse économique et l'analyse économétrique des données utilisées dans les analyses coûts bénéfices.

5 Annexe A : Flexibilité des politiques de prix

Considérons le cas d'une entreprise en condition de monopole avec demande linéaire. Nous avons :

$$\tilde{B} = -I + \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} (\tilde{a} - b p_t)(p_t - \tilde{c}),$$

où I est le taux d'actualisation, a et b les paramètres de la demande et c le coût marginal de production, avec :

$$\tilde{a}_t = \bar{a} + \epsilon_a(t) ; \tilde{c}_t = \bar{c} + \epsilon_c(t),$$

où sont des variables aléatoires de moyenne nulle.

Considérons d'abord le cas où l'entreprise qui raisonne ex-ante et qui ignore la possibilité d'adaptation des prix. Cette entreprise a des prix rigides et fait face au problème suivant :

$$\mathbb{E}[\tilde{B}] = -I + (\bar{a} p_t - b p_t^2 - \langle a, c \rangle + b p_t \bar{c}) \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t}.$$

Conditions du premier ordre : $p^* = \frac{\bar{a} + b \bar{c}}{2b}$, et

$$\mathbb{E}[\tilde{B}] = -I + \mathbb{E}[(\tilde{a}_t - b p^*)(p^* - \tilde{c}_t)] \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t},$$

avec

$$\mathbb{E}[(\tilde{a}_t - b p^*)(p^* - \tilde{c}_t)] = \Omega = \frac{(\bar{a} - b \bar{c})^2}{4b} - \langle \epsilon_a, \epsilon_c \rangle.$$

Dans ce cas, l'entreprise perd lorsque les paramètres de la demande fluctuent au cours du temps. Par contre, l'entreprise flexible, qui optimise au début de chaque période (en supposant que la réalisation de la variable aléatoire soit connue) est : $p_t = \frac{a_t + b c_t}{2b}$, de sorte que la valeur moyenne du profit est (où a_t et c_t sont les réalisations des variables aléatoires de \tilde{a}_t et \tilde{c}_t) :

$$\mathbb{E}[(a_t - b p_t)(p_t - c_t)] = \frac{(a_t - b c_t)^2}{4b} = \Phi = \frac{(\bar{a} - b \bar{c})^2}{4b} + \frac{\mathbb{E}[\epsilon_a - b \epsilon_c]^2}{4b}.$$

Dans ce cas, l'entreprise flexible peut augmenter son niveau de profit. En effet, dans le cas certain de l'entreprise qui se trouve dans un environnement certain, nous avons :

$$\mathbb{E}[(a_t - b p_t)(p_t - c_t)] = \frac{(\bar{a} - b \bar{c})^2}{4b}.$$

Par conséquent, la perte de profit due à l'incertitude est égale à : $\langle \epsilon_a, \epsilon_c \rangle$ qui peut être positif si a et c sont corrélés positivement, ou négatifs dans le cas contraire. Si les paramètres a et c ne sont pas corrélés, alors, le profit est le même avec et sans incertitude, même lorsque l'entreprise ne s'adapte pas à l'incertitude.

Notons que l'entreprise qui est flexible possède un niveau de profit plus grand comme :

$$\Phi - \Omega = \frac{\mathbb{E}[\epsilon_a + b\epsilon_c]^2}{4b} > 0.$$

Le gain de profit apporté par la flexibilité est positif et égal à (si $\beta = 1/(1+i)$) :

$$\Delta \pi = \frac{\mathbb{E}[\epsilon_a + b\epsilon_c]^2}{4b} \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} = \frac{(1 - \beta^{n+1})}{1 - \beta} \frac{\mathbb{E}[\epsilon_a + b\epsilon_c]^2}{4b}.$$

On peut ainsi donner un ordre de grandeur au gain de flexibilité. Supposons que $a = 2$, $b = 1$, $c = 1$ et que a et c sont des distributions uniformes sur $[1.5, 2.5]$ et $[2.5, 3.5]$, de variance 8.33%. Supposons que les variables sont non corrélées (pour simplifier l'exposé), que la période est de 20 ans et que le taux $i = 8\%$, nous obtenons $\beta = 0.926$ et

$$\Delta \pi = \frac{(1 - 0.926^{21})}{1 - 0.926} \frac{(8.33\%)}{2}.$$

Notons que le profit de l'entreprise (le monopole) en situation de certitude est de $4/9$. La fraction relative de profit qui peut être recouvrée si l'entreprise s'ajuste aux fluctuations de la demande et des coûts représente un peu moins que 10% de son profit.

6 Annexe B : Preuves

On donne dans cette annexe la preuve du Théorème 7. Rappelons que ce théorème montre d'une part que la CVaR peut être obtenue en résolvant un problème d'optimisation, et que d'autre part la VaR est solution de ce problème d'optimisation.

Notons $\psi(\nu) = \mathbb{P}\{X \leq \nu\}$ et considérons la fonction

$$F_p(X, \nu) = \nu + \frac{1}{1-p} \mathbb{E}[\max\{X - \nu, 0\}].$$

Considérons le cas de distributions continues et montrons que la VaR est solution du problème de minimisation. On a :

$$\frac{\partial}{\partial \nu} F_p(X, \nu) = 1 + (1-p)^{-1} [\psi(\nu) - 1] = (1-p)^{-1} [\psi(\nu) - p],$$

en annulant cette dérivée, on vérifie immédiatement que la VaR est solution de (6).

Montrons maintenant l'équation (6). Posons ν tel que $\psi(\nu) = p$. Alors $\mathbb{P}\{X \geq \nu\} = 1 - p$ et

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[X \mid X \geq \nu] &= \frac{\mathbb{E}[X \mathbb{I}_{\{X \geq \nu\}}]}{\mathbb{P}\{X \geq \nu\}} \\ &= \frac{\mathbb{E}[\nu \mathbb{I}_{\{X \geq \nu\}} + \max\{X - \nu, 0\}]}{\mathbb{P}\{X \geq \nu\}} \\ &= \nu + \frac{1}{1-p} \mathbb{E}[\max\{X - \nu, 0\}]. \end{aligned}$$

Si $\psi(\psi^{-1}(p)) = p$, alors

$$\begin{aligned} CVaR_X(p) &= \mathbb{E}[X \mid X \geq \psi^{-1}(p)] \\ &= \frac{1}{1-p} \int_p^1 \psi^{-1}(v) dv \\ &= \frac{1}{1-p} \int_{\psi^{-1}(p)}^{\infty} u d\psi(u). \end{aligned}$$

Nous donnons ci-dessous la proposition permettant de montrer que la VaR est solution de (6) dans le cas de distributions quelconques.

Proposition 8. Notons ψ la fonction de répartition d'une variable aléatoire X . Supposons que $\psi(b) \geq p$ et $\psi(b-) \leq p$. Alors

$$b + \frac{1}{1-p} \mathbb{E}[\max\{X - b, 0\}] \leq a + \frac{1}{1-p} \mathbb{E}[\max\{X - a, 0\}] \quad \forall a.$$

Cette proposition implique que si $p \in [a, b[$, alors

$$[a, b] = \arg \min \left\{ a + \frac{1}{1-p} \mathbb{E}[\max\{X - a, 0\}] : a \in \mathbb{R} \right\}.$$

Et on a en particulier,

$$\psi^{-1}(p) \in \arg \min \left\{ a + \frac{1}{1-p} \mathbb{E}[\max\{X - a, 0\}] : a \in \mathbb{R} \right\}.$$

Ceci termine la démonstration.

Références

- [1] Adler H.A., *Economic Appraisal of Transport Projects : a Manual with Case Studies*, John Hopkins University Press, Baltimore, 1987.
- [2] Allais M., *Le calcul économique publique : bilan de quinze années de recherche et de perspectives*, revue d'Économie Politique, 2, 1989.
- [3] Arrow K.J. et Lind R.C., *Uncertainty and the Evaluation of Public Investment Decisions*, American Economic Review, n60, pp 364-378, 1970.
- [4] Baccelli F. et Brémaud P. : *Elements of Queuing Theory*, Springer, Second Edition, 2003.
- [5] Bassani A., et Pouyet J., *Strategic Choice of Financing Systems in Regulated and Interconnected Industries*, présentation à l'IDEI, Toulouse, 2003.
- [6] Bawa V. et Lindenberg E., *Capital Market Equilibrium in a Mean-Lower Partial Moment Framework*, Journal of Financial Economics 5, 189-200, 1977.
- [7] Berkelaar A. et Kouwenberg R., *Dynamic Asset Allocation and Downside-Risk Aversion*, Econometric Institute Report EI 2000-12/A, 2000.
- [8] Boiteux M., *À propos de la critique de la théorie de l'actualisation*, Revue d'économie politique 5, 1976.
- [9] Donald J.S. Brean et David F. Burgess, *Risk-adjusted Discount Rates for Public Sector Investments - with illustrations for transportation*, mimeo, Université de Toronto.
- [10] Chateauneuf A., Cohen M. et Meilijson I., *Four Notions of Mean Preserving Increase in Risk, Risk Attitudes and Applications to the Rank-Dependent Expected Utility Model*, Journal of Mathematical Economics, 2004.
- [11] Chervel M., *Calcul économique public et planification : les méthodes d'évaluation de projets*, Publisud, Paris, 1987.
- [12] Cohen G. et Bernhard P. : *On the Rationality of some Decision Rules in a Stochastic Environment*, IEEE Transactions on Automatical Control, vol AC-24, no. 5, 1979.
- [13] Commission of European Communities, *Cost-Benefits and Multicriteria Analysis for New Road Construction*, Euret Program, Brussels, 1992.
- [14] Cooper D., Grey S., Raymond G. et Walker P., *Risk Management Guidelines for Projects and Complex Procurements*, Wiley, 2005.

- [15] Dean J., *Capital Budgeting*, Columbia University Press, 1951.
- [16] Dasgupta P., *Environment Management under Uncertainty*, 1982.
- [17] de Palma A. et Proost S., *Évaluation financière des projets d'infrastructures*, Note d'étude pour la RFF, 2004.
- [18] de Palma A., Proost S., Van der Loo S. et Dunkerley F., *MOLINO II a model for assessing pricing and investment strategies for transport infrastructure - with a case study*, livrable du projet FUNDING, DG TRENEN, KUL, Belgique 2006.
- [19] de Palma A., R. Lindsey, Proost S. et Van der Loo Saskia, *A Cost-Benefit Analysis of Tunnel Investment and Tolling Alternatives in Antwerp*, European Transport, sous presse, 2006.
- [20] Dinwiddy C. et Teal F., *Principles of Cost-Benefits Analysis for Developing Countries*, Cambridge University Press, 1996.
- [21] Dorval C., *Choix des investissements*, Techniques de l'Ingénieur, traité L'entreprise industrielle, 1981.
- [22] Drèze J. et Stern N.H., *The Theory of Cost-Benefit Analysis*, Handbook of Public Economics, ed. Auerbach and Feldstein, North Holland, 1987.
- [23] Dupuit J., *De la mesure de l'utilité des travaux publics*, Annales des Ponts et Chaussées, (8), 1844.
- [24] ECMT, *Reforming Transport Taxes*, 2003.
- [25] European Conference of Ministries of Transport, *Evaluating Investment in Transport Infrastructure*, Paris, 1992.
- [26] Fishburn P., *Mean-Risk Analysis with Risk Associated with Below-Target Returns*, American Economic Review, 1977.
- [27] Flyvbjerg B., Bruzelius N. et Rothengatter W., *Megaprojects and Risk, An Anatomy of Ambition*, Cambridge University Press, 2003.
- [28] Glaister S., *Fundamentals of Transport Economics*, Blackwell, Oxford, 1981.
- [29] Commission européenne, *Guide de l'Analyse Coûts-Avantages des grands projets*, 1997.
- [30] Commission européenne, *Guide de l'Analyse Coûts-Avantages des projets d'investissement*, 2003.
- [31] Héline R. et Poupard-Lafarge O., *Principes et techniques des investissements, sélection et financement*, Delmas, 1975.
- [32] Kirpatrick C. et Weiss J. (eds), *Cost-Benefit Analysis and Project Appraisal in Developing Countries*, Elgar, Cheltenham, 1996.

- [33] Laffont J.-J. and Tirole J., *A Theory of Incentives in Procurements and Regulations*, MIT Press, 1993.
- [34] Layard R. et Glaiser S. (eds), *Cost-Benefit Analysis*, 2nd edition, Cambridge University Press, 1994.
- [35] Lesourne J., *Calcul économique et réflexion sur la prise en compte des risques*, 1972.
- [36] Lind R.C., *Regressing the government's discount rate policy in the light of new theory and data in a world economy with a high degree of capital mobility*, Journal of Environmental Economics and Management, 18, pp 8-28, 1988.
- [37] Massé P., *Le choix des investissements*, Dunod, 1968.
- [38] Menezes C., Geiss C. et Tressler J., *Increasing Downside Risk*, American Economic Review, Vol. 70, No. 5, 921-932, 1980.
- [39] Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, *Instruction cadre relative aux méthodes d'évaluations économiques des grands projets d'infrastructures de transport*, 27 mars 2004 mise à jour le 27 mai 2005.
- [40] von Neuman J. et Morgenstern O., *Theory of Games and Economic Behavior*, 1953 edition, Princeton University Press.
- [41] Rockafellar R.T. et Uryasev, *Conditional Value-at-Risk for General Loss Distributions*, Journal of Banking & Finance, vol. 26, pp. 1443-1471, 2002.
- [42] Rothschild M. et Stiglitz J., *Increasing Risk : I. A Definition*, Journal of Economic Theory 2 (3), 225-243, 1970.
- [43] Salanié B., *The Economics of Contracts : A Primer*, MIT Press, 1997.
- [44] Shofield J.A., *Cost-Benefit Analysis in Urban and Regional Planning*, Allen & Unwin, London, 1989.
- [45] Wells G.R., *Highway Planning Techniques. The Balance of Cost and Benefit*, Griffin, London, 1971.