L'évaluation des risques dans les projets publics

Robert Kast et André Lapied

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/economiepublique/461>

DOI : [10.4000/economiepublique.461](https://doi.org/10.4000/economiepublique.461)

ISSN : 1778-7440

Éditeur

IDEP - Institut d'économie publique

Édition imprimée

Date de publication : 15 janvier 2003

ISBN : 2-8041-3943-3

ISSN : 1373-8496

Référence électronique

Robert Kast et André Lapied, « L'évaluation des risques dans les projets publics », *Économie publique/ Public economics* [En ligne], 10 | 2002/1, mis en ligne le 01 janvier 2006, consulté le 10 décembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/economiepublique/461> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/economiepublique.461>

économie publique public economics

Revue de l'**Institut d'Économie Publique**

Deux numéros par an

n° 10 – 2002/1

Pour toute information sur notre fonds et les nouveautés dans votre domaine de spécialisation, consultez notre site web : **www.deboeck.com**

© De Boeck & Larcier s.a., 2003
Éditions De Boeck Université
Rue des Minimes 39, B-1000 Bruxelles

Tous droits réservés pour tous pays.

Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie) partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit.

Imprimé en Belgique

D 2003/0074/221

ISSN 1373-8496
ISBN 2-8041-3943-3

économiepublique sur internet : www.economie-publique.fr

© Institut d'économie publique – IDEP

Centre de la Vieille-Charité

2, rue de la Charité – F-13002 Marseille

Tous droits réservés pour tous pays.

Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie) partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit.

La revue **économie**publique bénéficie du soutien du Conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur

ISSN 1373-8496

Robert Kast*

CNRS, GREQAM-IDEF

André Lapied**

GREQAM-IDEF

L'évaluation des risques dans les projets publics***

Résumé

L'évaluation des projets publics se fait traditionnellement par la méthode du calcul coûts-bénéfices. Nous reprenons les arguments en faveur de l'utilisation des prix de marché pour l'évaluation des projets publics à partir de fondements théoriques en termes d'Équilibre Général. Les impacts non marchands peuvent être monétarisés grâce à la méthode d'évaluation contingente. L'incertitude sur les conséquences d'un projet conduit à retenir différents scénarios dont les impacts monétaires définissent un risque financier. Nous proposons d'évaluer ce risque en l'identifiant à un portefeuille d'actifs échangés sur les marchés.

mots clés : Choix d'investissements publics, analyse coûts-bénéfices, risque et incertitude, évaluation d'actifs financiers

Summary

Traditionally, public investments are valued by cost-benefit analysis. We fetch arguments in favour of market prices to value public projects within the General Equilibrium model. Non marketed impacts can be monetarized by individual willingness to pay. Different scenarios must be retained in order to take uncertainty into account, their monetary

* CNRS, GREQAM-IDEF, 2 rue de la Charité, F 13002 Marseille, kast@ehess.cnrs-mrs.fr

** GREQAM-IDEF, Université d'Aix-Marseille, lapied@ehess.cnrs-mrs.fr

*** Cet article utilise des travaux de recherche réalisés dans le cadre de l'étude : *Modèles d'évaluation de risques controversés*, Lettre de commande N° 98 MT 93, Ministère de l'équipement, des transports et du logement, Direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques.

impacts define the risks of a public project as a financial asset. We present a valuation method for such a financial risk based on its réplication by a portfolio of marketed assets.

Key words : Project evaluation, cost-benefit analysis, risk and uncertainty, asset pricing

J.E.L. : D61, D80, G12, G13, H43

Introduction

Le projet de construction du pont de contournement de Millau par l'autoroute A75 a permis de soulever différents problèmes fondamentaux concernant les processus de décision publique. Ce projet, du fait de son ampleur, de son importance stratégique en termes d'aménagement du territoire et de ses impacts socio-économiques et écologiques fournit un exemple particulièrement complet de projet public et des problèmes d'économie publique qui peuvent se poser.

Le processus de décision d'investissements publics se fait dans un cadre réglementaire et selon des procédures codifiées¹. Les composantes économiques de ce processus comprennent notamment l'étude d'impacts, l'enquête d'utilité publique et un calcul des coûts et des bénéfices qui sert de support à la décision politique. C'est aux différentes instances des pouvoirs politiques de décider en dernier ressort, sous la contrainte d'une sanction globale, ex-post, par les élections dans les régimes démocratiques. Si les instances politiques appartiennent à un système complexe de pouvoirs en interactions, le processus de décision est, *in fine*, centralisé : l'analyse et le montage des projets sont élaborés par des technocrates qui s'appuient sur des ingénieurs et des chercheurs afin de justifier les résultats des études et les propositions. Les responsables politiques, dans le cadre des systèmes complexes qui reflètent les enjeux et les pouvoirs qu'ils contrôlent, font un choix entre les projets proposés.

L'analyse du projet a deux objectifs principaux, l'étude des différents impacts et leur évaluation, d'une part et la mise en évidence de solutions alternatives, d'autre part. L'étude d'impacts soulève un certain nombre de difficultés qui sont relatives, notamment :

- à l'identification des populations et de l'environnement concernés,
- aux méthodes d'enquête,

¹ Article 14 de la loi d'orientation des transports intérieurs, LOTI du 30 décembre 1982. Guide de recommandations : « Evaluation et économique et sociale des projets routiers interurbain », SETRA.

- à l'élaboration de scénarios cohérents,
- à l'incertitude pesant sur les conséquences futures du projet,
- à l'appréciation de cette incertitude par les experts et par le public.

L'étude des solutions alternatives présente un caractère technique soulevant des incertitudes ainsi que d'éventuelles controverses portant sur les choix technologiques et sur l'appréciation des risques. La mise en relation de facteurs d'incertitude avec les conséquences qui leur sont contingentes et plus encore l'évaluation de cette incertitude fait l'objet de controverses au niveau des experts, de l'opinion publique et des responsables politiques.

La relation qu'il s'agit d'établir entre facteurs d'incertitude et impacts est désignée ici par le terme de « risque ». Prendre un risque, c'est faire un investissement dont les conséquences ne sont pas certaines et peuvent engendrer des pertes comme des gains. Un décideur prend un risque lorsqu'il juge que l'importance relative des gains possibles par rapport aux pertes éventuelles justifie son investissement. Le mot risque est employé ici dans une acception générale qui remonte à son étymologie. La notion est financière au départ (le mot vient du vénitien, il signifie « écueil » et il caractérise l'investissement dans des cargaisons qui peuvent occasionner des bénéfices ou être perdues en mer). Plus généralement, un investissement, qu'il soit public ou privé, génère des possibilités de gains ou de pertes. L'investissement, les gains et les pertes, c'est-à-dire les impacts de la décision, ne sont généralement pas tous exprimés en termes monétaires. Si, le plus souvent, l'investissement peut être facilement calculé en termes financiers², il n'en est pas de même des impacts possibles, surtout lorsqu'il s'agit de projets publics dont les conséquences ne sont pas directement d'ordre comptable ni même économique.

Les controverses qui s'élèvent lors des études, portent sur différents niveaux :

- la faisabilité des solutions proposées (problèmes techniques entre experts) ;
- les facteurs d'incertitude influant sur les impacts (facteurs connus, facteurs mal connus, facteurs non encore identifiés par les sciences) ;
- l'évaluation monétaire de ces impacts possibles (problèmes économiques, surtout lorsque ces impacts ne correspondent pas à des valeurs marchandes) ;
- l'évaluation des facteurs d'incertitude en termes de vraisemblance (facteurs aléatoires), d'importance relative (prix des risques), de pondération reflétant l'importance attribuée aux impacts qu'ils pourraient générer (critères retenus dans la procédure de décision).

Concernant un problème de décision privé, les risques qui sont pris en compte ne sont identifiés et évalués que dans un souci d'analyse et de rationalisation des décisions (notamment afin de délimiter les responsabilités légales, de définir les

² La monétarisation d'investissements de type social, psychologique ou politique, notamment, présente toutefois les mêmes difficultés que celles rencontrées pour l'évaluation des impacts qui seront exposés ci-dessous.

besoins d'assurance ou de déterminer la couverture financière des investissements). Le critère de décision utilisé par un individu, les mesures, généralement subjectives, qu'il attribue aux facteurs d'incertitude, son comportement vis-à-vis du risque ne concernent que lui et ne suscitent pas de controverse³. Il n'en va évidemment pas de même pour un problème de décision publique, même lorsque la procédure et les critères de décision sont clairement définis et acceptés⁴.

Nous situons ce problème par rapport aux fondements de l'économie publique dans une première partie. Dans la seconde partie nous reprenons le débat sur le choix du taux d'actualisation. La troisième partie est consacrée à l'efficacité des prix de marchés pour évaluer les impacts et les risques d'un projet public. Après quelques rappels sur les résultats de la théorie des marchés financiers, nous présentons dans la quatrième partie deux approches alternatives pour pallier l'absence de marché d'actifs risqués correspondants aux risques d'un projet public. La première méthode consiste à organiser un marché de risques spécifiques, soit dans des structures traditionnelles, soit dans un cadre expérimental. La seconde approche est fondée sur des méthodes statistiques d'identification des risques auxquelles il est fait allusion dans les méthodes d'évaluation d'investissements dérivées de la finance.

1. Les fondements théoriques de l'analyse coûts-bénéfices

L'analyse coûts-bénéfices a pour objectif de mesurer, en termes de bien-être social, les inconvénients et les avantages, pour les agents économiques, d'un projet public et donc d'offrir un fondement rationnel à l'action publique.

L'analyse des décisions publiques rationnelles est considérée que le choix public d'une allocation (une répartition entre les agents des biens disponibles dans l'économie) se fait entre des allocations efficaces au sens de Pareto, pour des ressources primaires et un ensemble de technologies disponibles donnés. Ces dernières ont la propriété de ne pouvoir être améliorées par une décision unanime des agents de l'économie.

Si l'on souhaite caractériser cet optimum social par la maximisation d'une fonction de comportement, ce qui revient à transposer le formalisme de la théorie de la

³ Sauf éventuellement, ex-post, en cas de litige ou si le décideur est censé prendre des décisions au nom d'une collectivité d'individus.

⁴ Les décisions prises selon un critère donné ne susciteront pas de controverses dans la mesure où elles ne sont pas dominées par celles qui résultent d'un autre critère, un critère plus adapté au problème en question, notamment. Dans un article récent, Henry et Henry (2002) montrent que la prise en compte de l'incertitude scientifique par un critère faisant intervenir des distributions de probabilités conduira à des décisions dominées par celles qui sont obtenues par un critère plus général portant sur une diversité de distributions de probabilités possibles. Cette pluralité de distributions de probabilités est une manière de rendre compte des controverses entre experts.

décision individuelle aux décisions collectives, on a recours à une fonction de bien-être social de type Bergson-Samuelson (Bergson (1938), Samuelson (1977)). De la même façon que les fonctions d'utilité sont supposées représenter les préférences d'un agent individuel, les fonctions de bien-être social ont vocation à représenter des « préférences sociales »⁵. La référence à des fonctions d'utilité sociales requiert une comparaison entre les satisfactions des agents car le bien-être social est fonction des utilités des différents agents. On doit pouvoir dire, par exemple, si l'état s_1 , qui donne la consommation $x_a(s_1)$ et donc l'utilité $u_a(x_a(s_1))$ à l'agent a et la consommation $x_b(s_1)$ et donc l'utilité $u_b(x_b(s_1))$ à l'agent b est meilleur, du point de vue social, que l'état s_2 qui donne les utilités $u_a(x_a(s_2))$ et $u_b(x_b(s_2))$ respectivement aux agents a et b . La décision publique optimale est donc représentée par la maximisation de la fonction d'utilité sociale sous contrainte de distribuer exactement les ressources disponibles dans l'économie et produites à partir des technologies connues.

L'objectif du calcul coûts-bénéfices⁶ est d'évaluer la pertinence d'un projet public. Selon cette approche, il convient donc d'être en mesure de comparer les variations d'utilité des agents. Il est nécessaire, par exemple, de savoir si le projet P qui conduit à une variation d'utilité $\Delta u_a(P)$ de l'agent a et à une variation d'utilité $\Delta u_b(P)$ de l'agent b est préférable ou non au statu quo. Un projet public à évaluer doit nécessairement être considéré comme une possibilité nouvelle car, dans le cas inverse, le choix d'une allocation optimale décrit ci-dessus donnerait une solution implicite au problème. Supposons que ce projet corresponde à une nouvelle technologie disponible dans l'économie. Cette innovation permet d'atteindre, si elle est employée en complément des techniques traditionnelles, une allocation optimale différente de celle d'origine. Ce changement entraîne une variation des utilités individuelles des agents et donc de l'utilité collective qui en est fonction. Cette dernière variation représente l'avantage social net apporté par le projet. Celui-ci sera entrepris si et seulement si cet avantage est positif.

Le « second théorème fondamental de l'économie du bien-être » nous dit qu'il est possible d'obtenir toute allocation efficiente au sens de Pareto comme l'équilibre (général) d'une économie parfaitement concurrentielle, pour une répartition des ressources initiales entre les agents et des prix d'échange des biens. Dans ce modèle, les prix d'équilibre donnent la valeur des allocations de biens. Ceci permet d'exprimer l'avantage social net du projet comme la moyenne sur l'ensemble des agents des bénéfices (monétaires) marginaux qu'ils retirent du projet. Il

⁵ Les critiques d'une telle conception ne manquent pas, que ce soit du point de vue théorique, expérimental ou par simple introspection. On peut également craindre qu'il ne soit pas possible, dans la pratique, de comparer des caractéristiques par définition inobservables et dont la perception individuelle est fortement douteuse. Seule une pirouette permet de sortir de cette impasse. Elle consiste à voir simplement le formalisme des fonctions de bien-être social comme une représentation des choix de l'État qui sont observés. Les choix observés correspondent, du point de vue théorique, à la sélection d'états qui maximisent une fonction d'utilité sociale, sous un certain nombre de contraintes. On retrouve l'argument général justifiant la théorie du consommateur fondée sur l'ordinalisme mais l'absence d'axiomatique sur les préférences fait défaut en ce qui concerne les fonctions de bien-être social.

⁶ Cf. par exemple Drèze et Stern (1987).

s'agit d'une somme de ces bénéfices pondérés par des coefficients qui représentent l'impact du revenu des individus dans la fonction d'utilité sociale. Ces bénéfices marginaux, encore appelés consentements à payer (CAP) dans la littérature économique (*voir encadré 1*), sont définis par la valeur donnée à ce projet par un individu. Cette valorisation individuelle fait intervenir la taux marginal de substitution entre l'avantage que retire l'individu du projet et son propre revenu. Dans le cas où ces avantages correspondent à un bien marchand, les taux marginaux de substitution sont tous égaux, à l'équilibre, au prix du bien.

encadré 1

Le calcul des consentements à payer

Les bénéfices nets peuvent notamment être obtenus par des CAP (consentements à payer) à l'aide de la méthode de l'évaluation contingente.

On doit à Davis (1963) la première étude fondée sur des techniques d'enquêtes comme instrument de révélation des préférences mais la méthode d'évaluation contingente n'a connu un véritable essor qu'à partir des années quatre-vingt. En l'absence de comportements effectifs sur des marchés, la méthode d'évaluation contingente procède par interrogation directe des individus. Il s'agit d'évaluer, à l'aide de questions appropriées, combien les individus sont prêts à payer ex-ante pour une modification donnée (quantitative ou qualitative) d'un bien non marchand. Cette modification étant évaluée alors qu'elle n'est pas réalisée, les individus sont placés dans une situation hypothétique et les réponses obtenues sont des intentions. Cette situation se présente sous la forme d'une transaction, sur un marché hypothétique, entre un individu et, généralement, un décideur public. On doit alors décrire un marché hypothétique aussi crédible que possible. En pratique, on construit un scénario qui décrit l'ensemble des informations nécessaires à l'individu pour que sa déclaration traduise ce qui pourrait résulter, pour lui, d'un choix effectif, face à une transaction sur un marché. Pour cela, le bien doit être décrit avec précision : la quantité de bien, le plus souvent son niveau de qualité, les conditions dans lesquelles le bien sera produit, les mesures qui seront prises pour augmenter sa quantité ou améliorer sa qualité. Dans le scénario, il convient également de rappeler aux individus qu'ils sont confrontés à une contrainte de revenu (pour garantir que les montants révélés lors de l'enquête ne soient pas aberrants), ainsi que l'existence de biens substitués (s'ils existent). On sait, depuis les travaux de Tversky et Kahneman [1981], que les réponses des individus peuvent être modifiées en fonction de la structure du scénario ou plus généralement de la forme du questionnaire lui-même. Ce problème est connu sous le nom d'"effet de structure". On conçoit aisément, dès lors, que l'exercice est délicat, puisque les montants révélés sont dépendants de la formulation du scénario. Ainsi, au-delà des résultats spécifiques à l'économie et à la psychologie sociale, la collaboration entre ces disciplines prend, pour la définition du scénario et du questionnaire, une place essentielle.

Ces fondements microéconomiques de l'analyse coûts-bénéfices posent de nombreux problèmes au niveau des applications, du fait de limites théoriques.

On peut tout d'abord contester l'hypothèse de comparabilité des utilités individuelles. En effet, en théorie de la décision individuelle, seules l'ordinalité et la cardinalité sans comparabilité sont soutenues par des théorèmes de représentation des préférences. La comparabilité n'est obtenue que comme une condition supplémentaire *ad hoc* sur les fonctions d'utilité et n'a pu être justifiée par une axiomatique sur les préférences.

Par ailleurs, le calcul du bénéfice marginal net moyen suppose connues les pondérations des agents dans la fonction d'utilité sociale.

De manière plus fondamentale, l'existence même des fonctions d'utilité sociale est remise en cause par le célèbre théorème d'impossibilité de Arrow (1950).

encadré 2

Le théorème d'impossibilité de Arrow

Le problème des choix collectifs tient à la possibilité d'agréger des préférences individuelles ayant certaines propriétés en préférences sociales possédant elles-mêmes certaines caractéristiques jugées souhaitables. Le célèbre théorème d'impossibilité de Arrow pose des limites drastiques aux espoirs qui pouvaient être formés en ce domaine. Le point de départ est constitué par les préférences individuelles des agents sur un ensemble d'états, préférences formalisées par des pré-ordres complets. Les conditions requises sur les préférences sociales sont les suivantes :

(1) Domaine non restreint

Les préférences sociales doivent pouvoir être construites à partir de tous les pré-ordres de préférences (complets) possibles pour les agents.

(2) Indépendance par rapport aux états non pertinents

L'ordre entre deux états donné par les préférences sociales ne dépend que des ordres individuels entre ces deux mêmes états.

(3) Condition faible de Pareto

Si chaque agent préfère strictement un état à un autre, il sera aussi strictement préféré pour le pré-ordre social.

(4) Non dictature

Il n'existe pas d'individu tel que, pour toutes relations de préférences des autres agents, s'il préfère strictement un état à un autre, il sera aussi strictement préféré pour le pré-ordre social.

Il est alors possible d'énoncer le résultat suivant :

Théorème (Arrow (1950)) : *Si le nombre d'agents est fini et si l'ensemble des états S contient au moins trois éléments, il n'existe pas de pré-ordre de préférences sociales complet sur S vérifiant les conditions (1) à (4).*

Bien que le théorème d'impossibilité de Arrow soit nettement plus puissant (et donc plus destructeur), il n'est pas inutile, pour une compréhension intuitive, de le rapprocher du paradoxe de Condorcet qui date du 18ème siècle. Celui-ci montrait que des préférences sociales fondées sur des choix pris à la majorité simple peuvent ne pas être transitives, alors que les préférences individuelles à partir desquelles elles sont construites le sont.

Les fonctions d'utilité sociales de Bergson-Samuelson ne sont pas soumises au théorème d'impossibilité de Arrow si l'on admet un certain type de comparabilité des préférences. Mais, comme nous l'avons dit, l'ajout de conditions de comparabilité porte de manière ad hoc sur les fonctions et n'est pas formalisé dans l'axiomatique des préférences.

Le second théorème fondamental de l'économie du bien-être suppose que puissent être résolus les problèmes de répartition des ressources entre agents indépendamment du projet à évaluer.

Si l'on pousse ce raisonnement plus loin, on supposera qu'il est également possible de compenser les inégalités dues au projet, ce qui permet d'évaluer le bénéfice net social par la somme des bénéfices individuels des agents.

Dans un univers risqué, c'est le modèle d'Équilibre Général dans l'incertain (Arrow (1953) et Debreu (1959)) qui doit être mobilisé pour caractériser les prix d'équilibre des biens et des contrats risqués échangés. En effet, ce modèle, dans lequel l'incertitude et le temps sont formalisés par un ensemble d'états de l'économie, met en évidence des prix de contrats contingents à l'incertitude et au temps. Il introduit ainsi, au-delà des prix des biens de consommation, ceux du temps (taux d'intérêts) et ceux de contrats risqués (taux de rendements incluant des primes de risque). La distinction entre ces différents prix est plus sensible dans le modèle équivalent de Arrow (1953) qui distingue les marchés au comptant de biens et les marchés d'actifs financiers.

L'extension de l'analyse coûts-bénéfices aux situations d'incertitude se fait naturellement en proposant plusieurs scénarios qui représentent les états futurs possibles de l'économie.

On comprend bien que, malgré les précautions que l'on peut prendre, tant au niveau théorique que dans les applications et interprétations des résultats, ces derniers sont voués, en règle générale, à soulever des controverses. Ceci est particulièrement frappant pour ce qui concerne la prise en compte, la mesure et l'évaluation des risques. Les controverses portent sur :

- la définition des impacts à prendre en compte et qui seront monétarisés par les méthodes évoquées ci-dessus ;
- la définition de l'incertitude pertinente, notamment en termes de scénarios crédibles pour les évaluations d'impacts mais aussi en termes de facteurs de risque ou de conséquences, lorsque celles-ci sont si redoutables qu'on veuille les prendre en compte bien qu'elles soient hautement improbables ;

- la méthode d'évaluation employée par les experts chargés de l'étude du projet.

Dans le cas du viaduc de Millau, les interrogations portaient essentiellement sur :

- les retombées sur l'environnement (pollution mais aussi effets paysagers);
- les retombées sur la ville et la région (lieu d'arrêt ou de passage futur pour les usagers de l'autoroute);
- les ouvertures et fermetures nouvelles d'accès (à certaines vallées par exemple) que vont redistribuer les échangeurs mis en place;
- les modifications des activités touristiques (notamment l'attrait du pont en tant que réalisation monumentale, voire son utilisation comme objet récréatif et touristique).

Dans la pratique, la méthode coûts-bénéfices est évoquée, voire invoquée, alors que ses principes sont rarement respectés. En particulier, dans les études d'impacts, les évaluations sont souvent faites « à la louche » sur des avis d'experts, au lieu de découler d'études économiquement fondées. Concernant les risques, c'est-à-dire la prise en compte de l'incertitude, les raccourcis sont monnaie courante. Ils consistent généralement à réduire à quelques hypothèses le déroulement de processus dépendants de facteurs complexes. Les études, au contraire, devraient faire intervenir autant de scénarios que les individus concernés par le projet peuvent en suggérer. Plus restrictif encore est le principe qui consiste à résumer une variable aléatoire par sa valeur moyenne de manière à faire disparaître l'incertitude du problème. On sait qu'un problème de décision dans l'incertain, même au niveau individuel, ne peut pas se traiter comme un problème de contrôle déterministe. En particulier, la théorie de la décision nous enseigne qu'une variable aléatoire sera résumée par un équivalent certain qui diffère de sa valeur moyenne selon le comportement vis-à-vis du risque du décideur.

La notion d'équivalent certain, telle qu'elle a été dégagée par la théorie de l'utilité espérée, est cependant d'une application limitée pour l'évaluation de projets publics du fait de :

- ses fondements individualistes, ce qui ramène à toutes les difficultés que nous avons évoquées précédemment concernant le passage d'un critère individuel à un critère collectif;
- sa référence à une distribution de probabilités connue et fiable sans controverse sur les facteurs d'incertitude;
- son caractère statique, alors que les impacts d'un projet public s'inscrivent dans un processus dynamique, souvent à long terme.

Ces aspects établissent une similitude que nous allons exploiter entre la monétarisation des impacts et les paiements d'un actif financiers qui s'inscrivent tous deux dans un processus dynamique.

C'est pour répondre à ces exigences que l'analyse coûts-bénéfices doit être développée selon des lignes que nous pouvons résumer⁷ par :

- la prise en compte de la dynamique, notamment par le calcul, de valeurs d'options ;
- la formalisation de l'incertitude dans une optique conséquentialiste au lieu de caractériser des « états de la nature » munis ou non de distributions de probabilités ;
- le recours aux valeurs de marché comme représentant des valeurs collectives, de préférences à des valeurs individuelles.

Ainsi, dans le projet du viaduc de Millau, la prise en compte des aspects dynamiques aurait pu intégrer certains avantages résultants d'options d'utilisation, pour des usages alternatifs, des investissements nécessaires à la réalisation du projet. Par exemple, la communauté de communes de Millau a su négocier avec les constructeurs la pérennisation des voies d'accès au chantier à des fins touristiques. Concernant l'incertitude, nous verrons dans la section 4.1.3 comment les impacts sur le tourisme régional auraient pu être évalués en termes d'actif risqué. Enfin, les évaluations des coûts, comme des bénéfices attendus, n'ont été faites que sur la base d'estimations d'experts, elles ne reflètent pas la diversité des jugements et n'émergent pas de procédures d'évaluation collective telles l'agrégation par le marché.

La difficulté à déterminer des prix individuels et la forte sensibilité des résultats obtenus aux méthodes choisies ont souvent incité les économistes à utiliser les prix de marché, chaque fois que cela était possible. Les marchés sont tout d'abord des lieux d'échanges de biens, ils conduisent également à l'émergence de prix. Les prix jouent un double rôle. Ils donnent le rapport dans lequel s'échangent des biens entre eux, que ce soit directement (économie de troc) ou par l'intermédiaire de la monnaie (économie monétaire). Ils constituent également des signaux par rapport auxquels les agents économiques peuvent prendre leurs décisions. Les prix, dans une économie décentralisée et selon le mécanisme qui représente leur formation, dépendent des offres et demandes individuelles ou des prix de demande et d'offre, ce qui n'est, au fond, pas tellement différent. Dans tous les cas, les évaluations individuelles : prix maximums auxquels les demandeurs sont prêts à acheter et prix minimums auxquels les offreurs sont prêts à vendre, conditionnent l'émergence du prix de marché effectif, c'est-à-dire le prix qui sera réellement payé. En ce sens, il est possible d'affirmer que le marché (au sens de mécanisme de formation des prix) agrège les comportements individuels. Si l'on remonte un peu plus en amont du point de vue des motivations des comportements individuels, les prix agrègent les caractéristiques des agents : goûts, contraintes budgétaires, attitudes vis-à-vis du risque, anticipations, possibilités de production, contraintes d'échange.

⁷ Voir le chapitre 1 du rapport : *Modèles d'évaluation de risques controversés* ; ou les articles qui en sont tirés : Kast (1999) et Kast (2000).

Il s'agit bien évidemment d'un mécanisme d'agrégation particulier, le processus de vote dans une assemblée en est, par exemple, un autre. Le processus de formation des prix sur des marchés parfaits est la principale référence de l'analyse économique en ce domaine et ceci pour deux raisons. La première n'est pas spécialement à la gloire de la science économique : la représentation de l'équilibre sur des marchés parfaits est sans doute le seul modèle ayant un caractère de généralité et possédant une forte cohérence interne dont disposent les économistes. La seconde motivation, nettement plus avouable, tient aux propriétés de cet équilibre qui peuvent justifier son utilisation de manière normative.

2. Le choix du taux d'actualisation pour les projets publics

Si l'utilisation des prix de marché est omni-présente dans le calcul économique public, il est un domaine dans lequel son usage est particulièrement délicat, celui de la prise en compte du risque. Le problème se pose à propos de l'actualisation des coûts et des avantages dans le choix d'investissements publics. Cette question a fait l'objet d'un vaste débat qui a duré une vingtaine d'années et dont les termes apparaissent plus clairement depuis le milieu des années 80. Le débat a porté sur l'opportunité d'actualiser les projets publics au taux sans risque⁸ (taux de rémunération du marché pour les actifs dont les paiements ne sont pas soumis au risque) ou à un taux intégrant une prime de risque égale à celle qui serait payée pour un projet privé équivalent⁹.

Présentons tout d'abord les arguments en faveur de l'actualisation au taux risqué. Cette position a été notamment soutenue par Hirschleifer (1966). Elle est fondée sur le modèle d'équilibre général. Ce qui est exactement proposé par ce courant est l'actualisation des projets publics au taux qui serait appliqué par une firme évaluant un projet comparable dans la sphère privée, c'est-à-dire un projet qui donnerait la même distribution de biens dans les différents états de la nature, au sens de l'équilibre compétitif. L'argument général est que ce taux réalise l'équilibre entre les taux marginaux de substitution des consommateurs et les taux marginaux de transformation des firmes, tout écart par rapport à cette valeur conduit donc à

⁸ En dehors de la prise en compte du risque qui nous concerne ici, d'autres questions ont été abondamment discutées, notamment les distorsions dues aux imperfections des marchés et aux prélèvements publics, les problèmes spécifiques posés par le très long terme, l'existence de contraintes quantitatives (rationnements), les problèmes d'information et d'incitations, les enjeux stratégiques des décisions publiques, la question du coût marginal des fonds publics (coût réel pour le consommateur du prélèvement d'une unité de revenu), la mise en relation du choix du taux d'actualisation avec les modèles de croissance optimale.

⁹ Les investisseurs demandent un taux d'intérêt plus élevé pour rémunérer un placement risqué, la différence entre les rémunérations risquées et non risquées est appelée prime de risque. C'est la détermination de la prime de risque adéquate qui pose problème dans l'évaluation d'investissements.

des choix inefficients. Si l'on n'utilise pas cette méthode, on pourrait être amené à favoriser des projets qui payent dans des états du monde où la richesse est grande, au détriment de projets apportant de la valeur dans des états où la richesse est faible. On peut alors aboutir à un effet d'éviction des projets créant de la valeur (publics ou privés) par des projets (publics) qui détruisent de la valeur. Le fait de ne pas tenir compte du risque dans les projets publics amène donc à une allocation sous-optimale des ressources mais intégrer le prix du risque n'implique pas nécessairement plus ou moins d'investissement public.

Les arguments en faveur de l'utilisation du taux sans risque pour actualiser les projets publics sont de plusieurs types mais ils touchent essentiellement à des questions de diversification ou de partage des risques.

En ce qui concerne la diversification, on sait que le regroupement de risques qui sont indépendants réduit le risque subit; il permet même de le supprimer, à la limite, par application de la loi des grands nombres. C'est un des principes de base de l'assurance. Il est de fait que l'État a une plus grande capacité à diversifier les risques qu'un agent privé, du fait de sa taille et de la variété de ses activités. Ce qui n'est pas correct dans cet argument, eut égard au modèle d'équilibre compétitif, c'est l'évaluation globale et non individuelle des risques. Le principe du calcul coûts-bénéfices est d'évaluer, à partir d'une situation d'équilibre, une modification marginale de l'action publique.

Le second argument touche au partage des risques : la mise en commun, par un certain nombre d'individus, de risques, afin de n'en subir que des fractions supportables. C'est également un mécanisme traditionnel d'assurance. Là encore, l'État possède l'avantage de pouvoir faire supporter un risque à un très grand nombre d'individus (les contribuables). Les projets publics sont négligeables en taille devant le revenu national et on peut considérer que, pour des montants aussi faibles, il n'y a pas de perception d'un risque par les individus et donc de prime de risque. En poussant cet argument, l'État devrait se substituer à tous les investissements privés, puisqu'il répartit le risque de manière plus efficiente. Cet argument constitue le fondement d'une importante étape, due à Arrow et Lind (1970), dans ce débat. Si les rendements d'un investissement particulier sont indépendants des autres composantes du revenu national et que le risque est distribué sur un grand nombre d'individus, on doit utiliser l'espérance de rendement actualisée au taux sans risque pour juger de la pertinence d'un projet. Quand le nombre de contribuables augmente, la prime de risque de chacun et donc la prime de risque totale de la société tend vers zéro, selon un argument dérivé de la loi des grands nombres.

Le raisonnement basé sur le partage des risques a été contesté à deux niveaux. Tout d'abord le partage effectué par l'État est subi et non choisi par les agents; il peut donc peser aussi bien sur des agents qui accepteraient le risque, que sur des agents qui le refuseraient, s'ils avaient le choix. L'absence de marché d'échange des

risques publics conduit donc à une allocation sous-optimale de ceux-ci. D'autre part, la propriété publique des firmes est elle-même source de mauvaise allocation des risques, du fait de l'absence de marché d'échange des droits de propriété. Ces mécanismes d'allocation peuvent même être sanctionnés par l'actualisation des projets publics à un taux supérieur à celui retenu pour des investissements privés de même risque.

Les deux approches alternatives fournies par Hirschleifer (1966) et Arrow et Lind (1970) sont fondées sur des hypothèses totalement opposées, concernant la relation entre investissement public et privé vis-à-vis du risque. Pour le premier, à chaque type d'investissement public, on peut trouver un agent privé capable de produire un projet dont les rendements sont fortement corrélés à celui de l'investissement public. Pour les seconds, les rendements des investissements publics et privés sont non corrélés. Il restait à proposer une modélisation plus générale, où ces deux hypothèses extrêmes apparaîtraient comme des cas particuliers, ce qui a été fait par Grinols (1985). Le cadre choisi est celui d'un modèle d'Équilibre Général avec partage des risques imparfait, du fait de restrictions sur les échanges d'actifs (marchés imparfaits) et où le gouvernement maximise une fonction d'utilité sociale de type Bergson-Samuelson. Le résultat dit, en substance, que dans le cas où un projet public peut être entièrement répliqué par la sphère privée, l'évaluation publique ne diffère de l'évaluation privée que par un effet de répartition, dans la mesure où les individus ne sont pas pris en compte de manière identique dans la fonction d'utilité sociale. À l'inverse, si une partie du projet ne peut pas être répliquée dans le domaine privé, l'évaluation diffère totalement de la valeur marchande. Si nous laissons de côté les problèmes de répartition, en supposant qu'ils peuvent être résolus par ailleurs¹⁰, pour nous concentrer sur la prise en compte du risque, le point crucial porte sur la possibilité ou non de répliquer les risques associés aux projets publics par des risques évalués dans la sphère privée.

Ceci pose le problème de l'efficacité du recours à des prix de marché dans l'évaluation des impacts et des risques associés à un projet public. Concernant le problème de l'évaluation des impacts, nous avons suggéré, dans la première partie, le recours à des marchés fictifs dans les procédures d'enquête. Les consentements à payer sont en effet des valeurs monétaires des impacts, obtenues en les comparant à des biens évalués par des marchés. L'incertitude sur les impacts possibles introduit des risques qui seront assimilés à des risques financiers pour lesquels il n'existe pas de marché.

¹⁰ Même s'il est rarement optimal de résoudre séparément des sous problèmes, vouloir les traiter tous à la fois est souvent la meilleure façon de ne rien décider.

3. L'efficience des prix de marchés pour l'évaluation des risques

des bénéfices d'un projet public donné a été faite et que les problèmes de répartition des bénéfices et de collecte des coûts ont été résolus par ailleurs. Les coûts et les bénéfices monétaires sont perçus à des dates différentes et peuvent être incertains. Pour les comparer, il est nécessaire de les exprimer en montants monétaires présents équivalents. Dans une première section, nous traitons du problème du temps (actualisation des bénéfices), dans une seconde section, de celui de l'incertitude portant sur les bénéfices (équivalent certain présent) et, dans la dernière, du problème des arrivées d'informations (valeurs d'options).

3.1. Le temps : taux d'intérêts de marché et taux individuels

Un bénéfice monétaire futur doit être ramené à un montant monétaire présent équivalent, en un sens que nous allons préciser. Cette actualisation peut se faire selon deux taux d'intérêts qui ont des interprétations très différentes :

- un taux d'intérêt subjectif exprimant la préférence pour le présent du décideur, nous le noterons ρ . Ce taux est défini par l'équivalence, pour le décideur, entre la détention d'une unité monétaire présente et la détention d'un droit à percevoir $(1 + \rho)$ unités monétaires à un instant futur précisé (si ρ dépend de cet instant t , on le notera ρ_t). Cette équivalence dépend de la personnalité du décideur et/ou du type de projet en considération.
- un taux d'intérêt de marché qui suppose l'existence d'un marché d'instruments financiers correspondant à une certaine échéance (par exemple des bons du trésor). Ces instruments permettent de transférer de la monnaie présente (avec certitude) en un instant futur défini. Nous noterons r un tel taux de marché, ou r_t si l'on précise le terme t , il est défini par le prix de l'instrument P_t qui transfère de la monnaie présente contre la promesse d'une unité de monnaie en t : $P_t = 1/(1 + r_t)$.

Ces deux taux n'ont, a priori, aucun rapport, ni dans leur ordre de grandeur, ni dans leurs interprétations. Le premier est individuel. Le second reflète les interactions des intervenants sur un marché d'échange de contrats financiers. Comme les interactions sont faites par des individus, le taux de marché reflète, en particulier, l'ensemble des taux individuels. Il reflète aussi le pouvoir de négociation des individus, que celui-ci découle de la réglementation, de contraintes budgétaires individuelles ou de possibilités d'échange d'informations.

La décision collective concernant le projet en considération sera prise sur la base de la comparaison du coût du projet, K , et de son bénéfice X . Le projet est accepté

si et seulement si $X > K(1 + t)$, où t est le taux d'intérêt retenu pour le choix collectif.

Nous montrons maintenant que, s'il existe un marché parfait d'emprunts et de prêts, c'est le taux de marché, r , qui doit être utilisé pour l'actualisation. En effet, ce taux conduit à des choix qui dominent ceux effectués avec un taux subjectif ρ , quel que soit ce dernier. Envisageons plusieurs cas pour différentes valeurs de ρ et de r .

Si $K(1 + r) < X$ et $K(1 + \rho) < X$ le projet sera accepté sans controverse, il ne le sera pas si, au contraire, $K(1 + r) > X$ et $K(1 + \rho) > X$.

Si $K(1 + r) < X$, alors que $K(1 + \rho) > X$, le projet doit être accepté. En effet, il suffit d'emprunter le montant de l'investissement, K , afin de le réaliser sans dépense initiale. Le bénéfice final sera alors $X - K(1 + r) > 0$.

Inversement, si $K(1 + r) > X$, alors que $K(1 + \rho) < X$, le projet ne doit pas être accepté. En effet, en plaçant le montant de l'investissement, K , au taux r , le bénéfice obtenu est supérieur à celui du projet, X .

3.2. Le risque : portefeuille de couverture et équivalent certain présent

Nous raisonnons à présent dans la situation où les bénéfices ne sont pas connus avec certitude. Le projet sera réalisé si et seulement si l'équivalent certain présent de ses bénéfices est supérieur à son coût. Nous allons montrer que, s'il existe, c'est un équivalent certain présent de marché qui doit être utilisé puisqu'il conduit à des choix qui dominent ceux obtenus avec tout autre équivalent certain présent subjectif.

Nous supposons qu'il existe un marché (parfait et complet) d'instruments financiers permettant de couvrir cet investissement. Avec les mêmes notations que dans le paragraphe précédent, l'investissement est un montant K , les bénéfices sont représentés par une variable aléatoire X . Il est possible de former un portefeuille d'instruments financiers dont les paiements sont égaux au risque à couvrir, X et dont le coût de formation est $q(X)$.

L'équivalent certain présent de marché de X est $q(X)$. Soit $e(X)$ un équivalent certain présent subjectif quelconque, montrons que le choix basé sur $q(X)$ domine celui basé sur $e(X)$.

Si $K < q(X)$ et $K < e(X)$ alors le projet est accepté sans contestation, inversement il est rejeté si $K > q(X)$ et $K > e(X)$.

Si $K < q(X)$ alors que $K > e(X)$, le projet doit être accepté. En effet, une position à découvert sur le portefeuille de couverture pour un montant de K permet de financer le projet. Le bénéfice final sera alors : $X - K \cdot X/q(X) > 0$

Si $K > q(X)$ et $K < e(X)$, le projet ne doit pas être accepté. En effet, en formant le portefeuille de couverture on obtient les mêmes bénéfices que le projet à un coût inférieur.

On aurait pu raisonner en termes de taux, comme dans le cas précédent, en remarquant que le marché définit un taux de rendement tenant compte du risque de ce projet qui est $r(X) = X/q(X) - 1$, soit le taux de rendement du portefeuille de couverture de X . Le projet doit être réalisé si et seulement si $K[1 + r(X)] < X$.

3.3. L'information : flexibilité, irréversibilité et valeurs d'options

Dans la pratique, les bénéfices ne sont pas nécessairement obtenus à une échéance fixée à l'avance seulement; de plus, ils peuvent dépendre de décisions intermédiaires qui sont prises en tenant compte des arrivées d'informations. Dans les deux cas, la description de l'incertitude ($T3$) dépend du temps (qui peut être représenté par un ensemble discret ou continu). Le risque est alors un processus stochastique de bénéfices (engendré par une distribution de probabilités peut ne pas être connue ou peut être controversée). Si les décisions sont flexibles ou peuvent être retardées dans le temps, ou si au contraire elles ont des effets irréversibles (Henry (1974)), la description de l'incertitude ne peut pas être séparée de celle du processus de décision.

encadré 3

Les modèles financiers d'évaluation des risques

Le principe de l'évaluation par arbitrage consiste à comparer un actif avec un portefeuille d'actifs négociés qui le réplique, c'est-à-dire que l'actif à évaluer et le portefeuille ont des paiements identiques. Les conditions d'absence d'opportunité d'arbitrage stipulent que l'actif doit être évalué par le coût de formation du portefeuille qui le réplique. Ceci nous enseigne qu'un actif qui n'est pas directement échangé sur le marché peut tout de même être évalué comme s'il l'était, dans la mesure où le marché contient assez d'actifs pour le répliquer.

La formule fondamentale de la Finance exprime que le prix d'un actif peut se calculer comme une moyenne de ses paiements futurs pondérés par des taux exprimant la mesure du risque par le marché. La formulation de ce taux dépend du modèle et de la représentation de l'incertitude sur les paiements futurs.

- S'il s'agit du CAPM (*Capital Asset Pricing Model*, voir Sharpe (1970), par exemple) la représentation de l'incertitude est réduite au calcul de l'espérance et de la variance des taux de rendement des actifs à une échéance

fixée. Un portefeuille de marché (le CAC40, par exemple) définit le risque non diversifiable et la théorie nous permet d'exprimer le taux de rendement espéré de tout actif négocié (r_i) en fonction de celui du portefeuille de marché (r_M) et du taux sans risque (r_0) : $r_i = r_0 + \beta_i(r_M - r_0)$ où β_i mesure la sensibilité du titre i à la variabilité du portefeuille de marché.

- Dans les modèles dit « des actifs dérivés », dont l'origine remonte aux articles de Black et Scholes (1973) et Merton (1973), l'incertitude est représentée par des mouvements browniens. Les paiements des actifs négociés sont supposés suivre des processus stochastiques en temps continu définis de manière générale par une équation différentielle stochastique de la forme : $dS = m(S, t)dt + s(S, t)dB$, où B est le mouvement brownien (accroissements indépendants et gaussiens).

Le principe d'arbitrage appliqué à des marchés complets (tous les actifs peuvent être couverts ou répliqués par une stratégie de portefeuilles d'actifs négociés) permet alors de définir les processus de prix des actifs négociés comme une martingale¹¹ (expression dynamique de la formule fondamentale de la finance) par rapport à une mesure définie par les prix des actifs négociés. Si l'on se rapporte au modèle d'Equilibre Général, cette mesure correspond aux prix d'une unité de revenu dans un état futur de l'économie. Il s'agit donc d'une mesure du risque par le marché (appelée mesure corrigée du risque ou encore mesure risque-neutre, voir Duffie (1988) ou Kast et Lapiéd (1992), par exemple).

- Dans le modèle de Cox, Ross et Rubinstein (1979), le processus des prix est supposé binomial, il permet de définir la mesure corrigée du risque comme un taux (et son complémentaire à 1) qui correspond au prix d'un actif qui paierait 1 si le processus monte et 0 s'il descend. Il est à noter que dans ce cas discret, l'évaluation ne fait pas appel à une probabilisation objective des états. On comprend l'importance de cette remarque pour l'évaluation de risques dont la distribution de probabilités est controversée.

Les modèles de marchés financiers permettent de tenir compte du temps. Les paiements des actifs sont considérés à une échéance donnée, soit T . Les actifs sont représentés comme des variables aléatoires et les processus stochastiques de leurs prix en chaque instant de la période $[0, T]$ sont supposés connus. La théorie des marchés financiers nous enseigne alors que si le marché des actifs est complet (toute variable aléatoire peut être répliquée par une stratégie de portefeuilles d'actifs négociés), il existe une mesure bornée (qui peut être normalisée à 1 comme une distribution de probabilités), par rapport à laquelle les processus de prix actualisés sont des martingales (voir encadré).

Nous étendons le raisonnement précédent sur les taux sans risque pour calculer l'équivalent certain présent d'un risque en montrant qu'il conduit à des décisions qui dominent celles qui sont obtenues par un critère individuel.

¹¹ Le prix en chaque instant est l'espérance mathématique des paiements futurs actualisés, conditionnée par l'information présente.

Dans le cas où le risque présente des paiements intermédiaires qui ne modifient pas la décision initiale, ces derniers peuvent être capitalisés aux taux d'intérêt sans risque jusqu'à l'échéance T (selon le raisonnement que nous avons fait pour le temps). La théorie des marchés financiers nous enseigne qu'en absence d'opportunité d'arbitrage, le coût de formation du portefeuille de couverture, tel que nous l'avons défini plus haut, est égal à l'espérance mathématique des paiements actualisés par rapport à la mesure corrigée du risque. Comme nous l'avons démontré précédemment, une décision fondée sur le calcul de l'équivalent certain présent comme moyenne des paiements du risque par rapport à la mesure corrigée du risque domine tout autre calcul d'équivalent certain subjectif.

Dans le cas où le risque présente des possibilités de décisions intermédiaires en fonction des informations disponibles, le raisonnement est plus complexe. L'incertitude sur le comportement des touristes lors de leur passage à Millau nécessite d'envisager un aménagement du POS qui permette une flexibilité dans la localisation des zones commerciales. La différence entre la valeur du risque calculée sans tenir compte des arrivées d'informations et celle obtenue en utilisant l'option de modifier la décision en fonction de ces informations est connue sous le nom de « valeur d'option ». Il est aisé de montrer que la valeur d'option et donc l'équivalent certain présent d'un risque qui l'intègre, doit être calculée en se référant à la mesure corrigée du risque donnée par le marché.

Dans la partie qui suit, après avoir évoqué l'organisation de marchés, traditionnels ou expérimentaux qui permettent une évaluation directe des risques, nous présentons des méthodes statistiques qui, en l'absence de ces marchés, permettent de répliquer les risques.

4. L'évaluation des risques par un portefeuille de couverture

Les méthodes d'évaluation contingentes consistent à comparer un bien non marchand à un bien marchand de manière à en déterminer un « prix » qui corresponde à celui qu'aurait ce bien s'il était échangé sur un marché. Cette évaluation des impacts nous permet de considérer le risque associé à un projet public, c'est-à-dire l'incertitude sur les impacts possibles comme un risque financier. Le modèle de l'Équilibre Général nous montre que les prix des biens sont en relation avec ceux des actifs et des instruments qui sont échangés sur les marchés financiers. C'est donc vers ces derniers que nous nous tournons pour trouver le « prix » d'un risque dont les paiements sont définis par les prix des biens. S'agissant d'un projet à caractère industriel, il se pourrait qu'un tel risque financier soit identique à celui d'un actif ou d'un portefeuille d'actifs échangés sur une Bourse de valeurs, l'évaluation est

alors immédiate et correspond au premier cas traité par Grinols (1985), cité dans la seconde partie. Dans les autres situations, il nous faut procéder à la construction d'un portefeuille qui couvre le risque associé au projet public. En effet, le principe d'évaluation par arbitrage repose sur la réplique d'un actif par un portefeuille d'actifs négociés. L'actif répliqué doit avoir le même prix que portefeuille qui le réplique pour ne pas donner lieu à une opportunité d'arbitrage. Le portefeuille qui réplique un actif est également une couverture financière du risque représenté par cet actif. Cette couverture peut être réalisée en ouvrant un marché de risques spécifiques, marché réel ou marché expérimental, nous le verrons dans la première section. En l'absence de ces marchés, elle peut être obtenue grâce à des méthodes statistique d'identification du risque à évaluer et de celui d'un portefeuille construit pour le couvrir, comme nous l'exposons dans la seconde section.

4.1. Nouveaux marchés financiers et marchés expérimentaux

La pratique des marchés financiers consiste à créer de nouveaux marchés spécialisés dans certains risques lorsque les marchés existants ne permettent pas de couvrir (ou de spéculer) sur ces risques. En effet, à la suite des développements de la théorie dans les années 70, un nombre important de nouveaux marchés adaptés aux besoins de couverture et de spéculation ont été organisés, notamment les marchés d'options et d'instruments dérivés. Une autre approche substitue à l'ouverture de marchés réels la mise en œuvre de jeux de marchés. Elle s'inspire du courant de recherches en économie expérimentale qui ont été récemment appliquées en économie publique (Sunder (1995)). La création de marchés de contrats à terme, d'options et de contrats dérivés complexes a été florissante dans les années 80. Elle a été suivie, dans les années 90, par l'organisation de marchés encore plus spécialisés, comme celui des *cat-bonds* (*catastrophe bonds*, contrats portant sur l'occurrence de catastrophes tels les tremblements de terre) ou de *weather-derivatives* (instruments de couverture de risques climatiques). L'organisation de marchés d'instruments financiers adaptés à la couverture de risques non assurables, comme les risques environnementaux ou les risques sociaux, ne présente pas plus de difficultés théoriques, hormis celles que nous avons évoquées concernant l'évaluation des impacts. L'organisation de ces marchés nécessite de prendre des précautions particulières en ce qui concerne les délits d'initiés, les frictions et les prises de position dominantes avec le souci de se rapprocher des hypothèses de la théorie. Une fois les risques bien définis et concrétisés par des contrats financiers échangeables, la théorie nous renseigne sur les propriétés que devraient avoir les prix des contrats. Le recours aux prix de marché lève une grande partie des controverses que suscitent les évaluations individuelles d'experts ou de décideurs. Par ailleurs, l'existence de contrats adaptés aux risques facilite leur gestion dans une

optique dynamique, seule susceptible de tenir compte des phénomènes d'irréversibilité et des valeurs d'option futures.

Le recours aux méthodes expérimentales peut pallier l'absence de marchés au stade des études de projets. La méthode d'évaluation contingente fait intervenir des scénarios présentant des marchés fictifs pour les biens non marchands. La vérification des réponses apportées lors des procédures d'enquête par des jeux de marchés serait opportune, si l'on en juge par l'ampleur des discussions sur le degré de fiabilité des CAP. Concernant les risques, la méthode de révélation de CAP pose plus de problèmes au niveau théorique qu'elle n'en résout dans la pratique. Des procédures faisant jouer les acteurs au sein d'un marché expérimental, organisé de manière à respecter les hypothèses de la théorie des marchés financiers, auraient l'avantage de fournir des prix collectifs des risques respectant les principes de la théorie. Pour les mêmes raisons, la construction de jeux de marchés permettrait d'évaluer l'importance relative d'incertitudes socio-politiques qui ne sont généralement pas considérées comme des risques. L'objet de ces jeux est de faire révéler les anticipations des agents économiques en intégrant leur prise en compte des effets médiatiques et des influences qu'ils subissent durant les processus de décision publique. Ces effets et les interactions entre les individus conduisent souvent à rejeter ex-post une décision publique dont l'évaluation *ex-ante* était pourtant fondée sur les évaluations individuelles. La prise en compte du caractère incertain de l'acceptation ex-post d'un projet consiste à intégrer, dans l'étude économique, un ensemble de considérations socio-politiques qui interviennent dans l'évaluation (Kast et Luchini (2000) et (2002)). La fiabilité de l'évaluation par un marché fictif de risques réellement perçus par le public a été illustrée par des études récentes (Forsythe, Rietz and Ross (1999)) qui montrent que les résultats d'élections étaient mieux prédits par des jeux de marchés (paris sur les résultats) que par les méthodes de sondage traditionnelles.

4.2. Méthodes statistiques de réplcation des risques

Dans de nombreuses situations, il n'existe pas d'actif échangé permettant de couvrir un projet public. Dans ces cas, nous proposons de construire un portefeuille d'actifs négociés en identifiant, par des méthodes statistiques, le risque du portefeuille à celui du projet. Quelque soit la méthode employée et la théorie économique sous jacente, l'identification de deux risques repose sur l'observation de données passées ou, dans certains cas, partiellement simulées (méthodes de *bootstrap*, notamment). Concernant des risques qui n'ont pas été identifiés, dont on connaît mal ou pas du tout les causes (les « variables explicatives ») et dont l'observation a été rare ou impossible, on se heurte au problème fondamental d'absence ou d'insuffisance d'observations. On ne peut pas résoudre ce problème de manière générale, sauf à abandonner toute approche statistique. Les données concernant des actifs

négoiés sur les marchés financiers sont au contraire pléthoriques et la difficulté consiste à savoir lesquelles prendre (quels actifs et quels intervalles d'observation). Plusieurs méthodes d'identification sont possibles, elles dépendent de la formalisation de l'incertitude qui est pertinente pour le problème posé. Nous en envisageons trois : minimisation de la *tracking error*, recherche d'une relation fonctionnelle et recherche d'une relation de comonotonie entre les paiements finals.

L'apport essentiel de la méthodologie que nous proposons¹² repose sur la construction d'un portefeuille d'actifs négociés qui soit « identifiable » au risque à évaluer (qui le « réplique » ou bien qui puisse lui servir de couverture financière). En effet, la théorie de l'évaluation financière suppose connus les actifs de référence, soit par définition (actifs dérivés), soit sur la base de relations économiques justifiant une relation de causalité ou une relation fonctionnelle (déterministe ou stochastique). Chacune des méthodes d'identification amène à résoudre un programme d'optimisation dans lequel les variables de contrôle sont les coefficients des actifs (pris dans une liste donnée) qui constituent le portefeuille.

4.2.1. La méthode de minimisation de la *tracking error*

Il s'agit d'une méthode couramment utilisée dans les organismes de gestion de portefeuille afin de répliquer un indice de marché avec un nombre restreint d'actifs. L'indice de marché (par exemple le CAC40) est défini comme un portefeuille dont les coefficients varient en fonction des volumes d'échanges et des valeurs. Il s'agit donc d'une stratégie de portefeuille particulière qui définit un nouvel actif. Sous forme de SICAV, cet actif indiciel peut-être négocié. Les intermédiaires de telles SICAV ont besoin de détenir le portefeuille qu'ils vendent dans des proportions suffisantes pour ne pas se trouver à découvert lorsque les offres excèdent les demandes. La détention et surtout la gestion des 40 actions de l'indice est cependant très coûteuse, alors que toutes les actions ne sont pas nécessaires pour obtenir la performance de l'indice. C'est du moins ce qui est recherché en constituant un portefeuille formé par un nombre restreint d'actions (20, par exemple) mais dont les performances soient suffisamment proches de celles du CAC40. Il s'agit donc bien d'un problème de réplication d'un actif par un portefeuille formé à partir d'un ensemble d'actifs donnés.

La méthode de réplication choisie par les praticiens est appelée « minimisation de la *tracking error* » : il s'agit de minimiser l'écart quadratique moyen entre les taux de rendements de l'indice et ceux du portefeuille de 20 actions, sous la contrainte que le rendement espéré soit celui de l'indice. La condition d'absence d'opportunité d'arbitrage implique alors que les taux de rendements espérés de l'indice et du portefeuille soient identiques (voisins, en fait, puisque le minimum obtenu est seulement proche de zéro).

¹² Pour un exposé technique de ces méthodes voir Kast, Lapied, Pardo et Protopopescu (2001).

Cette méthode peut-être appliquée directement. Elle peut aussi être intégrée à une formalisation plus générale et servir à déterminer les prix des risques associés à des facteurs explicatifs (modèle de l'APT, *Arbitrage Pricing Theory*). Dans le modèle de l'APT, le risque à évaluer est régressé sur un ensemble de variables aléatoires « expliquant » ce risque, dans un premier temps. Pour appliquer la méthode de l'APT, il reste à évaluer les « prix des risques » (différence entre taux de rendements risqués et taux sans risque, en fait) des différents facteurs. C'est à ce niveau que la méthode de minimisation de la *tracking error* peut être employée pour « répliquer » les facteurs par des portefeuilles d'actifs négociés.

4.2.2. La recherche d'une relation fonctionnelle

L'existence d'une fonction déterministe entre deux variables aléatoires est caractérisée par le fait qu'un indice, l'indice de corrélation fonctionnelle, prenne la valeur 1. Les paiements du risque à évaluer et ceux d'actifs négociés ont des coefficients de corrélation fonctionnelle qui sont généralement différents de 1. On construit donc un portefeuille formé d'actifs négociés, de manière à maximiser ce coefficient. Cette méthode permet aussi de trouver la fonction qui relie entre eux les paiements du risque à évaluer et ceux du portefeuille; elle est estimée par une approximation de fonctions élémentaires. Cette fonction déterministe permet de considérer le portefeuille ainsi construit comme un sous-jacent virtuel du risque à évaluer. Les méthodes d'évaluation des actifs conditionnels conduisent alors au calcul du « prix de marché du risque » associé au projet public.

Le problème peut être posé dans des modèles à temps continu mais les applications à l'évaluation des projets d'investissement font le plus souvent l'objet d'une discrétisation. Dans le cas d'une discrétisation binomiale, on pourra utiliser directement un modèle discret lorsque les paiements finals du risque à évaluer sont en nombre fini.

4.2.3. La recherche d'une relation de comonotonie

La méthode d'évaluation par arbitrage pour des variables à valeurs discrètes consiste à calculer, à partir d'un système de prix d'actifs négociés, la mesure corrigée du risque sur les états de la nature. S'agissant d'actifs financiers évalués sur un marché, le processus des prix peut, sous un certain nombre d'hypothèses vérifiables, être approché par un processus binomial. Dans ce cas, il suffit d'un actif risqué et d'un actif sans risque pour déterminer la mesure corrigée du risque. Dans les problèmes d'applications de ce modèle, il est difficile de caractériser les « états de la nature ». Une manière de surmonter cette difficulté consiste à identifier les états de la nature avec les paiements discrets d'un actif financier. La recherche d'une relation de comonotonie permet de trouver un actif qui caractérise au mieux les états de l'actif à évaluer. Deux variables sont comonotones si et seulement si leurs

accroissements entre deux états sont de même signe (on peut alors considérer que les « causes » des variations de l'une sont identiques aux causes des variations de l'autre). On peut montrer¹³ que ceci est équivalent à l'existence d'une fonction croissante qui relie ces deux variables, strictement croissante si toutes les valeurs sont différentes. L'existence de cette fonction est donc suffisante pour prouver que la description par un arbre binomial de l'incertitude pertinente pour l'actif négocié est également adaptée à l'actif qui lui est comonotone. Par conséquent, la mesure corrigée du risque calculée à partir du processus des prix de l'actif négocié sera appliquée à l'actif qui lui est comonotone.

L'indice de Kendall égal à 1 (Gibbons (1985)) indique que deux actifs sont comonotones. On construira donc un portefeuille d'actifs négociés qui maximise l'indice de Kendall entre ses paiements et ceux du risque du projet public. La difficulté vient de ce que l'indice de Kendall se fonde uniquement sur les valeurs observées et ne fait donc pas apparaître les coefficients du portefeuille qu'on cherche à déterminer. La programmation doit alors passer par des méthodes particulières telle la méthode « du recuit simulé » ou celle des algorithmes génétiques.

Cette approche est particulièrement adaptée à l'évaluation de risques controversés. De nombreux risques associés à des projets publics sont définis pas des impacts monétaires relatifs à des scénarios. Ils sont en nombre fini et il est difficile de relier ces scénarios à des variables explicatives des risques de marché. Comme exemple d'application, prenons l'étude des impacts économiques sur le tourisme de la construction du viaduc de Millau. On dispose de données sur le nombre de séjours et le prix moyen de ces séjours dans les différents hébergements (hôtels, campings, gîtes, etc.). Ces données sont les « observations » des paiements passés de l'actif à évaluer. Il s'agit alors de construire, à partir des données observées, un portefeuille d'actifs financiers qui soit comonotone à ce risque. Ce portefeuille permet d'estimer la distribution corrigée du risque pertinente pour l'évaluation du risque « tourisme ». Concernant les impacts futurs possibles, des scénarios reliés à des valeurs de la variable « séjour » sont évalués sur la base d'enquêtes afin de constituer une liste de paiements finals pour le risque « tourisme ». Les controverses sur les effets potentiels du viaduc, qui doivent être intégrées dans les scénarios envisagés, portent sur l'évolution du type de tourisme, son développement ou sa régression, la validité des hypothèse sur l'évolution du trafic routier et de ses retombées sur les durées de visites.

D'après la théorie financière, l'évaluation du risque ainsi construit est obtenue par l'espérance mathématique actualisée des paiements finals, prise par rapport à la distribution corrigée du risque.

¹³ Voir, par exemple, Chateaneuf, Cohen et Kast (1997).

Conclusion

Le projet de construction d'un viaduc colossal franchissant les gorges du Tarn et permettant le contournement de Millau a été pris pour point de départ de réflexions sur les procédures de décision d'investissements publics. Deux problèmes se posent : celui de la monétarisation des bénéfices et/ou des dommages attendus, d'une part, celui de l'évaluation des risques, d'autre part. Ces questions ne peuvent pas faire l'économie d'une analyse globale des processus de décisions publiques. Nous les avons re-situés dans le cadre général de l'analyse coûts-bénéfices. Les fondements théoriques de cette analyse nous ont conduit à préconiser le recours aux prix de marché pour les évaluations. Les méthodes que nous avons développées consistent à rapprocher des risques non échangés de contrats financiers négociés.

La mise en cause de la mesure pertinente de l'incertitude qui pèse sur les conséquences des décisions publiques constitue une motivation essentielle de ces développements. On peut résumer le caractère particulier de cette incertitude par le fait qu'elle est généralement controversée. En pratique, cela signifie que, même si elle était mesurable par une distribution de probabilités, une telle mesure ne pourrait être directement utilisée pour calculer un équivalent certain des conséquences. Pour résoudre cette difficulté, nous avons développé une méthode de construction d'instruments financiers fictifs qui permettent de couvrir et d'évaluer les risques publics. Des méthodes alternatives consisteraient, à partir des mêmes bases théoriques, à organiser des marchés spécifiques d'échanges de risques ou bien des jeux de marchés, dans un cadre expérimental.

Références

- Arrow, K. (1950), "A difficulty in the concept of social welfare", *Journal of Political Economy*, 58, pp. 328-346.
- Arrow, K. (1953), « Le rôle des valeurs boursières dans l'allocation optimale des risques » in *Econométrie*, 40, pp 41-47, Cahiers du CNRS, Paris.
- Arrow, K. and R. Lind (1970), "Uncertainty and the evaluation of public investment decisions", *American Economic Review*, 60, pp. 364-378.
- Bergson, A. (1938), "A reformulation of certain aspects of welfare economics", *Quarterly Journal of Economics*, 68, pp. 233-252.
- Black, F. and M. Scholes (1973), "The pricing of options and corporate liabilities", *Journal of Political Economy*, 81, pp. 637-654.
- Chateauneuf, A., M. Cohen and R. Kast (1997), "Comonotone random variables in economics : A review of some results", GREQAM W.P. 97A07.
- Cox, J., S. Ross and M. Rubinstein (1979), "Option pricing : a simplified approach", *Journal of Financial Economics*, 7, pp. 229-263.
- Debreu, G. (1959), *Theory of Value*, Yale University Press.
- Drèze, J. and N. Stern (1987), "The theory of cost-benefit analysis", in *Handbook of public economics*, Auerbach A., and M. Feldstein eds, Elsevier Sciences Publishers, .
- Davis, R. (1963), "Recreation planning as an economic problem", *Natural Resources Journal*, pp. 239-249.
- Duffie, D. (1988), *Security markets - Stochastic models*, Academic Press.
- Forsythe, R., T. Rietz et Ross T. (1999), "Wishes, expectations and actions : a survey on price formation in election stock markets", *Journal of Economic Behavior and Organization*, 39, pp. 83-110.
- Gibbons, J. (1985), *Non parametric statistical inference*, Dekker.
- Grinols, E. (1985), "Public investment and social risk-sharing », *European Economic Review*, 29, pp. 303-321.
- Henry, C. (1974), "Investment decisions under uncertainty : The irreversibility effect", *American Economic Review*, 64, pp.1006-1012.
- Henry, C. et M. Henry (2002), "The precautionary principle finally formalized", Miméo, École polytechnique and Columbia University.
- Hirschleifer, J. (1966), "Investment decisions under uncertainty : applications of the state-preference approach", *Quarterly Journal of Economics*, 80, pp. 252-277.
- Kast, R. (1999), « Précaution et gestion des risques environnementaux : éléments pour la mise en pratique du principe de précaution », miméo GREQAM.

- Kast, R. (2000), « Analyse et gestion globale des risques, le nouveau rôle du calcul économique », notes de recherche de l'IDEP, NR 03/00.
- Kast, R., ed. (2000), *Modèles d'évaluation de risques controversés*, Lettre de commande N° 98 MT 93, Ministère de l'équipement, des transports et du logement, Direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques.
- Kast, R. and A. Lapied (1992), *Fondements Economiques de la Théorie des Marchés Financiers*, Economica.
- Kast, R., Lapied A., Pardo S., et Protopopescu C. (2001), « Évaluation de risques controversés par la théorie des options réelles », *Économie et Prévision*, 149, pp. 51-63, juillet-septembre.
- Kast, R. et S. Luchini (2002), « Calcul économique et incertitude socio-politique : une procédure d'évaluation dans les projets publics », à paraître dans *Économie et Prévision*.
- Kast, R. et S. Luchini (2002) "Valuation of public goods in the presence of political risk : An experimental procedure", miméo GREQAM-IDEP, janvier.
- Merton, R. (1973), "The theory of rational option pricing", *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, Spring, pp. 141-183.
- Samuelson, P. (1977), "Reaffirming the existence of 'reasonable' Bergson-Samuelson social welfare functions", *Economica*, 44, pp.81-88.
- Sharpe, W. (1970), *Portfolio Theory*, Mac Graw Hill.
- Sunder, S. (1995), "Experimental asset markets : A survey", in Hazel J., and A. Roth, eds. *Handbook of experimental economics*, Princetown University Press.
- Tversky, A. and D. Kahneman (1981), "Loss aversion in riskless choice : A reference-dependent model", *Quarterly Journal of Economics*, 106, pp. 1039-61.