

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

# **Modèles d'évaluation de risques controversés**

## **Questions méthodologiques et modèles théoriques à propos du projet du viaduc de contournement de Millau**

Responsable du projet: **Robert Kast**, Directeur de recherche CNRS,

**GREQAM/IDEP**,  
UMR 6579 du CNRS, des universités d'AIX-Marseille II et III et de l'EHESS  
2 rue de la Charité, 13 002 Marseille

**CAUSSE**  
TGM  
2 rue de la grande mégisserie, 12 100 Millau

**Rapport final, juin-septembre 2000**

**Sommaire**  
**Modèles d'évaluation de risques controversés**  
**Questions méthodologiques**  
**et modèles théoriques à propos du projet du viaduc de contournement de Millau**

**Introduction**

**Chapitre 1 Processus de décision publique et principe de précaution : le projet du viaduc de Millau**

1.1 Le projet du viaduc de Millau

1.2 Le calcul économique et le principe de précaution

1.3 Pour un nouveau calcul économique

Conclusion du chapitre 1

**Chapitre 2 Méthodes et fondements économiques de l'évaluation de risques controversés**

2.1 Rationalité et évaluations

2.1.1 Le temps : taux d'intérêts de marché et préférences individuelles pour le temps

2.1.2 Le risque : portefeuille d'actifs financiers de couverture et équivalent certain présent

2.1.3 L'information : flexibilité, irréversibilités et valeurs d'options

2.2 Les théories économiques de référence

2.3 Construction de portefeuilles de couverture virtuelle

2.3.1 La méthode de minimisation de la *tracking error*

2.3.2 Recherche d'une relation fonctionnelle

2.3.3 Recherche d'une relation de comonotonie

2.3.4 Approximation binomiale dans le calcul des prix

2.3.5 Application à un actif non négocié

Conclusion du chapitre 2

**Chapitre 3 Couverture des risques et procédures de décision publique**

3.1 Le rôle de l'épargne dans la gestion des risques

3.1.1. Le rôle de l'épargne de précaution dans les marché incomplets

3.1.2. Couverture des risques par des actifs contingents à l'activité économique

Conclusion

3.2 Perceptions de la valeur des conséquences et perceptions des risques

3.2.1 La méthode d'évaluation contingente pour les avantages non-marchands.

3.2.2 Méthodes d'enquêtes et transdisciplinarité : approche ethnologique de la perception des risques

3.3 Optimalité sociale et décisions publiques

Conclusion du chapitre 3

## **Conclusion générale**

## **Bibliographie**

### **Annexes**

Annexe 1 : **"Le viaduc de Millau", Étudiants du CNAM, Millau.**

Annexe 2 : **"Précaution et gestion des risques environnementaux", R.Kast.**

Annexe 3 : **"Analyse et gestion globale des risques, le nouveau rôle du calcul économique", R. Kast.**

Annexe 4 : **"Trois modèles dynamiques d'évaluation d'actifs dérivés", A. Lapied.**

Annexe 5 : **"Évaluation des projets d'investissement", S. Pardo.**

Annexe 6 : **"Évaluation des risques controversés par la théorie des options réelles", R. Kast, A. Lapied, S. Pardo, C. Protopopescu.**

Annexe 7 : **"Maximisation de l'indice de Kendall", S. Pardo.**

Annexe 8 : **"Le rôle de l'épargne dans la gestion des risques", A. Lapied.**

Annexe 9 : **"Welfare economics and political risk: A public decision procedure", R. Kast, S. Luchini.**

## Introduction

Le projet de construction du pont de contournement de Millau par l'autoroute A 75 a permis de soulever différents problèmes fondamentaux concernant les processus de décision publique.

L'intérêt de ce projet provient de son ampleur, de son importance stratégique en termes d'aménagement du territoire et de ses impacts socio-économiques et écologiques.

Le processus de décision d'investissements publics se fait dans un cadre réglementaire et selon des procédures codifiées<sup>1</sup>. Les différentes étapes 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.

Le système politique français, et par conséquent le processus de décision publique, repose sur le principe de la représentation du peuple dans des assemblées législatives (communales, départementales, régionales, nationale) dont sont issus des gouvernements lesquels délèguent aux spécialistes l'étude des projets, ainsi que leur mise en œuvre, une fois la décision prise par le pouvoir politique.

C'est donc au pouvoir politique (conseil des ministres, conseil régional, général ou municipal) de décider en dernier ressort, sous la contrainte d'une sanction globale, ex-post, par les élections. Le processus de décision est donc 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 font un choix entre les projets proposés.

Au centre du problème se trouve donc la mise en évidence des différents impacts du projet, des solutions alternatives pour le mener à bien, suivie par une procédure qui permette de rapprocher les impacts et les solutions afin de prendre une décision.

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, à l'élaboration de scénarios cohérents, à l'incertitude pesant sur les conséquences futures du projet et à l'appréciation de cette incertitude - généralement controversée - par les experts et par le public. L'étude des solutions alternatives revêt un caractère plus technique mais soulève d'autres incertitudes, ainsi que d'éventuelles controverses, portant sur les choix technologiques et sur l'appréciation des risques tant techniques que financiers.

---

<sup>1</sup> Article 14 de la loi d'orientation des transports intérieurs, LOTI du 30 décembre 1982. Guide de recommandations : "Évaluation économique et sociale des projets routiers interurbains", SETRA.

On peut envisager deux méthodes de décision extrêmes : la première chercherait à prendre en compte toute la complexité du problème, la seconde se fonderait sur une analyse des résultats des études.

Dans la procédure centralisée qui nous concerne, la première méthode présente l'inconvénient d'une opacité qui empêche de justifier clairement des décisions opposables. La seconde, quant à elle, se voit reprocher son caractère réducteur qui peut faire négliger certaines composantes du processus.

L'objet des travaux présentés ici est d'apporter des éléments permettant de progresser dans l'élaboration de méthodes de décision publique qui allient certains des avantages des deux méthodes extrêmes précédentes. D'un côté, proposer des critères opposables qui permettent de comparer précisément les différentes alternatives, de l'autre côté, tenir compte, dans ces critères, de la complexité des phénomènes étudiés et des controverses qu'ils suscitent.

La présentation des travaux effectués dans le cadre de ce projet de recherche est divisée en trois chapitres. Ils sont composés de trois sections et sont complétées par des annexes formées d'articles rédigés de manière autonome.

Le premier chapitre est consacré à la présentation générale du sujet d'étude et des réflexions qu'il suscite.

La première section présente le projet du viaduc de Millau dans son ensemble, son historique, les controverses qu'il a suscitées et l'analyse de trois types d'études d'impacts particuliers : ceux concernant l'aménagement et l'urbanisme de la ville de Millau, ceux portant sur le tourisme et les impacts environnementaux. Les données et informations qui semblent manquer sont mises en évidence et des questionnaires d'enquête sont proposés pour y remédier. Cette section a été élaborée par les étudiants de la formation de maîtrise d'économie "Aménagement Urbanisme et Environnement" du CNAM à Millau.

Dans la seconde partie de ce chapitre, nous traitons du problème général de la décision publique portant sur un projet de ce type. Nous y faisons une analyse critique de la méthode traditionnelle coûts-avantages. Celle-ci est particulièrement questionnée par l'émergence du "principe de précaution" qui a pour vocation d'inspirer les réglementations à venir concernant la prise en compte de l'incertitude scientifique, autrement dit, les risques controversés.

La troisième partie, construit, à partir des constatations de la précédente, des voies de développement pour les méthodes d'évaluation des bénéfices, des risques controversés et des coûts de projets d'investissement. Celles-ci permettront à un calcul économique renouvelé sur la base des avancées théoriques de la science économique et des autres sciences sociales d'aider à la décision publique.

Le second chapitre est consacré au développement de méthodes qui permettent d'évaluer des risques controversés, une fois ceux-ci définis par une évaluation monétaire des différents bénéfices et dommages possibles.

La première partie dégage un principe d'efficacité qui permet de justifier le recours à une analyse coûts-bénéfices renouvelée.

Dans une seconde partie, nous mettons en évidence le rôle des développements récents de la science économique et de la théorie des marchés financiers dans les méthodes de choix d'investissements.

La troisième partie présente des techniques de calcul de prix de risques financiers. Elle consiste à construire des instruments de couverture financière sur la base de méthodes statistiques d'identification de variables aléatoires. Ces instruments, appelés "portefeuilles de couverture virtuelle", pourraient effectivement servir d'instruments de couverture financière à des investissements publics. Leur objet, dans le cadre de cette étude, est de fournir un instrument d'évaluation des risques qui soit efficace, étant donnée l'information disponible au moment de les prendre.

Dans le troisième chapitre nous interrogeons la pertinence des modèles économiques en matière de couverture des risques et de procédures de décisions publiques.

Nous examinons en particulier, dans une première partie, le rôle de l'épargne de précaution et nous proposons des instruments de couvertures de risques économiques qui participeraient à la complétion des marchés.

Dans la seconde partie, nous revenons sur les problèmes fondamentaux de la monétarisation de conséquences et nous introduisons une réflexion sur les procédures d'enquêtes élaborées de manière transdisciplinaires. Celles-ci s'avèrent nécessaires, non seulement pour procéder aux méthodes d'évaluation contingente que nous proposons mais aussi pour compléter les données que les méthodes présentées dans le second chapitre devraient utiliser.

Dans la troisième, nous proposons une prise en compte des interactions entre l'économie et le politique dans les procédures de décisions publiques dans le cadre d'un modèle simple.

Une conclusion générale remet en perspective le projet de construction du viaduc de Millau, les problèmes qu'il a permis de soulever et les éléments de réponse que nous avons proposés dans ce travail de recherche.

# Chapitre 1

## Processus de décision publique et principe de précaution : le projet du viaduc de Millau

Ce chapitre est consacré à la présentation du projet de viaduc de Millau et aux questions générales qu'il permet de poser à propos de l'évaluation des impacts d'un investissement public.

Il comporte une première section dans laquelle sont exposés les éléments du projet de viaduc, de l'historique de ce processus de décision publique et de la présentation de trois études d'impacts : sur l'urbanisme de la ville de Millau, sur le tourisme de la région et sur l'environnement. Nous proposons des éléments d'enquête qui auraient pu être menées pour préciser ces impacts.

Les deux sections suivantes sont consacrées à des réflexions générales sur la prise de décision publique et sur l'évaluation des impacts. Dans la seconde section, nous mettons en cause l'utilisation du calcul économique classique pour intégrer des éléments d'incertitude controversée, notamment "l'incertitude scientifique" qui est évoquée dans le Principe de Précaution. Dans la troisième section, nous faisons des propositions constructives pour le développement des méthodes de calcul économique, en fonction des avancées récentes de la science économique, d'une part, de la capacité du calcul économique à intégrer des éléments d'analyse provenant des autres sciences de la société, d'autre part.

### 1.1 Le projet du viaduc de Millau

Le territoire des Grands-Causse a connu de rapides mutations économiques et sociales pendant ce dernier siècle. Ces mutations ont provoqué des phénomènes d'adaptation et d'organisation qui rend la population de ce territoire particulièrement sensible et attentive à l'apparition de nouveaux risques. Plus récemment, la construction de l'autoroute A 75 qui le traverse et le relie à ses voisins provoque une modification de son aménagement. L'axe autoroutier Amsterdam-Barcelone est quasi réalisé à ce jour, mais il reste cependant un point d'étranglement au niveau de Millau. Le pont au dessus de la vallée du Tarn, prévu et voté au schéma d'aménagement du territoire, a été remis en question de nombreuses fois. Les habitants et leurs représentants, élus et associatifs, s'interrogent 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).

Ce sont autant d'exemples de risques perçus, dont l'évolution est d'autant plus difficile à cerner que les différents groupements d'intérêt brouillent les informations. De nombreuses études ont été menées par les organismes officiels, comme par des associations locales. La présentation que l'on trouvera dans l'annexe 1, reprend ces études ; elle les confronte à des informations recueillies auprès des organismes locaux et propose de les compléter par des enquêtes qui ont été élaborés, par les rédacteurs, sous la direction de Madame Matignon, ethnologue à L'ACEPP-Aveyron participant à ce projet de recherche (voir chapitre 3).

L'historique du projet met en évidence les difficultés politiques rencontrées puisqu'il aura fallu 25 ans entre la première décision concernant la construction de l'autoroute Paris-Béziers et la décision définitive relative au dernier tronçon manquant, celui du viaduc qui nous concernant. La décision de prolonger l'autoroute A 71, Paris-Clermont-Ferrand par l'A 75, Clermont-Ferrand-Béziers, remonte à 1987, les premières études concernant le franchissement du Tarn et des Grands-Causse sont lancées dans l'année qui a suivi. Trois grandes options ont été proposées (Est, Médiane et Ouest), c'est l'option dite médiane qui a été retenue en 1989. Parmi les deux familles de projets (hautes et basses) c'est la première qui a prévalu dès 1991, elle nécessiterait la construction d'un viaduc gigantesque (2500m de long, 200m de hauteur au niveau du Tarn). En 1996, le projet de viaduc multahaubonné présenté par le cabinet d'architecte Norman Foster est choisie par le jury présidé par M. Leyrit, Directeur des Routes du Ministère des Transports.

En mettant en relief les controverses qui ont eu lieu aux différents stades d'élaboration du projet, il est aisé de se rendre compte que celles-ci expriment, en termes de risques, des appréciations différentes des impacts, qu'ils soient socio-économiques ou écologiques. Ces appréciations s'appuient, de manière souvent implicite, lorsqu'il ne s'agit pas de sujets techniques, sur des considérations éthiques plus que sur des données d'enquêtes et des études économiques quantifiées. Il est à noter que, même sur le plan technique, des controverses se sont fait jour dès les premières études. En particulier, la solution finalement retenue avait été rejetée au départ parce qu'étant trop risquée du point de vue géologique par le CETE d'Aix, sans qu'une contre étude ait jamais démenti ses conclusions. Une autre controverse porte sur l'estimation des coûts (le projet



actuel est estimé à 1,5 milliards de Francs, ce qui est jugé irréaliste par de nombreux experts en comparaison du coût d'ouvrages semblables). Un "Comité de Proposition pour l'A 75" s'est créé et a défendu un projet alternatif basé sur une solution basse, jugée moins dangereuse du point de vue géologique et ayant des impacts moindres sur l'environnement économique et écologique de la région.

Les impacts les mieux étudiés sont relatifs à l'urbanisme de la communauté de communes de Millau, au tourisme régional et à l'environnement. Mais, dans chacun de ses cas et plus particulièrement en ce qui concerne le dernier, les impacts envisagés sont limités à des considérations, a priori, d'experts, sans tenir compte de leur appréciation par les intéressés éventuels ni donner lieu à des scénarios alternatifs.

Concernant l'urbanisme, le Plan d'Occupation des Sols de la ville de Millau a été modifié dès 1998 pour tenir compte du tracé et des sorties de l'autoroute. Celui-ci comporte une modification de la voirie et des infrastructures d'assainissement, en prévision du déplacement vraisemblable des industries vers les zones d'accès plus faciles à l'autoroute. Un autre pari consiste à favoriser l'accès du centre ville aux touristes, ainsi que le développement d'activités touristiques nouvelles, en utilisant les pistes de travaux qui seraient alors conservées de manière définitive.

Un second impact important du viaduc est celui qui porte sur le tourisme régional. Celui-ci est caractérisé par la mise en valeur des sites, que ce soit pour la simple visite ou pour leur utilisation à des fins sportives. Le diagnostic présenté dans l'annexe 1 met en évidence le fait que l'hébergement doit évoluer pour s'adapter à une clientèle qui ne soit pas essentiellement de passage, comme c'est le cas actuellement. Les controverses sur les effets potentiels du viaduc portent donc sur l'évolution du type de tourisme, son développement ou sa régression, la validité des hypothèses sur l'évolution du trafic routier et de ses retombées sur les durées de visites. L'importance des documents recueillis par l'Office Départemental du tourisme et par la Chambre de Commerce de Millau permettrait de faire des études prospectives, une analyse des risques et, éventuellement, une évaluation de ceux-ci.

Pour être réalisables, de tels travaux nécessiteraient de nombreuses enquêtes et des recueils de données concernant les impacts du viaduc sur l'environnement de la région. Il est évident que le contournement de Millau aura des effets positifs sur la qualité des agglomérations qui sont traversées par un trafic important, des effets négatifs sur l'air de la vallée située au dessous du viaduc. Les éléments d'étude des effets du trafic sur la qualité de l'air brillent par leur absence. Le second problème concerne la qualité des ressources en eaux. On sait que la région des Grands-

Causses est constituée par un relief karstique qui est le chateau d'eau de toute la région du Midi et d'une partie importante Sud-Ouest de la France. Les travaux de construction, puis la mise en exploitation d'un axe routier voué à un développement important, met en danger la qualité de ces eaux. Le Parc Régional des Grands-Causses a mené de nombreuses études sur le réseau hydrologique du Karst, c'est une institution qui est en mesure de conseiller et de négocier avec les autres organisations. Par contre, le milieu dit Naturel, s'il fait partie des prérogatives de protection du Parc, n'a pas fait l'objet d'études aussi complètes, du moins dans le sens de l'évaluation des solutions de prévention de dommages. La conservation des sites, si elle est encouragée et sera facilitée par le réseau Natura 2000, repose encore essentiellement sur des appréciations subjectives qui ne permettent pas de mettre en rapport les coûts et les bénéfices.

En guise de conclusion, on peut déclarer, sans critiquer la validité des études entreprises, qu'elles sont fortement influencées par le souci de dégager les impacts positifs de la construction du viaduc, au risque de sous évaluer les effets qui pourraient se révéler dommageables au développement de la cité, du tourisme ou de l'environnement. On trouvera dans l'annexe 1 : "**Le viaduc de Millau**", rédigée par les étudiants du diplôme DESE en économie et gestion du CNAM, Millau Enseignement Supérieur, dont Robert Kast est responsable, une présentation détaillée du projet de viaduc de contournement de Millau que nous venons de résumer.

Il ressort de cette présentation, qui n'a pas la prétention d'être exhaustive, des différentes études et controverses concernant le projet, qu'aucune appréciation monétaire des risques n'est proposée, si ce n'est pour les aspects techniques de la réalisation du viaduc lui-même. En fait, la notion de risque n'est abordée que dans le sens de dangers potentiels et non pas dans son acception économique d'ensemble de conséquences monétaires, positives et négatives. Nous y reviendrons dans la suite de ce chapitre, en analysant les apports du calcul économique pour les investissements publics. Nous évoquerons également les limites de ces méthodes de calcul lorsqu'elles sont confrontée au nouveau principe juridique, le "principe de précaution", dont la mise en pratique pose problème. Les méthodes que nous développons dans la suite de ce rapport ont pour objectif d'aider à en résoudre certains, ceux qui concernent la prise en compte et l'évaluation de risques, qui sont, généralement, controversés.

## **1.2 Le calcul économique et le principe de précaution**

Nous nous interrogeons ici sur la pertinence du calcul économique, tel qu'il est classiquement présenté, pour l'évaluation de décisions d'investissements publics et nous faisons état des critiques qui lui sont couramment opposées. Ces critiques se fondent notamment sur les erreurs commises

dans le passé et sur les nouveaux impératifs qu'impliquent la mise en œuvre du principe de précaution.

On désigne généralement sous le nom de méthode coûts-avantages ou encore coûts-bénéfices, un ensemble de techniques permettant d'évaluer de manière monétaire et globale les conséquences attendues (qui peuvent être perçues positivement ou négativement) d'un investissement dont on connaît le ou les coûts. Le recours à cette méthode permet de rationaliser le choix entre différents investissements par la comparaison de leurs bénéfices nets. Du fait que les coûts sont généralement exprimés en monnaie à un certain moment, les avantages (bénéfices ou pertes) devront être exprimés dans la même unité monétaire, afin de pouvoir les comparer aux coûts.

Les objections faites au recours à cette méthode de décision publique relèvent de différents niveaux.

- On peut, tout simplement, vouloir ignorer la partie économique du problème de décision publique pour des raisons éthiques et/ou politiques.
- On peut aussi, sans l'ignorer totalement, lui réserver un rôle limité : celui de la gestion du financement des décisions politiques et sociales, celles-ci étant prises selon un processus indépendant des considérations économiques. Cette conception s'appuie sur un clivage entre l'analyse économique et l'étude sociologique qui peut trouver sa source dans l'histoire de la séparation de ces deux sciences au XIX<sup>ème</sup> siècle à partir d'un choix de méthodes. Une telle séparation semble aujourd'hui fortement remise en cause par la nécessité de recourir à des complémentarités dans les approches, notamment pour les problèmes de décision publiques. Nous évoqueront le rôle de la complémentarité des sciences de la société dans la suite de cette section et nous reviendrons sur ce point dans le troisième chapitre de cette étude.
- On peut enfin, vouloir intégrer une analyse économique du problème de décision publique mais mettre en doute la pertinence des méthodes coûts-bénéfices. Sur ce plan, les critiques sont constructives et ont permis de faire évoluer un ensemble de méthodes, que, trop souvent, le public ignore. C'est, bien entendu, particulièrement sur ce plan que s'inscrit l'analyse que nous développons dans cette section.

Le calcul économique se fondait, dans les années cinquante, sur l'ensemble des résultats de la théorie économique disponible à l'époque et sur une panoplie de méthodes, issues des mathématiques appliquées aux sciences de l'ingénieur et à la stratégie militaire, connue sous le nom

de Recherche Operationnelle (*Operations Research*). La théorie économique, comme les mathématiques appliquées, ont fait en cinquante ans des progrès considérables. Il est donc parfaitement justifié de rejeter l'analyse coûts-bénéfices telle qu'elle a été utilisée et enseignée alors, en particulier sur la base des remarques qui suivent.

- Les conséquences d'une décision sont considérées par le calcul économique classique comme des biens de consommation. Elles sont alors analysées dans le cadre de la théorie du consommateur et du producteur. Ceci est vrai aussi pour les coûts, et, pour certains d'entre eux, cette analyse est parfaitement justifiée. Bien entendu, un investissement de prévention sanitaire ou un dommage environnemental ne sont pas des biens de consommation, même s'ils en font intervenir. Ils ne relèvent pas non plus de techniques de production contrôlée par la maximisation d'un profit. Quand bien même on pourrait les considérer comme tels, ils ne sont pas échangés sur un marché et n'ont donc pas de prix (au sens d'un rapport de quantités de biens échangés sur un marché).

- La décision est analysée dans le cadre de la théorie de la décision individuelle, or il s'agit de décisions publiques. La théorie économique a montré, depuis, qu'il n'est pas possible d'agrèger des critères individuels en un critère collectif qui présente des propriétés d'efficacité élémentaires. Quelque soit le critère collectif retenu, on ne peut donc pas directement appliquer la recherche d'une décision optimale pour ce critère à la recherche d'une décision qui le serait collectivement. Par ailleurs, même dans le cadre de la décision individuelle, la théorie de la décision a grandement évolué et les critères simples, comme, notamment, celui de l'utilité espérée, ont été remis en cause, généralisés et leurs champs d'application précisés.

- L'incertitude concernant les conséquences est formalisée comme si elle était provoquée par un mécanisme aléatoire connu. Ceci permet, en pratique, d'évaluer les probabilités d'occurrence des différentes conséquences. Dans les fait, à part quelques rares cas, l'incertitude est autant provoquée par les comportements d'individus interagissant que par des mécanismes physiques ou biologiques. En tout état de cause, ces derniers ne sont, dans certains cas, pas si bien connus qu'on puisse en déterminer sans controverse une loi de probabilités. Enfin, l'incertitude, quelque soit son origine, est perçue de manière subjective et de nombreuses études en théorie de la décision et en psychologie ont montré que ces perceptions ne répondaient pas, de manière générale, aux hypothèses qui permettent de les représenter par une distribution de probabilité.

Du fait que la mesure des risques, et donc de l'incertitude, est un domaine auquel s'attache particulièrement notre étude, nous déclinerons les différentes critiques et les éléments de réponse

qu'on peut leur proposer à travers les problèmes posés par la prise en compte de l'incertitude. Un fait de société important est né depuis le début des années quatre-vingts : l'incertitude scientifique avérée, l'évolution de l'éthique concernant notamment l'environnement et la santé et le renouvellement de la pratique démocratique, ont amené à proposer un nouveau principe qui préside à la conception des lois concernant les risques. Il s'agit du dorénavant fameux "Principe de Précaution" *“ selon lequel l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable ”* (extrait de la loi Barnier, 1995, sur la protection de l'environnement, voir aussi l'annexe 2 pour différentes définitions de ce principe).

Quelques questions sont souvent posées concernant la définition et les possibilités de mise en pratique du principe de précaution. Ces questions proviennent du public et des décideurs, publics ou privés. Elles sont aussi posées, dans le domaine diplomatique, par certains gouvernements qui en soupçonnent d'autres d'invoquer ce principe pour justifier des mesures protectionnistes.

Nous pouvons classer ces questions selon trois ordres. Le premier s'adresse au champ d'application du principe, le second aux institutions et personnes qu'il concerne, le troisième à sa mise en pratique.

### **Quel est le champ d'application du principe de précaution ?**

- A quels domaines s'applique-t-il ?
- Peut-on faire une distinction entre risque, au sens habituel du terme et d'autres sortes de risques faisant appel au principe ?
- Quelle différence établit-on entre ce principe et les autres principes de gestion des risques ?
- Y a-t-il une différence entre Prudence et Précaution ?

### **Quelles sont les institutions concernées par le principe de précaution ?**

- Quelle est la participation du public dans le processus décisionnel ?
- Quels règlements intègrent déjà le Principe et comment le prouver ?
- Comment la référence au Principe s'articule-t-elle dans les législations ?

- Comment le Principe modifie-t-il l'attribution des responsabilités ?

### **Comment le principe de précaution peut-il être mis en pratique dans les décisions ?**

- Quelle est l'importance de l'évaluation scientifique des risques par rapport à leur perception par le public ?
- Quels sont les critères retenus pour la définition des dangers ?
- Quelles méthodes doit-on développer pour évaluer les bénéfices attendus et les dommages possibles ?
- Quelles informations sont prises en compte et comment ?

Concernant le premier ordre de questions, celui du champ d'application du principe de précaution, nous pouvons nous interroger sur l'histoire de son apparition. Nous allons ensuite la mettre en perspective avec d'autres données historiques.

La prise en compte de l'importance de l'environnement des activités humaines a pris une importance particulière pendant le rapide développement industriel des contrées où il s'est produit. Parallèlement, mais avec un peu d'avance, les problèmes de santé et de dangers pour les personnes qui sont spécifiquement liés aux activités industrielles ont pris une importance telle que les décideurs publics ont dû intervenir. Le livre de Hans Jonas (1979)<sup>2</sup> concrétise philosophiquement cette prise de conscience de l'environnement naturel. L'article de François Ewald (1998)<sup>3</sup> analyse de manière claire l'évolution des principes dont les législations procèdent. Nous pouvons en extraire des éléments de réponses aux questions du premier ordre, celles concernant le champ d'application du principe de précaution.

Dans les approches de Hans Jonas et de François Ewald, apparaît la référence à une notion de risque très générale. L'histoire de ce mot et du concept qu'il représente permettent de mieux situer le champ d'application du principe : il est à la fois nouveau pour les institutions auxquelles il s'adresse et ancien dans les objets sur lesquels il doit être appliqué.

---

<sup>2</sup>Hans Jonas : *Das Prinzip Verantwortung*, Insel Verlag, Munich, 1979 et Editions du CERF, Paris, 1990 pour la traduction française: *Le principe de responsabilité*.

<sup>3</sup> François Ewald : “ le principe de précaution ou le retour du malin génie ” in *Le principe de précaution*, O. Godard ed., Editions des Sciences de l'Homme, Paris, 1996.

Concernant donc les institutions auxquelles le principe s'adresse, plusieurs difficultés interviennent qui relèvent des sciences de la société. Il s'agit de distinguer le rôle des institutions et celui des individus. Pour cela, une clarification de différents systèmes politiques est nécessaire. La référence à des appellations vagues comme celle de "démocratie", ou "régime totalitaire" n'est pas suffisante pour pouvoir apprécier l'importance du public dans les processus de décisions, fussent-elles publiques. Le recours aux constitutions des États ne suffit pas non plus, si on néglige les aspects culturels et historiques qui inscrivent cette constitution dans le comportement des citoyens. Par exemple, bien qu'ayant des constitutions très voisines, les pays européens ne sont pas semblables dans la prise de conscience de problèmes collectifs, les pays de l'Union Européenne, dans leur ensemble, se distinguent souvent des États-Unis d'Amérique dans leur appréciation des dangers et dans leur éthique de référence.

Plus précisément, ce sont des études sur les modes d'organisation de collectivités, en partant de collectivités familiales, celles des communes, des régions, des États et des groupes de nations qui nous permettront de clarifier l'importance de l'appréciation du public dans les processus de décision. Ces questions sont du ressort de la sociologie, de l'anthropologie et de la science politique, associées à la psychologie et à la linguistique. Bien entendu, toutes ces sciences ne peuvent éviter les références à l'histoire et à la géographie. Ces dernières, notamment, incluent des éléments d'économie politique.

Sur cette base, un travail transdisciplinaire reste encore à faire : celui qui permettra d'élaborer des lois par une analyse juridique fondée sur le calcul économique, d'une part, et, d'autre part, sur l'élaboration de procédures élaborées dans le cadres des sciences de la nature (incluant l'Homme) : physique-chimie, biologie et leurs dérivées spécialisées comme la médecine, la zoologie, la botanique, la géologie, l'écologie etc.

Revenons sur le "calcul économique" qui est directement interpellé par le dernier ordre de questions, celles s'adressant à la mise en pratique du principe de précaution. Le calcul économique est particulièrement mal perçu, parce qu'il est associé à des méthodes coûts-bénéfices figées et employées de manière parfois peu scrupuleuse par certains décideurs. La notion de coût acceptable, pour la mise en place de mesure préventives ou de précaution, nécessite une méthode de calcul des coûts et une définition de l'acceptabilité. La notion d'acceptabilité peut être prise en compte par l'économiste, une fois résolus les problèmes posés par les questions précédentes. Le calcul économique consiste alors à développer des techniques adaptées aux problèmes posés par les questions précédentes aux différentes sciences. La difficulté, pour le calcul économique, consiste à évaluer les coûts et les bénéfices attendus en

tenant compte d'incertitudes, notamment des incertitudes scientifiques, et des controverses concernant leur appréciation.

C'est en ce sens que l'économie, en collaboration avec toutes les autres sciences, peut jouer un rôle dans la mise en pratique du principe de précaution. Elle doit montrer, et cette étude a ceci pour objet, qu'il est possible et comment il est possible d'évaluer des bénéfices incertains, qui ne sont souvent pas marchands et qui sont inégalement perçus par les individus, afin de pouvoir les comparer à des coûts.

Nous présentons le Principe de Précaution en revenant plus précisément sur les problèmes qu'il pose et nous proposons quelques pistes concernant sa mise en œuvre dans l'annexe 2 : **"Précaution et gestion des risques environnementaux"**.

Nous reprenons dans la section suivante, d'une manière constructive, les points des méthodes coûts-bénéfices qui sont sujets à critique, afin de montrer comment pourrait se développer un nouveau calcul économique.



## 1.3 Pour un nouveau calcul économique

Les critiques émises à l'encontre de l'analyse coûts-bénéfices doivent être modulées par l'avancée des connaissances économiques développées depuis son apparition.

Lorsqu'un choix est fait entre différents projets publics ou que l'on décide de réaliser ou non une infrastructure ou un programme de prévention, des coûts seront investis, des bénéfices sont attendus de la réalisation du projet, des conséquences non souhaitées peuvent aussi apparaître.

Les coûts sont généralement directement exprimés en termes monétaires parce qu'ils correspondent à des investissements en travail et en matériel dont les prix sont donnés par des marchés existants. On pourra cependant tenir compte du fait que la perception du montant de l'investissement par une taxe, par exemple, présente des caractères impopulaires qui engendrent des coûts subjectifs qui ne sont pas directement exprimés en termes monétaires. Il s'agit donc de justifier l'expression de ces coûts subjectifs en termes monétaires, c'est-à-dire exprimer ces coûts en termes d'unités équivalentes de matériaux ou de travail dont les prix sont connus. Se pose alors un problème similaire à celui de l'évaluation d'avantages non marchands.

Les avantages (ou désavantages) attendus, ne sont, la plupart du temps, pas aisément ramenés à des unités de matériel ou de travail, et, plus généralement, à des biens de consommation. Différentes méthodes sont proposées pour établir des équivalences entre des unités de biens négociables et des avantages qui ne le sont pas (voir le chapitre 3). Quand cette équivalence est obtenue, et en admettant qu'elle ne suscite pas de controverse, le problème de la monétarisation des avantages n'est pas totalement résolu, puisque ces unités de biens futurs n'ont pas de prix connu au moment où la décision doit être prise. Si ces prix peuvent être anticipés, la valeur monétaire des avantages peut être actualisée dans la même unité que celle qui valorise les coûts présents.

Enfin, comme les conséquences d'un projet sont toujours incertaines, un problème crucial consiste à en donner un équivalent monétaire certain qui reflète l'importance relative des diverses éventualités pour ceux qui auront à les supporter.

Il existe donc plusieurs niveaux de problèmes à résoudre.

Le premier est relatif à la comparaison entre des biens négociés et des biens qui ne le sont pas. Ceci est valable aussi bien pour les coûts que pour les avantages.

Le second est posé par l'anticipation de prix futurs pour des biens. C'est un problème qui est complexe puisque, par définition, le futur est incertain et que l'on devra envisager plusieurs futurs possibles. Ce problème a été abordé dans la théorie économique à travers les modèles à anticipations rationnelles.

Le troisième problème consiste à évaluer de manière globale un ensemble de valeurs monétaires futures possibles. Une liste de valeurs monétaires possibles est un concept connu en économie sous le terme de "risque". L'évaluation globale d'un risque consiste à lui trouver un "équivalent certain" c'est-à-dire une somme monétaire qui résume les appréciations des avantages futurs possibles.

Le quatrième consiste à savoir quel est le taux auquel on peut actualiser les valeurs futures, de manière à pouvoir les comparer à des valeurs présentes.

Une fois ces problèmes résolus, la méthode coûts-avantages est une application directe du principe de rationalité de base selon lequel tout le monde préfère plus à moins de monnaie ("toutes choses égales par ailleurs").

Nous présentons les pistes d'évolution de la méthode coûts-bénéfices dans l'annexe 3 : "**Analyse et gestion globale des risques, le nouveau rôle du calcul économique**".

Si nous reprenons les problèmes à résoudre dans l'ordre opposé à celui qui a été présenté ici, nous introduisons les différents types de travaux qui ont été menés dans le cadre de cette étude. L'ordre proposé suivait un ordre de difficulté décroissante, la déclinaison des travaux abordés suit, au contraire, un ordre de difficulté croissante.

Dans un premier temps, nous supposons les trois premiers problèmes résolus pour montrer que le taux de marché est celui qui permet de ne pas violer la rationalité de base dans les choix d'investissements (Chapitre 2, section 1).

Dans un second temps nous traitons du troisième problème. Nous supposons que les équivalents en biens négociés ont été trouvés pour les avantages et les inconvénients possibles des projets. Nous supposons aussi que les prix de ces biens futurs sont connus (ou anticipés sans

controverse). Nous montrons alors que, s'ils existent, les prix d'instruments financiers de couverture des avantages permettent d'en exprimer la valeur équivalente présente et que le choix découlant de ce calcul domine le choix fondé sur toute autre méthode d'agrégation de ces valeurs futures possibles (chapitre 2, section 2). Nous étudions ensuite différents moyens de construire de tels instruments de couverture à partir d'instruments financiers existants, lorsque des marchés adaptés n'existent pas (chapitre 2, section 3).

Dans un troisième temps, nous nous interrogeons sur la manière dont les prix des biens futurs peuvent être anticipés de manière à ce que le calcul de leur valeur présente permette une comparaison dominante avec les coûts. Il s'agit là de questionner la pertinence du modèle d'équilibre général dans l'incertain et de ses extensions dynamiques pour traiter de l'anticipation des prix futurs (chapitre 3, section 1).

Dans un quatrième temps, nous questionnons les différentes méthodes utilisées pour comparer des biens non négociés et des biens qui le sont, sur la base de la rationalité des choix auxquels elles conduisent, ainsi que les méthodes d'enquête utilisées ou qui pourraient l'être (chapitre 3, section 2).

Enfin, dans une dernière section du chapitre 3, nous proposons une méthode de prise de décisions publiques qui intègre les aspects socio-politiques et les aspects économiques.

## **Conclusion du chapitre 1**

L'étude du projet de viaduc de Millau met en relief de nombreuses difficultés rencontrées, parfois abordées, souvent esquivées, dans les procédures de décision d'investissements publics. Parmi ces difficultés, celles qui sont du ressort de l'économie portent sur l'évaluation des impacts, la prise en compte de l'incertitude (des risques, au sens économique du terme) et de l'élaboration d'une procédure de décision sur la base de ces évaluations. Nous avons insisté, dans la présentation du projet, sur les controverses qui se sont élevées et sur la faiblesse des études d'impacts, du moins à un niveau quantitatif qui puisse suffire aux calculs économiques. Ces derniers sont souvent réduits, dans l'esprit du public, aux méthodes classiques du "calcul économique", c'est-à-dire à la comparaison de coûts et de bénéfices dont l'obtention relève souvent de pratiques empiriques sans justifications théoriques. Nous avons discuté de la pertinence de ces méthodes classiques face aux problèmes que pose la reconnaissance d'incertitudes scientifiques qui sont évoquées dans le principe de précaution. En faisant un retour en arrière sur la prise en compte des risques économiques, nous avons pu suggérer des pistes qui permettent de les évaluer, en dehors des

situations où l'incertitude est mesurée par une distribution de probabilités connue. Ces dernières sont rares, dans les faits, ou bien elles reposent sur des mesures de l'incertitude par une distribution de probabilités attribuées par des experts, mesures qui sont souvent controversées. Nous montrons que les mécanismes économiques, dans la mesure où ils sont régulés de manière à approcher des conditions d'application de la théorie, permettent de dégager des mesures économiques de l'incertitude pertinentes pour l'évaluation de projets aux conséquences incertaines.

## Chapitre 2

### **Méthodes et fondements économiques de l'évaluation de risques controversés**

Une procédure de décision publique qui prend en compte des éléments économiques ne peut se contenter de considérer que les impacts des décisions sont déterminés par celles-ci. Bien que la maîtrise technologique permette de contrôler assez précisément les aspects matériels de ces impacts, les recommandations du Ministère des Transports conseillent de prendre en compte différentes hypothèses. Au delà de cette incertitude concernant les causes des impacts, incertitude de nature "scientifique", on peut dégager plusieurs autres raisons qui les rendent incertains. La première vient de la subjectivité de leur perception par le public, il s'agit là d'une incertitude de type "statistique" ("un individu pris au hasard dans la population ..."). Elle se double d'une incertitude (scientifique encore, mais relevant des sciences humaines) sur la validité des méthodes de recueil des perceptions (nous y reviendrons dans le chapitre 3). Une seconde raison provient des controverses, comme le projet du viaduc de Millau en a révélé un grand nombre, concernant la mesure des risques. La troisième est due à la nature même de certains de ces risques. Ceux concernant les catastrophes naturelles, par exemple, ne sont typiquement pas de nature à être mesurés par une distribution de probabilités fondée sur l'observation de fréquences. Dans tous les cas, le problème qui se pose est de savoir comment calculer, ex-ante, une valeur globale des bénéfices (et des dommages) possibles résultants d'un projet, afin de les comparer aux coûts investis, en tenant compte du fait que ces bénéfices sont incertains. Ce chapitre se consacre à ce problème, en ayant recours à des méthodes issues de la théorie économique des marchés dans l'incertain et de la théorie des marchés financiers.

Dans une première section, nous justifions que l'évaluation d'un investissement public, pour être efficace, doit être fondée sur la comparaison avec des valeurs de marché. Ceci s'oppose à la pratique du calcul économique traditionnel qui repose souvent sur un critère individuel à caractère subjectif (utilité espérée du décideur public, notamment, ou d'un "agent représentatif"). Cette remarque sera reprise dans le chapitre 3, à propos de l'évaluation d'impacts déterminés, elle justifie, ici, les méthodes qui sont proposées pour évaluer un risque controversé.

Dans la seconde section, nous présentons les principes dégagés de la théorie économique et de la théorie des marchés financiers. Ces dernières se sont considérablement développées au cours des

trente dernières années, elles ont déjà renouvelé les méthodes d'évaluation des investissements industriels (théorie des "options réelles").

Dans la troisième section, nous développons un ensemble de techniques permettant d'identifier un risque "réel", par exemple une liste de bénéfices ou de dommages résultant de la réalisation d'une infrastructure routière, et un risque financier, c'est-à-dire un portefeuille de titres négociés. Ce portefeuille, s'il est bien adapté, pourrait servir à couvrir financièrement le risque "réel", nous l'appelons pour cela "portefeuille de couverture virtuelle".

## 2.1 Rationalité et évaluations

On suppose dans ce qui suit que la monétarisation des coûts et 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 un premier temps nous traitons du problème du temps (actualisation des bénéfices) dans un second de celui de l'incertitude portant sur les bénéfices (équivalent certain présent) et dans le dernier temps du problème des arrivées d'informations (valeurs d'options).

### 2.1.1 Le temps : taux d'intérêts de marché et préférences individuelles pour le temps

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 types de 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  $r$ . 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 de manière certaine  $(1+r)$  unités monétaires à un instant futur précisé (si  $r$  dépend de cet instant  $t$ , on le notera  $r_t$ ). 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 ou des obligations garanties par l'Etat). 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 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  $t$  :  $P_t = \mathbf{Erreur!}$ .

Ces deux taux n'ont, a priori, aucun rapport, ni dans leur ordre de grandeur, ni dans leurs interprétations. Le premier est individuel. Il est généralement très faible si le décideur ne considère l'avenir qu'à court terme, il peut devenir plus important pour d'autres termes particulièrement pertinents pour le décideur. 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 retenu pour le choix collectif.

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

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

Si  $K(1+r) < X$ , alors que  $K(1+r) > X$ , 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  $K(1+r) < X$ , 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,  $X$ .

### **2.1.2 Le risque : portefeuille d'actifs financiers 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 composé d'instruments financiers dont les paiements sont  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  et dont les prix sont  $q(Y_i), i = 1, \dots, n$ . Les paiements de ce portefeuille de couverture sont :

$$Y = \text{Erreur!} = X$$

et son coût de formation est :  $q(Y) = \text{Erreur!}$ .

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

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

Si  $K < q(Y)$  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 **Erreur!** permet de financer le projet. Le bénéfice final sera alors :  $X - \text{Erreur!} > 0$ .

Si  $K > q(Y)$  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  $r(X) = \text{Erreur!}$ , soit le taux de rendement du portefeuille de couverture de  $X$ . Le projet doit être réalisé si et seulement si  $K(1+r(X)) < X$ .

### 2.1.3 L'information : flexibilité, irréversibilités et valeurs d'options

Dans la pratique, les bénéfices ne sont pas nécessairement obtenus seulement à une échéance fixée à l'avance, 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 dépend du temps (qui peut être représenté par un ensemble discret ou continu). Dans ce cas, un risque est un processus stochastique de bénéfices (dont la distribution de probabilités peut ne pas être connue ou peut être controversée). Si les décisions sont flexibles ou peuvent être retardées dans le temps, la description de l'incertitude ne doit pas être séparée de celle du processus de décision.

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 autofinancée de portefeuilles d'actifs négociés), il existe une mesure bornée (qui peut être normalisée à 1 comme une distribution de probabilité), par rapport à laquelle les processus de prix actualisés sont des martingales. Ceci signifie qu'en chaque instant de la période considérée, le prix d'un actif est la moyenne de ses paiements finals actualisés par rapport à cette mesure, conditionnée par l'information disponible en cet instant. C'est la version dynamique de la formule fondamentale de la finance, la mesure ainsi déterminée est la mesure dite corrigée du risque.

Nous étendons le raisonnement précédent pour montrer que c'est cette mesure qui doit être utilisée pour calculer l'équivalent certain présent d'un risque, plutôt que l'équivalent certain dérivé de tout autre critère individuel.

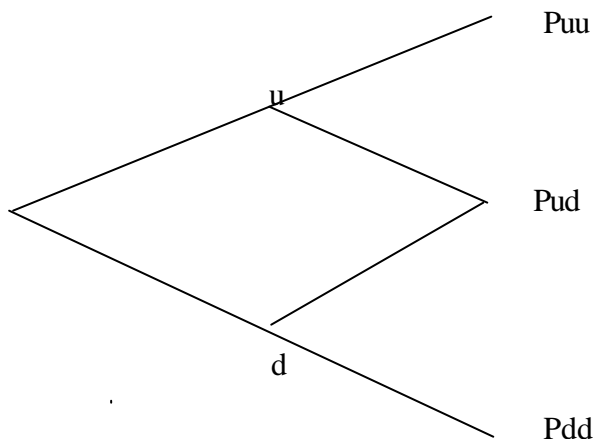
Dans le cas où le risque présente des paiements intermédiaires qui ne modifient pas la décision initiale, ces derniers peuvent être capitalisés au taux d'intérêt de marché sans risque à l'échéance  $T$  (selon le raisonnement que nous avons fait pour le temps). La théorie des marchés financiers nous 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. 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".

Nous traiterons seulement un cas simple, pour indiquer le principe du raisonnement montrant 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.

Prenons le cas d'une incertitude décrite par un arbre binomial (décrivant le processus des prix d'un actif négocié que nous appellerons le sous-jacent) ayant trois états finals et deux états intermédiaires correspondant à l'information : "u", pour le prix du sous-jacent est monté, "d" pour le prix du sous-jacent est descendu. Si l'information n'est pas utilisée, les paiements correspondants sont  $P_{uu}$ ,  $P_{ud}$ ,  $P_{dd}$  à la date finale.

### Risque sans exercice de l'option :



Si la mesure corrigée du risque est définie par la pondération  $q$ , pour l'événement "u" et  $1-q$  pour l'événement "d", la valeur du risque dans l'état "u" est  $P_u = qP_{uu} + (1-q)P_{ud}$  et elle est  $P_d = qP_{du} + (1-q)P_{dd}$  en "d". En supposant un taux sans risque nul, sans perte de généralité,  $q$  est donné par la méthode du portefeuille de réplication et vaut :  $q = \text{Erreur!}$ .

L'équivalent certain présent calculé avec la mesure de marché du risque est alors :

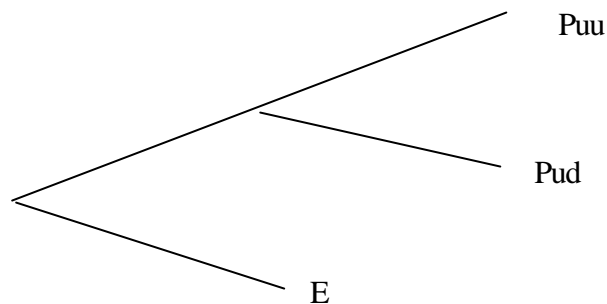
$$P_0 = qP_u + (1-q)P_d.$$

Si l'information est utilisée, la décision peut-être modifiée et deux situations se présentent (qui sont souvent combinés dans la pratique).

Dans la première, l'exercice de l'option génère un paiement immédiat dans le cas où l'information est "d". Ce serait, pour prendre un exemple financier, le cas d'une option de vente sur le sous-

jaçant, exercée si le prix décroît et dont le profit est encaissé. Dans le cas de la décision concernant un investissement public, un paiement immédiat correspond à l'arrêt du projet avec une perte limitée, s'il s'avère, du fait de l'information "d", que l'on pourrait arriver au scénario le plus catastrophique de paiement  $P_{dd}$ .

### Risque avec exercice de l'option et paiement immédiat :



Dans ce cas, la valeur du risque en "u" est toujours  $P_u$ , mais sa valeur en "d" est  $P'_d = E$ . Notons que  $E$  est supérieur à  $P_d$  puisque l'option a été exercée. L'équivalent certain présent calculé avec la mesure du risque de marché est donc :

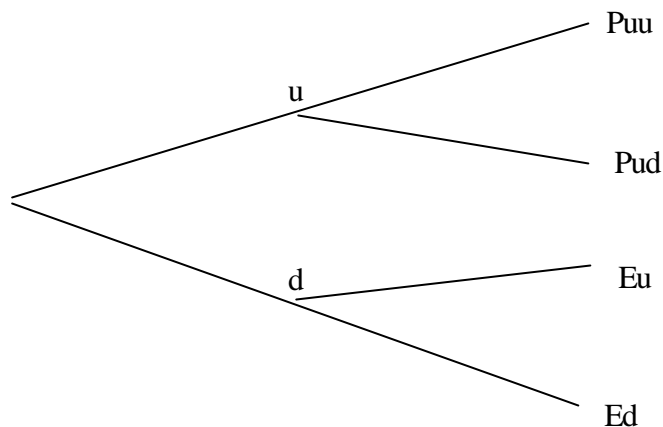
$$P'_0 = qP_u + (1-q)E$$

La valeur d'option est :  $P'_0 - P_0$ .

On voit, sans difficulté, que le raisonnement fait pour un risque statique peut-être ici répété deux fois. La première fois pour évaluer le paiement intermédiaire qui dépend de la décision d'exercer l'option, la seconde pour évaluer le risque à la première période en prenant comme paiements les valeurs optimales en chaque arrivée d'information.

Dans la seconde situation qui peut se présenter, l'exercice de l'option n'engendre pas de paiement immédiat mais modifie les paiements finals. Elle correspond, dans le cas financier, à une option de vente dont l'exercice implique pour paiements finals le montant de la vente diminué des paiements attendus du sous-jacents. Pour un projet d'investissement public, cette situation correspond à une modification du projet qui engendre d'autres paiements final.

### Risque avec exercice de l'option et paiements modifiés :



La valeur du risque en "u" est toujours  $P_u$ , mais sa valeur en "d", calculée avec la mesure corrigée du risque est  $P''d = qEu + (1-q)Ed$  et on doit avoir  $P''d > Pd$  si l'exercice de l'option est optimal pour la mesure corrigée du risque. La valeur initiale du risque est alors :

$$P''_0 = qPu + (1-q)P''d \text{ et la valeur d'option est } P''_0 - P_0.$$

Comme dans le cas précédent, puisqu'on se ramène en chaque instant à une évaluation statique, le raisonnement peut être répété et la décision obtenue sur la base du calcul effectué avec la mesure de marché du risque dominera celle obtenue par des équivalents certains subjectifs.

Le dernier raisonnement contient, comme cas particulier, tous les précédents ; dans tous les cas, on obtient la conclusion suivante.

**Conclusion :** *si un marché vérifiant les hypothèses de la théorie financière<sup>4</sup> existe, on pourra déterminer la mesure de marché du risque et en déduire la valeur présente d'un risque particulier, par exemple les conséquences d'un investissement public. Une décision basée sur ce calcul domine celles obtenues à partir de toute évaluation du risque fondée sur un équivalent certain présent individuel.*

Pour être opérationnelle, cette conclusion nécessite l'élaboration de méthodes permettant de répliquer un risque à l'aide d'instruments financiers négociés sur un marché. Nous présentons ces théories financières de base dans la section suivante, elles sont complétées, par les méthodes issues de la théorie des options réelles.

---

<sup>4</sup>Voir section suivante et annexe 5 pour une discussion des hypothèses.

## 2.2 Les théories économiques de référence

Les marchés financiers sont des organisations sociales destinées à échanger des risques sous la forme de contrats financiers bien définis. Le rapport entre les prix établis sur ces marchés et ceux des biens et services peut-être compris dans le cadre du modèle d'équilibre général dans l'incertain, qui montre la cohérence entre les prix présents des biens, leurs prix futurs (incertains) anticipés et ceux des contrats qui transfèrent la richesse dans le futur<sup>5</sup>.

Cette cohérence est essentielle à la compréhension, qui avait pu échapper aux modèles purement financiers, de l'interdépendance des marchés, de la notion de valeur et, plus fondamentalement, de l'existence même des contrats financiers. En effet, le pouvoir d'achat de la monnaie future dans laquelle les paiements des actifs se feront n'est pas connu au moment des échanges de ces actifs. Grâce à la cohérence entre prix et anticipations que les financiers perçoivent inconsciemment, ils échangent des contrats dont les paiements futurs, exprimés en terme monétaire, sont effectivement reliés à l'utilisation qui pourra en être faite. Mais l'interdépendance des marchés permet aux prix d'intégrer les anticipations des agents, leurs besoins futurs et leurs disponibilités présentes, leurs attitudes vis-à-vis des risques et leurs perceptions différentes de ces risques. C'est du moins ce que nous enseigne la théorie, sous un ensemble d'hypothèses de fonctionnement des marchés que les régulations cherchent à approcher. Dans ce cadre, la théorie des marchés financiers se fonde sur des considérations d'arbitrage entre les différents actifs qui permettent de déduire le prix des uns à partir de celui des autres.

La première condition d'absence d'opportunité d'arbitrage est une condition nécessaire à l'équilibre des échanges. Il ne doit pas être possible de faire un profit certain en achetant et revendant immédiatement la même marchandise (principe : un bien, un prix). Concernant des actifs risqués, cette condition d'absence d'opportunité d'arbitrage nécessite d'être exprimée plus précisément, elle sera complétée par une deuxième condition. En effet, les actifs financiers sont définis par des contrats dont les flux de paiements futurs sont soit explicitement précisés (obligations), soit définis par une fonction déterminée (et déterministe) d'une variable observable (profits d'une entreprise pour les actions, valeur d'une action, d'un portefeuille ou d'un indice pour les actifs dérivés). Mais un portefeuille d'actifs est lui-même un actif dont le flux de paiement est déterminé par une fonction (linéaire, s'il n'y a pas de coûts de transaction) de ceux qui constituent le portefeuille. Les SICAV et autres fonds de placement sont de tels actifs, ils peuvent être

---

<sup>5</sup>Voir, par exemple, D. Duffy: *Security markets, stochastic models*, academic press, 1988, ou R. Kast et A. Lapiéd: *Fondements microéconomiques de la théorie des marchés financiers*, Economica, 1992.

directement négociés, on dira alors qu'ils sont négociables. La première condition excluant les opportunités d'arbitrage repose sur l'identification de deux actifs financiers et elle stipule que deux actifs identiques doivent avoir le même prix. Une telle identification dépend évidemment du modèle qui permet de représenter formellement les risques et les paiements. De manière générale, un risque est défini comme une variable aléatoire ou un processus stochastique. Dans ce cas, deux actifs, négociés ou négociables sont identiques si et seulement si leurs flux de paiements sont les mêmes avec une probabilité 1, ou bien s'ils ont la même distribution de probabilités. Ceci suppose que l'on connaisse la distribution de probabilités régissant l'occurrence des paiements futurs des actifs négociés. Certains modèles se contentent d'identifier un actif par les moments de la distribution de probabilités (espérance et variance des paiements). Dans ce cas, un actif est identifié uniquement par ces moments, deux actifs qui ont le même paiement espéré et le même risque (variance) doivent avoir le même prix (modèle de Markowitz). Plus généralement un risque est défini comme une fonction réelle (ou un processus de fonctions dépendant du temps) d'une variable observable. Dans ce cas général, deux actifs sont identiques si et seulement si ils ont les mêmes paiements pour chaque valeur de la variable observable.

La seconde condition d'absence d'opportunité d'arbitrage, celle-ci propre aux actifs risqués, exprime que tout actif (portefeuille) assurant des gains futurs doit avoir un prix (un coût de formation) strictement positif (*no free-lunch*).

Ces deux possibilités d'arbitrage (profiter de la différence de prix de deux actifs qui ont des paiements identiques et profiter d'une combinaison qui assure des gains positifs à un coût nul) sont des conditions nécessaires d'équilibre. Dans la pratique, en effet, des arbitragistes sont à l'affût de telles possibilités d'arbitrage et leurs interventions amènent les prix à se fixer à un niveau qui les exclut sur les marchés financiers. Le principe de l'évaluation par arbitrage consiste alors 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. La première condition stipule alors que l'actif doit être évalué par le coût de formation du portefeuille qui le réplique. Deux situations se présentent alors. Soit l'actif est déjà sur le marché, et l'évaluation permettra à un arbitragiste de savoir s'il est évalué correctement ou s'il offre une possibilité d'arbitrage. Soit il ne l'est pas, dans ce cas l'évaluation ainsi faite suppose que, s'il était introduit sur le marché, son prix s'établirait comme il est prédit, sans perturber les prix des autres actifs. Ceci n'est possible que si un certain nombre de conditions sont vérifiées par le marché. On résume généralement ces conditions en disant que le marché est "complet". Cette expression cache de nombreuses conditions de nature différentes, notamment : il n'y a pas de friction sur le marché, c'est-à-dire que les coûts de transaction, taxes et contraintes réglementaires sont intégrées correctement dans la définition des

paiements des actifs ; le marché contient assez d'actifs pour qu'un portefeuille de réplication puisse être formé (ou une stratégie de portefeuilles tenant compte des arrivées d'informations) ; le marché est purement concurrentiel (il ne permet pas de délit d'initiés, de pouvoir stratégique, de manipulation des prix, etc.).

Lorsque toutes ces conditions sont vérifiées, l'introduction d'un actif qui est redondant, au sens que ses paiements pourraient être obtenus par un portefeuille d'actifs négociés qui le réplique, ne peut se faire qu'au prix défini par le coût de réplication de ce portefeuille. 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.

C'est le principe que nous retenons pour "évaluer" un risque. Pour être appliqué, ce principe suppose que plusieurs problèmes soient résolus :

- trouver une représentation du risque qui permette de le répliquer par un portefeuille et construire ce portefeuille d'actifs financiers négociés ;
- extraire du coût de formation de ce portefeuille, le "prix du risque" qu'il représente ;
- appliquer ce prix du risque au risque à évaluer.

Le dernier problème est celui dont nous avons traité au paragraphe précédent. Il se fonde sur la formule fondamentale de la Finance qui dit 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 ces taux dépend du modèle et de la représentation de l'incertitude sur les paiements futurs.

Le second problème sera résolu de manière différente selon le modèle de marchés financiers à l'équilibre auquel on se réfère.

- S'il s'agit du CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) 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 de tout actif négocié en fonction de celui du portefeuille de marché et du taux sans risque :

$r_i = r_0 + \mathbf{b}_i(r_M - r_0)$  où  $\mathbf{b}_i$  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 papiers de Black et Scholes (1993) et Merton (1993), 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 :  
 $dS = \mathbf{a}(S, t) dt + \mathbf{s}(S, t) dW$  où  $W$  est un processus de Wiener (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 martingale (expression dynamique de la formule fondamentale de la finance), par rapport à une mesure définie par les prix des actifs négociés. Cette mesure est la mesure du risque par le marché (mesure corrigée du risque ou encore mesure risque-neutre).

- Soit qu'on le prenne comme une approximation en temps discret du modèle précédent, soit qu'il soit considéré comme une représentation simple d'un processus discret par nature, le processus binomial est souvent utilisé pour décrire l'évolution d'un processus de paiements. Dans le modèle de Cox, Ross et Rubinstein (1978) le processus binomial 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, ou 0 s'il descend.

Il est à noter que, s'agissant d'une description discrète de l'ensemble des états, la distribution de probabilités binomiale qui sert à décrire l'incertitude ne joue aucun rôle dans la détermination de la mesure corrigée du risque. En effet ce calcul se fait en résolvant des systèmes d'équation ne faisant intervenir que les paiements à répliquer et non la probabilités de leur réalisation, contrairement au cas brownien où les équations sont des équations différentielles stochastiques. On comprend l'importance de cette remarque pour l'évaluation de risques dont la distribution de probabilités est controversée.

A partir de ce taux calculé avec les prix d'un actif dont les paiements suivent le processus binomial (et d'un actif sans risque), on peut calculer le prix de tout actif dont les paiements sont fonctions de l'actif initial (appelé le sous-jacent). C'est le cas, par définition, des actifs dérivés du sous-jacent, les options, notamment.



Mais le modèle est plus général encore. En effet, il n'est pas besoin de connaître explicitement la fonction qui relie les paiements de l'actif sous-jacent et ceux d'un actif à évaluer. Il suffit de savoir que le processus des paiements de l'actif à évaluer suit le même processus. Ceci est assuré dès qu'on sait qu'il existe une fonction déterministe reliant les paiements de l'actif à évaluer et ceux de l'actif négocié, sans qu'il soit nécessaire de la connaître de manière explicite.

Une condition pour qu'une telle fonction existe est que les variables aléatoires des paiements des deux actifs soient, à une certaine échéance, comonotones. Deux variables sont comonotones si et seulement si leurs accroissements entre deux états sont de même signe. On peut montrer<sup>6</sup> 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 pertinente aussi pour l'actif qui lui est comonotone. Par conséquent, la mesure corrigée du risque calculée à partir du processus de prix de l'actif négocié est celle à appliquer à l'actif qui lui est comonotone. L'intérêt de ce résultat, concernant l'évaluation de risques controversés, vient de ce qu'il n'est pas besoin d'en connaître la distribution de probabilités, comme toujours dans le cas binomial, mais de plus il n'est pas besoin d'identifier les états aléatoires autrement qu'en vérifiant que la variable aléatoire des paiements du risque à évaluer est bien comonotone à celle des paiements d'un actif négocié.

Ces résultats sont à la base de la construction de portefeuilles qui joueront le rôle d'actifs sous-jacents. Ils seront, selon le modèle de référence, proches en terme d'erreur quadratique ou fonctionnellement reliés ou encore comonotones aux risques à évaluer. Ces portefeuilles ne sont pas des actifs financiers directement négociés et adaptés au risque à évaluer, ils seront construits de telles manières qu'ils puissent couvrir ce risque, sur la base de données statistiques et selon des méthodes que nous élaborons dans la section suivante.

Les résultats et les modèles financiers de référence sont détaillés dans l'annexe 4 : "**Trois modèles dynamiques d'évaluation d'actifs dérivés**". Leurs extensions aux cas d'actifs non négociés, connues sous le nom de "théorie des options réelles", sont présentées dans l'annexe 5 : "**Évaluation des projets d'investissement**".

---

<sup>6</sup>Voir, par exemple, Chateaufort, Cohen et Kast, : "comonotone random variables in economics, a review of some results", DT GREQAM 97A04, 1997.

La relation entre le projet à évaluer et un actif financier négocié pose difficulté dans les application de cette dernière théorie. Nous proposons, dans la section suivante, une méthodologie qui permet de le résoudre.

## 2.3 Construction de portefeuilles de couverture virtuelle

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. Concernant les données financières, s'agissant d'actif négociés sur les marchés financiers, les données sont au contraire pléthoriques et la difficulté consiste à savoir lesquelles prendre (quels actifs et quels intervalles d'observation). Nous considérons ces problèmes comme résolus dans un premier temps et nous y reviendrons dans les applications. Nous supposons que, concernant les données financières, les observations passées permettent d'estimer les paramètres d'un processus de diffusion. Notre approche est alors élaborée (résolution des problèmes statistiques et calculatoires), en prenant pour actif à évaluer un actif dont nous connaissons, en fait, le prix. Nous aurons ainsi une référence pour calibrer nos méthodes et en calculer le degré de fiabilité concernant l'évaluation. 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 proposons repose sur la construction d'un portefeuille d'actifs négociés qui soit "identifiable" au risque à évaluer (qui le "réplique" ou qui puisse lui servir de couverture financière). En effet, les théories supposent connus les actifs de référence, soit par définition (actifs dérivés) soit sur la base de relation 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.

Dans les applications il est nécessaire de faire une approximation binomiale des processus des paiements des actifs sur un marché. En effet, les risques controversés sont représentés par des listes finies de paiements, ce qui nécessite une formalisation finie des paiements des actifs du marché.

### **2.3.1 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'actif. L'indice de marché (ici le CAC 40) 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 demandes excèdent les offres. 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 CAC 40. Il s'agit donc bien d'un problème de réplification d'un actif par un portefeuille formé à partir d'un ensemble d'actifs donnés.

La méthode de réplification 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).

Nous transposons cette méthode à la réplification d'un des actifs d'une liste de 30 à partir des 29 autres, puis, le portefeuille de réplification trouvé, nous mesurons l'erreur commise sur les prix. Le coût de formation du portefeuille doit être égal au prix de l'actif qu'il réplique, l'écart nous donne donc la précision de la méthode. Dans un second temps, nous essayons de réduire le nombre des actifs utilisés, à 20 et à 10, pour avoir une indication du rapport entre la précision et le nombre d'actifs.

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 de taux de rendements risqués et du taux sans risque) des différents facteurs. C'est à ce niveau que la méthode est employée pour "répliquer" les facteurs par des portefeuilles d'actifs négociés.

### 2.3.2 Recherche d'une relation fonctionnelle

On utilise dans un premier temps les résultats de la méthode précédente afin d'avoir une base de départ et de comparaison. On cherche à savoir si le portefeuille trouvé est en relation fonctionnelle avec l'actif à évaluer. On utilise pour cela l'indice de corrélation fonctionnelle qui devrait être égal à 1 si cette relation existait. Comme on peut s'en douter, l'imprécision de la méthode ne donne pas de très bons résultats (voir annexe 6, pour la présentation des propriétés de l'indice et les calculs de sa valeur pour les portefeuilles obtenus par la méthode de minimisation de la *tracking error*).

On reprend alors le travail depuis le début en se servant de l'indice de corrélation fonctionnelle que l'on fait tendre vers 1 (on minimise la différence entre l'indice et 1) pour trouver le portefeuille dont les taux de rendement sont fonction de ceux du risque à évaluer. Comme expliqué dans l'annexe 6, la fonction qui minimise la différence entre l'indice de corrélation fonctionnelle et 1, est estimée par une approximation de fonctions élémentaires (extraites d'une base de Hamel).

En utilisant cette fonction estimée, le risque à évaluer peut-être considéré comme celui défini par les taux de rendement d'un actif dérivé du portefeuille obtenu.

Son évaluation est alors calculée par la méthode d'approximation binomiale sur laquelle nous reviendrons dans le paragraphe final de cette section.

Enfin, on compare les résultats de la première méthode et de la seconde dans l'annexe 6 : **"Évaluation des risques controversés par la théorie des options réelles"**.

Du fait que la relation fonctionnelle est estimée, on introduit une source d'erreur parce qu'on évalue l'actif, non pas en fonction de ses paiements finals, mais en fonction de ceux définis par la relation fonctionnelle estimée. S'agissant d'une approximation binomiale du processus du sous-jacent, on pourrait se contenter, au lieu de la relation fonctionnelle, de l'assurance que les paiements (ou les taux de rendements) finals du processus sont comonotones avec ceux du portefeuille.

### 2.3.3 Recherche d'une relation de comonotonie

Si deux variables aléatoires à valeurs finies sont comonotones, c'est à dire si leurs accroissements entre deux états se font toujours dans le même sens, on peut considérer que les "causes" des variations de l'une (les états de la nature) sont identiques à celles des variations de l'autre. Or, 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. Il est alors justifié de rechercher un actif financier négocié dont les paiements soient comonotones à ceux du risque à évaluer. En effet, les prix de l'actif financier déterminent la mesure corrigée du risque, mesure qui permet à son tour de calculer le prix que devrait avoir le risque à évaluer. Ce prix est le coût de formation d'une stratégie de portefeuilles formés de l'actif négocié et d'un actif sans risque qui réplique parfaitement le risque à évaluer.

Ainsi, la recherche d'un actif financier qui soit comonotone avec le risque à évaluer s'inscrit bien dans la troisième méthode de réplication. Dans un premier temps, il est nécessaire de définir comment on établit l'existence d'une relation de comonotonie. On se servira, pour faire ce calibrage, d'actifs dont on sait que leurs paiements sont comonotones ou devraient l'être. On prendra pour cela une action et une option d'achat sur cette action.

L'indice de Kendall (voir annexe 7) indique si deux actifs sont comonotones. L'indice doit valoir 1. Sur la base d'une option et de son sous-jacent, on calcule la valeur de l'indice de Kendall et on met en rapport cette valeur et les écarts entre prix théoriques et prix observés. Ces écarts dépendent du nombre de pas retenus pour la discrétisation.

Ce degré d'adéquation étant établi, on reprend la base des 30 actifs et l'évaluation de l'un d'entre eux à partir des 29 autres.

On calcule l'indice de Kendall obtenu pour le portefeuille trouvé par la première et la seconde méthode. Ils sont, naturellement, très éloignés de 1 puisque l'existence d'une relation fonctionnelle n'implique pas que la fonction soit croissante comme ce serait le cas si les deux variables aléatoires étaient comonotones (voir annexe 6).

On cherche alors une construction directe d'un portefeuille qui maximise l'indice de Kendall. 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 méthode de programmation doit alors passer par des méthodes particulières dont deux, la méthode "du recuit simulé" et celle des algorithmes génétiques ont été appliqués au cas de l'indice de Kendall grâce à la collaboration du Professeur Bernhard et de ses étudiants de l'Université de Nice-Sophia-Antipolis, voir l'annexe 7 : "**Maximisation de l'indice de Kendall**".

### **2.3.4 Approximation binomiale dans le calcul des prix**

La méthode d'approximation binomiale d'un processus de diffusion a été établie et employée dans le cadre du calcul des prix d'options. Il s'agit dans un premier temps de la calibrer sur des exemples où la théorie s'applique, on prendra comme référence un actif et une option dont il est le sous-jacent afin de déterminer le degré d'approximation en fonction du nombre de valeurs finales retenu. (Pour les applications à des actifs controversés, ce nombre est donné par les résultats de l'enquête).

Dans un second temps, la méthode est appliquée aux différentes méthodes de réplcation qui précèdent et leurs résultats comparés afin de mesurer la perte de précision entraînée par l'approximation.

Plus précisément, les étapes des calculs sont les suivantes.

- On vérifie que le processus des taux de rendements du portefeuille est un processus de diffusion dont on estime la volatilité instantanée.
- On "binomialise" ce processus selon différentes étapes discrètes ( $n = 5$ ,  $n = 10$ ,  $n = 20$ , où  $n$  est le nombre de valeurs finales).
- On calcule alors les taux de rendements finals de l'actif à évaluer en utilisant la fonction estimée.
- On calcule les probabilités corrigées du risque à partir des taux de rendement du sous-jacent (le portefeuille) et des taux sans risque correspondant aux sous périodes déterminées par la binomialisation.
- On calcule (à partir des taux de rendements) les paiements de l'actif à évaluer et on en déduit le prix théorique initial comme espérance des paiements finals actualisés (par rapport à la distribution corrigée du risque).
- On mesure le degré de fiabilité de la méthode en comparant les prix théoriques aux prix observés (ou les taux de rendements) pour les différentes valeurs discrètes du processus, pour les différentes approximations de la relation fonctionnelle et enfin selon le nombre d'actifs négociés utilisés dans le portefeuille.

### **2.3.5 Application à un actif non négocié**

On définit un actif "tourisme" en utilisant les valeurs historiques observées fournies par l'office départemental du tourisme de l'Aveyron. On reconstitue des valeurs monétaires à l'aide des données sur les fréquentations et des prix moyens de séjour. Ces données constituent donc les "observations" des paiements de l'actif à évaluer, dans le passé. Il s'agit alors de construire un portefeuille d'actifs financiers qui le réplique au sens des méthodes précédentes.

a) Construction de l'actif tourisme :

L'actif tourisme a été construit à partir des dépenses d'hébergement moyennes des individus dans le département de l'Aveyron. La construction de cet actif a été réalisée pour une période allant de mai 1993 à septembre 1999. Cette série n'est pas continue, puisque n'ont été pris en considération que les mois les plus touristiques, à savoir les mois de mai, juin, juillet, août et septembre. Pour construire, l'actif tourisme, on s'est servi des taux d'occupation par catégorie (à savoir le nombre d'étoiles) dans les hôtels, campings et gîtes ruraux. À partir de ces taux d'occupation et du nombre total de chambres, d'emplacements ou de gîtes disponibles dans le département, on a fait une estimation approximative du nombre de chambres, emplacements et gîtes occupés pendant le mois.

On calcule alors le prix moyen que devait dépenser un touriste pour une nuit dans :

Les hôtels

Nombre d'étoiles	nombre d'hôtels répertoriés	nombre d'hôtels en Aveyron	Prix moyens Pour une nuit
Sans étoiles	17	35	170 F
1 étoile	24	24	175 F
2 étoiles	62	95	240 F
3 et 4 étoiles	18	23	460 F

Un tableau similaire est établi pour les campings et pour les gîtes ruraux. Avec tout ces éléments, on a calculé la dépense totale des touristes pour chaque type d'hébergement et pour chaque mois étudié. On a fait ensuite une moyenne générale de ces dépenses afin d'obtenir l'actif suivant :

mai-93 257	juin-93 237	juil-93 172	Août-93 161	sept-93 228
mai-94 239	juin-94 233	juil-94 168	Août-94 171	sept-94 224
mai-95 164	juin-95 218	juil-95 173	Août-95 199	sept-95 241
mai-96 242	juin-96 219	juil-96 176	Août-96 187	sept-96 252
mai-97 244	juin-97 88	juil-97 183	Août-97 199	sept-97 254
mai-98 248	juin-98 222	juil-98 178	Août-98 173	sept-98 243
mai-99 234	juin-99 212	juil-99 171	août-99 177	sept-99 226

A partir de ces données, l'objectif est de créer un portefeuille de réplication avec les valeurs des 30 actions du CAC 40 utilisées plus haut. Pour faire cela, on doit calculer les rentabilités de l'actif tourisme. On utilise la formule  $R_t = (W_{t+1} - W_t) / W_t$

On a donc la série des rentabilités qui suit :

mai-93 -0,0786	juin-93 -0,2763	juil-93 -0,0616	août-93 0,4149	sept-93 0,0483
mai-94 -0,0228	juin-94 -0,2785	juil-94 0,0143	août-94 0,3149	sept-94 -0,2677
mai-95 0,3270	juin-95 -0,2058	juil-95 0,1514	août-95 0,2096	sept-95 0,0036
mai-96 -0,0963	juin-96 -0,1945	juil-96 0,0588	août-96 0,3483	sept-96 -0,0315
mai-97 -0,6389	juin-97 -0,1682	juil-97 0,0855	août-97 0,2767	sept-97 -0,0242
mai-98 -0,1031	juin-98 -0,1984	juil-98 -0,0277	août-98 0,4029	sept-98 -0,0359
mai-99 -0,0978	juin-99 -0,1923	juil-99 0,0349	août-99 0,2804	

#### b) Construction du portefeuille de réplication de l'option réelle

On peut désormais utiliser la méthode de la liaison fonctionnelle pour calculer la répartition des 30 actifs dans le portefeuille du CAC 40, comme cela a été fait pour un actif financier dans la partie



précédente. A partir de quoi une approximation du prix du risque "tourisme" peut-être obtenue en fonction du nombre de séjours attendus.

## **Conclusion du chapitre 2**

La méthode permettant de renouveler le calcul économique que nous développons dans la seconde section de ce chapitre consiste à construire un instrument financier virtuel qui permettrait de couvrir le risque pris en engageant un investissement public. Ce risque reflète notamment les controverses qui concernent les bénéfices et qui les rendent aléatoires pour le décideur public, même s'ils ne dépendent pas de chocs exogènes. Dans le cas où les bénéfices dépendent effectivement de tels chocs, les controverses portant sur la mesure de leur vraisemblance seraient pris en compte de la même manière. L'instrument financier qui réplique le risque à évaluer est construit sur la base des données statistiques concernant ses réalisations passées. Cet instrument de couverture virtuelle (il couvrirait effectivement le risque si ses réalisations futures correspondaient à celles observées par le passé) nous donne, d'après la théorie financière, la valeur à attribuer à ce risque. Plus précisément, les développements récents de la théorie financière montrent que cette évaluation nous donne une mesure de l'incertitude pertinente pour ce risque, mesure qui intègre les informations et les comportements des agents économiques qui interviennent sur les marchés financiers de référence. Le recours à cette mesure, plutôt qu'à une mesure subjective est justifié par une notion d'efficacité fondée sur la rationalité individuelle : toute décision prise sur la base d'une autre mesure serait dominée par celle-ci. Pour le décideur public, le calcul d'un équivalent certain de ce risque financier ne peut donc être fondé que sur les prix de marché, les prix d'instruments financiers, en l'occurrence. Le recours à toute autre évaluation fondée sur un critère individuel amènerait à prendre une décision dont les bénéfices attendus seraient inférieurs.

## Chapitre 3

### Couverture des risques et procédures de décision publique

Ce chapitre aborde des problèmes difficiles qui touchent à l'intégration du calcul économique dans les processus de décision publique. Le premier concerne le recours aux marchés financiers (au sens large, incluant, notamment le marché des assurances) pour la couverture, la gestion et l'évaluation des risques. Le second se pose en amont, puisqu'il s'attaque à la détermination et à l'évaluation en termes monétaires des conséquences d'un investissement public. Le troisième met en question la procédure de décision publique tenant compte à la fois des aspects socio-politique et des aspects économique du problème.

Dans le chapitre précédent, nous nous sommes concentrés sur l'évaluation des risques financiers découlant d'un projet d'investissement public, en les rapprochant de ceux qui sont échangés sur les marchés. Ceci suppose que ces derniers jouent pleinement le rôle d'une organisation sociale où les agents économiques créent et échangent des instruments de couverture et de spéculation dont ils ont besoin pour gérer les risques. Nous ne ferons que mentionner ici les problèmes de régulation et de fonctionnement de ces marchés, qui sont essentiels, pour nous concentrer sur le problème de leur utilisation. Dans la première section, nous interrogeons la pertinence de la référence au modèle d'équilibre général pour l'appréciation des risques, lorsque les marchés ne sont pas complets. Dans un second temps, nous proposons quelques principes pour remédier à cette incomplétude et nous étudions les moyens de créer de nouveaux marchés d'instruments adaptés à des risques controversés et non assurables.

Dans la seconde section, nous abordons le sujet de la monétarisation et de la perception des conséquences possibles d'un projet d'investissement public par les individus. Dans une première partie, nous présentons la méthode d'évaluation contingente, en précisant ses limites et en argumentant en faveur d'adaptations qui l'améliorent. Cette méthode dépend fortement, dans ses aspects pratiques, d'enquêtes réalisées auprès des individus concernés. De telles enquêtes, leur élaboration, leur domaine de validité et leur interprétation débordent largement la sphère de l'économie. Le recours à des travaux multidisciplinaires économie, sociologie, psychologie est montré comme nécessaire. Dans la seconde partie, nous faisons état de réflexions préalables aux projets d'enquêtes qui auraient pu être réalisées pendant la phase d'étude du projet de Millau. On

aura vu, en fin de chacun des chapitres de l'annexe 1, des éléments pour l'élaboration de telles enquêtes visant à étudier la perception des trois impacts présentés (urbanisme, tourisme, environnement). La réflexion générale repose sur une analyse anthropologique de la perception des risques à travers les métiers et les coutumes de la population interrogée.

La troisième section aborde, dans le cadre d'un modèle, le rapport entre aspects économiques et aspects socio-politiques dans le processus de décision publique. On y montre que des méthodes expérimentales, dans le cadre d'enquêtes, pourraient conduire à une évaluation globale du projet, qui prenne en compte les interactions des individus et leurs perception du caractère public des projets.

### **3.1 Le rôle de l'épargne dans la gestion des risques**

Dans les sociétés modernes, trois types de structures sont spécialisées dans l'échange des risques : les marchés financiers (au sens large), les entreprises d'assurance et certains organismes publics. Ceci ne nie bien évidemment pas l'existence d'autres échanges de risques, entre firmes ou entre particuliers par exemple. Les trois grandes structures de gestion des risques ne permettent, en général, un échange facile et peu onéreux, que pour certains types de risques dont il convient d'étudier les caractéristiques.

En ce qui concerne les entreprises d'assurance, tout d'abord, on distingue les risques pour lesquels la diversification est possible, des risques pour lesquels seule la mutualisation peut jouer. La diversification des risques intervient lorsque les agents sont touchés par le même type de risque mais que les réalisations de ces risques sont indépendantes. Elle concerne un certain nombre de risques liés à la "la vie de tous les jours", comme l'assurance des personnes ou des biens, dans certaines limites de montants et pour des causes nombreuses et quasi individuelles, de telle sorte que la loi des grands nombres puisse s'appliquer. Dans ce cas, la prime ne s'éloignera de l'espérance de perte que du montant d'un chargement qui couvre les frais de fonctionnement et le profit des entreprises d'assurance.

Les risques non indépendants ou qui mettent en jeu des montants importants, comme les risques industriels majeurs ou les catastrophes naturelles ne permettent pas une diversification. La possibilité d'assurance provient alors de la mutualisation, c'est-à-dire du partage des risques entre des agents susceptibles de les assumer sans défaillance. Leur assurance pose un certain nombre de problèmes. Les primes d'assurance seront plus élevées que dans le cas précédent, puisqu'elles intègrent un chargement pour le risque. Ces événements étant, par nature, rares et ne pouvant être

comparés entre eux, il est difficile de calculer une espérance de perte ou une prime de risque comme nous l'avons déjà mis en évidence.

Qu'il s'agisse de risques diversifiables ou mutualisables, l'assurance fait face à deux problèmes majeurs : la sélection contraire et le risque moral. Le premier phénomène est dû au fait que les assurés ont une information plus grande que l'assureur sur le type de risque auquel ils font face (asymétrie d'information). Par suite, l'assureur est tenté de faire payer une prime identique à tous, puisqu'il n'est pas dans la position de discriminer parmi sa clientèle. Les individus ayant un risque faible sont donc découragés de s'assurer, alors que les individus ayant un risque élevé y ont encouragés. Pour limiter ce phénomène, les assureurs mettent en place des systèmes d'information sur les assurés, ce qui est en partie limité par la loi car source d'inéquité. La sélection inverse n'est donc pas totalement éliminée.

Le risque moral est plus important pour notre propos. Il correspond au fait qu'un individu parfaitement assuré est conduit à prendre des précautions moins importantes pour éviter un dommage. Pour lutter contre cet accroissement de risque, les assureurs ont recours à l'assurance partielle (comme la franchise par exemple). La conséquence de ces comportements peut être la difficulté ou même l'impossibilité de s'assurer contre un risque important.

Les organismes publics d'assurance ont pour vocation d'assurer dans le cas où les risques ne sont pas diversifiables et trop importants pour être assumés par des entreprises privées (rôle de payeur en dernier ressort de l'État). Ils ont également une mission de solidarité, en assurant, à des conditions identiques, des agents ayant des risques différents. Leur caractère obligatoire provient de cette dernière propriété. Si tel n'était pas le cas, seuls les individus à haut risque auraient recours aux organismes publics, ce qui mettrait en cause leur équilibre et leur fonction de répartition des revenus. Si la sélection contraire est annihilée par le caractère obligatoire de l'assurance, le risque moral est néanmoins présent. Les méthodes utilisées conduisent également à proposer une assurance partielle (ticket modérateur en assurance maladie, limitation et décroissance des allocations chômage).

Les marchés financiers sont également des lieux où s'échangent des risques. On y trouve les risques liés au financement de l'entreprise et de l'État (actions, obligations et leurs hybrides et dérivés). D'autres marchés permettent également de couvrir les risques liés à l'exploitation, comme les *futures* sur matières premières industrielles et agricoles ou produits de base. Les marchés de devises correspondent à l'échange du risque de change. Des marchés de risques titrisés se sont également développés. Ils permettent la mise en commun des risques partiellement indépendants, comme les hypothèques ou non indépendants, comme les assurances contre les catastrophes naturelles. Outre l'éventuelle diversification, leur objectif est de partager des risques correspondant à des montants trop importants pour une ou plusieurs entreprises d'assurance mais pouvant être partagés sur les marchés qui drainent des capitaux nettement plus importants. Ils présentent

également l'avantage de faire émerger un prix de marché pour des risques qui ne sont pas aisés à évaluer et de faire bénéficier, par l'effet de la taille et de la standardisation, de coûts de transaction réduits.

La conclusion que nous pouvons tirer de cette rapide présentation des différents types de gestion des risques est double. D'une part, certains risques ne sont pas ou sont mal assurés, du fait de leurs caractéristiques ou à cause des problèmes liés à leur assurance (sélection inverse et risque moral). Les agents économiques peuvent donc être amenés à utiliser des instruments peu adaptés à leur gestion. D'autre part, il serait utile de développer d'avantage de marchés financiers où s'échangent des risques difficilement assurables.

L'analyse qui suit traitera de ces deux aspects. Dans un premier paragraphe, nous nous pencherons sur le rôle que peut avoir l'épargne de précaution pour gérer des risques qui ne sont pas parfaitement assurables par des instrument adéquats. Dans un second paragraphe, nous étudierons dans quelle mesure certains instruments de marché pourraient améliorer la gestion de risques liés aux fluctuations économiques.

### **3.1.1. Le rôle de l'épargne de précaution dans les marché incomplets**

Si les marchés sont incomplets, au sens où certains risques ne peuvent être entièrement couverts, les agents seront conduits à utiliser des instruments de couverture imparfaits. Il peut s'agir d'actifs pour lesquels il existe des restrictions sur les quantités offertes ou d'actifs imparfaitement corrélés avec le risque à couvrir. Dans le pire des cas, en l'absence de tels titres, les agents ne peuvent que recourir à l'épargne de précaution pour couvrir ces risques. Nous entendons ici le terme d'épargne de précaution comme une épargne en actif sans risque. Cette épargne générera des paiements dans toutes les situation futures possibles, y compris les états du monde dans lesquels le risque s'est matérialisé. Cette conception correspond bien à l'idée d'une précaution générale, devant permettre de faire face à des situations futures, pour lesquelles il est difficile de prendre des mesures de protection particulières qui soient tout à fait adaptées. Cette approche diffère des versions de type CAPM du modèle d'équilibre général (Mossin [1966]) pour lesquelles l'épargne de précaution est définie comme la richesse présente investie dans un portefeuille (Leland [1968]). Nous traitons de ce problème dans le cadre d'un modèle de type Arrow-Radner (Arrow [1953], Radner [1982]). Ces modèles ne nécessitent pas de probabilisation des états futurs du monde et le comportement des agents est soumis aux hypothèses standards de l'équilibre général. Il sera donc utile de comparer les résultats obtenus avec ceux des modèles dans lesquelles il y a connaissance commune d'une distribution de probabilité sur les états et où les agents se comportent selon la théorie de l'utilité espérée (Sandmo [1970], Gollier, Jullien et Treich [1997]).

Les risques auxquels les agents font face sont formalisés comme l'éventualité de pertes dans leur richesse future. Ces pertes sont compensées par un accroissement de la richesse présente, de telle sorte que l'utilité initiale soit conservée (neutralisation de l'effet revenu). Les agents réallouent alors leur épargne pour tenir compte de l'accroissement des risques (effet de substitution). Le but est de mesurer l'effet de l'accroissement du risque sur le comportement d'épargne de précaution des agents.

Nous présentons ici les résultats obtenus dans cette approche : les effets de l'accroissement des risques sur l'épargne de précaution, dans le cas général et pour le cas particulier de l'utilité espérée.

Nous nous plaçons donc dans le cadre de marchés incomplets où les agents n'ont d'autre possibilité, pour faire face au risque, que de consacrer une partie de leur richesse présente à une épargne qui leur permettra d'augmenter leur revenu dans le futur si un risque se manifeste mais l'augmentera également si la perte ne se produit pas.

Le sens de variation de l'épargne de précaution, en réponse à un accroissement des risques, ne peut être déterminé sous les hypothèses habituelles. Il dépend des effets croisés dans la substitution entre consommation présente et future. En effet, l'épargne de précaution a deux fonctions : répartir le revenu entre deux dates et répartir le revenu entre un état non risqué (la date présente) et un état risqué (futur). Ces deux effets peuvent se contrarier et le signe de leur résultante n'est pas déterminé.

L'analyse standard ne tranchant pas sur le signe des dérivées secondes de la fonction d'utilité, il est impossible de conclure dans le cas général. Ces signes font intervenir les préférences intertemporelles des agents et leurs attitudes vis-à-vis de l'incertitude.

Dans le cas particulier de l'utilité espérée, la linéarité du critère de décision élimine les termes croisés du second ordre. L'épargne de précaution augmente systématiquement avec l'accroissement du risque

Nous avons traité du cas extrême où les agents ne disposent, pour tout moyen de couverture, que d'un actif sans risque et nous avons pu constater que, contrairement au cas particulier de l'utilité espérée, il n'est pas possible, en général, de tirer des conclusions sur le comportement des agents en matière de précaution, voir l'annexe 8, "**Le rôle de l'épargne dans la gestion des risques**", section 1.

Cette constatation, transposée au niveau macroéconomique, laisse supposer des carences dans le système de protection des risques. Si nous avons pu étudier précédemment des moyens de gestion des risques en situation d'incertitude par réplication des risques à couvrir, une autre possibilité doit être envisagée : la titrisation des risques. Cette méthode s'applique depuis un certain temps à de nombreux types de risques posant des problèmes de couverture en dehors des marchés, comme les catastrophes naturelles par exemple. Nous proposons, dans le paragraphe suivant, une extension de ces marchés à des risques liés à l'activité économique générale.

### **3.1.2. Couverture des risques par des actifs contingents à l'activité économique**

Comme nous avons pu le constater en introduction de cette partie, de nombreux risques sont difficilement, imparfaitement assurables, voire non assurables directement. Les raisons de ces difficultés sont l'impossibilité de diversifier ces risques, ainsi que les phénomènes de sélection inverse et de risque moral. Une part importante de ces risques est liée à l'activité économique d'un pays. On peut citer, comme particulièrement coûteux, le risque de chômage, pour les individus et le risque de défaillance des entreprises.

En ce qui concerne le premier, nous pouvons tout d'abord remarquer qu'il est possible de concevoir le problème sous un angle, plus général, qui touche à la fluctuation de revenu pour les individus. Lorsque la croissance diminue, ou même se renverse, la progression des salaires se ralentit ou s'inverse, les revenus de l'épargne tendent à décliner et le chômage progresse. C'est l'ensemble de ces conséquences qui affectent les revenus des particuliers, les rendant sensibles à la conjoncture économique. Il est certain que, pour les salariés, le risque de chômage a les conséquences les plus radicales sur le revenu, ce qui explique que nous lui portions une attention spéciale dans la suite.

Le risque de défaillance des entreprises entraîne des retombées sur de nombreux acteurs de l'économie ; sur les propriétaires, dirigeants et salariés de l'entreprise en premier lieu mais également en dehors de la firme sur ses fournisseurs, clients et créanciers.

Ces deux types de risques ont pour point commun, outre leurs causes, le fait que nous puissions les considérer comme des risques "sociaux", au sens où ils touchent quasiment à l'ensemble de la société : revenus des particuliers, profits des entreprises, budget de l'État.

Nous pouvons, dès à présent, tirer deux conclusions de ces constatations :

- Ces risques sont fortement corrélés. Ils possèdent, en effet, une cause commune, même si il n'est bien entendu pas question de prétendre que le chômage ou la défaillance d'entreprise soient uniquement dus à la conjoncture. Si nous évoquons le chômage, un des clivages fondamentaux

dans son analyse, sépare une composante structurelle d'une composante conjoncturelle. Nous évoquons ici uniquement la seconde et relient donc le chômage à l'insuffisance de la croissance.

D'un autre point de vue, plus financier, on est amené à séparer, pour un risque, la partie spécifique, due à des facteurs particuliers, de la partie non diversifiable, due à des facteurs économiques généraux. Quand bien même il serait possible de diversifier une partie des risques que nous venons d'évoquer, une part, sans doute importante, ne peut l'être.

- Ces risques sont difficilement mutualisables. Dans la mesure où ils touchent la quasi totalité des agents économiques en même temps, il n'est guère possible d'envisager que certains puissent les assumer à la place des autres.

Les deux caractéristiques de ces risques : corrélation et envergure empêchent l'existence d'une assurance au sens classique du terme. Face à ces problèmes, nous proposons une titrisation et étudions dans quelle mesure cette méthode permettrait d'améliorer la couverture de ces risques.

Remarquons, de manière préalable, que l'institution régissant le mécanisme d'assurance chômage n'est pas adaptée, sous sa forme actuelle, à son rôle, notamment au regard des problèmes soulevés en introduction de ce paragraphe. Ceci pour deux raisons :

- l'assurance chômage est imparfaite du fait de l'existence d'une franchise, réduction des remboursements dans le temps et extinction des droits à un certain terme. Cette imperfection constitue un mécanisme destiné à limiter le risque moral (Chiappori et Pinquet [1999]), elle ne peut donc être supprimée aisément.

- Elle est gérée par répartition. La répartition, dans le cas où les risques sont fortement corrélés, se restreint à un simple partage des risques. Elle induit donc des effets de répartition entre agents mais pas d'effet de répartition dans le temps, qui sont, en ce domaine, beaucoup plus importants. La constitution d'un régime d'indemnités chômage par capitalisation pose la question de la nature des actifs permettant une bonne gestion contra-cyclique.

Notre proposition concerne des actifs contingents à l'activité économique (dans la suite G-Bond). Il s'agit, en première analyse, d'obligations dont les paiements sont indexés au taux de croissance de l'économie (du PIB). On peut imaginer, par exemple, des taux de coupons égaux à une référence du marché monétaire à laquelle serait ajoutée la différence coefficientée d'un taux de croissance de référence et du taux de croissance observé. Le coefficient devrait tout à la fois rendre l'actif attractif pour les agents en position de couverture et éviter des taux de rendement extrêmes. Ceci nécessite une analyse statistique approfondie des données sur la croissance.

Les méthodes modernes de gestion des risques offrent des exemples similaires, avec des obligations liées aux catastrophes naturelles (Cat-Bonds) ou au climat (weather derivatives). Elles sont utilisées dans les cas où :



- les risques sont corrélés, donc la diversification inopérante ;
- les risques sont importants, donc le partage des risques insuffisant.

Ces deux conditions sont bien évidemment vérifiées dans le cas présent.

Quelle que soit la ou les formes que peuvent prendre ces instruments, seule la composante conjoncturelle du taux de croissance doit être couverte. Leur mise en œuvre réclame donc la réunion de plusieurs conditions :

- une mesure standardisée et incontestable des taux de croissance ;
- une estimation correcte et également standardisée du taux de croissance de référence, censé représenter le taux de croissance potentiel de l'économie. Les émissions nouvelles d'actifs doivent intégrer l'évolution de ce taux, pour tenir compte des modifications structurelles des économies.

Il reste cependant à régler le problème de la répartition dans le temps entre épargne et dépense. La réponse ne peut bien évidemment se situer qu'au niveau international, dans la mesure où, malgré les progrès de la mondialisation, les conjonctures des différents pays sont loin d'être parfaitement corrélées.

Le principe de fonctionnement des G-Bonds serait dû au transfert décentralisé de revenus des pays en haute conjoncture vers les pays en basse conjoncture.

Le bon fonctionnement d'un marché de G-Bonds nécessite l'expression d'une demande et d'une offre. Si les candidats à l'achat de G-Bonds, directement ou par l'intermédiaire d'institutions, sont bien évidemment les individus ou les organisations supportant un risque de chômage, de baisse de revenu ou d'activité en cas de basse conjoncture, il nous faut également trouver des contreparties possibles à ces positions longues. Comme nous l'avons indiqué, les vendeurs seront majoritairement extérieurs au pays dont on cherche à couvrir le risque. L'attrait des G-Bonds proviendrait du fait que, pour un gestionnaire, un portefeuille international de G-Bonds de différentes régions économiques (Europe, Amérique, Asie, etc.) permettrait de couvrir en partie le risque spécifique à chaque région. Par suite, la valeur d'un G-Bond pour l'acheteur (qui couvre un risque ayant deux composantes : spécifique et systématique) est supérieur à la valeur pour le vendeur (qui ne subit que le risque systématique, le risque spécifique ayant été diversifié), ce qui constitue un gage de viabilité d'un marché financier<sup>7</sup>.

Pour anticiper sur l'attrait des G-Bonds pour les investisseurs, en dehors des arbitragistes, il est nécessaire de vérifier les propriétés financières de ces actifs potentiels. Deux caractéristiques sont particulièrement importantes, leur place par rapport à la frontière efficiente dans le plan rendement - risque et leur corrélation avec le portefeuille de marché. Une faible corrélation, à plus forte

---

<sup>7</sup> Cf. Markowitz [1970].

raison une corrélation négative avec le portefeuille de marché permettrait à des investisseurs de diminuer leur risque, à rendement espéré donné ou d'augmenter leur rendement moyen, pour un niveau de risque fixé. Ce placement rejoindrait ainsi des instruments tels que les actifs contingents aux matières premières et produits de base, recommandés récemment dans la gestion de portefeuille.

## **Conclusion**

Le modèle de Arrow-Radner, lorsqu'il est utilisé dans toute sa généralité éclaire quelque peu la question complexe de l'épargne de précaution dans des situations incertaines. Ce modèle ne nécessite pas d'hypothèses fortes sur le comportement des agents ou une probabilisation des états du monde.

Lorsque les marchés financiers sont complets, les agents ont toute latitude pour couvrir, s'ils le souhaitent, les risques auxquels ils font face. Si les marchés sont incomplets, ils sont amenés à se contenter d'une couverture imparfaite, réalisée à l'aide des actifs disponibles. Si le seul instrument est l'actif sans risque, les effets mêlés du transfert de richesse dans le temps et entre les états peuvent conduire à des résultats contre-intuitifs : l'épargne de précaution n'augmente pas nécessairement avec la progression d'un risque.

Le modèle simple retenu ici a pour mérite, comme nous l'avons vu, de relever les grandes difficultés de couverture en l'absence d'actifs adéquats. Face à cette constatation, deux voies d'analyse peuvent alors être choisies. La première consiste à développer des instruments de gestion des risques par réplcation, en utilisant les propriétés statistiques des risques à couvrir et des instruments de marché. Cette approche a été présentée dans les parties précédentes. Une autre voie consiste à proposer, pour des risques majeurs, ceux liés à l'activité économique, par exemple, des instruments de couverture nouveaux. Les risques dus aux fluctuations de l'activité économique sont complexes. Quelle que soit l'explication retenue pour le cycle des affaires, il n'en reste pas moins un phénomène difficilement prévisible. Pour qu'une assurance contre les risques liés à l'activité économique puisse fonctionner correctement, il faut pouvoir compter sur une possible diversification des risques ou, à défaut, sur un partage des risques. Aucune de ces conditions n'est vérifiée dans le cas présent. Les risques subits par les agents sont corrélés, réduisant la possibilité de diversification. Le risque global est trop important pour être partagé, dans la mesure où la quasi-totalité des agents économiques sont touchés par une phase de basse conjoncture.

La solution de ce problème ne peut provenir que d'une diversification internationale des risques, les conjonctures étant souvent différentes selon les pays ou au moins les zones économiques. La théorie du portefeuille nous montre que, dans ce cas, l'agent qui souhaite se couvrir est prêt à

payer une prime couvrant le risque systématique et spécifique, alors que l'investisseur, en diversifiant son portefeuille, peut supprimer le risque systématique. Le marché est alors viable car les acheteurs de couverture ont un prix de réserve supérieur à celui des vendeurs.

Ce processus de diversification internationale des risques ne peut se concevoir que pour des instruments de marché et la forme logique de ces titres est celle d'actifs contingents aux taux de croissance des pays dans lesquels ils sont émis.

Voir l'annexe 8 : "**Le rôle de l'épargne dans la gestion des risques**".

## **3.2 Perceptions de la valeur des conséquences et perceptions des risques**

Cette section traite du recueil et du traitement de données sur les perceptions que les individus concernés par un projet public peuvent avoir sur ses impacts.

Dans la première partie de cette section, nous traitons du problème de l'évaluation de biens non marchands. Nous présentons les développements de méthodes qui ont été utilisées, ainsi que leurs supports théoriques, puis nous nous concentrons sur la "méthode d'évaluation contingente", en discutant de son application à différentes situations. Cette méthode fait appel à des techniques d'enquêtes dont l'élaboration requiert des références à d'autres sciences sociales que l'économie.

Dans la seconde partie, nous interrogeons les méthodes d'enquête utilisées, ou qui auraient pu l'être, dans les études d'impacts possibles du projet de viaduc de Millau.

### **3.2.1 La méthode d'évaluation contingente pour les avantages non-marchands**

Le problème dont nous traitons ici est celui de l'évaluation monétaire des coûts et des avantages (ou dommages) non-marchands. Confrontés à l'incapacité d'identifier dans toutes les situations des usages, ou plus largement des pratiques, les économistes mobilisent, de manière croissante, un instrument d'évaluation spécifique : la méthode d'évaluation contingente. Cette méthode d'évaluation consiste en la réalisation d'une enquête au cours de laquelle on apprécie le montant

que chacun serait prêt à payer pour une modification, qualitative ou quantitative des conséquences d'un projet, un actif environnemental, par exemple : le consentement à payer.

Nous présentons tout d'abord deux définitions qui tiennent une place centrale dans notre programme. La première définition est de nature théorique : la notion de consentement à payer. A partir de cette notion, nous allons établir les conditions dans lesquelles il est possible de donner une valeur à des biens non marchands, environnementaux, par exemple. Cette définition en appelle une autre, de nature plus pratique, celle de l'instrument d'évaluation utilisé : la méthode d'évaluation contingente.

### **Le consentement à payer**

Nous montrons comment il est possible, sur la base de la théorie du consommateur, d'inférer des valeurs monétaires pour des biens environnementaux qui ne font pas l'objet d'échanges marchands et pour lesquels n'existe pas de prix susceptible de renseigner sur la valeur de ces biens. Pour mener à bien cette présentation, nous adoptons, dans un premier temps, un cadre formalisé relativement simple. Celui-ci nous permet de mettre en évidence les principes essentiels qui guident l'analyse économique, lorsqu'elle s'attache à évaluer des biens environnementaux. Dans un second temps, nous présentons, de manière détaillée, un instrument d'évaluation particulier : la méthode d'évaluation contingente.

Dans cette formalisation simple, le consommateur est confronté à un espace des biens composés de  $n$  biens marchands et de  $l$  biens environnementaux. Les biens environnementaux dont il est question ici ont un caractère de bien public, de sorte que les quantités disponibles pour ces biens sont identiques pour tous les individus. Ainsi, une augmentation de quantité d'un bien environnemental particulier vaut pour l'ensemble des agents. Le principe fondateur consiste à identifier la valeur d'un bien pour un individu à la satisfaction (l'utilité) qu'il lui procure et à étendre ce principe aux actifs environnementaux. Si l'on accepte ce postulat, l'utilité d'un individu dépend de sa consommation de biens marchands mais également des quantités disponibles de biens environnementaux. En premier lieu, on représente une fonction d'utilité d'un individu  $i$  comme :

$$U_i(X_i, Z)$$

où  $X_i$  est le vecteur de  $n$  biens marchands et  $Z$  est le vecteur des  $l$  biens environnementaux. Comme dans la théorie classique du consommateur, on suppose que les individus maximisent leur utilité en choisissant parmi les biens marchands (les individus ne contrôlent pas le niveau de provision de biens environnementaux). On ramène alors les choix d'un consommateur  $i$  au programme d'optimisation suivant :

$$\max U_i(X_i, Z) \text{ s.c. } P X_i = Y_i,$$

où  $P$  est un vecteur de prix et  $Y_i$  son revenu. Le programme d'optimisation sous contrainte de revenu conduit à définir les fonctions de demande classiques (ou fonctions de demande hicksienne) :

$$X_i^k = h_i^k(P, Z, Y_i), \quad k=1, \dots, n$$

où l'exposant  $k$  indique le  $k$ -ème bien marchand. Sur la base de ces fonctions de demande, nous pouvons maintenant définir la fonction d'utilité indirecte d'un individu comme :

$$V_i(P, Z, Y_i) = U_i[h_i(P, Z, Y_i), Z]$$

dans laquelle l'utilité est représentée comme une fonction des prix, du revenu et également, dans notre cas, des biens environnementaux.

Supposons maintenant qu'au moins un des éléments de  $Z$  s'accroît, sans aucune décroissance dans les autres éléments (et aucun changement de prix et de revenu). Soit  $Z^0$  le vecteur initial des biens environnementaux. On considère un vecteur  $Z^1$  pour lequel il y a eu un accroissement d'au moins un élément. On peut alors écrire que  $Z^1 > Z^0$  et

$$U_i^1 = V_i(P, Z^1, Y_i) > U_i^0 = V_i(P, Z^0, Y_i)$$

La mesure de la variation compensatrice de la modification de bien-être (d'utilité) s'écrit en termes de la fonction d'utilité indirecte comme :

$$V_i(P, Z^1, Y_i - CAP_i) = V_i(P, Z^0, Y_i) = U_i^0$$

où la "variation compensatrice" est le montant de monnaie  $CAP_i$  qui, s'il est prélevé auprès de l'individu après le changement du vecteur des biens environnementaux de l'état  $Z^0$  à  $Z^1$ , le laissera à un niveau de bien-être identique à celui qui prévalait avant le changement. Cette variation compensatrice peut être considérée comme le "consentement à payer" pour l'accroissement de la quantité d'un bien environnemental particulier du vecteur  $Z$ .

En d'autres termes, le consentement à payer correspond donc à la diminution du revenu qui laisse le niveau initial d'utilité inchangé après l'accroissement de quantité, ou de niveau de qualité, d'un bien environnemental. Dans le cas idéal où il n'y a pas de rivalités d'usage, la valeur de l'accroissement d'une composante environnementale est obtenue par l'agrégation des consentements à payer individuels :

$$\text{Valeur} = \mathbf{Erreur!}$$

Cette analyse conduit donc à associer aux biens environnementaux une valeur monétaire. C'est donc bien une théorie de la valeur qui est ici en cause. En d'autres termes, c'est le montant de monnaie retranché du revenu du consommateur qui le laisse indifférent entre les deux situations.

L'analyse que nous avons décrite ne s'en tient qu'à des situations où il existe des usages effectifs des biens environnementaux. Il existe cependant d'autres types de valeurs qui ne sont pas imputables à un usage actif, telles des valeurs de legs ou de patrimoine. On qualifie ces valeurs de valeurs de non usage, de valeur d'usage indirect ou encore de valeur d'usage passif. Une étape supplémentaire consiste donc à distinguer dans notre analyse le bien-être relatif à l'usage du bien, de valeurs non reliées à l'usage du bien, valeurs de non usage ou valeurs d'usage passif. La fonction d'utilité s'écrit alors

$$U_i(X_i, Z) = W_i[ \bar{U}_i(X_i, Z), Z ]$$

où  $W_i(\cdot)$  croît en ses deux arguments. Le premier,  $\bar{U}_i(X_i, Z)$ , est la fonction d'utilité relative aux usages des biens, en particulier environnementaux,  $Z$ . Ces usages ne dépendent pas seulement de  $Z$  mais également des consommations engagées de biens marchands pour réaliser la consommation de  $Z$ . A titre d'exemple, on peut considérer le fait de prendre sa voiture, ou tout autre moyen de transport payant, pour se rendre sur un site naturel. Cette relation entre biens marchands et biens environnementaux peut aussi bien être illustrée par l'achat de fenêtres à double vitrage pour se protéger contre le bruit. Ces relations identifiables entre biens marchands et biens non marchands constituent les fondements des méthodes basées sur les préférences révélées : la "méthode des coûts évités" comptabilise les coûts marchands engendrés par la réparation d'une pollution particulière ; la "méthode des coûts de transport" évalue les valeurs d'usage d'un site en quantifiant les dépenses de transport engagées pour se rendre sur le site (on doit ses fondements à Hotelling (1947)); la "méthode des coûts de protection" quantifie les dépenses de protection contre une baisse de qualité de l'environnement (voir par exemple Blomquist (1979) ou Dardis (1980)); la "méthode des prix hédonistiques" conduit des analyses comparées de prix d'habitations pour lesquelles seule la composante environnementale est différente (voir Ridker et Henning (1967) pour une première application à la pollution de l'air). L'analyse des relations de substitution ou de complémentarité entre des biens marchands et des biens environnementaux permet, par l'observation des premiers, d'estimer le prix implicite des seconds. On qualifie ces approches fondées sur l'observation ex post des comportements de "méthodes indirectes". Le choix de la méthode mobilisée relève ensuite des particularités des situations étudiées.

Le second argument de la fonction  $W_i(\cdot)$ , à savoir  $Z$ , donne lieu à une utilité qui n'est pas reliée à un usage complémentaire ou substitut de biens marchands : les valeurs d'usage passif, non saisissables par le biais de l'observation de comportements dans des secteurs marchands. Ces valeurs associées aux biens environnementaux peuvent être suscitées par des désirs de legs, de patrimoine voire même par la seule existence du bien environnemental. Si l'on accepte de mettre des sommes monétaires sur des biens environnementaux, alors la méthode d'évaluation

contingente paraît, à l'heure actuelle, un instrument privilégié permettant d'évaluer des biens auxquels ne sont pas associées des pratiques observables.

### **La méthode d'évaluation contingente**

A défaut d'être en mesure d'observer des comportements effectifs sur des marchés, la méthode d'évaluation contingente procède par interrogation directe des individus. A la différence des méthodes indirectes, la méthode d'évaluation contingente conduit les individus à déclarer des intentions de paiement quant à une modification de la quantité (ou de la qualité) d'un bien environnemental particulier. On doit à Davis (1963) la première étude fondée sur des techniques d'enquêtes comme instrument de révélation des préférences. Cette étude portait sur l'évaluation de la valeur récréative des forêts du Maine. Il s'agissait, par le biais de questionnaires individuels, de faire enchérir des individus sur des droits d'entrée. Une fois l'enquête réalisée, l'auteur estimait une équation permettant de prévoir, sur la base des caractéristiques socio-économiques des individus enquêtés, le montant d'équilibre auquel l'individu s'exclut volontairement de l'usage du site.

Bien qu'élaborée par les économistes au début des années soixante, la méthode d'évaluation contingente ne connaît un véritable démarrage qu'à partir des années quatre-vingt. Rainelli (1993) et Bonniex (1998) montrent comment, aux Etats-Unis, le développement de la méthode est étroitement lié à la prise en compte de l'environnement par les pouvoirs publics. L'événement marquant est un décret présidentiel de 1980 (*Executive Order 12291*) "qui rend obligatoire les études d'impacts pour toute législation d'une certaine importance ayant trait à l'environnement" (Bonniex (1998) p.48). Un autre fait notable est le *Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act* (CERCLA) de décembre 1980, qui prévoit des fonds de financement pour la remise en état de sites pollués par des substances dangereuses, les responsables étant tenus d'indemniser les autorités de tutelle pour la dépollution.

Portnay (1994) souligne deux événements marquants qui ont suivi le CERCLA et, selon lui, favorisé le développement de la méthode d'évaluation contingente. Le premier est la réécriture, dirigée par la court fédérale en 1989 (Etat de l'Ohio. Ministère de l'Intérieur américain, 880 F. 2d 432, D.C. Circuit 1989), des arrêtés relatifs à l'évaluation des dommages environnementaux, donnant aux valeurs de non usage un poids égal à celui des valeurs d'usage. Ce fait a naturellement placé la méthode d'évaluation contingente dans des conditions favorables à son essor. C'est lors de cette année 1989 qu'est publié l'ouvrage de référence sur le sujet : Mitchell et Carson (1989).

Le second évènement est celui du *Oil Pollution Act* de 1990, légiféré suite à la marée noire de l'Exxon Valdez dans la baie de Prince William Sound en Alaska. Cette loi a conduit le Ministère du Commerce américain, sous l'égide du *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), à écrire ses propres recommandations quand à l'évaluation des dommages environnementaux. Ces recommandations sont retranscrites dans la NOAA panel (Arrow et al. (1993)), rapport d'un groupe d'experts, réunissant des économistes renommés dont plusieurs prix Nobel, qui avait pour vocation de statuer sur la validité de la méthode d'évaluation contingente et de définir un certain nombre de contraintes nécessaires à sa bonne mise en œuvre. Ce rapport, référence incontournable pour l'utilisateur de la méthode d'évaluation contingente, a provoqué d'intenses recherches. La société Exxon a elle-même financé un colloque organisé à Washington, pendant du NOAA Panel, composé de non moins célèbres économistes. Ce colloque a donné lieu à la parution d'un ouvrage critique, édité par Hausman (1993), également incontournable.

Bien que ces techniques d'évaluation se soient déjà diffusées dans certains pays européens tels que le Royaume-Uni et les pays scandinaves, la méthode ne connaît, en France, un écho favorable que plus tardivement (Bonnieux (1998)). Le Ministère de l'Environnement français, à travers le financement de programmes de recherche a récemment montré son intérêt pour une évaluation monétaire de la valeur des écosystèmes. C'est en particulier le cas du programme "Mesure des bénéfices attachés aux hydrosystèmes", financé par le Ministère de l'environnement. Après cet aperçu historique, examinons à présent, plus précisément, les principes de cette méthode de révélation des préférences.

Comme nous l'avons vu précédemment, la méthode d'évaluation contingente consiste à interroger directement les individus par le biais d'enquêtes. 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 environnemental. 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" (Mitchell et Carson (1989) p.3). 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.



Pour effectuer la transaction, les individus enquêtés ont besoin de savoir comment le montant qu'ils déclarent dans l'enquête sera prélevé (par des prélèvements obligatoires comme la taxe d'habitation ou des droits d'accès, par exemple). La terminologie employée est celle de "mode de paiement" ou "véhicule de paiement". 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 maintenant, 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 plus généralement du questionnaire, une place essentielle.

A la suite de la présentation du scénario, on aborde la question relative à la valorisation du bien. Celle-ci peut être envisagée selon différentes modalités. La première d'entre-elles correspond à celle que nous avons évoquée au début de cette section : le "système d'enchères successives croissantes ou décroissantes". On propose un montant à l'individu et selon la réponse qu'il fournit (acceptation ou refus), on propose un second montant (supérieur ou inférieur), puis un troisième montant, et ainsi de suite. Les reproches que l'on fait à ce mécanisme tiennent pour la majeure partie au fait que les réponses sont très dépendantes de la première offre (Mitchell et Carson (1989)).

Une autre solution consiste à utiliser une "question ouverte". Il s'agit tout simplement, dans ce cas, de demander aux individus le montant maximal qu'ils sont prêts à payer (leur consentement à payer). Une telle question peut cependant conduire à placer les individus dans une situation où il leur est difficile de formuler une valeur sans assistance (surtout dans les cas où le bien environnemental en cause n'est pas très familier). En conséquence, il est fréquent d'observer de nombreuses non réponses ou refus de réponses (voir par exemple Desvouges et al. (1983)). On peut également utiliser une "carte de paiement". Celle-ci consiste en des montants (ou des intervalles) définis à l'avance parmi lesquels l'individu doit choisir celui correspondant à son consentement à payer (ou le contenant pour le cas des intervalles de prix). C'est une technique couramment utilisée en marketing (Gouriéroux (1998)). Elle peut toutefois conduire, comme dans le cas du système d'enchères, à des réponses dépendantes des montants proposés.

Le NOAA panel (Arrow et al. (1993)) propose que la valorisation soit traitée à partir d'une "question fermée" ou "technique du referendum", une approche initialement proposée par Bishop et Heberlein (1979). Plus précisément, on propose un montant à un individu, celui-ci répond par l'affirmative ou non à l'offre qui lui est proposée. Selon l'appellation consacrée dans la terminologie de langue anglaise, une telle question est nommée *Take-it-or-leave-it approach*. Bishop et Heberlein (1979) suggèrent que ce type de question facilite la tâche de l'individu, qui n'a qu'à répondre oui ou non à un prix qui lui est proposé. Un autre argument en faveur de cette solution est celui avancé par Arrow et al. (1993), selon lequel la question fermée est préférable parce qu'elle se rapproche d'une situation sur un marché où le consommateur accepte ou refuse l'échange selon le prix proposé. La contrepartie de l'utilisation de questions fermées est dans la perte d'information quant au niveau exact des consentements à payer, puisque les réponses fournissent pour chaque individu une borne inférieure ou une borne supérieure. Des échantillons assez grands paraissent alors nécessaires. On peut toutefois améliorer significativement l'information en réitérant la question sur un montant plus faible (resp. plus élevé) si la personne a refusé (resp. accepté) la première offre. Ceci constitue un "mécanisme à deux offres successives" (Mitchell et Carson (1989)). Il reste qu'un tel mécanisme, comme dans le cas des systèmes d'enchères (dont il est en fait très proche) et de la carte de paiement, peut se révéler très dépendant des montants initiaux proposés. Il peut, de plus, conduire à des comportements stratégiques qui limitent la portée de l'analyse (Flachaire et Luchini (1999)).

Sur la base des enseignements récents de la littérature et des résultats obtenus dans d'autres enquêtes, la question de valorisation utilisée peut-être fondée sur un arbitrage entre une question fermée et une question ouverte. En effet, nous pouvons proposer aux individus non plus un seul prix devant lequel ils doivent réagir, mais plusieurs prix (ou plus précisément intervalles de prix, par exemple, entre 0 et 100 F, entre 100 F et 200 F).

Une fois le scénario défini et la question de valorisation choisie, on procède à une série de pré-tests. Ces pré-tests devront valider les choix méthodologiques opérés dans le scénario et la question de valorisation, donnant au questionnaire sa forme définitive. En complément des réponses à la question de valorisation, on adjoindra des questions portant sur les caractéristiques socio-économiques des individus (âge, sexe, profession, niveau d'étude, etc.), des questions sur les usages du bien, ainsi que des questions de contrôle (compréhension du scénario, croyances des individus quant à la réalisation du programme, etc.) qui constitueront les variables explicatives des consentements à payer.

Lorsque l'enquête est réalisée, on procède ensuite à une analyse statistique. On estime un modèle économétrique des consentements à payer tenant compte de facteurs explicatifs issus des questionnaires. Pour chaque situation étudiée, les modèles utilisés sont spécifiques. La spécification du modèle est déterminée par la méthode de valorisation adoptée. Dans le cas où celle-ci est une question ouverte, la spécification économétrique est un modèle usuel dans lequel la variable à expliquer (le consentement à payer) est continue. Dans le cas contraire où la technique du referendum qui est utilisée, le modèle est à choix binaires (Hanneman (1984), McFadden et Leonard (1993), Hanneman et Kanninen (1996)). La variable à expliquer est alors dite qualitative à deux modalités, "oui" et "non". L'utilisation de la carte de paiement ou du mécanisme à deux offres successives conduisent également à des modèles économétriques spécifiques. Le traitement des valeurs égales à zéro, des valeurs extrêmes ou le choix de la forme fonctionnelle du modèle économétrique, sont autant de problèmes qu'il faut traiter de manière particulière dans l'analyse. L'ensemble de ces considérations donnent finalement à l'analyse économétrique une place essentielle dans la méthode d'évaluation contingente.

### **3.2.2 Méthodes d'enquêtes et transdisciplinarité : approche ethnologique de la perception des risques**

L'ampleur du projet de viaduc et les nombreuses études qu'il a suscitées laissent penser que de nombreuses données avaient été recueillies au préalable. Concernant les impacts économiques, et malgré le souci qu'en ont les différentes parties concernées, nous avons pu constater que, au mieux, les études d'impacts étaient d'ordre qualitatif. En soi, le fait que les impacts soient caractérisés qualitativement n'est pas limitatif. Il reste, bien entendu, à proposer des monétarisations de ces impacts sur la base des méthodes disponibles, la méthode d'évaluation contingente notamment. Mais les études qualitatives qui figurent dans le projet du CETE d'Aix sont malheureusement trop globales et appréciatives pour que des impacts bien définis puissent être relevés et, a fortiori, monétarisés.

La Chambre de Commerce et d'Industrie de Millau n'a pas d'observatoire économique. La formation d'un observatoire économique du Massif-Central donne quelque espoir de pouvoir suggérer le recueil et le suivi d'un certain nombre de données dont il faudrait disposer pour faire les études de risques à venir car les résultats d'enquêtes ponctuelles ne suffisent pas à construire un suivi statistique significatif. Les différents services de la CCI possèdent quelques données mais elles ne sont recueillies que dans un but descriptif et ne sont souvent pas assez suivies pour

pouvoir servir d'historiques de référence. Le secteur du Tourisme est le mieux informé, d'une part grâce à l'intérêt que porte aux données son directeur, M. H. Boyer, soucieux de développer et de conseiller les acteurs de ce secteur économique particulièrement diversifié et si important pour la région, d'autre part grâce au travail efficace de l'Office Départemental du Tourisme de l'Aveyron qui prépare chaque année, depuis 1990, un rapport très complet sur le secteur.

De même, l'Association A 75 dispose des résultats d'études ainsi que du projet d'utilité publique, mais ces études ne contiennent pas les données ayant servi à prévoir les impacts économiques possibles.

Nous avons donc directement pris contact avec le service des études économiques du CETE d'Aix, chargé de l'étude. Le contact a été très intéressant et nous a permis de prendre connaissance des recommandations ministérielles concernant les procédures à suivre dans les études d'impacts. On comprend mieux, en lisant ces recommandations, pourquoi si peu de données sont disponibles ou ont été utilisées, puisque la seule variable retenue est le flux de trafic futur et que ce flux est calculé par une méthode déterministe. En conséquence, la notion de risque économique, c'est-à-dire le fait que différents scénarios puissent se produire, est absente des études, à de rares exceptions près.

Devant une telle situation, deux possibilités se présentaient. La première consistait à reprendre l'étude en faisant apparaître les variables qui sont aléatoires, le flux de trafic routier notamment, en se fondant sur les différences observées entre les trafics prévus et les trafics observés après construction d'autres ouvrages routiers. La seconde, qui a eu notre préférence, privilégie les aspects méthodologiques et théoriques qui permettront de fonder de futures études prenant en compte les risques et les controverses qu'ils suscitent.

Les études existantes et les données disponibles pour évaluer les impacts économiques de la réalisation de l'ouvrage ne répondent pas à trois des besoins que nos méthodes d'évaluation expriment. Tout d'abord, nous manquons d'un répertoire des sources de risques (scénarios), telles qu'elles sont perçues par les individus. De ce fait, aucune enquête fondée sur de tels scénarios n'a été menée qui aurait permis d'obtenir les prévisions des bénéfices nets de la réalisation de l'ouvrage, soit par les individus, soit par des représentants de ceux-ci. Enfin, les données concernant des observations passées d'un certain nombre de variables économiques sont trop peu nombreuses, comme nous l'avons signalé.

La recherche de scénarios pertinents nécessite une étude spécifique fondée sur une approche de la perception des risques par les individus. Dans l'état des réflexions sur le sujet, nous ne pouvons que clarifier le problème et proposer une première approche qui ne pourra être finalisée que sur la base d'enquêtes importantes. Afin d'en exposer les grands traits, nous nous concentrons sur la perception des risques liés aux coûts de la réalisation technique et sur celle des gains et pertes possibles d'un impact particulier : celui de l'industrie touristique régionale.

Parmi les différents corps de métiers intervenant dans le projet technique, les perceptions des risques qui sont pris et gérés, diffèrent. L'ethnologue pourra s'attacher, dans des entretiens individuels, à entendre comment la notion de risque est intégrée dans la spécialité professionnelle du sujet interrogé. On peut distinguer trois niveaux d'intégration de la notion :

- niveau personnel : l'apprentissage, le savoir-faire, les risques du métier (qui ne peuvent pas être totalement éliminés) ;

- niveau de l'organisation (entreprise, association, administration, etc.) : les procédures, le partage des responsabilités et la part de risques que la culture technique occulte ;

- niveau de la collectivité : la prise en compte des risques résiduels et de leurs impacts potentiels sur l'environnement économique, social et naturel à court et long terme.

Les deux premiers niveaux sont bien connus et font partie des travaux habituellement engagés dans toute étude anthropologique des métiers. La révélation, par l'individu, des risques résiduels pose toutefois problème. La difficulté à révéler de tels risques provient soit de raisons psychologiques, (par exemple, crainte de montrer que l'individu ne maîtrise pas sa spécialité) ou socio-économiques (crainte de montrer que l'organisation n'est pas apte à résoudre les problèmes). Une autre difficulté est relative à la conception des risques qui sortent du cadre de la profession, puisque, justement, ils ne sont ni maîtrisés ni maîtrisables. Le troisième niveau étend cette remarque à l'environnement extérieur à l'organisation, il n'a généralement pas été abordé de manière systématique dans les recherches que nous connaissons. Cependant, l'évolution des normes et de la régulation doivent être intégrées dans les décisions stratégiques de l'organisation et de la gestion des tâches particulières. De ce fait, les juristes et les gestionnaires ont pris conscience de cette nécessité, comme le révèle l'émergence du "principe de précaution" (chapitre 1, section 2).

Cette approche de la perception des risques par les individus, identifiés par un corps de métier localisé permet de dresser un tableau (qualitatif et descriptif) des décisions et des manières dont elles sont prises aux différents niveaux. Elle complète l'étude habituelle des savoirs-faire par des aspects plus abstraits et rarement abordés. L'économiste pourra ainsi disposer d'éléments d'analyse établis à partir des données socio-ethnologiques sur lesquelles il sera possible de fonder une formalisation de risques, afin d'en proposer une évaluation globale.

Des résultats de même types sont nécessaires à l'établissement des bénéfices nets et à leur évaluation globale. Ils reposent sur l'étude ethnologique de la perception des gains et pertes possibles par les différents secteurs d'activité sur lesquels les impacts sont évalués. Nous n'avons appliqué ce principe, ici, qu'à l'industrie touristique qui est la seule à disposer de données suffisantes (annexe 1, et chapitre 2, section 3). Ces différents secteurs sont principalement :

- l'hôtellerie-restauration ;
- les sports de loisirs et de plein-air ;
- les commerces liés au patrimoine culturel et naturel.

Dans chacun de ces secteurs et pour chaque individu interrogé, on retrouve les trois niveaux de la perception des gains et des pertes :

- niveau individuel : gains et pertes prévus par l'individu selon différents scénarios de conséquences de la construction du pont par rapport à l'état actuel des bénéfices nets ;
- niveau du secteur : appréciation par l'individus des impacts sur le secteur ;
- niveau global : capacité de prise en compte des répercussions sur l'environnement socio-économique et écologique des gains et pertes prévus.

Le même schéma d'étude peut être appliqué à d'autres secteurs économiques ou sociaux : industrie, agriculture, éducation, services, etc.

Dans le cadre de cette étude qui s'est concentrée sur les aspects théoriques et méthodologiques, il n'était pas possible de lancer une véritable enquête. Celle-ci nécessiterait la mise en œuvre de moyens considérables et disproportionnés en regard des résultats attendus. Nous avons

cependant élaboré des éléments de procédure pour construire des enquêtes selon les principes évoqués plus haut. Les questionnaires proposés à la fin des trois derniers chapitres de l'annexe 1 (impacts sur l'urbanisme, le tourisme, l'environnement, du viaduc de Millau) en constituent une amorce.

### 3.3 Optimalité sociale et décisions publiques

Le projet du viaduc de Millau est un projet d'investissement dans une infrastructure routière publique. Il a été décidé par les instances politiques dans l'objectif annoncé d'améliorer le bien-être de la population, sous des contraintes de budget ou, plus exactement, sous la contrainte que le budget nécessaire soit dégagé, ex-post, par les moyens constitutionnels de financement (impôts nationaux, taxes locales, péages, etc). En l'occurrence, le financement du projet qui était au départ prévu sur fonds publics, a été revu pour être, en partie, financé par un péage.

Dans ses grands traits, le problème ressemble donc à un problème de décision classique qui se résoudrait selon le programme : optimisation d'un critère (représentant le bien-être de la population) sous une contrainte de budget. Il apparaît immédiatement que la ressemblance avec un problème que la théorie de la décision individuelle nous a appris à analyser et résoudre n'est que lointaine, comme nous l'avons exposé dans les deux dernières sections du chapitre 1 de ce rapport. En premier lieu, la science économique a montré qu'il n'était pas possible de trouver un critère collectif qui respecte des conditions minimales de cohérence avec les critères individuels, à supposer que ceux-ci soient connus. En supposant qu'un tel critère soit accepté sans controverse, resterait à déterminer quelles sont les variables que l'on cherche à contrôler, à savoir, les bénéfices attendus d'un projet. Afin d'éviter ce double problème, le Calcul Économique propose que l'on détermine les bénéfices d'un projet sous forme monétaire globale, afin de le comparer aux coûts exprimés monétairement eux aussi. Dans cette version simplifiée du problème, la décision optimale correspond à celle qui présente le meilleur bénéfice net, ou bien, s'il s'agit d'un projet isolé, il sera réalisé si et seulement si son bénéfice net est supérieur à zéro.

On comprend que les sciences sociales autres que l'économie émettent quelques réserves quant à l'utilisation du calcul économique comme méthode de décision publique : l'aspect politique, intégrant les composantes sociologiques, psychologiques, culturelles, etc., du problème a disparu. Nous proposons cependant de conserver une approche simplifiée du problème de décision publique, en intégrant cependant dans le calcul économique les aspects politiques et sociologiques sous une forme non analytique. Notre analyse est duale de celle, couramment observée dans la pratique, des décideurs publics qui intègrent de manière informelle des données économiques dans un processus de décision essentiellement politique.

Les deux "histoires" qui suivent illustrent certaines des intuitions qui président à notre approche. Il s'agit, dans les deux cas, de la construction d'un tunnel à péage délestant la traversée d'une ville par des automobiles. Le premier a été construit dans la constellation du Lion, l'autre sur Mars.



Dans le premier cas, le calcul économique a prévalu. Une enquête a permis de déterminer les consentements à payer des habitants ; à partir de quoi le calcul du péage a été fait, en tenant compte des coûts de construction et d'entretien sur une période donnée. Le calcul était juste, étant données les informations disponibles, mais les usagers, face aux 20 F de péage, se sont organisés et ont boycotté le péage et le tunnel jusqu'à ce qu'on leur en concède la gratuité. En conséquence de quoi, les coûts ont dû être amortis par l'impôt, ce que les habitants des autres villes, s'il l'avait su, auraient trouvé injuste.

Sur Mars, les mêmes consentements à payer ont été calculés, mais le péage a été établi à 10 F. Certains usagers n'ont pas manqué de le trouver trop cher, mais ils l'ont payé tout de même. Les coûts ont été amortis sur une plus longue échéance et avec un recours moindre à l'argent public. Comment justifier le choix des 10 F alors que le calcul donnait 20 F ? comment justifier le facteur 1/2 par lequel on a multiplié le péage calculé sur la base des consentements à payer ex-ante ? Les décideurs publics, sans doute avertis par l'expérience sur le Lion, ont jugé qu'il y avait une chance sur deux pour que le péage soit refusé ex-post. Ils ont donc choisi comme équivalent certain de cette loterie dont les paiements futurs étaient soit 20 F, soit 0, la valeur moyenne.

Penser à l'acceptabilité ex-post d'une décision publique en termes d'une loterie peut paraître le fait d'un comportement particulièrement cynique. La manière dont cela a été fait sur Mars l'est en effet, nous allons cependant nous en inspirer en justifiant différents éléments d'analyse qui rendent une telle approche éthiquement plus acceptable.

En dernier recours, le décideur politique ne peut effectuer un choix sans considérer l'acceptabilité, ex-post, des décisions. L'acceptabilité désigne le fait que, dans les contraintes de la constitution, le public accepte les décisions : il paie le péage, il reconduit le gouvernement en place, il ne coupe pas la tête du roi, etc. Le comportement des politiques qui consiste à considérer que l'acceptabilité est aléatoire est donc parfaitement justifié. Ce qui n'est pas justifié, c'est d'attribuer, a priori, une probabilité aux différents événements sur la base d'une évaluation subjective. Nous allons montrer quel type de mesure utiliser pour pondérer les différentes éventualités, ainsi qu'une méthode pour la calculer. Cette mesure n'est pas une probabilité, au sens où, dans un mécanisme aléatoire, des fréquences peuvent être observées dont on déduit la probabilité des événements. Il s'agit d'une mesure de l'importance relative qu'attribue le public au fait que lui-même, ensemble complexe d'individus interagissant dans le cadre de la constitution qui régit la vie socio-politique, accepte ou non la réalisation du projet. Nous justifierons l'existence, l'emploi et la manière de calculer cette mesure en nous fondant sur une partie de la science économique qui s'intéresse aux

problèmes d'évaluation collective des risques : la théorie de l'évaluation des actifs financiers (voir le chapitre 2, section 2).

Pour arriver à ce stade de la décision publique, à savoir, la pondération des différentes éventualités de rejet ou non d'un projet et de son financement, ex-post, il faut être capable de justifier que le calcul, ex-ante, des bénéfices, des coûts soit quelque peu fondé. Celui-ci, peut-être obtenu par différentes méthodes, toutes, d'une manière ou d'une autre, consistent à rapprocher les avantages (ou dommages) dus au projet, de biens négociés (marchands). Des biens négociés ont un prix, à un instant donné dans une situation donnée, c'est le prix d'équilibre du marché des biens de consommation (y compris le travail). Ces prix sont cohérents avec ceux qui s'établissent sur d'autres marchés, le marché des risques notamment, qui donne une évaluation de la monnaie future, selon les aléas qui touchent la production, la vie politique et bien d'autres éléments non contrôlés. Cette cohérence, qui ressort clairement dans le modèle de l'Équilibre Général, est fondamentale pour notre approche. Il n'en reste pas moins que l'attribution d'un prix à un bien (un avantage) qui n'est pas négocié pose de nombreux problèmes. Sans qu'elle les résolve tous, nous avons montré (chapitre 3, section 1) comment la méthode de l' "évaluation contingente" permet d'en tenir compte. À l'aide de cette méthode, nous proposons d'évaluer les consentements à payer individuels sur la base d'enquêtes qui sont traitées statistiquement. Le bénéfice d'un projet sera alors considéré comme la somme des consentements à payer individuels.

Notons qu'il ne s'agit pas d'une agrégation supposée représenter le comportement d'un individu moyen mais bien de la somme de chaque consentement à payer, c'est-à-dire le bénéfice total du projet pour le public. Ces consentements à payer sont obtenus, comme nous l'avons dit, sur la base d'enquêtes. Celles-ci placent les enquêtés dans la situation où le projet aurait été réalisé, dans une situation hypothétique future qui leur permette de comparer les bénéfices (ou les dommages) qu'ils en retirent, avec d'autres biens qui contribuent à leur satisfaction (leur utilité).

Par conséquent, ces consentements à payer ne tiennent pas compte du fait que les enquêtés prennent part à la décision publique, qu'ils intègrent habituellement, dans leur évaluation, des éléments sociaux et éthiques, notamment, et qu'ils prennent en compte l'incertitude concernant le futur. C'est pourquoi le même individu, qui aurait déclaré consentir à payer 20 F, si le projet avait été réalisé dans la situation que lui a décrite l'enquêteur, ex-ante, peut fort bien, confronté au péage dans la situation réelle et conscient des forces sociales en présence, refuser de le payer, ex-post.

Aussi, il y a lieu de réintroduire de l'incertitude sur les consentements à payer calculés, avant de s'en servir pour prendre une décision. Cette incertitude couvre de nombreuses facettes : erreurs possibles dans les calculs, chocs exogènes mais aussi complexité des comportements du public. Elle correspond à la boîte noire à laquelle fait face tout décideur public qui a pris conscience que la population concernée par un projet ne réagit pas de manière déterministe (bien qu'elle puisse le faire de manière déterminée !) aux décisions que l'on prend pour elle.

Il reste un point essentiel pour justifier notre approche. Nous proposons une méthode de calcul des coûts et des bénéfices qui a l'ambition de tenir compte de facteurs socio-politiques. On attend donc de cette méthode qu'elle puisse montrer à quel type d'efficacité elle prétend répondre. Il s'agit d'une simple efficacité face à la rationalité individuelle :

*toute décision qui aurait été prise avec un autre critère que celui que nous recommandons serait dominée par celle qui optimise notre critère.*

Ceci signifie que, si un individu ou une organisation mettait en cause la décision prise, on pourrait lui montrer que l'on peut obtenir des bénéfices nets de cette décision, supérieurs à ceux de la décision qui optimise son propre critère.

Une telle efficacité est démontrée dans le cas où les bénéfices sont constitués par des biens ou des contrats négociés (voir le chapitre 2, section 1). L'efficacité de notre méthodologie relève alors de la pertinence du rapprochement que nous faisons entre des biens et des contrats négociés et des biens ou des contrats qui ne le sont pas, à l'aide de méthodes d'enquête et d'économétrie sur leurs résultats, complétés par de méthodes d'économie expérimentale.

Le principe de rationalité est le suivant : si un bien  $x$  a une valeur future  $X$  et si  $K$  est son prix présent, l'achat de tout bien  $x'$  ayant la même valeur future  $X$  mais ayant un prix  $K'$  supérieur à  $K$ , est une décision dominée par celle qui consiste à acheter le bien  $x$ . En effet, en achetant le bien  $x$ , on pourra le revendre au prix  $X$  et acheter  $x'$  en ayant réalisé un bénéfice  $K'-K$ . Le principe s'applique aussi bien dans le cas où  $x$  est un contrat dont les paiements futurs sont représentés par une variable aléatoire  $X$  et dont le prix présent est  $K$  et  $x'$  un autre contrat de mêmes paiements  $X$  et de coût  $K'$ .

Concernant un bien  $x'$  qui n'est pas négocié mais dont le bénéfice futur que l'on en dégagera est supposé être égal à  $X$ , la décision de l'acquérir ne peut se faire qu'au coût  $K$ . En effet, si ce bien est évalué, sur la base d'un critère individuel, à une somme présente  $K'$  supérieure à  $K$ , on

obtiendra, en acquérant  $x$  un bénéfice futur supérieur de la quantité  $(K'-K)(1+r)$ , où  $r$  est un taux d'intérêt de marché, à celui procuré par  $x'$ . Si  $K'$  est inférieur à  $K$ , il n'est pas non plus nécessaire de l'acquérir puisqu'en empruntant la somme  $K-K'$  au taux  $r$ , on pourra acheter une quantité supplémentaire  $(K-K')/K$  du bien  $x$  en obtenant un bénéfice futur  $X + X(K-K')/K - (1+r)(K-K')$  qui est nécessairement égal à  $X$ . En effet, puisque  $r$  est un taux de marché sans risque, il est égal au taux de rendement d'un bien :  $(X-K)/K = r$ . L'utilisation, dans le calcul, d'un taux d'escompte de marché plutôt que d'un taux individuel exprimant la préférence pour le temps est justifiée par un raisonnement identique.

L'efficacité d'une méthode de calcul des bénéfices et des valeurs présentes d'un projet, qui repose sur le principe de rationalité, dépend donc crucialement du fait que les bénéfices et les coûts sont calculés en fonction de prix de biens et de contrats échangés sur des marchés.

La méthode que nous proposons se décompose donc en deux parties.

Dans la première, nous proposons d'appliquer une version de la méthode d'évaluation contingente pour calculer les bénéfices futurs (exprimés en termes de consentements à payer) du projet. Dans l'annexe 9 nous nous restreignons à un seul scénario, par souci de simplicité, mais la prise en compte de plusieurs scénarios qui donneraient des bénéfices aléatoires ne pose pas de problème. Toujours par souci de simplicité, nous supposons les coûts connus avec certitude. Nous obtenons donc, pour chaque individu, le bénéfice net du projet si celui-ci était réalisé. La somme de ces bénéfices est considérée comme le bénéfice net public attendu du projet réalisé.

Dans la seconde partie, nous proposons une évaluation globale (publique) de la réalisation du projet, celui-ci étant considéré comme un actif financier dont les paiements sont : soit le bénéfice net public si le projet est accepté par la population ; soit zéro (pour simplifier) s'il ne l'est pas. Cette évaluation est réalisée à partir de prix d'actifs financiers échangés sur un marché expérimental, où interviennent les individus enquêtés, dans des conditions qui vérifient les hypothèses de la théorie de l'évaluation des actifs financiers.

Le principe de cette seconde partie de la méthode est le suivant.

S'il était réalisé, le projet donnerait des bénéfices nets à chaque individu selon les résultats du calcul fait dans la première partie. La population, dans son ensemble, peut donc considérer que la réalisation du projet correspond à un actif financier dont le rendement est la somme des bénéfices nets des individus qui la compose, si le projet est accepté. S'il ne l'était pas, le rendement de cet actif serait zéro. Nous interprétons donc le problème de décision de réaliser ou non le projet,

comme un problème d'évaluation d'un actif dont les paiements sont aléatoires. Nous n'évoquons pas par là un aléa bien déterminé dont la loi de probabilité serait connue. Le caractère aléatoire relève ici de nombreux facteurs, parmi lesquels les erreurs d'évaluation dues à la première partie de la méthode, l'occurrence de chocs exogènes mais surtout le doute concernant la décision qui est la bonne, doute que nous avons exprimé précédemment comme "l'acceptabilité du projet", ex-post, par la population.

Si le caractère aléatoire du bénéfice était naturellement mesurable, par exemple parce qu'il était fonction d'une variable observable dont on connaît la loi, on pourrait en calculer un équivalent certain. On pourrait être tenté d'en prendre la valeur moyenne pour cette loi, ou une pondération moyenne-variance, ou encore un équivalent certain déduit d'une utilité espérée des bénéfices. On a vu précédemment que, selon le principe de rationalité, cet équivalent certain devait être le coût de formation d'un portefeuille d'actifs financiers dont la variable aléatoire des paiements soit identique (identifiée, en fait) à celle qui représente le bénéfice. Insistons sur le fait que ce coût de formation, s'il est une moyenne pondérée des bénéfices futurs, comme montré dans la théorie financière, n'est jamais la moyenne de ces paiements par rapport à leur distribution de probabilités. En effet, si c'était le cas, cela signifierait que les prix des actifs sur le marché financier seraient ceux que leur attribuerait un individu neutre au risque au sens de la théorie de l'utilité espérée, ce qui serait absurde pour un marché des risques.

Pour notre problème, il serait vain de chercher une variable explicative du caractère aléatoire du bénéfice. Si c'était possible, nous perdriions toute chance de prendre en compte les aspects socio-politiques que nous cherchons à intégrer ou cela signifierait que ceux-ci ont la régularité d'un mécanisme aléatoire de loi connue. La même remarque s'applique aux échanges de contrats financiers contingents à des catastrophes (*cat-bonds*, par exemple sur l'indice de Richter des tremblements de terre en Californie), et en fait, à l'origine, à tous les contrats financiers échangés sur un marché. Les individus qui interviennent sur ces contrats parient les uns contre les autres dans le souci, si le marché est suffisamment bien régulé, de se couvrir contre les risques ou de spéculer.

Il suffirait donc d'instaurer un marché des risques socio-politiques pour avoir des instruments financiers qui permettent de couvrir le risque de variation des bénéfices du projet, comme le font les marchés de *cat-bonds* pour les risques non assurables. Des contrats paieraient une unité de monnaie si le projet est accepté, zéro sinon, les individus se porteraient acquéreurs ou vendeurs de ces contrats, selon leurs anticipations de l'acceptabilité du projet. Celles-ci dépendant des

perceptions individuelles des contingences socio-politiques, les échanges révéleraient les croyances et, par conséquent, l'importance économique pour les individus de cette acceptabilité. Cependant, pour que les contrats soient honorés, il faut qu'une variable observable permette de savoir qui a gagné et qui a perdu. Ce sera, ex-post, le fait que le projet soit accepté ou non par la population, selon les modalités de l'exercice du pouvoir. La difficulté viendra alors du fait que chaque individu (à supposer que tous puissent participer au marché d'échanges) étant couvert financièrement, ex-ante, dans un cas comme dans l'autre, il peut ne plus avoir d'incitation à accepter ou à refuser le projet, ex-post. En fait, le mécanisme d'échange de contrats se serait alors substitué à la réaction socio-politique.

Ceci relève de la science-fiction, or nous nous préoccupons ici de sciences appliquées. Notre méthode consiste donc à élaborer, sur la base de la fiction précédente, une procédure de révélation de l'importance relative accordée à l'acceptabilité du projet, pour les individus interagissant dans un contexte social régulé. De même que l'enquête, dans la première partie, a placé les individus dans une situation où ils ont pu associer les bénéfices à des biens marchands, afin de révéler leurs consentements à payer, nous proposons une procédure expérimentale qui leur permette de révéler leurs croyances sur l'acceptabilité du projet. Cette acceptabilité dépend de la constitution qui régit la société, du mode de décision démocratique, des revenus des individus, du mode de financement du projet et de la part de chacun dans ce financement (taxes, péages, etc.) et enfin des perceptions individuelles de la valeur éthique, sociale et politique du projet. Ces perceptions sont influencées par les interactions entre les individus et leurs échanges d'informations. À l'instar de ce que l'on peut l'observer sur les marchés financiers organisés, une procédure d'échange de contrats peut simuler ce processus complexe d'interactions et de prise en compte d'intérêts collectifs et particuliers.

Nous proposons une procédure expérimentale qui complète l'enquête de la première partie, afin d'obtenir la pondération à attribuer au fait que le projet soit accepté ou non, ex-post, par la population, pondération qui permettra d'en donner une valeur globale, ex-ante. La décision de réaliser le projet sera alors prise si et seulement si sa valeur nette globale est positive, cette dernière donnant, après calcul, le montant de la part du financement attribuée à chaque individu. Le péage, si cette méthode de financement était retenue, ne serait donc pas le consentement à payer calculé de manière telle que le projet soit financé mais une pondération de cette valeur par la mesure socio-politique de l'acceptabilité du projet.

**Voir l'annexe 9 : "Welfare economics and political risk : A public decision procedure"**

## Conclusion du chapitre 3

En reprenant les problèmes fondamentaux qui se posent dans les procédures de décision publique, nous avons balayé, dans ce chapitre, un large champ de questions reliant la théorie et la pratique. Le modèle, très abstrait, de l'Équilibre Général qui est à la base de l'évaluation des biens et de celle des actifs financiers, nous a conduit à des applications concrètes. La première nous suggère l'ouverture de marchés d'instruments financiers qui peuvent aider à la gestion et à l'évaluation de risques publics. La seconde se fonde sur la théorie du consommateur pour évaluer des biens qui ne sont pas négociés, y compris des biens publics. La troisième fait appel à la cohérence des prix des biens et de ceux des instruments financiers, pour justifier l'interprétation des conséquences de décisions publiques en tant qu'actifs, ce qui conduit à leur évaluation. Les deux dernières applications, bien qu'elles partent de modèles économiques, ne peuvent être pratiquées qu'à partir d'enquêtes et de procédures expérimentales qui font intervenir d'autres sciences sociales, la sociologie, l'anthropologie et la psychologie, notamment. La méthodologie proposée dans la dernière section pour simuler une décision publique, dans le but de prendre en compte ses aspects socio-politiques, ne pourra être développée et appliquée qu'en se fondant sur une analyse précise des lois, des procédures de financement publiques, ainsi que du fonctionnement du système politique.

## Conclusion générale

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 d'une réflexion sur les procédures de décision d'investissements publics. Il ne s'agissait pas, dans le cadre de ce travail, de procéder à l'étude du projet, ni même de discuter de celles qui ont été faites mais seulement de s'en inspirer pour proposer des méthodes d'évaluations. Deux types d'évaluation sont essentielles, celles des bénéfices et/ou des dommages attendus, d'une part, celle des risques, au sens économique du terme, à savoir, une liste de conséquences monétaires incertaines, d'autre part. Ces méthodes d'évaluation ne peuvent pas faire l'économie d'une analyse globale des problèmes que posent les processus de décisions publiques. Nous les avons mentionnés, en critiquant les méthodes classiques d'analyse coûts-avantages et nous avons proposé des voies de développement de ces méthodes qui répondent aux questions posées, notamment, par la mise en pratique du principe de précaution.

Un aspect essentiel de ces développements porte sur la remise en cause de la mesure pertinente de l'incertitude qui pèse sur les conséquences des décisions publiques. On peut résumer le caractère particulier de cette incertitude par le fait qu'elle est, généralement, controversée. En pratique, cela signifie que, même dans le cas où elle serait mesurable par une distribution de probabilités, une telle mesure ne pourrait être directement utilisée pour calculer un équivalent certain des conséquences (à comparer au montant à investir). Dans ce sens, nous avons développé une méthode de construction d'instruments financiers fictifs (couverture virtuelle) qui permettent de couvrir et d'évaluer les risques publics, en nous fondant sur les développements récents de la théorie financière. Cette méthode s'appuie sur une notion d'efficacité simple, puisqu'il s'agit de l'application du principe de rationalité : une décision publique ne doit pas pouvoir être dominée par une décision individuelle. Nous justifions donc, sur la base de cette notion d'efficacité, le recours à des méthodes qui évaluent les conséquences des investissements publics, en les comparant à des biens ou à des actifs qui sont négociés sur des marchés.

Un autre aspect, en amont de l'évaluation des risques, est celui de l'évaluation des avantages (ou des dommages) retirés (ou subis) du fait de la réalisation d'un projet public, par les individus. Dit plus simplement, il s'agit du problème de l'évaluation des impacts possibles. Nous donnons les arguments qui justifient l'utilisation des méthodes d'évaluation contingente, couramment utilisées aux États-Unis pour évaluer les dommages à l'environnement, afin de rapprocher des biens qui ne sont pas marchands, de biens de consommation dont on connaît les prix parce qu'ils sont



négociés. La cohérence entre cette évaluation et celle des risques que nous avons développée fait appel au modèle de l'Équilibre Général. Ce modèle très abstrait est questionné et nous suggérons l'organisation de marchés qui permettent de se rapprocher des conditions du modèle et, par conséquent, des conclusions que nous pouvons en tirer.

En l'absence de tels marchés, pour les méthodes d'évaluation contingente, comme pour celle de la construction d'instruments financiers virtuels, nous devons avoir recours à des procédures d'enquête qui nous permettent de simuler le comportement des individus et de recueillir des données statistiques nécessaires à la construction d'instruments financiers de couverture. Ces enquêtes, ainsi que les procédures d'économie expérimentale qui les complètent, requièrent la collaboration avec les autres sciences de la société. Nous avons eu besoin de cette collaboration pour appliquer les méthodes d'évaluation contingente dans certains domaines. Pour le projet de viaduc de Millau, le cadre de cette étude ne permettait pas de tenter des enquêtes mais nous avons initié une réflexion sur une approche anthropologique de la perception des risques qui pourra être développée pour l'étude de projets d'investissements publics. Enfin, pour reprendre le problème de décision publique dans sa globalité, nous avons proposé un modèle justifiant une procédure où se mêlent les aspects purement économiques et les aspects socio-politiques, considérés comme une boîte noire que nous représentons par une incertitude sur l'acceptabilité d'un projet. Cette incertitude est mesurée grâce à une procédure simulant un marché d'échanges de contrats financiers. Elle pourrait l'être également, en présence de données disponibles, par les procédures statistiques que nous avons développées pour la construction d'instruments de couverture virtuelle des conséquences incertaines et controversées de projets publics.

## Bibliographie

- Arrow, K.J. "Le rôle des valeurs boursières dans l'allocation optimale des risques" in *Econométrie* 40, Cahiers du CNRS, Paris, 1953, pp 41-47.
- Arrow, K., R. Solow, P. R. Portney, E. E. Leamer, R. Radner, et H.Schuman (1993, January): "Report of the {NOAA} panel on contingent valuation, Technical Report, 58, pp. 1601-1614.
- Azariadis, C. "Self-Fulfilling Prophecies", *Journal of Economic Theory*, 25, 3, 1981, pp. 380-396.
- Benassy, J-P. *Macroéconomie et théorie du déséquilibre*, Dunod, Paris, 1984.
- Ben Azzouz N., Betouret S., Montagnon E. : "Index Replication Optimizing Methods", Mémoire de fin d'études ESSI, sous la direction de P. Bernhard, Sophia- Antipolis, 2000.
- Bishop, R.C. et T.A. Heberlein (1979): "Measuring values of extra-market goods: are indirect measures biased?", *American Journal of Agricultural Economics*, 61, pp. 926-930.
- Bleuez A., Mellinger F. : "L'Algorithme de Recuit Simulé dans le cadre de la Réplication d'un Portefeuille d'Actions", Mémoire de Maîtrise d'Ingénierie Mathématique, sous la direction de P. Bernhard, Sophia- Antipolis, 2000.
- Black F. and Scholes M. : "The pricing of options and corporate liabilities", *Journal of Political Economy*, 81, pp 637-654, 1973.
- Blomquist, G. (1979): "Value of life savings : implications of consumption activities", *Journal of Political Economy*, 540--558.
- Bonnieux, F. (1998): "Principes, mise en oeuvre et limites de l'évaluation contingente", *Etudes et Recherches en Economie Publique*, 54--115.
- Brennan M. and Schwartz E. : "Evaluating natural resource investments", *Journal of Business*, 58, pp135-157, 1985.
- Chateauneuf A., Cohen M., Kast R. : "Comonotone random variables in economics: A review of some results", GRQAM W.P. 97A07, 1997.
- Chateauneuf A. , Kast R., and Lapied A. : "Choquet pricing for financial markets with frictions", *Mathematical Finance*, 6 n°3, pp 323-330, 1996.
- Cortazar G., Salinas M., Schwartz E. : "Evaluating Environmental Investments : A Real Options Approach", *Management Science*, 44 : 8, 1059-1070, 1998.
- Chiappori, P-A. et J. Pinquet "Assurance chômage des emprunteurs", Mimeo THEMA, 99-01, 1999.

- Cox J., Ross S and M. Rubinstein : "Option pricing : a simplified approach", *Journal of Financial Economics*, 7, pp 229-263, 1979.
- Dardis, R. (1980): "The value of life : a new evidence from the marketplace", *American Economic Review*, 1077--1082.
- Davis, R.K. (1963): "Recreation planning as an economic problem", *Natural resources journal*, 239--249.
- Delecroix M., Prtopopescu C. : "Consistency of a Least squares Orthogonal Series Estimator for a Regression Function", *Discussion Paper* No. 7, SFB 373, Humboldt-Universität zu Berlin, 1999.
- Denneberg, D. *Non Additive Measures and Integrals*, Kluwer, Dordrecht, 1994.
- Desvousges, W.H., F. Johnson, R. Dunford, K. Boyle, S. Hudson, et K. Wilson (1992): "Measuring natural resources damages with contingent valuation: Test of validity and reliability", in *Contingent Valuation: a Critical Assessment*, Cambridge Economics, Cambridge, Ma.
- Dixit, A. and Pindyck, R. *Investment under uncertainty*, Princeton University Press, 1994.
- Duffie D. : *Dynamic Asset Pricing*, Princeton University Press, 1996.
- Eubank R.L. : *Spline smoothing and Nonparametric Regression*, Dekker, New York, 1988.
- Eubank R.L., Speckman P. : "Convergence Rates for Trigonometric and Polynomial-Trigonometric Regression Estimators", *Statist. And Prob. Letters* 11, 119-124, 1991.
- Flachaire, E. et S. Luchini (1999): "Comportements stratégiques et méthode d'évaluation contingente : un modèle hétérogène multiplicatif", DT GREQAM, 99A57.
- Harrison J. and D. Kreps : "Martingales and arbitrage in multiperiod securities markets", *Journal of Economic Theory*, 20, pp 381-408, 1979.
- Gibbons J.D. : *Non parametric Statistical Inference*, Dekker, 1985.
- Gollier, C; B. Jullien and Treich, N. "Learning and irreversibility : an economic interpretation of the "precautionary principle"", D.P. GREMAQ, 1997.
- Grandmont, J-M. "On Endogeneous Competitive Business Cycles", *Econometrica*, 53, 5, 1985, pp. 995-1045.
- Hanemann, W.M. (1984): "Welfare evaluation in contingent valuation experiments with discrete responses", *American Journal of Agricultural Economics*, 66, pp. 335-79.
- Hanemann, W.M. et B.Kanninen (1996): "The statistical analysis of discrete-response data", Working Paper No 798, University of California at Berkeley, Department of agricultural and resource economics.
- Harrison, J. and D. Kreps "Martingales and arbitrage in multiperiod securities markets", *Journal of Economic Theory*, 20, 1979, pp. 381-408.
- He H., Pindyck R.S. : *Investments in Flexible Production Capacity*, MIT Working Paper, WP-2102-89, 1989.

- Hausman, J.A. (Ed.) (1993): *Contingent valuation: A critical assessment*, North-Holland.
- Hotelling, H. (1947): "Letter to the national park service", in *An economic study of the monetary evaluation of recreation in the national parks*, Washington: U.S. Department of Interior, National Park Service and Recreational Planning Division.
- Kast R., Lapied A. : *Fondements Economiques de la Théorie des Marchés Financiers*, Economica, 1992.
- Kast R., and Lapied A. : "A decision theoretic approach to Bid-Ask spreads", *Finance*, 18, p.115-137, 1998
- Kast R., Lapied A., Pardo S., Protopopescu C. : *Evaluation des Risques Controversés par la Théorie des Options Réelles*, GREQAM WP, 2000.
- Leland, H. "Saving and uncertainty : a precautionary demand for saving", *Quarterly Journal of Economics*, 82, pp. 465-473, 1968.
- Markowitz, H. *Portfolio selection of investments*, Cowles Foundation, Yale, 1970
- Majd S., Pindyck R.S. : Time to Build, Option Value and Investment Decisions, *Journal of Financial Economics*, 18, 7-27, 1987.
- Mac Fadden, D. et G.Leonard (1993): "Issues in the contingent valuation of environmental goods : Methodologies for data collection and analysis", Volume *Contingent Valuation : a critical Assessment*, pp. 165-215, New York : North-Holland: Hausman.
- Mc Donald R., Siegel D. : The Value of Waiting to Invest, *The Quarterly Journal of Economics*, 1986.
- Meade N., Salkin G.R. : Developing and Maintening an Equity Index Fund, *Journal Opl. Res. Soc.*, 41, 599-607, 1990.
- Merton R.: "The theory of rational option pricing", *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, spring, pp. 141-183, 1973.
- Mitchell, R.C. et T. Carson, R. (1989): "Using Surveys to Value Public Goods: The contingent Valuation Method", Washington D.C.: Resources for the Future.
- Mossin, J. "Equilibrium in a capital asset market", *Econometrica*, 34, pp768-783, 1966.
- Proal D. : "Réplication de Portefeuille à l'aide des Algorithmes Génétiques, Mémoire de Maîtrise d'Ingénierie Mathématique", sous la direction de P. Bernhard, Sophia- Antipolis, 2000.
- Saporta G. : *Probabilités, Analyse de Données et Statistique*, Technip, 1990.
- Radner, R. "Equilibrium under uncertainty", in *Handbook of Mathematical Economics*, Arrow and Intriligator eds., North-Holland, 1982, pp. 923, 1002.
- Rainelli, P. (1993): "Evaluation contingente et contexte institutionnel", in P. Point, F. Bonnieux, G. Meullat (Ed.), *La valeur économique des hydrosystèmes : apports et limites de l'approche contingente*, pp. 85-87, Actes du séminaire hydrosystèmes et sociétés.

- Ridker, R.G. et J.A. Henning (1967): "The determinants of residential property values with special reference to air pollution", *Review of Economic and Statistics*, 246--257.
- Sandmo, A. "The effect of uncertainty on saving decisions", *Review of Economic Studies*, 37, pp. 353-360, 1970.
- Schmeidler, D. "Subjective probability and expected utility without additivity", *Econometrica* , Vol 57 N° 3, 1989, pp.571-587.
- Schwartz E.S. : The Stochastic Behavior of Commodity Prices : Implications for Valuation and Hedging, *Journal of Finance*, 52 : 923-974, 1997.
- Shiller, R. et S. Athanasoulis "World income components: measuring and exploiting international risk sharing opportunities", Mimeo NBER, April 1995.
- Slade M. : Valuing Managerial Flexibility : An Application of Real Options Theory to Mining Investments, WP, University of British Columbia, 2000.
- Tourinho O.A. : The Valuation of Natural Resources : An Option Pricing Approach, Ph. D dissertation, University of California, Berkeley.
- Trigeorgis L. *Real options* , The MIT Press, Cambridge, 1996.
- Tversky, A. et D.Kahneman (1991): " Loss aversion in riskless choice : A reference-dependent model", *Quarterly Journal of Economics*, 106, pp. 1039-61.