



Le calcul du risque dans les investissements publics

2011

Christian Gollier
président

Luc Baumstark
rapporteur général

Pierre Fery
rapporteur

Dominique Auverlot
Christine Raynard
coordinateurs

Avant-propos



Vincent Chriqui,
directeur général
du Centre d'analyse
stratégique

La prévention et la gestion des risques sont devenues depuis quelques années des thèmes majeurs du débat public. Cela s'explique notamment par la reconnaissance du principe de précaution : ainsi, de nombreuses incertitudes, qu'elles soient de nature sanitaire, environnementale ou économique, rendent les arbitrages publics plus délicats que naguère.

Comment définir un risque acceptable ou une prévention optimale ? Comment organiser la société pour gérer efficacement les risques ? Quel est en la matière le rôle de l'État ? Ces interrogations sont essentielles non seulement pour comprendre la dimension économique des risques mais aussi, de façon générale, pour élaborer les politiques de prévention. Dans ce contexte, la question de l'évaluation et de la mesure du risque devient centrale.

Un des points sur lesquels la théorie hésite, tandis que la pratique fait encore défaut, tient à la manière opérationnelle de prendre en compte le risque et l'incertitude dans les calculs économiques, en amont de la décision publique.

Comment valoriser les effets attendus de dépenses qui visent à prémunir la collectivité contre des risques ? La réponse serait simple si les dépenses pouvaient garantir la suppression des risques. Malheureusement, la question ne se pose jamais ainsi, mais plutôt en termes de bilan : quel coût pour quelle diminution des risques ? Ne rien faire serait évidemment condamnable,

vouloir supprimer tous les risques entraînerait des coûts prohibitifs. Il s'agit en somme de définir les règles d'une position d'équilibre.

L'approche de l'économiste est ici différente de celles de l'ingénieur, du médecin, du biologiste ou du climatologue, même si elle leur est complémentaire. Elle s'efforce de répondre à une question : que gagne-t-on collectivement à tel ou tel type d'investissement, et que perd-on à ne pas engager telle ou telle dépense de protection ? Il s'agit bien de mettre en balance des gains possibles ou probables avec des pertes probables, ou improbables mais possibles. Il s'agit de garantir un principe de proportionnalité et de cohérence entre les décisions prises et les enjeux collectifs clairement précisés, de montrer la valeur de l'information qui permet de réviser les jugements, d'éclaircir finalement un débat contradictoire favorisant l'analyse des risques et leur acceptabilité sociale.

Élaboré au sein d'un groupe de travail qui réunissait universitaires, praticiens et responsables de différentes administrations, le rapport qui suit est original à plus d'un titre.

Il propose un cadre général, de manière pédagogique, tout en dépassant la simplicité des formules utilisées dans le langage courant sur la gestion du risque, qui masque souvent les enjeux collectifs. Il donne les clés au lecteur et au praticien pour entrer dans une littérature technique, d'un abord difficile.

Il met ensuite en relation la réflexion académique et les pratiques des évaluateurs dans différents secteurs où la question de l'évaluation des investissements se pose pour les pouvoirs publics avec une certaine acuité : l'agriculture, la santé, les transports, l'énergie.

Il montre combien les développements théoriques et les outils calculatoires qui en sont issus, de plus en plus complexes, ne trouvent une réelle efficacité dans la décision publique que s'ils sont pensés et mis en œuvre dans une gouvernance des études renouvelée et une prise en compte de l'importance stratégique que revêt la production d'une information de qualité.

Il permet ainsi de faciliter et d'harmoniser la mise en pratique des principes et méthodes d'évaluation par les administrations chargées de telles études, dans leurs composantes à la fois économiques, environnementales et sociales. Par ce dialogue instauré entre la recherche universitaire et les attentes des praticiens, ce rapport initie, de manière modeste mais réelle, une démarche qui a pour objectif d'apprivoiser le risque, à défaut de le domestiquer.

Je tiens à remercier l'ensemble des membres du groupe de travail, et en premier lieu son président, Christian Gollier, ainsi que le rapporteur général, Luc Baumstark, le rapporteur, Pierre Fery, et l'équipe du Département Développement durable du Centre d'analyse stratégique.

Sommaire

Avant-propos	3
Introduction	11
Les enjeux	15
1 ■ Importance du calcul économique dans l'évaluation des politiques publiques	15
1.1. L'outil du calcul économique et la décision publique.....	15
1.2. Le calcul économique face au risque et à l'incertitude	18
2 ■ Importance de la prise en compte du risque dans différents secteurs	21
2.1. Transport.....	22
2.2. Santé.....	28
2.3. Agriculture.....	35
2.4. Énergie.....	41
2.5. Développement durable.....	44
3 ■ La réévaluation du taux d'actualisation et la question du risque	46
3.1. La révision du taux d'actualisation	46
3.2. Le taux d'actualisation et la prise en compte du risque	48
L'apport théorique et les pratiques	55
1 ■ Les enjeux théoriques et pratiques du vocabulaire	55
1.1. Les incertitudes dans le calcul économique.....	55
1.2. Entre concept théorique et langage courant.....	57

2 ■ L'approche de référence	64
2.1. La VAN espérée.....	64
2.2. La prime de risque (équivalent-certain des coûts et des bénéfices) ...	66
2.3. La majoration du taux d'actualisation.....	79
2.4. Deux outils complémentaires.....	94
2.5. Évaluation du risque : approche probabiliste et simulation numérique de Monte-Carlo.....	97
2.6. Conclusion : un outil adapté à chaque usage.....	107
3 ■ Approches complémentaires	110
3.1. Options réelles : valoriser la flexibilité et tenir compte de l'information dans les stratégies en situation d'incertitude.....	110
3.2. Les enjeux économiques du biais optimiste dans les évaluations ...	125
4 ■ Poser les fondements d'une mise en œuvre opérationnelle du principe de précaution	134
Mise en œuvre du calcul économique et gouvernance	139
1 ■ L'évaluation socioéconomique du partage du risque	140
1.1. Valoriser correctement le risque pour chacun des acteurs.....	140
1.2. Mutualisation des risques et création de valeur sociale.....	142
1.3. L'analyse coûts-avantages face au partage des risques.....	144
1.4. L'information est au centre d'un partage efficace et équitable du risque.....	147
1.5. La réduction des risques et l'information générée par les politiques publiques.....	148
2 ■ La régulation publique et la diminution des risques : l'enjeu de la gouvernance	149
2.1. Les enjeux de la transparence : une exigence indispensable.....	150
2.2. Le management des études.....	152
3 ■ Les enjeux de la praticabilité des calculs	154
3.1. Quantifier les risques à l'aide de l'information disponible.....	155
3.2. Adapter les méthodes aux enjeux.....	159
3.3. Assurer la cohérence des évaluations.....	163

3.4. L'apport de la modélisation et de la simulation.....	165
3.5. Un risque particulier : le risque pétrole.....	166
4 ■ La mise en œuvre d'une grille générale pouvant être déclinée par secteur	168
4.1. Les principes généraux.....	169
4.2. Le plan détaillé d'une étude de risques	171
Conclusion et recommandations	177
1 ■ Distinguer la nature des différents risques	179
2 ■ Choisir des outils adaptés à la nature des risques	181
2.1. La structure de base de la VAN espérée.....	181
2.2. Les conditions de l'introduction éventuelle d'une prime de risque... 182	
2.3. Enrichir l'analyse du risque.....	188
2.4. Les principes fondamentaux de la maîtrise du risque dans les évaluations.....	191
3 ■ Intégrer le calcul du risque dans le cadre d'une posture générale de maîtrise des risques	197
3.1. Un cadre de cohérence global.....	197
3.2. Un cadre d'analyse décliné au niveau sectoriel.....	198
3.3. Un cadre de gouvernance renouvelé et le rôle stratégique de la production de l'information.....	199
4 ■ Mettre le principe de précaution au cœur de l'analyse du risque	201
Annexes	205
Annexe 1 : Lettre de saisine	207
Annexe 2 : Composition de la commission	209
Annexe 3 : Intervenants et personnes auditionnées	213
Annexe 4 : Quelques pistes pour déterminer le bêta socioéconomique d'un projet	217
Bibliographie	229

Introduction

Toute décision comporte une part d'incertitude et implique une prise de risque, au niveau individuel comme au niveau collectif. Face à cette donnée incontournable, le décideur n'est pas totalement démuni. Le calcul économique, qui constitue un des instruments d'aide à la décision, lui ouvre des perspectives. Cette méthode s'est développée aussi bien dans le privé que dans le public, mais avec des objectifs différents. Dans le privé, on recherche d'abord le résultat ou le profit. Dans la sphère publique, le calcul économique a pour ambition d'objectiver l'utilité sociale des dépenses publiques en ramenant notamment l'ensemble des effets non marchands d'une décision ou d'un investissement à une même unité de mesure : on peut alors débattre sur l'allocation optimale des ressources dont dispose la collectivité et maximiser ainsi le bien-être social.

À première vue, la méthode paraît simple puisqu'il s'agit de retenir les projets dont la somme des bénéfiques socioéconomiques (au sens large, les bénéfiques ne se limitant pas au seul volet financier, loin de là) excède la somme des coûts à consentir.

Ce calcul devient nécessairement complexe dès qu'on cherche à le mettre en pratique. Il suppose d'abord qu'on accepte de donner une valeur relative à l'ensemble des biens et des services engagés (lorsque c'est possible). Il suppose ensuite qu'on prenne en compte l'évolution de ces valeurs dans le temps, et qu'on apprécie les incertitudes pesant sur l'ensemble des variables.

La prévention et la gestion des risques sont devenues depuis quelques années des thèmes majeurs du débat public, notamment avec la mise en œuvre effective et raisonnée du principe de précaution. De nombreuses questions se posent : comment définir un risque acceptable ? Une prévention optimale ? Comment organiser la société pour gérer efficacement les risques ? Quel est dans ce contexte le rôle de l'État ? Ces questions sont essentielles non seulement pour comprendre la dimension économique des risques mais aussi, de façon générale, pour élaborer des politiques de prévention des risques.

La question de l'évaluation, de la mesure, de l'objectivation des enjeux devient alors centrale.

Le Commissariat général du Plan puis le Centre d'analyse stratégique ont rappelé à maintes reprises l'importance du calcul économique pour optimiser les dépenses publiques. Plusieurs rapports ont proposé de moderniser les outils d'évaluation socioéconomique en les élargissant à des domaines où il n'est pas facile de produire des valeurs monétaires à comparer aux euros dépensés ou gagnés : le temps, la vie humaine, l'environnement, le climat, voire la biodiversité.

Un des points les plus délicats – la théorie est encore hésitante et la pratique peu abondante – tient à la manière opérationnelle de prendre en compte le risque et l'incertitude.

Dans les évaluations socioéconomiques traditionnelles d'un projet, l'intégration des risques reste de fait assez modeste. Bien souvent, la collectivité a cru se protéger des multiples risques associés à un projet, et de la tendance naturelle de leurs promoteurs à surestimer les avantages et à minimiser les coûts, en exigeant un taux de rendement élevé sur les fonds qu'elle engageait. En pratique, les calculs d'évaluation étaient menés en retenant un taux d'actualisation élevé qui incluait implicitement une prime de risque forfaitaire et globale. Par ailleurs, la prise en compte du risque dans les calculs se limitait bien souvent à différencier quelques scénarios ou à réaliser des tests de sensibilité sur quelques variables du projet, sans que l'on sache toujours interpréter les résultats.

Ces approches, même si elles ne sont pas sans intérêt, ne répondent pas de manière satisfaisante à la question posée par le traitement du risque dans les évaluations. Notamment, elles ne permettent pas de distinguer des projets dont les risques sont très différents, ni de donner les poids qui conviennent aux scénarios selon leur degré de vraisemblance.

Ces dernières décennies, la théorie sur le risque et les applications pratiques se sont développées. Elles se diffusent même clairement dans les recommandations de certaines administrations à travers le monde pour intégrer de manière plus

systematique le risque dans les évaluations socioéconomiques. On peut en juger aisément par les manuels de référence qui fleurissent sur Internet¹.

À la demande du ministère de l'Écologie et de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire², le Centre d'analyse stratégique a réuni une commission sous la présidence de Christian Gollier, à laquelle ont contribué des experts universitaires, des professionnels impliqués dans les évaluations et des représentants des différents ministères. Leurs travaux ont ouvert de nombreuses perspectives.

Ce rapport cherche à faire le point sur ce qu'il est raisonnable d'entreprendre. Il décrit dans un premier temps les enjeux de cette approche dans différents secteurs où la puissance publique garde, et gardera encore demain, un rôle prépondérant. Dans un deuxième temps, il rappelle les avancées théoriques et la manière de les articuler avec le cadre classique et bien maîtrisé du calcul coûts-avantages. Enfin, dans un troisième temps, il aborde les éléments permettant d'enrichir les pratiques ou de les initier sur des bases claires.

Retenons d'emblée trois points sur lesquels nous reviendrons à plusieurs reprises.

D'une part, la cohérence du calcul économique public suppose de ne pas traiter la question du risque en la dissociant des autres volets de l'évaluation. Le calcul économique se construit en effet sur un système de prix relatifs qui entretiennent une relation complexe avec le risque et les incertitudes. Les travaux du Plan et du Centre d'analyse stratégique de ces dernières années ont instruit de manière séquentielle l'élaboration de différents référentiels : sur le taux d'actualisation (valeur du temps), sur la valeur des biens environnementaux, sur le coût d'opportunité des fonds publics, etc. L'appréciation du risque au moment de la détermination de ces référentiels a plus ou moins été prise en compte et lorsqu'elle l'a été, ce fut souvent de manière indépendante. Cette démarche séquentielle pose un problème de cohérence d'ensemble qui demeure à l'issue de ce travail et qui invite à reconsidérer ces référentiels dans une approche globale, notamment celui sur le taux d'actualisation.

[1] OCDE (2007), *Analyse coûts-bénéfices et environnement – Développements récents*, juin ; Commission européenne (2003), *Guide de l'analyse coûts-avantages des projets d'investissement* ; Royaume-Uni (1997), *The Green Book – Appraisal and Evaluation in Central Government*, HM Treasury ; Canada (1998), *Benefit-Cost Analysis Guide*, Treasury Board ; États-Unis (2006), *Guide to Risk Assessment and Allocation for Highway Construction Management*, Federal Highway Administration, octobre ; Australie (2001), *Public Sector Comparator – Technical Note*, Partnerships Victoria ; Banque asiatique de développement (2002), *Handbook for Integrating Risk Analysis in the Economic Analysis of Projects*, mai.

[2] La lettre de saisine figure en annexe 1.

Ensuite, ce type de calcul et de réflexion ne peut être mené indépendamment du secteur auquel il s'applique. Un travail sur le risque pertinent renvoie à la spécificité des incertitudes par secteur, même si des caractéristiques communes peuvent se retrouver. Non seulement la pratique du calcul économique n'est pas partout identique et les processus de décision peuvent être assez différents, mais plus encore, la nature des flux économiques, leur dispersion, la qualité des données disponibles, les besoins de connaissance, etc., se présentent de manière très différente selon les secteurs. La mise en œuvre des recommandations présentées ici supposera donc une appropriation particulière. Ce rapport doit être apprécié comme un référentiel général qu'il conviendra de traduire au niveau de chaque secteur. C'est la raison pour laquelle le premier chapitre propose un tour d'horizon sur la manière dont la question de l'évaluation est abordée et prise en compte dans des secteurs aussi différents que le transport, l'énergie, l'agriculture ou encore la santé.

Enfin, il est important de rester modeste et prudent : la prise en compte effective du risque dans la décision publique ne se limite pas à des techniques, aussi sophistiquées soient-elles. C'est pourquoi le troisième chapitre replacera dans un cadre plus large les recommandations développées dans le chapitre précédent, en insistant sur les dimensions relatives à l'identification des risques, à la question cruciale de la production des données, au débat contradictoire, etc.

L'intérêt du calcul économique n'est pas de résumer la valeur sociale d'une décision collective à un indicateur ou à un autre, mais bien, en forçant les agents à les produire, à les contester, voire à les enrichir, de raisonner les débats dans un cadre de référence partagé.

Les enjeux

Après avoir rappelé l'importance du calcul économique dans l'évaluation des politiques publiques et les problèmes particuliers que pose l'appréhension du risque, ce chapitre expose les attentes en matière d'évaluation telles qu'elles se manifestent dans différents secteurs. Les problématiques comme les pratiques d'évaluation, les questionnements et les contraintes qui pèsent sur les pouvoirs publics, ou encore l'organisation industrielle ne sont en effet pas identiques selon qu'on considère tel ou tel secteur. Il a semblé utile à la commission, avant d'engager une réflexion plus générale, de mettre en évidence ces différences. Les secteurs de l'énergie, de l'environnement, de la santé et de l'agriculture, qui étaient représentés dans la commission, ne sont pas les seuls où ces questions d'évaluation se posent mais ils offrent une diversité suffisante pour que le travail collectif ne s'enferme pas dans la problématique d'un secteur particulier. Enfin, la réflexion ne part pas de rien : la question de la prise en compte du risque qui est traitée dans ce rapport doit être articulée précisément avec les réflexions antérieures. Celles-ci seront ainsi rappelées dans la section finale de ce chapitre.

1 ■ Importance du calcul économique dans l'évaluation des politiques publiques

1.1. L'outil du calcul économique et la décision publique

Une des fonctions stratégiques de l'État consiste à allouer ses moyens aux actions les plus profitables au bien public. Cela nécessite d'arbitrer entre différentes actions collectives ayant un impact présent et futur sur le bien-être de la population. Ces arbitrages concernent non seulement des infrastructures (transport, santé, etc.) mais aussi l'amélioration du système scolaire, le soutien à la recherche, les investissements en matière de sécurité, la lutte contre l'effet de serre, la gestion des déchets, la préservation de la biodiversité... Les effets de certains de ces investissements se manifestent à très court terme, d'autres au contraire se font sentir sur des périodes de temps beaucoup plus longues.

Dans un monde où les ressources sont limitées – certaines beaucoup plus que d'autres –, il est indispensable de procéder à une sélection et à une hiérarchisation des projets reflétant de manière cohérente leurs effets temporels. Ne pas le faire, c'est accepter que l'on consacre une partie des ressources de la collectivité à des investissements qui auraient pu, ailleurs, être d'une utilité supérieure, ou que l'on s'engage inconsidérément dans des actions ayant des conséquences néfastes à long terme. En outre, les pouvoirs publics, responsables du bon usage des deniers publics, doivent s'assurer que les dépenses sont utiles et que les avantages attendus du projet valent les dépenses engagées et les coûts qui seront supportés par la collectivité. C'est l'essence même du calcul économique public que d'apporter dans les choix collectifs un éclairage sur l'efficacité socioéconomique des ressources rares mobilisées et des fonds publics investis. Il répond à la question de savoir si la collectivité, lorsqu'elle consacre des ressources à tel ou tel projet, crée ou détruit de la richesse.

À ces divers titres, le calcul économique apparaît donc, au regard des préoccupations d'efficacité et de bon usage des fonds publics, comme un instrument essentiel de cohérence à utiliser par les administrations tant pour l'ordonnancement de leurs activités internes que dans leurs relations avec les autres administrations ou avec les collectivités territoriales.



Calcul économique et critères de choix des investissements

Le calcul économique est un outil assez complexe que l'on ne peut pas cerner en quelques lignes. Deux notions de base, auxquelles le rapport se référera souvent, doivent être présentées ici : la valeur actuelle nette (ou bénéfice actualisé) et le taux de rentabilité interne d'un projet. Ces deux concepts incontournables permettent d'apprécier l'utilité sociale et constituent de ce fait la base de l'analyse coûts-avantages. Ils sont décrits dans un cadre certain. On verra plus loin comment ce cadre doit être transformé pour intégrer le risque et l'incertitude.

Si l'on considère les variables suivantes :

t_0 est l'année précédant la mise en service du projet ou de sa première phase ;

Θ est la durée de construction du projet ;

T est la durée de vie du projet calculée à partir de l'année de mise en service (ou durée sur laquelle porte l'étude) ;

I est le coût initial du projet (actualisé s'il est réalisé sur plusieurs années ou en plusieurs phases de mise en service) :

$$I = \sum_{t=-\Theta}^0 \frac{I_{(t_0+t)}}{(1+a)^t}$$

$I_{\text{étudés}}$ est la somme des investissements étudiés ;

ΔI_t est la variation d'investissements de gros entretien éventuels dans l'année t (qui ne sont pas pris en compte dans les dépenses d'exploitation) ;

A_t est l'avantage économique net du projet pour l'année t , tel que défini précédemment (et donc diminué des dépenses d'exploitation) ;

a est le taux d'actualisation ;

R est la valeur résiduelle de l'investissement en fin de période d'étude, qui peut être définie comme la valeur d'utilité ou valeur économique sur la durée de vie résiduelle du projet (somme actualisée des avantages attendus ultérieurement nette des coûts de maintenance et de régénération) ; R peut être négatif s'il y a un coût de remise en état (de la friche...) en fin de vie du projet.

On obtient alors le **bénéfice actualisé** pour la collectivité que l'on peut séparer en quatre composantes : la première, comptée négativement, correspond aux investissements engagés avant la mise en service ; la deuxième, positive, rassemble les avantages nets (l'ensemble des coûts étant déduit) tirés de l'investissement sur toute la période de service ; la troisième, négative, isole sur cette même période les investissements lourds d'entretien ou de renouvellement ; la quatrième identifie la valeur résiduelle de l'investissement, composante importante et souvent négligée qui doit être calculée en fin de période et engage bien souvent des considérations de long terme (elle peut notamment être fortement négative : coût de démantèlement et de remise en état d'une installation...) :

$$B = -(I - I_{\text{étudés}}) + \sum_{t=1}^T \frac{A_{(t_0+t)}}{(1+a)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{\Delta I_{(t_0+t)}}{(1+a)^t} + \frac{R}{(1+a)^T}$$

C'est par définition la différence entre les avantages et les coûts de toute nature, eux-mêmes actualisés, induits par l'opération. Les coûts et les avantages actualisés sont calculés par rapport à une situation de référence. Le calcul est fait en monnaie constante. Par convention, l'année $t = 0$ est celle qui précède la mise en service de l'ouvrage.

Ce bénéfice actualisé, dénommé par la suite *valeur actuelle nette* (VAN), nécessite pour être calculé l'utilisation d'un taux d'actualisation. Celui-ci doit être bien distingué du taux de rentabilité interne.

Le **taux de rentabilité interne** socioéconomique (TRI socioéconomique) est la valeur du taux d'actualisation qui annule le bénéfice actualisé. Dans le cas, fréquent, où la VAN est une fonction décroissante du taux d'actualisation, il permet d'apprécier l'utilité du projet sans référence à un taux d'actualisation particulier et de comparer ses avantages relatifs, immédiats ou futurs. De manière pratique, un projet peut être considéré comme intéressant pour la collectivité si le taux de rentabilité interne socioéconomique est supérieur au taux d'actualisation public. En revanche, le taux de rentabilité interne ne permet pas de choisir entre deux projets mutuellement exclusifs : c'est le critère du bénéfice actualisé qui reste pertinent dans ce cas de figure. Un projet A qui présente un TRI socioéconomique supérieur à celui d'un projet B n'est ainsi pas nécessairement plus pertinent que ce projet B.

Source : Instruction-cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport ; ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, 25 mars 2004

Le présent rapport ne revient pas sur les difficultés de cet outil qui ont fait l'objet de nombreux développements¹. On rappellera que malgré leur fragilité et leurs limites, les outils aujourd'hui disponibles restent indispensables, incontournables non pour se substituer à la décision mais pour alimenter le débat et pour préparer l'arbitrage, essence de la gouvernance publique. Les participants au débat public doivent être pleinement informés des effets socioéconomiques d'une décision ou d'un projet tels qu'ils peuvent être évalués par le bilan socioéconomique, donc de leur efficacité et du bon usage des fonds publics. Il s'agit de focaliser le débat sur la problématique de l'utilité économique du projet, compte tenu d'une part de son coût de réalisation et d'exploitation, d'autre part de ses avantages attendus pour les usagers et des inconvénients des autres impacts du projet. Le calcul économique, en indiquant qui gagne, qui perd et en quelle proportion, peut alors introduire utilement les questions de redistribution, de tarification et éclairer la décision sur d'éventuelles compensations à mettre en place entre les différents agents.

1.2. Le calcul économique face au risque et à l'incertitude

Le calcul économique paraît à première vue une technique relativement triviale, puisqu'il suffit de comparer les bénéfices que l'on pense retirer d'un projet – qui ne se limitent pas aux seules considérations financières, même si elles

[1] Le Plan, puis le Conseil d'analyse stratégique, ont mené de nombreux travaux militant pour l'usage et la modernisation des outils permettant d'engager de telles évaluations. Le rapport Lebègue sur le taux d'actualisation pose ainsi les jalons d'une prise en compte plus explicite du risque. Voir plus loin dans ce chapitre une présentation complète de ce point, et les références bibliographiques.

ont toute leur place – aux coûts qu'il faudra supporter pour les obtenir. Parmi les nombreuses difficultés auxquelles se heurte cette approche (comparaisons interpersonnelles, comparaisons entre des bénéfices et des coûts très hétérogènes, comparaisons de flux économiques à différentes périodes de temps), la prise en compte des risques et des incertitudes apparaît comme une des plus délicates : certains projets ont des bénéfices sûrs mais des coûts incertains, ou inversement. Il suffit pour s'en persuader de considérer l'énergie nucléaire, l'exploration spatiale ou les applications de la biotechnologie.

De manière générale, au-delà des discours sur le principe de précaution, la prise en compte effective des risques dans les études et les évaluations qui alimentent la décision reste insuffisante au regard des enjeux. L'absence de réflexion sérieuse sur ce point inflige *a posteriori* à la collectivité des coûts supplémentaires importants qui auraient pu être évités. Elle donne lieu à des arbitrages déraisonnables en évinçant, à bénéfices identiques, des projets moins risqués ou en surestimant, par une précaution mal placée, les risques de certains projets. De plus, un calcul économique « en moyenne » peut conduire à imposer des projets très risqués, détruisant de la valeur sociale. Réciproquement, un calcul économique fondé sur un « catastrophisme éclairé » peut être source d'immobilisme, alors que la prise de risques bien appréciés et bien gérés créerait de la valeur sociale.

La pratique actuelle sur ce point reste assez limitée :

- le plus souvent, les incertitudes affectant les variables sont omises (incertitudes de mesure, de modélisation, imprécision des modèles, des données), l'évaluateur se contentant de raisonner sur des valeurs déterministes, au mieux considérées comme les valeurs les plus probables, et éventuellement affectées d'un abattement forfaitaire pris à dire d'expert (le *best guess* des Anglo-saxons) ;
- les incertitudes radicales (rupture possible par rapport aux modèles en vigueur) sont traitées au mieux *via* des scénarios quand elles ne sont pas ignorées. Toutefois, un défaut d'analyse prospective peut conduire à omettre des scénarios probables (par exemple, l'investissement massif dans les chemins de fer à la fin du XIX^e siècle n'avait pas prévu l'essor de l'automobile au siècle suivant).

In fine, l'analyse du risque se résume à l'évaluation d'une poignée de scénarios distincts, relativement contrastés, et à la réalisation de tests de sensibilité du résultat par rapport à quelques variables jugées déterminantes

(approche artisanale reposant largement sur l'expérience et le savoir-faire des modélisateurs).

Les techniques des tests de sensibilité et des scénarios sont très largement pratiquées, notamment dans l'administration française¹, mais ces approches restent inachevées faute de lignes directrices sur la manière d'interpréter les résultats ou de les comparer lorsqu'ils sont tirés d'évaluations non coordonnées. L'approche par les scénarios ne permet pas l'exploration exhaustive du domaine des possibles. Quant aux tests de sensibilité effectués sur les variables, leur principale utilité est de mettre en évidence les variables sensibles, dont le rôle peut faire basculer la conclusion sur l'intérêt du projet. Ces techniques, faciles à mettre en œuvre et à comprendre pour le décideur, présentent toutefois plusieurs limites :

- les tests n'explicitent pas la probabilité d'occurrence des risques considérés. On met ainsi sur le même plan des scénarios dont la probabilité d'occurrence est faible et d'autres dont la probabilité est au contraire élevée. Par ailleurs, des scénarios (dits pessimistes) qui dégradent par exemple l'ensemble des variables reposent sur une probabilité d'occurrence faible (tous les aléas se réalisent simultanément) et n'apportent de ce fait que peu d'information utile pour la décision ;
- les scénarios alternatifs au scénario central ne bornent la plage d'incertitude que de manière très imprécise. En effet, ou bien ils cumulent tous les aléas et présentent donc une probabilité d'occurrence très faible, ou bien ils s'efforcent d'être plus réalistes mais sans préciser dans quelle mesure ;
- les tests réalisés sur certaines variables ne peuvent pas rendre compte aisément du fait que les variables clés du projet sont souvent corrélées. L'effet cumulé de plusieurs variations diffère le plus souvent de la somme des effets séparés. Ces interactions ne sont généralement pas triviales ;
- l'interprétation des résultats des tests de sensibilité reste très subjective. En particulier, la présentation séparée des résultats permet à chaque acteur de privilégier ce qu'il désire, suivant son affichage optimiste ou pessimiste ;
- malgré tout, cette méthode présente l'avantage incomparable de mettre le porteur de projet en situation de mieux appréhender les variables les

[1] Par exemple, l'instruction-cadre du 25 mars 2004 sur les méthodes d'évaluation des infrastructures de transport préconise de calculer les indicateurs socioéconomiques pour un scénario de référence, considéré comme le plus probable, et de mener des tests de sensibilité aux évolutions des principaux paramètres du modèle (PIB, coûts, trafics, prix...).

plus influentes pour la réussite ou l'échec du projet, et lui procure donc les éléments à utiliser en vue d'une meilleure gestion des risques.

L'insuffisante prise en compte des risques est révélée notamment par un phénomène de biais : biais optimiste constaté par exemple dans certains secteurs qui conduit à sous-estimer certains risques et donc à surestimer l'intérêt des projets (ce point, compte tenu de son importance, est abordé dans la dernière partie du rapport). D'une manière plus générale, les conséquences d'une mauvaise prise en compte du risque peuvent biaiser les choix politiques et l'allocation efficace des ressources financières (exemples de la grippe A/H1N1 ou de la prévention des inondations) :

- toute hiérarchisation des mesures apparaît vaine, dès lors que l'écart de rentabilité supposé entre différentes dépenses peut être dû simplement à la marge d'incertitude sur les paramètres ;
- des projets calculés avec les valeurs les plus probables peuvent sembler intéressants alors que leur bilan est, en espérance (et *a fortiori* en espérance diminuée d'une aversion au risque), négatif pour la collectivité ;
- une sous-estimation initiale des coûts conduit à une mauvaise programmation budgétaire qui entrave la mise en œuvre du projet, et celle d'autres projets indirectement touchés en négatif par les réallocations de crédits budgétaires ;
- l'allocation des risques au sein de la collectivité est sous-optimale, laissant peser sur les populations vulnérables des risques qu'elles peuvent moins bien supporter que d'autres. De ce point de vue, les questions posées sur l'appréciation du coût lié au changement climatique constituent un cas d'école.

Ces éléments ont indéniablement un caractère de généralité, mais ils peuvent se décliner de manière assez différente selon les secteurs de l'économie et les domaines de l'action publique dans lesquels on appréhende la prise en compte du risque.

2 ■ Importance de la prise en compte du risque dans différents secteurs

L'usage du calcul économique devrait se développer et se renforcer, notamment dans des domaines où il est encore peu utilisé. Il peut en effet apporter des éclairages pertinents sur des questions aussi délicates que l'effet de serre, les déchets nucléaires, la santé et les politiques hospitalières, les applications de

la biotechnologie, l'exploration spatiale, la défense nationale¹, la recherche², etc. Autant de sujets qui constituent de nouveaux défis lancés à l'analyse coûts-bénéfices.

On développera ici les enjeux de ces calculs dans différents secteurs : le transport, où ces approches sont aujourd'hui largement mises en œuvre; la santé et l'agriculture, où elles commencent à se mettre en place; enfin, les secteurs de l'énergie et du développement durable, dans lesquels les questions d'investissement à long terme ont pris une acuité nouvelle avec la lutte contre le réchauffement climatique et le développement des énergies alternatives.

2.1. Transport

Une pratique éprouvée du calcul économique pour les projets de transport

La décision publique reste prépondérante dans le choix de réaliser les infrastructures de transport puis dans le rythme de leur réalisation, même si la part prise par le secteur privé dans les diverses phases des projets augmente et se diversifie, en particulier avec le développement des partenariats public-privé (PPP).

L'importance de la décision publique s'explique largement : les projets de transport se caractérisent par la forte proportion des coûts d'investissement dans le bilan total, par des montants élevés (de la centaine de millions d'euros à quelques milliards d'euros) et par la diversité des enjeux. Leur conduite suppose de larges modalités de concertation et de discussion de la décision publique. De nombreux effets sont à prendre en compte dans la décision.

[1] Les projets de la défense sont marqués par plusieurs spécificités : la R & D est à fort risque et la fabrication d'unité s'apparente plus au prototypage qu'à une production industrielle ; le matériel doit être maintenu en condition opérationnelle avec des aléas importants sur les coûts ; enfin l'horizon temporel des investissements à considérer dans les calculs est assez éloigné : il peut aller de 40 à 100 ans suivant les projets. Des arbitrages particuliers peuvent par ailleurs intervenir dans ce secteur entre la poursuite de la maintenance ou l'achat de nouveau matériel, ou encore entre différentes solutions parmi lesquelles le partenariat avec le secteur privé peut être envisagé.

[2] La recherche, qui produit l'un des rares biens publics purs que décrit la théorie économique, mobilise des sommes importantes dans une grande majorité des secteurs de l'économie et de la société : médecine, agriculture, énergie, etc. Les sources de croissance les plus prometteuses ne se situent plus tant dans le domaine des investissements strictement matériels que dans la production de services ou de biens à forte valeur ajoutée pour laquelle le capital intangible, au premier rang duquel figure la recherche, est primordial. L'évaluation socioéconomique des programmes de recherche se heurte à des problèmes redoutables notamment en raison des incertitudes liées à la recherche elle-même et à la valorisation des découvertes. L'action publique est toutefois puissamment structurante dans ce secteur et le calcul économique doit y être appliqué.

La construction des infrastructures et le fonctionnement des services de transport génèrent par ailleurs pour la collectivité des externalités, négatives et positives, dont certaines peuvent se manifester à très long terme. Par exemple, les grands réseaux de transport contribuent à structurer le territoire et de ce fait influent sur la répartition spatiale des activités, l'aménagement du territoire, la planification urbaine, la configuration des systèmes productifs. Les effets induits par ces infrastructures sont également caractérisés par des cycles longs, qui peuvent ne commencer à se manifester que vers la fin de la période couverte par l'évaluation, leurs effets contracycliques sur l'économie peuvent être recherchés par les pouvoirs publics, etc. Il faut enfin considérer parmi ces différents impacts les effets externes négatifs environnementaux qui ont pris une importance grandissante ces dernières années.

Le calcul économique est appliqué avec succès depuis longtemps dans l'évaluation des projets de transport qui lui ont fourni dès les origines un terrain d'application particulièrement fécond.

Les objectifs suivis par les évaluations sont multiples : ils dépendent en partie de la nature des évaluations et de ceux à qui elles sont destinées. L'État, les collectivités territoriales, les gestionnaires de réseau de transport, les autorités organisatrices de transport, les opérateurs privés et publics prennent des décisions assez variées : classer plusieurs projets ou variantes, autoriser ou refuser la réalisation d'un projet, établir la part à prendre à sa charge dans le financement d'un projet, répartir les risques entre les acteurs concernés, caler les conditions contractuelles de fourniture d'un service de transport, proposer ou réguler les tarifs, etc.

Plusieurs analyses de nature différente sont actuellement menées au ministère en charge des transports selon la posture adoptée :

- une analyse socioéconomique monétarisée prenant en compte certains aspects environnementaux, qui considère le bilan des coûts et des avantages monétarisés pour la collectivité des personnes touchées en positif et en négatif par le projet. Le bénéfice actualisé est calculé avec des paramètres propres au projet (quantités de trafic, coûts de construction...) et avec des paramètres fixés par la puissance publique (taux d'actualisation, prix fictifs des externalités...). La VAN (valeur actuelle nette) est établie à un horizon qui dépasse souvent la trentaine d'années, par comparaison avec une situation de référence, dans un cadre donné d'hypothèses méthodologiques et de modèles de calcul inéluctablement entachés de

certaines incertitudes. Un projet est considéré comme socialement utile si ce bénéfice actualisé est positif ;

- une analyse financière, qui considère le bilan des *cash-flows* d'après le périmètre de l'entité qui investit dans le projet. Un projet est rentable si le TRI (taux de rentabilité interne) financier est supérieur à une valeur seuil qui dépend du coût du capital sur les marchés financiers (taux d'intérêt) ou du CMPC (coût moyen pondéré du capital, traduction française du WACC)¹ ;
- ces éléments chiffrés n'étant que des éléments parmi d'autres dans l'évaluation, les études sont accompagnées de travaux plus qualitatifs. L'expérience de la conduite des projets montre que les attentes en matière d'évaluation prennent plutôt la forme d'un profil multicritères appréciant, par catégorie d'acteurs, divers éléments environnementaux, sociaux, économiques, financiers...

Une prise en compte insuffisante du risque et des incertitudes

L'ensemble de ces travaux se heurte à une prise en compte insuffisante du risque et des incertitudes, défaut qui alimente en partie les contestations dans le débat public.

Dans l'analyse socioéconomique pour la collectivité, les approches pratiques du risque sont principalement fondées à l'heure actuelle sur les méthodes des scénarios et sur les études de sensibilité. Plusieurs scénarios, le cas échéant assortis d'estimation de leurs probabilités, considèrent des variables macroéconomiques comme le taux de croissance de l'économie, le prix de l'énergie, l'évolution de la demande de transport, les prix de transport des différents modes concernés, les transformations du parc de véhicules, la démographie, etc., variables qui sont incorporées dans l'analyse comme « quasi tutélaires »². Des études de sensibilité sont ensuite menées sur les principaux postes de coûts et de recettes intervenant dans le calcul de la VAN. Il en résulte différentes valeurs possibles de la VAN.

La représentation probabiliste des incertitudes sur les paramètres et leurs corrélations est plus rarement utilisée dans l'analyse financière des grands projets (notamment ferroviaires). Elle conduit à une distribution de probabilité

[1] WACC pour *weighted average cost of capital*. Le coût moyen pondéré du capital est une mesure faisant la moyenne du coût d'endettement (rémunération des prêteurs) et du coût des fonds propres (rémunération des actionnaires) d'une entreprise.

[2] Le terme tutélaire signifie ici que l'État donne pour ces différentes variables sensibles des références à intégrer dans les calculs. L'objectif est notamment d'introduire de la cohérence entre les différentes études.

de la VAN, que l'on détermine en pratique en mettant en œuvre les techniques numériques de Monte-Carlo¹.

Les principales difficultés : estimations, biais, variabilités, corrélations

Le recul sur les évaluations permet d'identifier les variables sur lesquelles portent les incertitudes les plus significatives :

- les coûts de construction, d'exploitation et de maintenance (entretien et renouvellement) ;
- les prévisions de trafic (incertitude sur le nouvel équilibre transports-déplacements, généré par l'abaissement des temps et des coûts de transport permis par le projet) ;
- la valorisation monétaire du surplus net pour la collectivité causé par l'abaissement des temps ou des coûts de transport, selon l'usage qui en est fait (utilités supplémentaires obtenues par le réinvestissement des temps économisés en gains d'accessibilité) ;
- les prix du marché, pour le transport de marchandises ;
- les trajectoires tarifaires et des prix relatifs ;
- l'évolution de l'offre concurrente et des projets liés ;
- la tendance macroéconomique, qui conditionne l'évolution générale de la demande de transport.

L'évaluation se trouve confrontée à des problèmes qui restent mal maîtrisés :

- de nombreuses corrélations se manifestent entre ces variables. L'incertitude sur le prix du pétrole n'est pas par exemple sans incidence sur les prévisions de trafic et sur le coût de construction. Il y a une corrélation entre le risque « trafic » et le risque « PIB » ;
- le retour d'expérience montre que les coûts de construction présentent souvent un biais d'optimisme, qui s'atténue au fur et à mesure que le projet mûrit. Cela justifie l'identification de « somme à valoir » ou « provision pour aléas et imprévus » ;
- par ailleurs, en ce qui concerne les résultats des modèles de trafic, l'incertitude de calage du modèle et l'imprécision ou l'incomplétude des données d'entrée (faiblesse de l'observation statistique) génèrent des incertitudes pour les projections des trafics attendus dans les années à

[1] La méthode de Monte-Carlo est exposée au chapitre 2, section 2.5.

venir. Il ne semble pas y avoir de biais d'optimisme, du moins pour les projets routiers ;

- enfin, comment estimer les lois des processus qui gouvernent tous ces paramètres et leurs corrélations, en prenant en compte les différences de nature entre les données « marchandes » (observées directement sur le marché) et les paramètres « non marchands » (observés directement ou évalués par enquêtes comme le gain de temps de transport, reconstitués ou issus d'un processus de décision) et les variabilités objectives et subjectives qui en affectent les valeurs ?

La longue durée de vie des infrastructures implique que certains aléas connaîtront de fréquents « tirages » indépendants au cours de la vie du projet tandis que d'autres n'auront qu'un nombre limité de réalisations. Les projets standard bénéficient d'une base d'observation large et les méthodes fréquentielles y trouvent tout leur sens. La part de subjectivité augmente pour les « gros projets » uniques, caractérisés par la faible fréquence de réalisation par rapport aux évolutions de coûts, de techniques, de modalités d'insertion environnementale.

Pour conclure, les approches probabilistes ne sont pas en mesure de rendre compte de toute l'étendue de la problématique. Les incertitudes « profondes » ou « radicales » relatives, par exemple, à des bifurcations technologiques possibles sur les véhicules, à des évolutions énergétiques ou au comportement de l'économie, restent de toute façon appréhendées subjectivement, ce qui ne veut pas dire de façon arbitraire, par les méthodes des scénarios.

Les enjeux de communication associés à l'identification des risques

La prise en compte des risques et incertitudes dans la communication et la concertation sur les projets de transport mérite des réflexions approfondies, au-delà du traitement « technique » du risque dans les évaluations socioéconomiques. La demande sociale de rendu-compte (débat public) sur les possibilités de déviation du projet de transport par rapport au scénario central ou à la « meilleure estimation » va au-delà des problématiques traditionnelles en analyse financière que sont l'élimination des biais d'évaluation et la considération des risques non diversifiables ou systématiques (corrélation entre les avantages nets du projet de transport et la croissance économique). Les pratiques du débat public dans le secteur des transports montrent l'importance

stratégique dans la conduite des projets d'enrichir les études sur différents points :

- la multidimensionnalité du risque, en particulier dans un débat rassemblant des parties prenantes aux objectifs variés : résumée dans un seul nombre, une analyse de risques est pauvre ; développant de trop nombreux indicateurs, elle devient inexploitable en pratique ; cela légitime la pluralité des modes de représentation et de communication ;
- la nécessité de rigueur et de clarté dans l'analyse et la communication (plus c'est incertain, plus il faut être rigoureux). L'analyse des risques, étant complexe par nature, doit demeurer concrète pour pouvoir être appliquée avec intelligence par les porteurs de projet, et compréhensible pour pouvoir être débattue avec fruit entre les parties prenantes ;
- en tout état de cause, les méthodes de prise en compte du risque doivent être vertueuses, c'est-à-dire ne pas donner une fallacieuse impression de sécurité ni pousser à des prises de risque excessif (aléa moral), inciter à réduire les biais d'optimisme (gouvernance et responsabilité des porteurs de projet) et limiter la variabilité intrinsèque des avantages du projet (améliorer les recueils de données, les statistiques de trafic, les études techniques) sans toutefois retarder celui-ci au-delà du raisonnable. Elles doivent enfin pouvoir interagir positivement avec la conception du projet en l'améliorant, notamment dans le sens d'une meilleure gestion ou prévention des risques.

Pour conclure cet état des lieux dans le transport, si l'analyse du risque s'est largement développée avec l'essor du débat démocratique, les différentes approches doivent encore progresser :

- pour augmenter « l'arsenal » des méthodes d'évaluation, en mettant à profit, quitte à les adapter, les outils théoriques et pratiques issus principalement de l'analyse financière (équivalents-certains, calcul des primes de risque...);
- pour mettre en perspective ces différentes méthodes, en préciser les domaines de pertinence, indiquer et baliser les règles d'emploi ;
- pour faciliter le dialogue avec les parties prenantes.

2.2. Santé

Une mise en œuvre difficile

En matière de santé, le contexte de très grande hétérogénéité des pratiques médicales et l'importance des enjeux financiers inciteraient à une utilisation intensive du calcul économique dans l'aide à la décision publique. C'est loin d'être le cas dans beaucoup de pays et cette sous-utilisation du calcul économique contribue à alimenter des décisions dont la rationalité collective est sujette à discussion, quand elles ne sont pas dommageables.

De nombreux travaux depuis trente ans multiplient pourtant les exemples d'application du calcul économique à l'évaluation de stratégies médicales et sanitaires pour la prévention, le diagnostic ou la thérapeutique. Plusieurs pays industrialisés (Australie, Royaume-Uni, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, etc.) ont même adopté une obligation de recours explicite à ce type de calcul dans des procédures réglementaires, notamment pour fixer les prix de remboursement des médicaments. En Amérique du Nord, de telles applications sont largement utilisées par les assurances santé et par les institutions de soins.

Ces difficultés renvoient à la situation particulière de ce secteur. Le calcul économique sous ses différentes formes (coût-avantage, coût-utilité, coût-efficacité) se heurte ici à la question de la valorisation des effets des soins sur la mortalité et la morbidité. Il est toujours difficile d'accepter l'idée que la vie humaine ou la qualité de vie puissent faire l'objet d'un calcul économique et d'une valorisation monétaire pour les opposer aux dépenses publiques engagées dans les politiques de santé, même si cette question, de manière implicite, se pose en permanence lors des arbitrages que font la collectivité et les individus eux-mêmes.

La question de l'analyse des risques vient renforcer cette difficulté, car la prise de risque collective et individuelle constitue, plus que dans les autres secteurs, un élément fondamental de la décision. L'incertitude et le risque sont même consubstantiels des politiques de santé : pas de certitude sur les affections de santé et pas de soins sans prise de risque. En matière de soins, l'incertitude porte autant sur le diagnostic (possibilité d'erreurs de première et de deuxième espèces) que sur la thérapeutique (efficacité plus ou moins grande du traitement). Le risque « santé » apparaît même spécifique en raison des conséquences irréversibles d'un grand nombre de situations qui engagent

la vie et les conditions de vie des individus. Il est par nature multidimensionnel (individuel et collectif). La gestion du risque découle donc directement de l'échelle de valeurs de la communauté mais, en matière de gouvernance et de politiques publiques, il faut toutefois dissocier la valorisation du risque individuel et l'allocation du risque entre les individus.

Essor de l'analyse médico-économique en France

Pour ce qui concerne les politiques publiques¹ de santé en France, plusieurs institutions sont concernées, ce qui ne facilite pas une appréciation globale du point de vue de la collectivité. Le risque lié à la consommation de médicaments (pharmacovigilance) est de la responsabilité de l'AFSSAPS (Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé) qui est chargée de la mise sur le marché ; les risques spécifiques liés aux vaccins sont gérés par le CTV (Comité technique des vaccinations, placé lui-même sous la tutelle de la Direction générale de la santé) ; les risques liés à la santé alimentaire sont gérés par l'AFSA (Agence française de sécurité alimentaire) ; la prévention des risques est assurée par l'INPES (Institut national de prévention et d'éducation pour la santé), etc. Dans cet ensemble, la HAS (Haute Autorité de santé)², bien qu'elle soit chargée de réaliser et de promouvoir les évaluations médico-économiques (évaluation du bénéfice-risque et, depuis 2008, de l'efficacité des nouvelles technologies de santé),

[1] On n'évoque pas ici les questions relatives à l'organisation complexe des mécanismes de sécurité sociale, ni les dispositifs d'indemnisation pour lesquels se pose la question de la valeur de la vie humaine. Ces dispositifs sont multiples et disparates, selon l'origine du préjudice subi et selon le processus d'indemnisation (transactionnel ou judiciaire). À la disparité des montants versés pour un même préjudice engageant la santé répond la difficulté de mettre en œuvre une réelle harmonisation des pratiques.

[2] La HAS aide les pouvoirs publics dans leurs décisions de remboursement des produits et services médicaux en émettant des avis sur l'utilité thérapeutique des médicaments, des dispositifs médicaux et des actes professionnels pris en charge par l'assurance maladie, ainsi que sur les affections de longue durée et sur les accords conventionnels. Ses avis s'appuient sur des évaluations médico-économiques. Elle promeut les bonnes pratiques et le bon usage des soins auprès des professionnels de santé et des usagers de santé (recommandations professionnelles, guides de prise en charge des affections de longue durée...). Elle a pour mission d'améliorer la qualité des soins en établissements de santé et en médecine de ville (certification des établissements de santé, évaluation des pratiques professionnelles). Elle informe les professionnels de santé et le grand public et travaille plus généralement à améliorer la qualité de l'information médicale (diffusion d'outils et de méthodes d'amélioration de la qualité des soins, information sur les infections nosocomiales...). Elle développe la concertation et la collaboration avec les acteurs du système de santé en France et à l'étranger (programme de recherche, relations internationales, relations avec les collègues de professionnels et les sociétés savantes, relations avec les associations de patients et les usagers de santé).

ne pratique pas encore de manière systématique et reconnue ce type d'approche¹.

Les pratiques des pays étrangers et l'expérience britannique

On ne retrouve pas nécessairement cet éclatement des institutions en charge des évaluations dans les autres grands pays industrialisés, même si les questions éthiques posées par ce type d'approche font toujours l'objet de nombreux travaux et réflexions.

L'un des pays les plus avancés sur ce point est le Royaume-Uni, qui dispose d'un institut spécifique d'évaluation appliquant notamment l'analyse économique à toutes les technologies de santé : mis en place dès 1999, le National Institute for Health and Clinical Experience (NICE) a été désigné comme « world leader » par la World Health Organization. Placé sous la tutelle du National Health Service (NHS), son mandat couvre l'ensemble des technologies de santé (médicaments, actes, dispositifs) et fonde l'analyse économique comme principe d'évaluation des dépenses de santé. D'autres pays se sont engagés dans des approches similaires : l'Allemagne avec l'IQWIG créé en 2003 (Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen) qui a vu son champ de compétences élargi au volet économique en 2007, l'Australie, et bientôt les États-Unis.

Il reste que le Royaume-Uni est le seul pays à pratiquer l'évaluation coûts-bénéfices de manière systématique et à disposer d'une solide expérience.

Il n'est pas sans intérêt dans le cadre de ce rapport de faire état de cette expérience pour évaluer les technologies de santé, car elle est assez exemplaire à de nombreux titres. Cette démarche repose sur trois principes :

- la recherche du bien-être collectif : durée et qualité de la vie, pour le plus grand nombre, sans discrimination ;

[1] Toutefois, la CEESP (Commission d'évaluation économique et de santé publique), mise en place par la HAS en juillet 2008, oriente et valide les travaux, documente la dimension collective des questions posées (dénommée SERC – Service rendu à la collectivité), propose des méthodes originales d'évaluation globale mobilisant l'ensemble des disciplines concernées et en lien avec les travaux internationaux d'évaluation. Le travail mené par le groupe des économistes sur les guides méthodologiques va permettre de constituer progressivement un cadre référentiel et des outils opérationnels pour traiter des questions récurrentes (documenter de manière rationnelle et cohérente la notion économique de coût d'opportunité et de sacrifice consenti), de transmettre au décideur une évaluation lisible et complète lui permettant d'apprécier les enjeux (économiques, sociologiques, organisationnels, éthiques), tout en lui laissant le soin d'opérer la pondération entre critères (efficacité médicale, efficacité, équité, faisabilité politique), d'alimenter le débat public en apportant plus de transparence et de contradiction dans la décision publique en santé. Cette Commission contribue par ses productions à ce que la dimension d'efficacité ou de coût d'opportunité soit prise en compte à la fois dans la décision publique et dans les décisions des professionnels.

- la mesure de l'efficacité des médicaments et des thérapies envisagés par un indicateur agrégé, le QALY (*Quality Adjusted Life Years*), permettant la comparaison des ratios coût-efficacité entre technologies différentes et entre politiques de soin appliquées à des maladies différentes ;
- la comparaison exhaustive de la technologie évaluée avec les technologies existantes auxquelles elle pourrait se substituer, sur la base du ratio coût-efficacité. Si ce ratio est considéré comme acceptable dans une situation donnée, un ratio plus faible dans un autre cas devrait être également accepté.

Le seuil d'acceptabilité (ou de rejet) d'une nouvelle technologie se situe approximativement entre 20 000 et 30 000 £/QALY. Ce seuil n'est pas une disposition à payer mais plus un coût d'opportunité à substituer une nouvelle technologie à la technologie existante :

- les avantages d'une telle évaluation sont clairs : cette méthode introduit de la transparence et assure une réelle harmonisation des pratiques. Elle permet d'objectiver de manière simple des ratios coût-efficacité et intègre ainsi les considérations de coût dans les politiques de soin poursuivies par la collectivité. Elle renforce le dialogue contradictoire avec les laboratoires et les autres acteurs de la société, tout en promouvant l'utilisation des technologies les plus efficaces, les plus efficaces et les plus innovantes ;
- les inconvénients sont malgré tout redoutables : si on met de côté les questions politiques et éthiques que peut poser ce type d'évaluation, l'approche économique se heurte à l'insuffisance de preuves d'efficacité pour les technologies nouvelles, domaine où les décisions sont justement difficiles à prendre et où la question du risque est centrale. Une prudence excessive d'interprétation des preuves peut freiner l'innovation ; à l'inverse, une interprétation trop optimiste peut entraîner le gaspillage de ressources rares.

Il est à noter que cette approche est révisée tous les trois ans avec un objectif d'amélioration continue, tout en veillant à ne pas détériorer la crédibilité des avis du NICE (notamment en cas d'ajustement trop fréquent des seuils d'acceptabilité). Le débat porte généralement sur le seuil d'acceptabilité et sur le traitement particulier (pondération) pour certaines situations, comme celle par exemple de la fin de vie, dans lesquelles une application directe de ce seuil pose des problèmes difficiles. La définition du seuil est nécessairement liée à la question des disponibilités budgétaires. Avec cet outil, le NICE ne décide pas

du budget nécessaire au NHS, il ne vise qu'à optimiser la politique de santé pour un budget donné.

L'apport de l'évaluation économique, intégrant les risques, pour le secteur de la santé en France

En France, la plupart des politiques de santé ignorent l'évaluation économique et la question de la mesure du risque associé à ces décisions. L'administration et les médecins restent méfiants et se montrent réticents à utiliser ces outils. Cette situation tient à une certaine déresponsabilisation des acteurs individuels (logique de guichet ouvert qui donne le sentiment d'absence de contraintes budgétaires : médecins payés à l'acte, patients largement remboursés de leurs frais, assurés peu sensibles à la hausse des cotisations), au nom du principe selon lequel la santé n'a pas de prix (refus d'admettre la contrainte budgétaire).

Les réticences viennent également, en partie, du fait que l'analyse économique est perçue par le corps social comme un instrument de rationnement des soins, alors qu'il s'agit fondamentalement d'opposer à l'analyse budgétaire et comptable une analyse économique mesurant les avantages que la collectivité pourrait retirer des dépenses engagées. La défense du système a été établie sur des stratégies de contournement avec l'idée que la croissance permettrait de créer suffisamment de valeur pour dégager les ressources nécessaires, que les économies réalisées par la réduction des gaspillages suffiraient à couvrir les besoins insatisfaits, que des transferts venant d'autres secteurs pourraient en partie combler les déficits, qu'un endettement était toujours possible.

Toujours est-il que l'augmentation des besoins de santé associée à la nécessaire maîtrise des dépenses publiques dans le secteur rend de plus en plus impérieuse la mise en place d'outils de mesure objectivable des services rendus et finalement d'évaluation des décisions. L'enjeu de l'introduction de l'évaluation économique dans les politiques de santé est double : d'une part, mieux articuler les priorités de santé publique avec l'enveloppe budgétaire disponible tout en préservant la qualité du système de santé et l'équité d'accès, et d'autre part, mettre en évidence les interactions entre comportements individuels au sein du parcours de soins et dépenses collectives de santé.

De manière générale, la mise en place d'un véritable dispositif d'évaluation économique doit résoudre plusieurs difficultés :

- intégrer les études économiques dans les procédures décisionnelles existantes (stades d'intervention, niveaux d'approfondissement, respect des délais, possibilité de contradiction, bilan *a posteriori*) ;
- établir des méthodes pratiques aisément applicables et partagées par tous les acteurs (documenter les concepts et les indicateurs pertinents, fournir une évaluation fiable et compréhensible pouvant servir de support au débat) ;
- garantir le caractère multidimensionnel de l'évaluation alors que les méthodes traditionnelles ont tendance à mettre en avant des indicateurs agrégés et donc suspects de ne pas intégrer l'ensemble des problèmes. L'agrégation de toutes les dimensions (dommages monétaires et non monétaires subis, équité entre individus...) au sein d'un indicateur économique unique reste une gageure, qui ne doit toutefois pas conduire à délaisser l'analyse économique pour des analyses multicritères. En particulier, seule l'analyse économique sait tenir compte du caractère dynamique des risques (particulièrement présents dans le secteur de la santé) ;
- éviter les inégalités de traitement des situations lorsqu'on sort du cadre de l'évaluation coûts-avantages ;
- dépasser les conflits d'intérêts fortement présents au cours de l'évaluation (depuis la définition du problème traité jusqu'à la présentation des résultats) ;
- convaincre les partenaires de s'engager dans un calcul coûts-avantages dont l'image est très dégradée dans le milieu médical. Les analyses économiques, lorsqu'elles existent, se cantonnent souvent à des analyses coûts-efficacité, dissociant clairement l'objectif à atteindre, fixé de manière exogène par la collectivité, de la question de l'optimisation des coûts pour l'obtenir. Cela revient à laisser une certaine distance entre les questions relatives à la richesse individuelle et collective, et la question du bien-être individuel et collectif. Dès lors, les critères classiques de TRI ou de VAN positive ne sont pas applicables et sont remplacés par le critère du ratio coût-efficacité (qui fait le pendant du ratio bénéfice par euro investi dans le secteur des transports). Ce choix de conserver séparément les deux dimensions, coûts et efficacité sanitaire, laisse ouvert le débat sur la valorisation monétaire de la santé ;

- enfin, apprécier les éléments multiples des risques associés aux dépenses de santé. La valorisation des bénéfices sanitaires peut conduire à réviser la notion d'aversion au risque : quels sacrifices la collectivité et les individus sont-ils prêts à consentir pour éviter telle situation ?

Chacun peut comprendre les difficultés à s'engager dans ce type d'approche, mais il apparaît également clair que ce secteur est sans doute l'un de ceux dans lesquels, compte tenu des enjeux économiques, sociaux, politiques et éthiques, il est souhaitable d'encourager la pratique du calcul économique pour éclairer la décision. À ce titre, le débat politique engagé sur la gestion de la grippe A se présenterait sans doute différemment si les décideurs politiques pouvaient s'appuyer sur des études économiques. Le calcul économique aurait permis d'objectiver les informations qui étaient disponibles au moment de la décision et non celles révélées depuis, sur l'incidence du virus, sur le nombre d'injections vaccinales nécessaires pour l'immunisation, etc. Le cas de la grippe A illustre une erreur de type 2 (détection à tort ou surestimation d'un risque donné) au contraire de nombreux cas précédents qui constituaient des erreurs de type 1 (non-détection ou sous-estimation des risques) : amiante, sang contaminé, canicule de 2003...

Ces débats, comme d'autres dans le domaine de la santé, mettent en évidence la divergence opérée entre responsabilité politique et responsabilité collective : les décisions prises par le gouvernement sont le signe d'une aversion au risque sans doute bien plus élevée que celle de la collectivité dans son ensemble. En tant qu'individu pénalement responsable, le décideur politique est incité, lorsqu'il prend une décision de santé publique, à se couvrir personnellement au-delà de ce que justifierait l'intérêt collectif. Le calcul économique en intégrant le risque aurait une vertu essentielle : celle de mettre cette tension en évidence dans les débats publics et d'éclairer ainsi les décisions publiques dans ce secteur.

La santé offre un terrain pertinent d'application des méthodes traditionnelles du calcul économique, même si les enjeux de santé publique ne peuvent être entièrement appréhendés par ce type d'outils et d'approches. Si des limites sérieuses existent, en raison notamment des considérations éthiques propres à certains dossiers, beaucoup peut être fait pour améliorer le débat public et la décision publique.

2.3. Agriculture

Parmi ses missions, le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire (MAAPRAT) intervient notamment sur l'économie et le développement durable de l'agriculture, de la pêche et des territoires, ainsi que sur la qualité sanitaire des aliments. Ces deux domaines présentent trois caractéristiques communes fortes, qui influencent le pilotage et l'évaluation des interventions publiques. En premier lieu, ils sont soumis à de nombreux risques et incertitudes liés à la diversité et à la complexité du vivant (risques climatiques, biologiques, environnementaux, économiques, etc.). Deuxièmement, l'agriculture et l'alimentation sont des domaines où l'action publique se traduit par la définition de normes réglementaires destinées à orienter des secteurs où les seules lois du marché ne permettent pas d'atteindre les objectifs de sécurité des approvisionnements, de sécurité sanitaire ou de qualité des produits tout en assurant un revenu convenable aux producteurs et tout en restant abordables pour les consommateurs. Enfin, l'agriculture et l'agroalimentaire sont des domaines complexes, mus par des forces tant économiques que sociales, dont les enjeux et les acteurs s'expriment à l'échelle nationale comme aux niveaux européen et mondial. Il en découle que les effets propres d'une décision publique sont souvent difficilement identifiables.

Ces caractéristiques fortes ne peuvent toutefois être invoquées pour justifier un régime de faveur par rapport à la nécessité de fonder autant que possible la décision publique sur des bases rationnelles et scientifiques. Mais elles réclament néanmoins un usage approprié et une capacité d'adaptation des méthodes et des approches développées dans d'autres contextes. Avant d'exposer les enjeux relatifs à l'évaluation et au calcul économique, en s'appuyant sur l'exemple des politiques de sécurité sanitaire pour lesquelles les méthodes standard du calcul économique semblent le plus facilement s'appliquer, nous commencerons par identifier les spécificités de la gestion du risque et des crises dans le secteur agricole et alimentaire, puis nous rappellerons la nécessité d'intégrer ces risques dans l'évaluation des politiques publiques.

Le secteur agricole est soumis à différentes sources d'aléas. Le résultat des processus de production est particulièrement incertain, les risques climatiques et sanitaires engendrent une variabilité relativement forte des résultats, tant en termes quantitatifs que qualitatifs. La durée des cycles de production et la volatilité des prix des intrants et des produits soumettent l'agriculteur à un risque de prix, car les choix de production ont des résultats non immédiats.

L'agriculteur est également tributaire de l'évolution du cadre réglementaire et institutionnel. Enfin, la variabilité de la production confrontée à une demande alimentaire notablement inélastique conduit à une volatilité des prix qui peut être renforcée par des structures de marché peu concurrentielles. L'agriculture est donc particulièrement concernée par des risques systémiques (qui affectent simultanément plusieurs variables interdépendantes et touchent de nombreux individus) et catastrophiques (dont la fréquence est faible mais les pertes associées très fortes), qui sont par nature difficilement assurables. L'existence de ces risques a depuis longtemps motivé l'intervention publique en agriculture, que ce soit en matière de prévention (régulation des marchés par exemple) ou de gestion (régime des calamités agricoles par exemple).

Si le développement des instruments privés de gestion des risques (assurances et marchés à terme) présente un intérêt indéniable pour les secteurs agricole et agroalimentaire, il ne doit pas être considéré comme exclusif, mais complémentaire des instruments publics d'intervention car certains types d'aléas, non assurables, nécessitent la mise en place ou le renforcement de dispositifs d'intervention et de filets de sécurité. En outre, les épisodes de forte volatilité des marchés agricoles montrent que l'instabilité macroéconomique n'est pas seulement problématique pour le producteur mais qu'elle peut affecter la sécurité alimentaire dans les pays les moins avancés et qu'elle présente un coût important pour l'ensemble de l'économie (inflation, rente de situation due à une transmission de prix imparfaite, sous-optimalité des choix de production et d'investissements, etc.). C'est donc à l'aune du coût réel de l'instabilité que devrait être davantage rapporté le coût de la prévention pour évaluer et décider de l'intérêt des outils de régulation des marchés. Or, les approches analytiques couramment employées pour évaluer les outils de régulation des marchés agricoles reposent essentiellement sur des hypothèses de concurrence pure et parfaite et n'intègrent généralement pas les principales sources d'instabilité des marchés agricoles et alimentaires.

Dans le domaine de la sécurité sanitaire des aliments, l'action publique vise en priorité un haut niveau de protection de la santé des consommateurs. Elle cherche aussi à gérer les crises mais encore plus à les prévenir¹. Les crises sanitaires des années 1990 ont fortement marqué les esprits. Elles ont conduit, pour assurer la crédibilité du système de sécurité sanitaire aux yeux des consommateurs, à une stricte séparation entre l'évaluation scientifique,

[1] C'est le cas dans le domaine de la sécurité sanitaire des aliments, par exemple avec la mise en œuvre du « Paquet hygiène ».

organisée au sein d'agences sanitaires chargées de conduire de manière transparente (avis publics) une expertise indépendante, et la gestion du risque, restant du domaine des décideurs publics qui rendent compte de leur action devant les citoyens. L'alimentation est un domaine sensible parce que le consommateur n'accepte pas d'être exposé à un risque dans un acte quotidien vital. Toute incertitude liée à un risque non perceptible, entraînant une exposition involontaire, a pour conséquence d'amplifier les inquiétudes¹.

Dans ce contexte, le décideur public dispose d'un outil essentiel, l'évaluation du risque, qui est confiée en France par le gouvernement à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses)². Cette évaluation³ permet au gestionnaire du risque de disposer de l'ensemble des informations scientifiques et techniques pour définir les mesures nécessaires à la protection du citoyen, en respectant le principe de libre circulation des marchandises. Toutefois, ces modèles d'évaluation sont aujourd'hui insuffisamment développés pour prendre en compte les coûts et les bénéfices de ces mesures. L'équilibre à trouver entre un niveau de protection maximal (compte tenu d'attentes explicites ou implicites de la société) et un impact minimal sur l'activité économique relève alors d'une autre démarche que l'évaluation des risques.

De nombreux rapports⁴ publiés sur ces questions recommandent en effet de compléter le dispositif d'analyse des risques par une expertise socioéconomique des mesures sanitaires et de disposer d'analyses plus nombreuses sur le rapport coûts-efficacité ou coûts-bénéfices. La gestion des risques sanitaires par les pouvoirs publics nécessite désormais une approche globale des dimensions et conséquences d'une mesure intégrant les enjeux sanitaires, économiques, sociaux et politiques qui permettent de justifier une décision. La traduction de ces impacts en conséquences économiques pour aider les décideurs doit tenir compte notamment d'objectifs sociaux et de valeurs qui donnent toujours lieu

[1] Chevassus-au-Louis B. [2007], *L'analyse des risques. L'expert, le décideur et le citoyen*, coll. Sciences en questions, Éditions Quae, 96 p.

[2] L'Anses, créée le 1^{er} janvier 2010, a repris les missions, les moyens et le personnel de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) et de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET).

[3] D'après le règlement [CE] n° 178/2002 du Parlement européen et du Conseil du 28 janvier 2002, l'« *évaluation des risques [est] un processus reposant sur des bases scientifiques et comprenant quatre étapes : l'identification des dangers, leur caractérisation, l'évaluation de l'exposition et la caractérisation des risques* ».

[4] Conseil national de l'alimentation [2005], Avis du CNA n° 50, 1^{er} février, et OCDE [2003], *Prendre en compte les aspects socioéconomiques de la sécurité alimentaire des aliments : un examen des développements internationaux*, rapport du groupe de travail des politiques et marchés agricoles, 10 février.

à débat (par exemple, le coût d'une mort évitée, le nombre de cas humains jugé acceptable, etc.). Ainsi, l'impact des mesures et leurs coûts doivent être évalués afin d'optimiser la gestion sanitaire. Si la mesure des coûts d'une action ou d'une réglementation est facilement appréhendée, celle des bénéfiques sous forme monétaire est encore délicate et sujette à controverses en France. Parmi les avantages de l'intervention publique appliquée à la sécurité sanitaire des aliments, on trouve l'amélioration de la santé, la diminution des infections alimentaires, mais aussi des avantages non sanitaires comme la confiance des consommateurs ou des autorités compétentes des pays importateurs de produits des filières françaises, qui peut se traduire notamment par une augmentation des exportations, une diminution de la volatilité des marchés et une meilleure nutrition.

Certaines administrations étrangères ont régulièrement recours au calcul socioéconomique pour éclairer le choix de mesures sanitaires. L'évaluation des mesures publiques en termes de contrôle et de sécurité sanitaire s'appuie à l'étranger sur des organismes tels que des agences, instituts de recherche ou comités *ad hoc*. Les études externes commandées par les autorités publiques s'appuient le plus souvent sur les compétences de chercheurs, avec une délégation parfois totale de l'analyse. Il existe aussi des agences publiques dédiées à la réalisation de ce type d'études.

Aux États-Unis, la Food and Drug Administration (FDA) dispose d'économistes répartis dans ses services et s'appuie en outre sur des centres de recherche comme le Joint Institute for Food Safety and Applied Nutrition (JIFSAN) et le National Center for Food Safety and Technology (NCFST). Par ailleurs, le ministère de l'Agriculture américain (USDA) possède un organisme dédié, l'Office of Risk Assessment and Cost-Benefit Analysis (ORACBA), qui réalise en parallèle évaluations du risque et analyses socioéconomiques (incluant un dispositif de concertation avec le public). Toute mesure majeure pour la santé, la sécurité ou l'environnement, d'un impact supérieur à 100 millions de dollars, doit faire l'objet d'une analyse coûts-bénéfices, et la loi précise que la santé publique prime sur toute considération d'ordre économique.

Au Royaume-Uni, la Food Standards Agency (FSA) a mis en place une agence économique en 2003 et un comité indépendant de recherche en sciences sociales (Social Science Research Committee), en avril 2008. Ceux-ci développent des évaluations socioéconomiques du risque alimentaire.

En France, l'évaluation des coûts et des bénéfices pour l'élaboration de nouvelles mesures sanitaires est encore peu développée. Les méthodologies de calcul existantes nécessitent des ajustements pour être transposables dans le domaine de la sécurité sanitaire des aliments, de la santé des animaux et des végétaux. Les réflexions pour les interventions publiques dans le secteur sanitaire de l'alimentation se sont récemment appuyées sur une première étude méthodologique¹ et sur une étude de cas, présentée dans l'encadré suivant.



Évaluation socioéconomique sur la généralisation des autocontrôles dans la filière de la viande hachée

Une étude de cas menée par l'INRA en 2009 a permis l'évaluation de la généralisation des autocontrôles sur *Escherichia coli* O157:H7, une bactérie responsable de pathologies rares mais pouvant être très graves, dans la filière de la viande hachée. Cette étude répondait à une interrogation des pouvoirs publics et des filières sur le besoin de renforcer les mesures de maîtrise mises en place par les professionnels tout au long du processus de fabrication face au risque *Escherichia coli* O157:H7. Elle visait à comparer deux scénarios de gestion des risques par la méthode d'analyse coûts-bénéfices. Les résultats indiquent que le coût *per capita* des précautions qui pourraient être mises en œuvre serait plusieurs fois supérieur au coût de la vie humaine. Néanmoins, cette étude de cas est à prendre avec beaucoup de prudence, car faute de données disponibles, les hypothèses initiales ont été simplifiées et de nombreux impacts indirects probablement plus lourds n'ont pas été estimés.

Cette analyse coûts-bénéfices menée à titre illustratif et expérimental a montré la grande difficulté d'appliquer les principes simples du calcul socioéconomique au domaine de la sécurité sanitaire des aliments. Discipline nouvelle pour la Direction générale de l'alimentation (DGAL) au MAAPRAT, un des tout premiers objectifs de l'étude était d'apporter des éléments méthodologiques permettant de comprendre les facteurs clés de succès et les difficultés à surmonter pour conduire de telles études dans le domaine de la gestion des risques sanitaires.

Les conclusions apportées par cette étude semblent confirmer certains constats d'autres secteurs, à savoir : l'analyse coûts-bénéfices reste l'objectif à atteindre dans certains cas adaptés et ne doit pas être systématique ; ces analyses sont complexes car elles prennent en compte des évaluations et modélisations scientifiques du risque dépendant de l'état actuel des

[1] Blanchemanche S., Treich N. et Tello R. (2009), *Évaluation socioéconomique en appui à la gestion des risques alimentaires*, rapport pour le ministère de l'Agriculture et de la Pêche, INRA, novembre.

connaissances et des recherches. Enfin, des outils permettant de faciliter l'accès à des données fiables, complètes et pertinentes doivent être développés, de même que les compétences en économie et en sociologie appliquées aux domaines de l'alimentation, de la santé et protection des animaux et de la santé des végétaux.

À noter que la Commission européenne (Direction générale de la santé et des consommateurs) cherche en parallèle à mettre en place des bases de données mutualisées pour mener des études d'impact, voire des analyses coûts-bénéfices si possible. Seuls deux autres pays ont déjà mis en pratique de telles méthodologies sur ces sujets : les Pays-Bas et le Royaume-Uni. Les recommandations qu'émettra la Commission pour la méthode en vue de la mise en place de ces analyses présenteront un grand intérêt, pas seulement pour les questions de sécurité sanitaire.

Source : ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Pêche

Les enjeux et les difficultés à lever sont nombreux. Premièrement, la temporalité de l'action publique doit être prise en compte dans les modèles d'analyses afin d'adapter la prise de décision en situation d'urgence et surtout l'utilisation effective du calcul économique. En effet, les expériences étrangères et celles d'autres secteurs montrent que ces analyses requièrent bien souvent plusieurs mois.

Ensuite, outre la difficulté d'intégrer les différentes dimensions du risque et leur corrélation, l'expertise scientifique, qui est un préalable à toute évaluation socioéconomique, doit sans cesse évoluer et s'améliorer pour tenir compte de la diversité et de la complexité du vivant.

Enfin, le développement du calcul socioéconomique dans le domaine de la sécurité sanitaire doit répondre aux recommandations qu'émettra la Commission européenne pour la mise en place des études d'impact. La Direction générale de la santé et des consommateurs s'est en effet saisie de ce sujet et il conviendra d'assurer une anticipation et une participation effective à ces travaux communautaires, en impliquant non seulement les experts et chercheurs français mais aussi plus largement les administrations concernées. Le calcul socioéconomique sur les mesures sanitaires au niveau communautaire dépend des données disponibles, lesquelles peuvent varier d'un État membre à l'autre, du fait de cultures alimentaires et de pratiques agricoles distinctes. Les pouvoirs publics doivent être prêts à fournir des données pour l'évaluation,

afin que les études communautaires prennent en compte les spécificités nationales. En réponse à cette nécessité de capitaliser des données sanitaires, nutritionnelles, économiques et sociales issues des acteurs économiques, les pouvoirs publics français se sont dotés de l'Observatoire de l'alimentation créé par la loi n° 210-874 de modernisation de l'agriculture et de la pêche du 27 juillet 2010.

La pratique du calcul socioéconomique et d'autres analyses économiques au service de l'évaluation nécessite donc expertise et recherche. La connaissance des risques biologiques et chimiques fait l'objet de nombreux travaux (notamment par l'Anses) mais il est nécessaire de combler certains manques en outils économiques d'appui à la décision publique en matière de gestion des risques dans les domaines de la sécurité sanitaire, de l'alimentation et de l'agriculture.

2.4. Énergie

Exposé à des incertitudes allant du court au très long terme, le secteur de l'énergie est fort d'expérience et de méthodes pour instruire ses décisions économiques.

Une première raison tient aux longs cycles d'investissement et à l'intensité capitalistique élevée qui caractérisent le secteur. Par exemple, la durée de vie des ouvrages de production et de réseau électrique est de l'ordre du demi-siècle (la charge de capital pèse quelque deux tiers du coût de revient économique de la production nucléaire, encore davantage pour les productions issues d'énergies renouvelables); le renouvellement des installations du cycle du combustible (mines, chimie, enrichissement et recyclage) nécessite également des dépenses d'investissement importantes. Les capitaux immobilisés peuvent représenter deux à trois fois le chiffre d'affaires d'une entreprise de ce secteur. En outre, le besoin en investissements de production électrique dans les vingt ans à venir est considérable, en raison de la croissance des pays émergents, mais aussi parce que les parcs européen et américain vieillissants devront être renouvelés : en Europe, environ 700 GW sont à construire d'ici 2030 selon l'AIE, pour 800 GW en service aujourd'hui.

Par ailleurs, les choix des filières et l'ensemble des réalisations effectives, bien que résultant d'une somme de décisions marginales, ont un impact non marginal sur l'économie, les exportations, la croissance, les émissions atmosphériques, la sécurité d'approvisionnement en énergies primaires et la sécurité d'alimentation en puissance face au risque d'une capacité insuffisante à la pointe.

Dans ces conditions, l'appréhension et le traitement des risques et des incertitudes de long terme dans l'évaluation des projets par le secteur électrique sont structurés par trois critères concernant respectivement la nature des aléas, la nature des investissements, la nature des acteurs :

- sans rupture majeure de l'environnement économique, les aléas qui affectent la valeur d'un projet (cycles macroéconomiques conjoncturels, prix des combustibles, consommation d'énergie, investissements des concurrents...) et qui sont usuellement pris en compte par les agents dans le calcul économique forment une incertitude que l'on peut qualifier d'« ordinaire » ou « standard ». On la distinguera de l'incertitude « radicale » (on reviendra sur les enjeux théoriques importants de cette distinction), dont les conséquences peuvent être en partie irréversibles et dont la structure aléatoire est difficile à représenter (problème des queues de distribution notamment), surtout à des horizons supérieurs à 30 ou 50 ans. Une crise économique profonde, un changement climatique sévère ou une rupture technologique majeure sont des exemples typiques ;
- la nature et la taille des investissements sont également des attributs structurants. On distinguera les choix qui engagent de « grands programmes » (le programme électronucléaire de 1974, le développement d'énergies renouvelables dans le cadre des orientations européennes, les politiques de lutte contre les émissions de CO₂, certaines politiques de R & D...), de ceux plus récurrents et relativement ajustables, dont les effets restent marginaux sur l'économie, tel le choix d'ajouter une centrale¹ ;
- l'identité des acteurs et décideurs est un troisième critère. La puissance publique définit des politiques qui orientent ou supposent des investissements. Ces derniers sont ensuite réalisés par des entreprises soumises à des marchés, souvent supranationaux (cas pour l'Europe du marché intérieur de l'électricité et du marché des permis d'émissions de CO₂), et dont les capitaux sont apportés par des marchés financiers mondiaux. De ce fait, les incertitudes et enjeux de long terme sont appréhendés par des acteurs amenés chacun à porter une part spécifique des risques : réfléchir aux moyens d'assurer la cohérence des décisions d'investissement dans la bonne direction au plan collectif est donc important.

[1] Même l'investissement pour une ou deux centrales nucléaires en France est faible au regard à la fois du système électrique français et européen et de la formation brute de capital fixe nationale. Par ailleurs, les projets sont soumis à des aléas diversifiables du point de vue d'un apporteur de capitaux [le marché des titres EDF ne représente que 2 % de la capitalisation boursière du CAC 40]. Enfin, pour un horizon de temps inférieur à 50 ans, on dispose d'une raisonnable connaissance des aléas « techniques » [plutôt indépendants des aléas macroéconomiques] telles la disponibilité des centrales et l'hydraulicité.

Pour évaluer des projets d'investissement associés à des risques « ordinaires » et des décisions « marginales », cas de figure de loin le plus fréquent dans le quotidien des entreprises, plusieurs approches sont possibles, dont une démarche analogue à celle du modèle d'équilibre des actifs financiers (MEDAF)¹. Cela étant, quelle que soit la méthode retenue, la main visible des autorités publiques doit intervenir, notamment pour que des « règles du jeu » efficaces et lisibles dans la durée permettent de réaliser l'assurance des risques diversifiables de façon décentralisée.

Le secteur électrique identifie, dans ce registre, les enjeux suivants : anticiper les évolutions et lisser les fluctuations du prix des émissions de CO₂, définir des mécanismes de rémunération des capacités en puissance à partir des objectifs de sécurité d'alimentation en pointe, inciter au développement des énergies renouvelables en fonction de leur rapport coûts-avantages par des schémas cohérents avec les objectifs à long terme de la politique environnementale et les fondamentaux économiques, consentir à des prix de vente de l'électricité compatibles avec les bonnes politiques de maintenance et de pérennisation des centrales existantes, définir des règles de fonctionnement du marché délivrant des incitations à investir de façon efficace.

Il n'y a pas alors de source de divergence *a priori* entre primes de risques de marché² et primes de risques évaluables par les pouvoirs publics. Un travail de confrontation des attendus et des chiffres, associant les acteurs publics et privés (banquiers inclus), serait à cet égard utile³.

En ce qui concerne les incertitudes « radicales » et les décisions non marginales, la question ne peut pas être traitée et assumée de façon décentralisée par une entreprise seule, fût-elle de taille internationale. Un travail spécifique des pouvoirs publics doit être mené. Pareil travail s'appuierait sur des méthodes sophistiquées, des modélisations potentiellement lourdes à gérer et d'importantes données prospectives issues du secteur électrique. La puissance publique pourrait, éventuellement en liaison avec le Centre d'analyse stratégique, utilement

[1] Voir chapitre 2.

[2] Il s'agit par définition des risques non diversifiables, c'est-à-dire ceux qui expliquent le *bêta* du MEDAF.

[3] *A contrario*, des règles de marché très contraintes par des considérations oubliant trop l'efficacité économique peuvent générer des divergences fortes entre intérêts privé et public et avoir des effets néfastes en matière d'investissement : les conséquences (sur les conditions de financement des compagnies d'électricité) du niveau insuffisant de prix réglementés et de l'interdiction de marchés de l'électricité de moyen-long terme en Californie jusqu'en 2000 sont un parfait exemple de ce type d'échecs.

mobiliser des compétences et des groupes d'experts d'horizons variés (issus du monde académique, du secteur électrique et de la finance).

Les entreprises attendent de ce type de travaux une meilleure lisibilité des orientations publiques pour le secteur de l'énergie, une confiance accrue dans la cohérence et la stabilité des instruments de régulation économique, une meilleure prise en compte de l'incertitude macroéconomique, des mises en partage de visions prospectives... et finalement une réduction des risques et donc du coût de leur financement.

2.5. Développement durable

L'évaluation des projets d'investissements ou de recherche envisagés dans le cadre des politiques de développement durable, comme en France le Grenelle de l'environnement, nécessite premièrement de bien anticiper les perspectives de raréfaction de certaines ressources naturelles et, deuxièmement, de valoriser correctement les dommages à l'environnement.

Il faut en effet prendre conscience que la croissance économique passée s'est réalisée dans un contexte d'énergies bon marché, non soutenable. La croissance future devra répondre à de nouveaux défis, notamment les risques de dérèglement climatique. Cela nécessitera des transformations profondes de notre modèle de croissance, requérant en amont un processus puissant d'innovation et de création d'infrastructures adaptées¹.

S'agissant de projets dont la durée de vie et l'horizon des impacts sont particulièrement longs, la question du choix du taux d'actualisation est cruciale, et délicate, comme l'ont montré les débats à la suite du rapport Stern. Ces débats ont essentiellement porté sur ce paramètre reflétant les conditions dans lesquelles les générations présentes sont prêtes à faire des sacrifices pour les générations futures. En d'autres termes, il faut évaluer le « rendement social » des projets, en intégrant l'ensemble des externalités positives ou négatives qui y sont associées au cours du temps. Le cadre méthodologique correspondant a été rénové ces dernières années, avec les rapports Lebègue (taux d'actualisation), Boiteux (externalités des transports),

[1] Cf. Crifo P., Debonneuil M. et Grandjean A. (2009), *La croissance verte : l'économie du futur*, rapport pour le Conseil économique pour le développement durable (CEDD).

Quinet (valeur tutélaire du carbone), et Chevassus-au-Louis (valeur de la biodiversité)¹.

Mais deux autres éléments importants sont à considérer : la dimension risquée des projets et le caractère incertain de l'avenir dans lequel ils s'inscrivent. Ces deux dimensions se combinent pour créer des incertitudes très spécifiques, dont le caractère moins exceptionnel qu'il n'y paraît nécessite une attention particulière (distribution de probabilité à queues épaisses ou *fat tails*).

Les externalités, l'horizon long et l'incertitude constituent les trois caractéristiques communes des problèmes de développement durable, et les politiques mises en place dans ce cadre relèvent fondamentalement de la gestion des risques. Ce contexte conduit souvent certains acteurs économiques à exprimer des réticences à l'égard de projets publics dont la rentabilité leur semble trop aléatoire. Néanmoins, beaucoup d'arguments mis en avant sont discutables, car ils transposent un peu vite l'idée qu'il faudrait systématiquement privilégier le non risqué ou car ils tendent à ignorer que l'incertitude sur l'environnement futur est une contrainte, et non un choix. À juste titre, les avocats des projets publics soulignent au contraire le rôle d'assurance de ces projets face à certains risques. Ils rappellent aussi qu'une fonction de l'État est de permettre la réalisation de projets de recherche ou d'infrastructures socialement rentables, mais difficiles à réaliser dans un contexte privé, compte tenu des exigences de rémunération du risque par les marchés financiers. De tels arguments, favorables comme défavorables, doivent être objectivés par le calcul économique public et intégrés dans un cadre méthodologique transparent, tenant compte du risque.

Ce point prospectif en matière de développement durable termine notre tour d'horizon des pratiques sectorielles et des enjeux liés à l'utilisation plus intensive du calcul économique pour appréhender les risques. Avant d'engager dans le chapitre suivant la présentation systématique des outils et des modèles permettant d'appréhender le risque et les incertitudes, il convient de revenir sur

[1] Voir Commissariat général du Plan [2005], *Révision du taux d'actualisation des investissements publics*, rapport du groupe d'experts présidé par Daniel Lebègue, rapporteur général Luc Baumstark ; Commissariat général du Plan [1994], *Transports : pour un meilleur choix des investissements*, rapport du groupe présidé par Marcel Boiteux, Paris, La Documentation française ; Commissariat général du Plan [2001], *Transports : choix des investissements et coûts des nuisances*, rapport du groupe de travail présidé par Marcel Boiteux, rapporteur général Luc Baumstark, Paris, La Documentation française ; Centre d'analyse stratégique [2009], *La Valeur tutélaire du carbone*, rapport de la commission présidée par Alain Quinet, rapporteur général Luc Baumstark, Paris, La Documentation française ; Centre d'analyse stratégique [2009], *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*, rapport de la mission présidée par Bernard Chevassus-au-Louis, Paris, La Documentation française.

la manière dont la question du risque avait été positionnée lors de la dernière révision du taux d'actualisation public.

3 ■ La réévaluation du taux d'actualisation et la question du risque

3.1. La révision du taux d'actualisation

La formule générale de la valeur actuelle nette d'un investissement suppose l'utilisation d'un taux d'actualisation¹ au dénominateur, qui a pour fonction essentielle de rendre comparables les flux économiques qui apparaissent à différents moments du temps. Ce taux fait l'objet de nombreux débats académiques et politiques.

Historiquement, le taux d'actualisation public a été conçu en France comme un élément d'un dispositif permettant de décentraliser la décision d'investissement public tout en garantissant un financement correct de l'ensemble des investissements à réaliser au cours du Plan. Il reflète donc à la fois une préférence collective pour le présent et le souci de ne pas évincer les investissements privés rentables, d'où un taux qui est plus proche de la rentabilité avant impôt du capital privé que de la préférence pour le présent. En théorie, le taux devait permettre simultanément de sélectionner les projets et de dimensionner correctement l'ensemble des investissements publics.

En 1985², le taux d'actualisation avait été initialement estimé à 6 %³, en raison du ralentissement de la croissance et de la baisse anticipée des taux de profit, puis relevé à 8 % pour tenir compte, d'une part, du risque collectif provenant de la forte incertitude sur la croissance (impact de l'ouverture de l'économie française) et pour éviter, d'autre part, que les investissements publics n'évincent les investissements industriels dans le secteur privé.

Vingt ans plus tard, en juin 2004, le Commissariat général du Plan, à la demande du Premier ministre et dans le prolongement des décisions du Comité interministériel d'aménagement et de développement du territoire (CIADT,

[1] On trouvera l'ensemble du débat dans le rapport Lebègue.

[2] Commissariat général du Plan (1985), *Recommandations sur les règles du calcul économique pour le IX^e Plan*, note ronéotée, octobre. Ces règles devaient s'appliquer à tout projet des administrations ou des entreprises publiques. Rappelons que le contexte économique était à l'époque marqué par un chômage substantiel, une forte inflation, des taux d'intérêts élevés, un solde extérieur déficitaire et un secteur public important.

[3] Le taux d'actualisation public évoqué ici doit s'entendre comme un taux réel (hors inflation).

réunion du 18 décembre 2003), a engagé la révision du taux d'actualisation¹. Depuis plusieurs années, le taux de 8 % faisait l'objet de contestations assez fortes notamment parce que son usage conduisait mécaniquement à minorer considérablement ce qui se passe dans un futur éloigné. Sa révision a été décidée à la suite du rapport d'audit sur les grandes infrastructures de transport effectué par l'Inspection générale des Finances et le Conseil général des Ponts et Chaussées début 2003, qui conduisait à rejeter bon nombre de projets d'investissements dont la rentabilité était jugée insuffisante. Les élus ont eu alors le sentiment que ces conclusions, dont on expliquait qu'elles étaient liées en partie à l'utilisation d'un taux d'actualisation très élevé, remettaient en cause leur propre légitimité à décider des grandes orientations en matière d'investissement, alors qu'elles pouvaient se justifier au regard d'autres critères.

Le taux d'actualisation se trouvait ainsi au centre d'une polémique qui imposait d'engager une révision maintes fois repoussée. Ne pas réviser le taux risquait en effet de fragiliser le calcul économique.

La révision du taux d'actualisation a obligé à déconstruire les argumentaires et à poser la question plus théorique de la signification du taux d'actualisation public – ce qu'il était et ce qu'il n'était pas –, puis à procéder à sa révision en proposant un nouveau calibrage. Le rapport Lebègue a clairement établi que le taux d'actualisation détermine la valeur de bénéfices certains futurs en termes de bénéfice certain présent et qu'il doit être révisé régulièrement dans le cadre d'une prospective de la croissance économique.



Principaux résultats obtenus et décisions

- Le taux d'actualisation public est unique et s'applique de manière uniforme à tous les projets d'investissement publics considérés et à tous les secteurs d'activité. S'écarter de ce principe conduirait à accepter systématiquement des incohérences importantes dans l'allocation des ressources publiques.
- Le taux d'actualisation est un taux calculé hors prime de risque. La prise en compte du risque ne doit pas être intégrée par le biais d'une augmentation implicite du taux d'actualisation. Le risque doit être traité pour lui-même

[1] En mai 2004, Alain Etchegoyen, commissaire au Plan, avait proposé à Daniel Lebègue, ancien directeur du Trésor, ancien directeur général de la Caisse des dépôts et consignations, de piloter ce projet pour le Plan. Un groupe de vingt-cinq experts de haut niveau, associant le monde de la recherche et de l'Université, celui de l'entreprise et de la finance, ainsi que les différentes administrations concernées, a été sollicité. Il a été associé à ce groupe de travail un comité de scientifiques comprenant Edmond Malinvaud, Marcel Boiteux, Roger Guesnerie et Claude Henry.

au niveau de l'évaluation de chacun des projets tant pour les prévisions de quantité que pour celles de prix.

- Le taux d'actualisation se comprend comme l'ensemble formé par la valeur du taux d'actualisation lui-même et un système de prix relatifs des biens dans lequel notamment le prix de l'environnement croît nettement par rapport aux autres.
- Le taux d'actualisation est un taux réel et doit donc être utilisé dans des calculs effectués en monnaie constante (hors inflation).
- Le taux d'actualisation de base est ramené de 8 % à 4 %.
- Le taux d'actualisation est décroissant avec le temps pour les évaluations qui portent sur le très long terme. La décroissance du taux est effective à partir de 30 ans ; elle est continue pour éviter les effets de seuil pour atteindre 2 % à un horizon de 500 ans.
- La décroissance du taux d'actualisation est limitée par un plancher fixé à 2 % (ce qui exclut la nullité du taux d'actualisation).
- Ce taux doit enfin faire l'objet de révisions périodiques tous les cinq ans¹, pour éviter d'être en déphasage avec les principaux indicateurs macroéconomiques (croissance potentielle du pays, évolution des taux d'intérêt à long terme, variables démographiques, maintien de la croissance de la productivité du travail, profil de la population active à la suite de la réforme des retraites, etc.). Cette révision doit s'appuyer sur un exercice de prospective sur la croissance économique.

Source : rapport Lebègue

3.2. Le taux d'actualisation et la prise en compte du risque

La révision du taux d'actualisation a nécessité que soient tranchés au préalable trois débats polémiques concernant l'articulation du taux avec les préoccupations du développement durable (la prise en compte du développement durable ne suppose-t-elle pas de passer par la prise en compte d'un taux très faible, voire nul ?), avec la contrainte budgétaire (la prise en compte de la contrainte budgétaire ne doit-elle pas se traduire au contraire par une augmentation du taux d'actualisation ?), et enfin, avec la

[1] Nous reviendrons plus loin sur l'urgence de procéder à cette révision pour tenir compte de la situation actuelle des taux d'intérêt et de la révision à la baisse de la croissance potentielle de l'économie française. Ces éléments déterminent en effet fondamentalement cette référence.

prime de risque (le risque global pris par la collectivité ne doit-il pas conduire à augmenter le taux d'actualisation ?).

Le rapport Lebègue a clairement répondu non à ces trois questions.

Pour ce qui concerne le risque, le rapport a volontairement écarté dans la détermination du taux d'actualisation public la prise en compte du risque dans la valorisation. Cette dichotomie de l'analyse (saisir le risque d'un côté pour lui-même et utiliser un taux sans risque par ailleurs) constituait une avancée considérable dans la culture de l'évaluation en France, et portait en germe une clarification méthodologique compatible avec l'intérêt général. Utiliser un prix et un seul, tel que le taux d'actualisation, pour traiter de deux valeurs, le risque et le temps, ne peut en effet qu'être source de confusion et d'inefficacité. C'est particulièrement vrai dès lors que les éléments de risques des projets et leur inscription dans le temps sont très hétérogènes.

Le rapport Lebègue a réfléchi à la pratique qui consiste à augmenter le taux d'actualisation pour intégrer le risque. Cette proposition vient de l'idée que l'on se fait du comportement du décideur qui, considérant un investissement, va exiger une rentabilité plus ou moins importante selon le risque qu'il associe au projet, au secteur économique concerné, au pays dans lequel ce projet est envisagé, etc. Le décideur ne s'engage sur un projet que si la rentabilité attendue est suffisante pour compenser le risque pris. Entre deux projets de rentabilité espérée identique, il optera pour celui dont le risque est le plus faible et ne le réalisera que si son aversion pour le risque est compensée par les avantages nets espérés. La prise en considération du risque peut se traduire *in fine* par des exigences de taux de rentabilité financière moyens de niveaux élevés pouvant atteindre 10 %, 15 %, voire 20 %, lesquels clairement ne sont pas des taux d'actualisation purs¹.

En transposant ce comportement au niveau de la collectivité (passage de la VAN financière au bénéfice actualisé socioéconomique et environnemental), on pourrait considérer qu'une fois le taux sans risque déterminé, une solution consisterait à augmenter d'une certaine valeur le taux d'actualisation « sans risque » pour y intégrer globalement un « risque moyen » sur l'ensemble de

[1] Ces taux de rentabilité doivent être compris comme les taux de rentabilité interne (TRI) que l'on obtient en considérant l'espérance des flux économiques dans le calcul de la VAN. Il ne s'agit donc pas de l'espérance du TRI du projet au sens mathématique, confusion assez fréquente dans l'esprit et dans le vocabulaire employé (on parle parfois d'« espérance de rentabilité », par exemple). Pour déterminer l'espérance du TRI, il faudrait calculer le TRI pour chaque scénario possible et en faire la moyenne pondérée par la probabilité de survenue de chaque scénario.

l'économie. Sauf à faire l'hypothèse déraisonnable que tous les risques se valent, cette solution n'est pas acceptable. Peut-être fait-on ainsi une assimilation entre taux d'actualisation et taux d'intérêt, ce dernier tenant compte très classiquement du risque couru par le prêteur. C'est là un argument qui a de fait pesé dans les compromis passés pour décider du taux d'actualisation « sans risque ». L'argumentation reposait notamment sur le fait que la collectivité a, dans l'ensemble, plus de mal que le secteur privé à anticiper les risques, le décideur ou le fonctionnaire public étant moins impliqué dans la responsabilité de décisions dont les conséquences se font souvent sentir à plus long terme, ce qui peut se traduire par une tendance à surestimer les avantages du projet et à en sous-estimer les coûts. On peut toutefois s'interroger sur l'existence réelle et généralisée d'une réticence, voire d'une répulsion des pouvoirs publics à prendre en compte le risque, compte tenu de leur capacité à mutualiser les aléas affectant les différents secteurs de l'économie.

La commission chargée de la révision du taux d'actualisation a estimé dès lors qu'il était nécessaire de bien distinguer les incertitudes directement liées au projet (par exemple le niveau de trafic attendu dans un projet de transport, les coûts de construction, *a fortiori* les risques techniques ou technologiques) des risques plus globaux (incertitude sur l'évolution de la croissance économique ou démographique, de la demande générale de trafic routier, urbain ou ferroviaire, des consommations sur tel type de produits, etc.) qui affecteront le contexte dans lequel tous les projets retenus seront réalisés.

Ces différents types de risques nécessitent des traitements différenciés.

On comprend dès lors que les risques spécifiques d'un projet doivent être appréciés pour le projet lui-même et que cette appréciation ne puisse se satisfaire d'un taux d'actualisation qui intégrerait un risque moyen sur un secteur économique donné. La pratique consistant à appliquer une prime de risque indépendante des caractéristiques du projet a sans doute le mérite de la simplicité, mais elle n'est pas économiquement fondée. Le rapport conclut qu'une telle pratique n'a même aucun sens, ne serait-ce que parce qu'elle traite de manière identique les projets intrinsèquement peu ou très risqués. Il envisage plutôt d'imaginer des taux d'actualisation intégrant un risque moyen qualifié non plus sur l'ensemble de l'économie mais secteur par secteur. Mais on perdrait alors la cohérence que seul un taux d'actualisation unique peut apporter. Il conclut donc que se résigner à augmenter forfaitairement le taux d'actualisation sans traiter la question du risque de manière circonstanciée, projet par projet, serait faire preuve d'une légèreté coupable.

Le rapport Lebègue ne pouvait d'ailleurs que vivement regretter que le risque associé à un projet fût à ce jour si peu pris explicitement en compte dans le calcul économique public. Il constatait que bien souvent le risque est tout simplement ignoré, que les pouvoirs publics avaient indéniablement du retard par rapport aux acquis des trente dernières années en théorie économique souvent mieux intégrés dans le domaine financier. L'analyse des risques associés aux investissements constitue en effet, dans le secteur privé, un des éléments décisifs de la décision. Dans certains cas de risque élevé, c'est même un critère qui l'emporte sur celui du taux de rentabilité attendu, qui devient alors secondaire.

Si le taux d'actualisation n'intègre aucune composante de risque, comme il est recommandé de le faire, il devient alors indispensable de donner toute sa place dans les évaluations à une analyse du risque utilisant des outils adaptés. Les développements de la théorie de la décision en situation d'incertitude qui se sont affinés depuis les réflexions fondatrices de Von Neumann et Morgenstern¹, les pratiques qui en ont découlé sur les marchés financiers et dans le secteur des assurances, offrent toute une série d'outils pour résoudre ces problèmes. Ces théories sont fondées sur une description de l'impact du risque sur le bien-être des individus. Les méthodes d'évaluation qui en résultent offrent donc des outils d'aide à la décision face au risque compatibles avec l'intérêt général. Le présent rapport se propose d'en présenter l'essentiel et d'en tirer les principales recommandations.

Le rapport Lebègue insistait simplement sur le fait que la question du risque et de l'incertitude n'est pas fondamentalement liée au taux d'actualisation mais à la capacité de traiter correctement les risques associés à un projet et à les intégrer clairement dans les calculs effectués. Il posait comme principe général que la prise en compte du risque dans les analyses socioéconomiques ne devait pas conduire à relever le taux d'actualisation en jouant sur le dénominateur de la VAN, mais qu'elle devait passer au contraire par une objectivation du risque associé à chaque flux économique anticipé au numérateur. Une mauvaise appréciation du risque peut en effet avoir des conséquences beaucoup plus graves sur l'allocation des ressources qu'une erreur de 1 à 2 points sur le taux d'actualisation.

[1] Les travaux théoriques de ces deux auteurs, formulés dans un cadre mathématique original, ont eu une influence considérable sur le développement de l'analyse économique et ont débouché sur de nombreuses applications – notamment en assurance et en finance. Ces travaux constituent la base de la théorie de la décision en situation de risque (choix d'alternatives risquées) sur laquelle nous reviendrons plus précisément dans la seconde partie du rapport. Von Neumann J. et Morgenstern O. [1947], *Theory of Games and Economic Behaviour*, Princeton University Press.

Ainsi, jusqu'à présent, les administrations se protégeaient des risques et du fréquent optimisme des évaluations de projet en retenant un taux de rendement élevé sur les fonds publics investis. La prise en compte des risques était alors implicite, mais relativement forfaitaire. Le rapport Lebègue souhaitait clairement entrer dans une explicitation des risques dans le calcul.

Il souhaitait qu'on aille au-delà des seules analyses de sensibilité qui ont le mérite d'exister et d'apporter un premier éclairage sur les risques mais qui restent inachevées dans une perspective décisionnelle.

Il estimait que les bilans socioéconomiques d'un projet déterminés sur la base de très nombreuses données – bénéfiques, EBE¹, coûts prévisionnels, taux d'intérêt, cadrage macroéconomique – fixées dans le cadre d'un scénario central cohérent traitaient de manière insuffisante le risque.

L'approche recommandée conduisait, dans un premier temps, à identifier les risques et aléas, puis à décrire leurs conséquences sur les paramètres qu'ils affectent, en établissant leurs distributions de probabilité sur la base des informations disponibles, les distributions de probabilité des principaux indicateurs de rentabilité des projets (taux de rendement interne, valeur actualisée nette, bilans par acteur, etc.) pouvant être déterminées *via* un noyau de simulations numériques de type Monte-Carlo.

Cette approche semblait apporter une valeur ajoutée notable aux études à plusieurs titres :

- elle améliorerait la fiabilité des études économiques. En effet, par nature, le fait de travailler dans le cadre de *scénarios* de projets n'incorpore qu'une information globale et approximative sur la variabilité des paramètres et leurs corrélations; de plus les *valeurs centrales* des indicateurs de rentabilité ou de coût ne correspondent pas forcément à leurs *espérances*, lesquelles peuvent différer notablement. L'utilisation d'analyses de risque probabilistes permettrait de dépasser ces insuffisances pour peu que les lois soient estimées convenablement, et en particulier qu'un effort soit porté sur le recueil et l'exploitation des *données* permettant de les calibrer ;
- elles accroîtraient l'information mise à la disposition des décideurs. La détermination de distributions de probabilité des paramètres permet notamment d'apporter des éléments de réponse à des questions mal traitées par les tests de sensibilité : probabilité d'accroissement majeur des coûts, de baisse des recettes, de déchéance des concessionnaires ;

[1] Excédent brut d'exploitation.

- une meilleure identification des risques et l'évaluation quantitative de leurs conséquences permettraient une meilleure répartition entre les acteurs ainsi que la détermination précise des contreparties financières correspondantes. Dans le cadre plus global d'une stratégie de gestion des risques, elle permet d'évaluer l'intérêt économique de mesures contribuant à réduire ces risques.

Le rapport Lebègue notait en conclusion que la principale limite de ces analyses résidait dans la difficulté de probabiliser les conséquences de certains risques.

Cela semblait particulièrement vrai pour les gros projets, pour lesquels aucune expérience historique réellement comparable n'existe. Par ailleurs, la précision des résultats quantitatifs obtenus pouvait faire oublier que la qualité des entrants des modèles reste le facteur déterminant. Il apparaissait néanmoins souhaitable de chercher à probabiliser les paramètres tant que faire se peut, y compris dans le cas où les informations disponibles restaient fragmentaires, et de présenter des scénarios uniquement quand l'incertitude sur les distributions de probabilité apparaissait trop grande ou en présence de risques de nature politique ou d'incertitudes radicales.

Le rapport notait enfin que d'un point de vue pratique, l'introduction de cette technique d'analyse dans les études économiques des projets restait, elle, somme toute faiblement novatrice, les cabinets d'études privés possédant une bonne expertise de ce type d'analyses, acquise sur des études à caractère financier. Il estimait que le coût marginal lié à l'introduction de ces analyses dans les études d'avant-projet devait en conséquence rester limité. Si l'emploi de ces méthodes devait être systématisé pour l'évaluation des infrastructures de transports, comme cela était suggéré, un travail statistique et méthodologique préalable était incontournable. Il aurait permis de garantir une meilleure cohérence entre les études menées sur les différents projets, de limiter les études historiques redondantes, et de préciser les interfaces entre ces analyses et le traitement des risques systématiques (« biais optimistes »).

Le rapport Lebègue ouvrait donc précisément un chantier qui restait à engager. Les deux chapitres qui suivent cherchent à approfondir les pistes évoquées ici, du point de vue tant théorique que pratique. En particulier, le troisième chapitre resitue ces outils et ces différentes perspectives dans un cadre global du management du risque dans les politiques publiques.

L'apport théorique et les pratiques

1 ■ Les enjeux théoriques et pratiques du vocabulaire

1.1. Les incertitudes dans le calcul économique

Le concept crucial de toute analyse de décision face au risque est l'aversion au risque, caractéristique des préférences de la plupart des êtres humains. Gagner 100 avec certitude, ce n'est pas la même chose que gagner 200 avec une probabilité d'une chance sur deux ! En général, on préfère la première option à la seconde, propriété qui définit l'aversion au risque. De même, sauver une vie avec certitude, ce n'est pas la même chose que d'en sauver 10 avec une probabilité de 10 %. Et prévenir une marée noire avec certitude, ce n'est pas la même chose que d'en prévenir trois avec probabilité d'un tiers.

L'émergence d'une conscience accrue des risques liés au développement de nos sociétés impose de mieux hiérarchiser nos efforts d'investissement dans un monde où tout n'est pas possible. Pour la collectivité, définir des priorités face à la multiplicité des possibilités d'action est une tâche rendue particulièrement délicate par les horizons temporels en cause et les incertitudes qui y sont associées. Pour le calcul économique, cette difficulté se manifeste sous plusieurs angles.

Prix relatifs des différents biens et services : de nombreux biens verront leurs prix relatifs évoluer avec les modifications structurelles de l'économie. Il est important que l'évaluation des *cash flows* de chaque investissement se fasse au prix du marché (pour les biens privés) et lorsqu'il s'agit de biens et services ou plus largement d'externalités, pour lesquelles il n'existe pas de traduction marchande immédiate, sur la base des valeurs tutélaires appropriées. Les outils permettant de révéler les préférences collectives relatives aux

externalités non marchandes¹ tiennent compte de ces évolutions anticipées et de leurs incertitudes. L'analyse du risque et des incertitudes doit se faire dans ce cadre-là. C'est ce qui a été réalisé, par exemple, pour la valeur du CO₂, les recommandations du rapport Quinet intégrant explicitement le risque du changement climatique.

Incertitude sur les flux économiques : la plupart des projets d'investissement public généreront des bénéfices incertains. Comment prendre en compte cette incertitude dans l'analyse ? Certainement pas par une modification nécessairement arbitraire du taux d'actualisation ! Plusieurs cas de figure sont possibles. Le plus simple se pose lorsque le risque sur les *cash flows* (réels ou issus de la monétarisation des effets environnementaux) est à la fois faible en lui-même et indépendant du risque macroéconomique, c'est-à-dire de l'évolution générale de l'économie mesurée typiquement par le PIB par habitant. Dans une telle situation, le théorème d'Arrow et Lind (1970), sur lequel on reviendra plus loin, démontre que l'approche consistant à prendre en considération l'espérance mathématique des bénéfices sociaux dans le calcul de la VAN est optimale. En revanche, si le risque sur les *cash flows* est indépendant mais n'est pas marginal par rapport aux revenus des agents qui le portent², une prime de risque³ devra être intégrée à l'analyse coûts-bénéfices en déduction de l'espérance des bénéfices sociaux ; étant donné que l'aversion au risque reste un phénomène de second ordre, cette prime de risque n'aura un impact significatif que sur des risques réellement considérables. Enfin, si les risques sur les *cash flows*, bien qu'ils soient marginaux, sont corrélés au risque sur la croissance économique, une prime de risque devra elle aussi être prise en compte dans le calcul de la VAN, prime qui sera déterminée à partir de la spécification des relations statistiques qui existent entre l'évolution des *cash flows* et la croissance économique.

Irréversibilités : si les projets contiennent des éléments d'irréversibilité, l'attitude face aux incertitudes de ces projets se doit d'être plus prudente que s'il est possible de revenir en arrière ou de changer d'option. Lorsque le décideur peut ajuster sa stratégie à mesure que les incertitudes disparaissent, des valeurs d'option doivent être intégrées aux calculs. Des techniques, aujourd'hui bien

[1] On trouvera par exemple ces différentes approches explicitées et mises en œuvre dans les rapports du Commissariat général du Plan et du Centre d'analyse stratégique : rapport Boiteux [Environnement], rapport Quinet [CO₂], rapport Chevassus-au-Louis [Biodiversité], etc. ; voir bibliographie en annexe.

[2] Si le risque est bien diversifié dans l'économie, c'est le PIB qui doit constituer la référence pour mesurer le caractère marginal ou non du risque.

[3] La notion de prime de risque est définie un peu plus loin.

connues en théorie économique (théorie des options réelles, introduite par Claude Henry en 1974), permettent d'évaluer la valeur de la réversibilité.

Principe de précaution : non seulement les *cash flows* à long terme sont incertains, mais la modélisation même de cette incertitude est difficile à réaliser. En fait, les risques eux-mêmes sont difficiles à quantifier, et plusieurs distributions de probabilité sont possibles pour décrire ces aléas au regard des connaissances scientifiques du moment. Ce « risque sur le risque » peut justifier une certaine augmentation de la prévention de ces risques les moins bien définis, comme le suggère le principe de précaution. Des approches théoriques existent pour modéliser le comportement des agents économiques face à cette nature plus profonde de risque. En particulier, des études économiques récentes ainsi que des méthodes de recherche opérationnelle dynamique stochastique ont proposé des approches rigoureuses du principe de précaution qui sont compatibles avec les objectifs de bien-être collectif. Pour ce faire, il est nécessaire de décrire un ensemble de scénarios d'évolution de l'environnement ainsi que d'anticiper les révisions des croyances des décideurs au vu de l'historique des événements décrits. L'optimisation des actions à court terme se fait alors en tenant compte des incertitudes futures et de leur gestion par les générations futures qui seront vraisemblablement mieux informées que nous.

1.2. Entre concept théorique et langage courant

Le vocabulaire a son importance car, comme souvent en sciences économiques, la différence entre le sens courant et le sens posé par définition peut semer la confusion. Il est important de saisir à travers ces différents termes les constructions théoriques auxquelles ils se réfèrent.

Risque et incertitude

Cette opposition est classique dans l'histoire de la théorie économique.

D'un point de vue théorique, la valeur de toute grandeur, tout facteur, tout paramètre pris en compte dans la décision est entachée d'incertitude, que celle-ci provienne de sa définition, de sa mesure ou de son impact (incertitude de modélisation). Les incertitudes sont donc potentiellement innombrables et le premier travail du décideur est d'identifier celles qui méritent de l'intérêt. Sans entrer dans l'histoire de la pensée économique sur le concept de risque, on peut noter que la réflexion sur ce sujet est finalement assez récente. Il faut attendre les travaux de Keynes (1921) et de Knight (1921) ou encore ceux de

Schumpeter (1954) pour voir la théorie économique prendre véritablement en compte la gestion du risque non comme une question annexe mais comme une question centrale de l'économie politique¹.

On retient des réflexions de Keynes et de Knight une distinction devenue classique et conventionnelle. On parle de « risque » lorsqu'on ne connaît pas tous les éléments d'un problème mais seulement leurs occurrences, par exemple en tenant compte des observations passées : on peut associer une distribution de probabilités objectives ou fréquentielles à l'ensemble des états de la nature². Cette situation se distingue de celle dans laquelle, au contraire, on considère qu'il est impossible d'affecter à un événement une quelconque probabilité : on parlera alors « d'incertitude ». Un univers risqué est radicalement différent d'un univers incertain : il n'existe dans le second cas aucun fondement qui permette de formuler un raisonnement probabiliste.

D'un point de vue pratique, les risques et incertitudes doivent d'abord se distinguer en fonction de la façon dont le porteur du projet lui-même les maîtrise et peut donc les diminuer :

- risques relevant d'un défaut de mesure, de modélisation ou de prévision, que le porteur du projet peut réduire par son propre effort d'évaluation ;
- risques « objectifs » (indépendants des défauts de mesure), qui sont probabilisables *a priori* ;
- incertitudes (non probabilisables) qui peuvent être levées par la conduite du projet lui-même (choix de la date de mise en service, tests, expérimentations) ;
- incertitudes (non probabilisables) qui peuvent être levées par des efforts (recherche, expérimentation...) qui sont en dehors du strict champ de la conduite du projet et de son évaluation.

Le risque peut être quantifié comme le produit des aléas (pertes ou gains en euros par exemple) et de leurs probabilités d'occurrence. Un risque issu d'un aléa faible avec une probabilité faible sera ainsi de peu d'intérêt,

[1] Schumpeter met en évidence autour de cette notion le rôle de l'entrepreneur dans la croissance et le risque qu'il prend en innovant. Knight insiste sur l'incertitude liée aux décisions de production. Keynes place au cœur de son analyse l'incertitude à laquelle font face tous les agents économiques et les conséquences que cela a sur le fonctionnement et l'équilibre des marchés, etc. Voir Keynes J. M. [1921], *A Treatise on Probability*, Londres, McMillan [2^e éd., 1948] ; Knight F. H. [1921], *Risk, Uncertainty, and Profit*, New York, Houghton Mifflin ; Schumpeter J. A. [1954], *Histoire de l'analyse économique* [Paris, Gallimard, 1983].

[2] Par extension, dans le langage des économistes, le terme « risque » est aussi employé pour désigner la variance ou l'écart-type d'une distribution de probabilité.

en comparaison des risques d'impact majeur et/ou de grande probabilité. Toutefois, une somme pondérée de petits risques peut devenir un gros risque si ceux-ci sont corrélés. Les assureurs le savent bien : le risque de dégâts lié à un événement climatique peut être négligeable à l'échelle de leur bilan comptable si un seul client est concerné mais il peut s'avérer très coûteux dès lors que l'événement climatique en question affecte un grand nombre de clients.

À côté des risques standard, souvent spécifiques ou traditionnels d'un secteur, la collectivité est confrontée à des risques émergents, dont le développement rapide et l'impact multisectoriel doivent retenir l'attention. Ils relèvent pour le moment de l'univers incertain, au sens donné plus haut, mais on conserve ici la terminologie courante. La perspective du changement climatique, la prolifération des nanoparticules, la production d'organismes génétiquement modifiés (OGM) ou l'exposition aux ondes électromagnétiques (téléphones portables) sont des exemples de risques émergents. Ces derniers présentent de nombreuses difficultés, la première étant certainement l'observation, puisque tant les paramètres de mesure que les mécanismes d'action ou la temporalité des effets sont mal connus. Le manque d'information ne doit pas pour autant conduire à les exclure du calcul économique mais doit au contraire inciter à les analyser avec plus d'attention encore que les risques standard.

Incertitude radicale et incertitude ordinaire

Si l'incertitude ordinaire est généralement assimilée au concept de risque, ce qui peut prêter à confusion, l'incertitude radicale désigne une situation clairement différente qu'on qualifiera de totalement imprévisible (« je sais que je ne sais pas »), voire inconcevable, inimaginable, ce qui est encore une autre situation (« je ne sais même pas que je ne sais pas »).

On comprend dès lors que face à l'imprévisible, les outils probabilistes évoqués plus haut sont de peu d'utilité. La prise en compte de ces situations passe généralement par des approches prospectives à rebours : contrairement au risque ordinaire, on n'induit pas d'après le passé, mais on vérifie si un scénario radicalement différent est réalisable (quel chemin, quelles conditions nécessaires, entre la situation actuelle et la situation future imaginée ?). Cela donne lieu à la prise en compte d'événements extrêmes (*black swans*¹) qui peuvent être caractérisés par des probabilités *a posteriori* supérieures à celles

[1] Cette expression désigne traditionnellement un événement improbable. La théorie du « cygne noir » renvoie aux travaux de Nassim Nicholas Taleb sur les biais cognitifs qui a été appliquée au monde de la finance. En construisant des raisonnements à partir d'informations incomplètes (les cygnes observés sont tous blancs), on peut être conduit à des certitudes erronées (tous les cygnes sont blancs).

qui sont déduites des seules observations statistiques (*fat tails*, représentant les événements trop rares pour avoir été observés avec une fréquence permettant un traitement statistique fiable) ou caractérisés par des scénarios d'évolution en rupture avec la norme (analyse de scénarios contrastés, pouvant donner lieu au calcul de valeurs d'option : si telle catastrophe survient, quelle assurance procure le projet ?).

Dans de telles situations, il est essentiel que l'évaluateur se concentre sur l'obtention d'informations supplémentaires (de nature scientifique, ou des données de terrain) pour affiner la quantification de ces incertitudes. Lorsque l'événement est lui-même inconcevable, il n'y a rien à faire sinon chercher à améliorer constamment les méthodes d'évaluation et de prévision, pour que l'inconcevable devienne de l'imprévisible, voire du prévisible. C'est un point qui n'est pas traité ici. Le rapport se limite à traiter l'incertitude ordinaire probabilisable (le risque) et esquisse quelques pistes pour tenir compte de l'incertitude radicale imprévisible.

Aversion au risque et aversion à l'ambiguïté

L'aversion au risque dépend fondamentalement des préférences de l'individu face à une situation d'incertitude. On distingue généralement l'aversion absolue pour le risque qui dépend du niveau de richesse (plus on est riche, moins on est sensible au risque) et l'aversion relative pour le risque qui est une mesure du comportement, corrigée de l'effet richesse.

L'aversion au risque est un concept bien défini lorsque le risque est connu, c'est-à-dire lorsqu'on sait le probabiliser correctement. Ce concept apparaît naturellement dans le cadre traditionnel de réflexion bâti par von Neumann et Morgenstern¹, qui repose sur l'idée que les agents économiques cherchent à maximiser l'espérance de l'utilité retirée de leurs actions. Un même risque sera plus ou moins redouté selon que l'on est plus ou moins averse au risque. Dans le modèle usuel de von Neumann et Morgenstern, les préférences de l'individu déterminent de manière univoque son aversion au risque.

Toutefois, les observations empiriques suggèrent que l'adéquation du comportement des individus à ce modèle est largement perfectible, et que les individus intègrent d'autres déterminants dans leurs décisions :

- les individus se construisent une représentation subjective des probabilités réelles, qui est souvent déformée par rapport à la loi de probabilité

[1] Von Neumann J. et Morgenstern O. [1947], *op. cit.*

objective : d'une part, ils surestiment généralement les faibles probabilités (par exemple, trouver les six bons numéros du loto) et, d'autre part, ils tendent à surestimer les probabilités des événements défavorables par rapport à celles des événements favorables (tendance au pessimisme) ;

- par ailleurs, la plupart des individus préfèrent connaître les probabilités (être en situation risquée) plutôt que rester dans l'ignorance de leur valeur objective (être en situation d'incertitude) : on préférera généralement tirer au sort une boule dans une urne contenant des boules rouges et des boules noires en proportions identiques, plutôt que tirer au sort dans une urne dont on ne connaît pas la proportion des boules (aversion à l'ambiguïté)¹.

Sans entrer ici dans l'histoire de la théorie du risque, le cadre traditionnel établi par von Neumann et Morgenstern et enrichi par Savage² a été considéré comme beaucoup trop simpliste pour rendre compte du comportement observé des agents. Les paradoxes d'Allais³ (prime à la certitude) et d'Ellsberg⁴ (aversion à l'ambiguïté) vont conduire à revenir sur les hypothèses de ce cadre d'origine et montrer qu'en les levant, les comportements jugés irrationnels du point de vue du critère de l'utilité espérée peuvent au contraire être prévisibles.

Les développements plus récents relatifs à l'aversion pour l'ambiguïté sont intéressants parce qu'ils décrivent un contexte de décision qui est proche de celui évoqué avec le principe de précaution. Ils conduisent à des modèles du comportement humain de plus en plus complexes, à la frontière entre économie et psychologie, tels que la minimisation du regret maximum, la maximisation de l'espérance d'utilité la plus faible parmi toutes les distributions possibles, ou la maximisation d'un équivalent-certain de l'ensemble des espérances d'utilité possibles. La plupart de ces développements restent pour l'instant à un niveau d'exploration théorique et les applications pratiques sont encore peu développées.

[1] L'aversion pour l'ambiguïté est un trait psychologique qui vient s'ajouter à l'aversion pour le risque : les agents préfèrent les situations où les risques sont clairement mesurés et bien identifiés aux situations ambiguës où, au contraire, on ne dispose que de très peu de données quantitatives. En d'autres termes, les agents préfèrent disposer de probabilités objectives – même si, à cause de leur aversion au risque, ils n'ont pas une perception symétrique entre les gains et les pertes – plutôt que d'avoir à les formuler subjectivement sur la base d'informations insuffisantes.

[2] Savage L.J. [1954], *The Foundations of Statistics*, New York, Wiley.

[3] Allais M. [1953], « Le comportement de l'homme rationnel devant le risque, critique des postulats et axiomes de l'école américaine », *Econometrica*, vol. 21, p. 503-546.

[4] Ellsberg D. [1961], « Risk, ambiguity and the Savage axioms », *The Quarterly Journal of Economics*, 75, p. 643-669.

Aversion individuelle et aversion collective pour le risque

Au-delà de l'approche individuelle, la question de l'aversion pour le risque se pose également lorsqu'on a besoin d'agrèger les préférences individuelles pour comprendre comment un groupe d'individus valorise le risque. Il existe en effet des différences entre les mesures individuelle et collective de l'aversion au risque :

- le groupe, par sa capacité à mutualiser les risques, présente une capacité à supporter les risques supérieure à celle d'un individu isolé ; ce point tend à modérer l'aversion collective (celle du groupe) pour le risque ; cette capacité à partager le risque est un déterminant crucial de la tolérance au risque d'une communauté comme un État ;
- la pression sociale pousse souvent les individus à se conformer à certaines normes de comportement, pour éviter les phénomènes de discrimination ou de rejet par le groupe ; ce point conduit généralement à un alignement du comportement du groupe sur l'aversion au risque la plus répandue dans la population ;
- enfin, le souci d'éviter les reproches et la culpabilité est un moteur puissant du décideur public car le résultat de ses décisions affecte le bien-être d'autrui ; même dans une société démocratique, l'organisation administrative et politique conduit inévitablement à ce que les décisions, y compris celles prises dans un contexte d'incertitude, reflètent pour partie la vision personnelle du décideur. Probité et rigueur tiennent donc une place importante dans le jugement sur le bien commun que le décideur placé en situation de responsabilité est amené à produire.

La collectivité nationale doit-elle être averse au risque et, si oui, dans quelle proportion ? La réponse dépend essentiellement de la manière dont le risque est partagé entre les agents économiques et s'il pèse de façon infinitésimale sur chacun ou pas. Il n'en demeure pas moins que la collectivité, comprenant de nombreux agents averse au risque, reste elle-même fondamentalement averse au risque, ne serait-ce que parce qu'elle ne dispose pas d'une richesse infinie pour faire face à tous les risques imaginables. Cette aversion au risque justifie alors l'incorporation de primes de risque dans l'évaluation des projets publics. Dans la théorie économique classique, l'aversion collective pour le risque est définie comme l'aversion pour le risque de l'individu représentatif

moyen¹. On reviendra sur la manière dont les préférences individuelles sont agrégées pour estimer ce comportement « moyen » face à un risque collectif.

La notion de prime de risque

La prime de risque est une mesure de l'impact d'un risque donné sur le bien-être du ou des individus concernés par ce risque. Cette mesure s'effectue traditionnellement par l'évaluation monétaire de la perte de bien-être liée au fait de porter un risque d'espérance nulle. La prime de risque peut être présentée comme le supplément « certain » qu'il faut ajouter à une loterie d'espérance nulle pour qu'un individu riscophobe (averse au risque) l'accepte. Plus le risque porté par l'individu est sévère, plus cette prime est importante.

Face à une loterie d'espérance non nulle, on définit la prime de risque comme l'écart entre la valeur moyenne de la loterie (espérance de gain ou de perte) et la valeur certaine de cette loterie qui serait équivalente du point de vue du porteur du risque (appelée équivalent-certain de la loterie). Par exemple, plutôt que d'être confronté à une loterie de gain 0 ou 100 avec égale probabilité (soit une espérance de gain égale à 50), on préférera recevoir à coup sûr, mettons, 40. Dans ce cas, la prime de risque vaut 50 (espérance) moins 40 (équivalent-certain) égale 10. Ici, la prime de risque est l'espérance de gain à laquelle on renonce en préférant l'option certaine plutôt que la loterie entre 0 et 100 avec égale probabilité. Inversement, on peut voir la prime de risque comme le montant que l'on serait prêt à payer pour supprimer tout risque sur la loterie.

Plus un agent économique est riscophobe, plus la prime de risque qu'il demandera pour porter ce risque est importante. La prime dépend du niveau d'aversion pour le risque et n'est donc pas identique d'un individu à l'autre. Faire porter certains risques par les individus qui demandent les primes de risque les plus faibles peut donc être avantageux du point de vue collectif. La prise en compte du risque dans le calcul socioéconomique s'intéresse d'abord à la prime de risque collective, c'est-à-dire celle de l'individu représentatif moyen, et seulement ensuite aux primes à ajouter éventuellement pour tenir compte de la répartition des risques dans la population.

Signalons enfin que l'expression « prime de risque » est, dans certains usages, parfois remplacée par d'autres termes : « provision pour risques » ou « provision pour aléas et imprévus », qui insistent sur la notion de somme à prévoir pour

[1] La notion d'individu représentatif moyen est une construction théorique qui n'a *a priori* aucune raison d'être personnifiée par un individu considéré au hasard dans la population. Il ne faut donc y voir aucun lien avec des expressions journalistiques comme « l'homme de la rue » ou « le citoyen *lambda* ».

faire face à certains risques, ou encore « prime d'assurance », qui désigne le montant du contrat d'assurance par lequel un agent économique transfère son risque à un autre agent (l'assureur)¹. L'expression « prime de risque » est utilisée indifféremment, que l'on raisonne en numéraire ou sur des taux de rentabilité (pratique généralisée dans le secteur financier). Dans ce deuxième cas, la prime de risque garde le même sens puisqu'il s'agit du supplément de rentabilité exigé pour couvrir le risque.

2 ■ L'approche de référence

La forme dominante, *standard*, de l'approche économique a accordé au calcul des probabilités un rôle clé, les notions centrales étant celles de l'*espérance mathématique*, de la *variance* et de la *covariance*. Elle s'est efforcée de généraliser – par une modélisation sous la forme d'un calcul rationnel – une observation déjà ancienne des comportements humains : les *préférences* et les *choix* des individus se conforment en général à une perception, intuitive ou rationnelle, de l'espérance mathématique des décisions qu'ils envisagent, corrigée le cas échéant par leur aversion pour le risque et pour l'ambiguïté.

2.1. La VAN espérée

La réponse la plus simple apportée par la théorie consiste à généraliser l'analyse coûts-bénéfices en intégrant le caractère aléatoire des bénéfices et des coûts grâce au calcul des probabilités. On ne raisonne dès lors plus sur la VAN déterministe (voir plus haut) mais sur la VAN espérée. Si l'on considère un projet défini par la donnée de coûts initiaux (incertains), I_0 , et de coûts et bénéfices futurs (incertains), D_t et B_t , on estimera que le projet est acceptable si l'espérance de la valeur actualisée des bénéfices futurs excède celle de la valeur actualisée des coûts, y compris les coûts des dommages, c'est-à-dire si la valeur actualisée nette espérée (VANE) du projet est positive :

$$VANE = -E(I_0) + \sum_t \frac{E(B_t - D_t)}{(1 + a)^t}$$

Ce type de formule suppose qu'on est capable d'associer à chaque flux économique une loi de probabilité et donc de calculer une espérance mathématique. Si on considère que les flux sont certains, on retrouve bien évidemment la VAN classique déterministe. Le cadre décisionnel reste

[1] En pratique, la prime d'assurance n'est pas strictement égale à la prime de risque, puisqu'elle inclut les frais de gestion et la marge facturés par l'assureur.

fondamentalement le même. L'analyse du risque consiste à identifier pour chaque projet les risques, à associer ensuite à chacun d'entre eux sa loi de probabilité, à calculer l'espérance puis à procéder à une actualisation de l'ensemble avec un taux sans risque.

Cette approche est valable sans condition sous une fonction d'utilité collective neutre au risque. Toutefois, nous éprouvons tous et collectivement de l'aversion au risque. Le seul calcul de la VAN espérée ne suffit donc pas, en général, à déterminer si le bien-être social procuré par l'investissement est supérieur au risque pris, autrement dit, si « le risque pris collectivement en vaut la chandelle ».

L'aversion collective pour le risque justifie l'incorporation de primes de risque dans l'évaluation des projets publics. Cependant, cela n'est pas systématique. Si le risque d'un projet, supposé convenablement réparti sur l'ensemble des individus, est négligeable par rapport à la richesse par habitant et s'il fluctue indépendamment de cette richesse, il n'y a pas lieu de prendre de prime de risque : celle-ci est nulle (au premier ordre d'approximation) et un raisonnement en moyenne suffit. Dans ce cas, l'espérance mathématique des bénéfices du projet synthétise correctement l'ensemble des résultats possibles, car elle les pondère par leur probabilité de réalisation (l'espérance pondère tous les gains et tous les coûts avec leur probabilité, ce qui intègre l'idée qu'on se fait de l'occurrence de l'ensemble des aléas).

La raison profonde de cette conclusion est la suivante : ajouter à la marge un petit risque indépendant du risque agrégé n'accroît ce risque agrégé qu'au second ordre¹. L'aversion collective pour le risque n'a alors pas d'impact (au premier ordre) sur la valeur du projet considéré, et on peut faire comme si la collectivité était neutre face au risque dans ce cas². Cela signifie qu'au niveau individuel les agents sont indifférents au risque envisagé tant que celui-ci reste marginal et parfaitement indépendant de leurs revenus. Ils n'ont donc pas de précaution particulière à prendre vis-à-vis de ce risque, dont les conséquences potentielles, parfaitement mutualisées par la collectivité, n'affecteront leur niveau de richesse qu'à la marge et de manière parfaitement aléatoire autour de l'espérance mathématique.

Pour résumer, si le risque du projet est marginal, bien disséminé et indépendant du risque macroéconomique, l'utilisation du critère de VAN espérée (VANE)

[1] En effet, si l'on considère deux variables C et X indépendantes, alors la variance de $Y = C + kX$ est égale à la somme de la variance de C et de k^2 fois la variance de X . Si k est petit, la variance de Y n'augmente que comme k^2 , alors que l'espérance de Y augmente comme k .

[2] C'est en substance le sens du théorème d'Arrow-Lind sur lequel on reviendra plus loin [voir encadré].

positive, calculée sur l'ensemble des flux socioéconomiques associés au projet, suffit pour tenir compte du risque.

2.2. La prime de risque (équivalent-certain des coûts et des bénéfiques)

Certains risques sont à la fois de petite taille, correctement diversifiés dans la société et non corrélés à la richesse collective, de sorte que leur variabilité n'a pas d'impact sur le bien-être des citoyens pris collectivement. Seul le bénéfice ou coût moyen compte dans ce cas, et l'aversion collective pour le risque n'a qu'un effet négligeable. Alors, la méthode de calcul précédente s'applique : il est raisonnable de faire les évaluations économiques en espérance, c'est-à-dire au premier ordre de développement de la fonction d'utilité.

La collectivité est malheureusement confrontée à d'autres risques qui ont eu un impact sur le bien-être de la population, soit parce qu'ils sont de grande taille (risques non marginaux), soit parce qu'ils sont de petite taille mais ne sont pas disséminés efficacement dans l'économie (risques non marginaux à l'échelle des agents qui les portent), soit parce que les bénéfiques attendus sont corrélés à la croissance économique. Dans tous ces cas, qui couvrent une large majorité des projets auxquels sera confronté l'évaluateur, le calcul précédent n'est pas suffisant. La règle à suivre pour obtenir l'optimum social impose alors que, toutes choses égales par ailleurs, les projets augmentant le plus le risque porté *in fine* par les citoyens (consommateurs, usagers, contribuables, prestataires, etc.) soient les plus pénalisés dans l'évaluation.

Cela conduit à considérer une prime de risque qui est associée aux différentes catégories de risques selon leurs critères (taille, degré de diversification au sein de la collectivité, corrélation avec les autres risques des bénéficiaires, etc.). Si le projet n'est pas marginal, si le risque n'est pas disséminé sur l'ensemble du bien-être de la collectivité, ou s'il n'est pas indépendant des autres risques portés par les agents économiques, il faut défalquer une prime de risque de l'espérance de chaque flux (coûts, bénéfiques). Les points qui suivent développent le cadre théorique et les outils permettant de calculer pratiquement cette prime de risque.

Forme de la prime de risque dans le cas le plus simple

Si l'on considère un projet marginal par rapport au PIB par habitant et qui présente des bénéfiques corrélés à la croissance économique, il n'y a pas indépendance entre les résultats de ce projet et le niveau de richesse futur

de la collectivité. Dans ce cas, le risque du projet a un effet de premier ordre sur les risques agrégés dans l'économie et il convient alors d'intégrer dans l'évaluation une prime de risque.

Face à deux projets visant le même objectif et présentant le même niveau de risque spécifique, la collectivité ne sera pas indifférente si l'un des deux accentue les effets de la conjoncture (en cas de corrélation positive des bénéfices du projet avec le PIB/hbt) alors que l'autre les réduit (en cas de corrélation négative). Un projet susceptible de générer des bénéfices dans les scénarios où la croissance économique est faible (projet contracyclique) est préférable à un projet équivalent qui générerait les mêmes bénéfices uniquement dans les scénarios de croissance élevée et s'avérerait non profitable en cas de crise économique. Le premier joue en quelque sorte un rôle d'assurance contre la baisse de richesse collective alors que le second accompagne, voire amplifie, la tendance générale de l'économie.

L'existence d'une corrélation entre les bénéfices attendus d'un projet et le niveau de richesse de la collectivité justifie que l'espérance mathématique des bénéfices soit corrigée d'une prime de risque qui favorisera les projets à caractère assurantiel et pénalisera ceux présentant un risque systématique. En notant C_t le niveau de richesse de référence dans la fonction d'utilité collective, soit la consommation finale des ménages par habitant à l'année t , et X_t le bénéfice par habitant attendu du projet pour cette même année, l'équivalent-certain du bénéfice généré par le projet à l'année t s'écrit donc ainsi¹ :

$$E(X_t) - \frac{\gamma}{E(C_t)} \text{cov}(X_t, C_t) \quad (1)$$

Cette formule retrace au calcul classique de l'espérance des gains attendus du projet $E(X_t)$ une expression qui intègre trois autres éléments : $E(C_t)$ la richesse attendue pour la collectivité (exprimée par la consommation attendue), la covariance $\text{cov}(X_t, C_t)$ qui mesure la relation entre les bénéfices attendus du projet et la richesse globale de la collectivité et γ un coefficient (positif) qui traduit l'aversion relative pour le risque de la collectivité. Il est immédiat qu'en l'absence de corrélation entre le bénéfice X_t et le niveau de richesse C_t , la covariance est nulle et l'on retrouve bien le théorème d'Arrow-Lind (*voir encadré*) : la prime de risque à prendre en compte au premier ordre est nulle, on est ramené au cas de la VAN espérée. En revanche, s'il existe une corrélation positive, c'est-à-dire si les bénéfices du projet varient dans le même sens que

[1] Voir Gollier C. [2007], « Comment intégrer le risque dans le calcul économique ? », *Revue d'économie politique*, vol. 117, n° 2, p. 209-223.

le niveau de richesse, alors le second terme de la formule est la prime de risque qui minore l'espérance des bénéfices du projet¹. Si la corrélation est négative, c'est-à-dire si le projet joue un rôle d'assurance contre une éventuelle chute du PIB, la prime de risque joue dans l'autre sens et renchérit la valeur des bénéfices du projet.



L'équivalent-certain et le théorème d'Arrow-Lind

Considérons un individu qui dispose d'un revenu C , qui est potentiellement incertain. Il étudie la possibilité d'obtenir un revenu complémentaire X , lui-même incertain. Quelle valeur sociale faut-il associer à cette opportunité ? La réponse à cette question est rendue difficile par le fait de l'incertitude sur X . Le modèle de référence de décision et de valorisation en incertitude est le modèle d'espérance d'utilité. On suppose que l'agent évalue son bien-être grâce à une fonction d'utilité u croissante et concave, qui lie son niveau de consommation finale à son niveau de satisfaction. La croissance de u signifie qu'une augmentation de consommation accroît le bien-être. La concavité de u signifie que cette croissance du bien-être est d'autant plus faible que le niveau de consommation est élevé [effet de satiété]. Suivant Bernoulli [1738] et von Neumann et Morgenstern [1947], on suppose que l'individu évalue son bien-être *ex-ante*, c'est-à-dire avant la résolution des incertitudes, en calculant l'espérance de son utilité future, notée $E(u(C + X))$, où E désigne l'opérateur d'espérance basé sur la distribution de probabilité conjointe de $[C, X]$.

À partir de ce modèle, on peut estimer la valeur sociale de l'opportunité X de croissance de revenu en se demandant ce que l'individu serait prêt à payer *ex-ante* pour bénéficier de cette opportunité. Cette somme est appelée « équivalent-certain ». Elle constitue le cœur de ce rapport. Évidemment, cet équivalent-certain e s'obtient en résolvant l'équation suivante :

$$E(u(C + e)) = E(u(C + X))$$

Si la collectivité considère une action qui conduit chacun de ses membres i à bénéficier d'une opportunité d'avantage net dont la valeur monétaire est X_i , la valeur sociale de cette action collective est égale à la somme des équivalents-certains individuels. Dans une version statique du problème, l'action est désirable si cette somme est positive. Dans une version dynamique où les coûts et les avantages sont étalés dans le temps, ce résultat est aisément généralisable

[1] L'aversion relative pour le risque γ , qui reflète les préférences de la collectivité face au risque, et l'espérance de la richesse collective $E(C_i)$, viennent relativiser l'ampleur de la prime de risque : si la collectivité est quasi indifférente au risque (γ proche de zéro) et anticipe qu'elle disposera d'un niveau de richesse élevé [$E(C_i)$ grand], la prime de risque attribuée au projet sera relativement faible.

en passant par l'actualisation de la somme des équivalents-certains de chaque période.

De la formule décrivant l'équivalent-certain e , on voit que $e = E(X)$ si la fonction d'utilité est linéaire, ce qui correspond au cas de neutralité face au risque. Dans le modèle d'espérance d'utilité, l'aversion au risque est en fait créée par la concavité de la fonction d'utilité. On désignera $\pi = E(X) - e$ comme la prime de risque liée à l'opportunité X . Une prime de risque positive témoigne de l'aversion pour le risque.

Analysons quelques propriétés de cette prime de risque, en commençant par le cas simple où la situation initiale C est sans risque. Il est alors facile de déduire la formule d'approximation dite d'Arrow-Pratt :

$$\pi \approx 0,5 \frac{\gamma}{C} \sigma_X^2$$

où $\gamma = -C.u''(C)/u'(C)$ est le coefficient d'aversion relatif au risque, et σ_X^2 est la variance de X . Cette formule constitue une bonne approximation si le risque est petit, ou s'il est normalement distribué et que la fonction d'utilité est exponentielle. Il conduit à faire l'observation fondamentale suivante : quand la taille k du risque individuel $X = kY$ tend vers zéro, la prime de risque tend aussi vers zéro, mais comme k^2 . Dans le cas des faibles risques, l'aversion au risque est du second ordre : l'espérance d'avantage net $E(X)$ est prépondérante.

Une application de cette observation est le théorème d'Arrow-Lind (1970). Supposons que la collectivité composée de n individus identiques contemple un projet dont l'avantage net agrégé est Y . Supposons que le risque associé à ce projet soit bien mutualisé dans la communauté, de manière à ce que chacun de ses membres reçoive la même part Y/n de cet avantage net. En utilisant les développements ci-dessus, chaque membre évaluera cette opportunité comme équivalente à une augmentation de son revenu d'un montant approximativement égal à $E(Y)/n - 0,5\gamma\sigma_Y^2/(Cn^2)$. En additionnant ces avantages nets équivalents-certains sur l'ensemble de la communauté, on obtient $E(Y) - 0,5\gamma\sigma_Y^2/(Cn)$, qui tend vers $E(Y)$ quand n tend vers l'infini. Ce résultat se généralise aisément lorsque C est incertain, mais est non corrélé à Y . Pour résumer ce résultat d'Arrow et Lind, quand une communauté est **capable de mutualiser efficacement les risques** liés à un projet, elle doit être neutre face aux **risques de taille réduite par rapport au revenu agrégé**. Elle effectue ses analyses coûts-bénéfices en ne considérant que les bénéfices et les coûts espérés, qu'elle actualise au taux sans risque.

Supposons le cas alternatif où C et X sont positivement corrélés. Dans ce cas, l'opportunité accroît le risque déjà existant pour l'individu, et l'observation d'Arrow et Lind n'est plus adaptée. Si on fait l'hypothèse que X est petit, on peut dériver de la définition de e que

$$e \approx \frac{E(X.u'(C))}{E(u'(C))} \approx E(X) - \frac{\gamma}{E(C)} \text{cov}(X, C)$$

où $\gamma = -E(C).u''(E(C))/u'(E(C))$ et $\text{cov}(X, C)$ est la covariance entre l'avantage net du projet et le revenu de l'agent. On voit que la prime de risque n'est nulle pour un petit risque que si le risque du projet est non corrélé avec le risque systématique représenté par l'incertitude sur C . Si la corrélation est positive, le risque du projet renforce le risque global porté par l'agent et la prime de risque est positive. Si la corrélation est négative, le projet joue un rôle d'amortisseur ou d'assurance du risque systématique C porté par l'agent, et la prime de risque est négative.

Enfin, dans certains cas, le risque du projet n'est ni indépendant du risque systématique ni marginal. Dans ce cas, la seule manière d'estimer la valeur du risque du projet collectif consiste à résoudre pour e la formule générique $E(u(C + e)) = E(u(C + X))$, en se basant sur une estimation de la distribution de probabilité jointe de $[C, X]$ possiblement obtenue par la méthode de Monte-Carlo.

Source : Centre d'analyse stratégique, commission Gollier

Autrement dit, et c'est un principe clé pour prendre en compte le risque dans les évaluations socioéconomiques, la théorie indique que, pour des projets marginaux comportant des risques relativement standard (gaussiens) et bien mutualisés, les risques doivent être analysés différemment selon qu'ils sont diversifiables ou non. Il en ressort deux catégories de risques :

- les risques systématiques, qui sont corrélés au risque pesant sur la croissance économique et sont de fait non diversifiables dans l'économie. Ces risques conduisent à une prime de risque positive et (dans l'approximation au premier ordre) proportionnelle à la covariance entre l'aléa et les fluctuations du PIB/hbt, qui s'écrit avec les notations précédentes :

$$\frac{\gamma}{E(C_i)} \text{cov}(X_i, C_i)$$

Dans la pratique, cette formule ne constitue une bonne approximation de la prime de risque que si les risques sont gaussiens. Si le risque sur X_i

notamment présente une distribution de probabilité à queue épaisse (risque non marginal), cette formule peut conduire à sous-estimer considérablement la prime de risque ;

- les risques non systématiques qui peuvent être efficacement diversifiés, c'est-à-dire complètement assurables ou transférables à des agents enclins à les porter. Ces risques conduisent à une prime de risque positive et (dans l'approximation au second ordre) proportionnelle à la variance de la loi de probabilité du risque (en d'autres termes, au carré de la taille du risque). Lorsque l'aléa est marginal, cette prime est négligeable et sera donc prise nulle.

S'intéresser à la prime de risque n'a de sens que si l'on est déjà capable d'évaluer correctement l'espérance du risque. Si la diversification des risques non systématiques présente un coût, par exemple la prime payée pour un contrat d'assurance couvrant ce risque, le coût associé fait partie intégrante de l'espérance des coûts du projet. Les primes d'assurance demandées par des intermédiaires privés¹ pour la diversification du risque devront ainsi être identifiées, calculées et intégrées dans l'espérance des coûts du projet.

Enfin, il peut arriver qu'un risque marginal non systématique, donc théoriquement diversifiable, soit mal mutualisé par la collectivité. Dans ce cas, une attention particulière doit être accordée aux catégories d'agents économiques qui portent ce risque et qui sont potentiellement vulnérables par manque de mécanisme à même de les couvrir. Il est alors nécessaire de calculer une prime de risque pour chacune d'entre elles (prime approximativement proportionnelle à la taille du risque supporté), et d'agrèger ces primes pour les intégrer dans la VAN comme une composante supplémentaire de coût à actualiser (voir plus loin).

L'appréciation du risque collectif et l'agrégation des préférences individuelles

Tout risque collectif est *in fine* porté par des êtres humains. En conséquence, pour évaluer un risque collectif, il faut être capable de mesurer l'impact de ce risque collectif sur le bien-être de chacun des individus concernés. Cette valorisation du risque individuel dépend, de fait, de nombreuses variables, telles que l'aversion au risque et le niveau de richesse de l'individu², les autres risques qu'il doit supporter, sa capacité à lisser dans le temps les différents

[1] L'État étant son propre assureur, de telles primes n'ont pas lieu d'être pour les projets entièrement financés sur fonds publics.

[2] Si le risque se matérialise, l'importance des conséquences est proportionnelle au niveau de richesse. La valeur attribuée à un risque donné – ou son coût si l'on considère des aléas négatifs – est donc d'autant plus faible que l'agent porteur du risque dispose d'une grande richesse.

coûts associés à ces risques, la distribution de probabilité du risque, etc. De plus, l'impact du risque collectif sur le bien-être collectif dépend de la manière dont ce risque est alloué dans l'économie, selon que le risque est porté préférentiellement par des individus peu vulnérables et très tolérants au risque. Les choses sont donc potentiellement très complexes.

L'analyse est généralement faite au prix d'une simplification, sur laquelle nous reviendrons, qui consiste à supposer que le partage des risques qui se manifeste dans l'économie est efficace¹. On considère dans ce cas, d'une part que les mécanismes de marché organisent de façon décentralisée des transferts de risques mutuellement avantageux de manière à atteindre cette efficacité : marchés financiers, marchés d'assurance, contrats privés contenant des éléments de transfert de risque (contrat de location indexé, contrat de travail protecteur, contrats industriels *cost-plus*...) et, d'autre part, que les États ont construit des mécanismes de mutualisation des risques individuels (assurance chômage, assurance santé, retraite, fiscalité redistributive...) qui tendent à corriger les déficiences observées sur certains marchés de transfert de risque. Les allocations efficaces des risques sont telles que les plus pauvres et les plus vulnérables seront assurés par les plus riches et les plus tolérants au risque.

Sous ces hypothèses, l'agrégation des préférences est simple. On peut gommer, sans perte de généralité, toute hétérogénéité dans les attitudes face au risque et dans l'allocation des risques en considérant que l'économie est composée d'agents identiques qui se partagent équitablement la richesse nationale et l'ensemble des risques agrégés dans l'économie, ainsi que les coûts et les bénéfices du projet envisagé. Autrement dit, l'attitude de la collectivité face au risque est alors équivalente à celle d'un agent représentatif moyen, dont l'aversion au risque dépend de la distribution des aversions au risque dans l'économie et des inégalités de richesse qui traversent la société.

La valeur de l'aversion relative pour le risque de la collectivité a fait l'objet de nombreux travaux empiriques, sans qu'une valeur unique ne fasse réellement consensus. Sur cet aspect, qui mériterait un travail de synthèse et d'approfondissement spécifique, la commission recommande, pour les applications pratiques, de supposer une aversion relative pour le risque égale à 2 (*voir encadré*).

[1] L'économiste entend par là qu'il n'est pas possible de trouver une autre allocation des risques préférée par un agent sans dégrader la préférence d'un autre agent (allocation Pareto optimale).



L'aversion relative pour le risque de la collectivité

De nombreux travaux empiriques ont été menés sur ce point. Parmi les références en la matière, on peut citer la mesure individuelle de l'aversion au risque effectuée par Barsky *et al.* (1997) à partir de la *Health and Retirement Study* de 1992. Cette étude exploite une enquête portant sur 11 707 individus, qui répondent à des questions du type « Êtes-vous prêt à saisir une opportunité qui, avec une probabilité de 50 %, doublera le revenu de votre foyer ou le diminuera de 33 % » ? Elle permet *in fine* de classer les individus en quatre catégories en fonction de leur degré d'aversion au risque, et de mener alors des estimations de moyenne.

Cependant, avant toute interprétation des résultats, il convient de tenir compte de deux facteurs essentiels. D'abord, comme l'attestent toutes les études de ce type, l'hétérogénéité des comportements est très importante : dans l'étude citée, près du quart des personnes présente une aversion au risque relativement faible (inférieure à 2), tandis que les deux tiers de l'échantillon interrogé auraient au contraire une aversion au risque significative (supérieure à 3,76). Or, le décideur public doit tenir compte des préférences du groupe, et donc s'intéresser au « comportement agrégé » correspondant à l'agent représentatif. L'analyse montre que celui-ci est décrit par la tolérance moyenne (soit l'inverse de l'aversion pour le risque), qui vaut 0,25 dans l'étude de Barsky *et al.* et reflète donc une aversion pour le risque de 4.

Par ailleurs, la mesure du risque dépend de la variable considérée, et varie significativement selon que l'on considère un risque portant sur le stock (la richesse) ou le flux (le revenu). L'étude de Barsky *et al.* porte sur un risque de flux, et doit être corrigée en conséquence si l'on souhaite l'utiliser pour des décisions économiques qui engagent la richesse de la collectivité. L'article de Meyer et Meyer (2005) réalise de telles corrections, et montre une relative convergence entre les différents travaux, l'aversion pour le risque (pesant sur la richesse) étant comprise entre 0,8 et 7 selon les études, tandis que celle estimée par Barsky *et al.* se situerait entre 0,8 et 1,6.

Il semble en conséquence naturel de se placer légèrement au-dessus du haut de la fourchette d'estimation de l'étude précédemment citée et ainsi corrigée, et retenir une aversion pour le risque de 2. Ce choix est cohérent avec les calibrations proposées pour le taux d'actualisation par des travaux plus récents comme ceux de Weitzman (2009) et Dasgupta (2008). Pour s'en convaincre, observons qu'un individu confronté à un risque de gagner ou perdre 50 % de sa richesse avec égales probabilités serait prêt à payer jusqu'à 25 % de sa richesse pour éliminer ce risque si son aversion relative est égale à 2. Cette perte équivalent-certain atteindrait 38 % si l'aversion était égale à 4, et 45 % si elle était égale à 8.

Source : Centre d'analyse stratégique, commission Gollier

Les hypothèses fondamentales : marginalité et diversification des risques

Deux hypothèses sont fondamentales dans le raisonnement exposé ici et qui aboutit à la formule (1) : le projet considéré est supposé marginal par rapport à la richesse collective, et tous les risques non corrélés au niveau de richesse sont effectivement diversifiés.

Caractère marginal d'un projet

Le caractère marginal ou non d'un projet s'apprécie par rapport à la consommation de l'agent qui supporte le risque. Un projet d'investissement public vérifie en général l'hypothèse de marginalité dès lors que ses bénéfices sont supportés par l'ensemble de la collectivité, c'est-à-dire lorsque les coûts sont répartis par la fiscalité sur l'ensemble des contribuables, de sorte qu'ils apparaissent négligeables à l'échelon individuel, et lorsque les retombées du projet bénéficient là aussi à un grand nombre d'individus.

Le caractère marginal d'un projet peut apparaître toutefois plus discutable si le projet est porté par une entité de petite taille (par exemple, un complexe de loisirs qui serait construit par une petite commune) ou bien si l'on s'intéresse à un programme d'investissement de très grande ampleur (par exemple, programme électronucléaire des années 1970, programme de 4 500 km de lignes ferroviaires à grande vitesse du Grenelle de l'environnement). Il convient toujours de s'interroger pour déterminer si le projet et ses effets sont bien portés *in fine* par l'individu représentatif moyen et sont bien marginaux à son échelle. En l'occurrence, investir 100 milliards d'euros sur vingt ans dans le réseau ferroviaire reste marginal par rapport au PIB français, estimé à environ 1 600 milliards d'euros par an. Dans la mesure où cette dépense sera financée, indirectement, par les usagers et par les contribuables, elle est sans doute marginale pour le budget de l'utilisateur-contributeur moyen. Toutefois, il n'est pas dit qu'un tel programme d'investissement ne présente pas des effets macroéconomiques non marginaux (sur la compétitivité-prix de l'économie française, par exemple).

À la différence du calcul financier, dans le calcul socioéconomique, il convient bien de comparer la taille du projet et de ses effets annuels, à la taille du PIB national. Si certains risques ne sont pas correctement mutualisés au sein de la collectivité et laissent un poids significatif sur certains agents économiques, le caractère marginal à l'échelle de la collectivité n'est sans doute plus vérifié à l'échelle de ces agents. Le calcul socioéconomique doit en tenir compte en

intégrant une prime de risque spécifique à ces agents « vulnérables », point sur lequel nous reviendrons.

En fait, plus que la taille du projet, ce sont la taille et les caractéristiques des risques qui importent. Si le projet est générateur d'un risque extrême, même de faible probabilité, la formule (1) n'est plus nécessairement valable. En particulier, si la distribution de probabilité du risque présente une queue de distribution plus épaisse à l'infini que celle d'une loi gaussienne, alors un projet dont l'espérance de gain est petite par rapport à la richesse collective n'est pas nécessairement marginal et l'on ne peut pas raisonner sur la base de l'espérance corrigée d'une simple covariance avec le risque macroéconomique¹. Il faut donc se garder de l'hypothèse de risques gaussiens, très souvent faite de manière implicite². Cette approche peut conduire à sous-estimer les probabilités d'événements extrêmes et, par suite, à considérer comme marginaux des risques qui ne le sont pas. Parmi les raisons à l'origine de la crise économique survenue en 2008, l'hypothèse de risques gaussiens sous-jacente à de nombreux modèles mathématiques utilisés en finance apparaît d'ailleurs, pour les spécialistes³, comme responsable de la sous-estimation du risque systématique dans les pratiques des établissements financiers.

La diversification des risques

La diversification des risques est une hypothèse difficile à vérifier en pratique, car elle repose sur le parfait fonctionnement des mécanismes de partage du risque. Théoriquement, un risque (marginal) est diversifiable dès lors qu'il n'est pas corrélé à la croissance économique : c'est un risque non systématique qui peut être éliminé par mutualisation. En effet, l'incertitude pesant sur la croissance économique n'est ni plus ni moins que l'agrégation de l'ensemble des risques individuels supportés par les agents économiques. Dans cette agrégation, un certain nombre de risques individuels se compensent les uns les autres : ce sont les risques diversifiables. Un agent économique porteur d'un tel

[1] D'un point de vue mathématique, cela signifie que d'autres termes du développement limité conduisant à la formule (1) sont au moins aussi grands que la prime de risque en covariance.

[2] La loi de Gauss, ou loi normale, est une distribution de probabilité qui apparaît naturellement dans de nombreux phénomènes. En effet, un résultat standard de la théorie des probabilités, le théorème central limite, affirme que toute somme de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées tend vers une variable aléatoire gaussienne. Par extension, les individus estiment souvent, faute de mieux mais généralement à tort, que la combinaison de multiples facteurs d'incertitude peut être approximée par une loi gaussienne.

[3] Lire par exemple Bouleau N. [2009], *Mathématiques et risques financiers*, Paris, Odile Jacob, ou son article de vulgarisation « Économie des risques : les limites de la mathématisation », *Revue PCM*, n° 10, 2008, p. 19-27.

risque doit théoriquement pouvoir trouver, par l'intermédiaire des mécanismes de marché, un autre agent porteur du risque complémentaire, de sorte qu'une transaction mutuellement avantageuse leur permettrait d'éliminer ce risque. Un autre mécanisme efficace de mutualisation provient de l'utilisation de la loi des Grands Nombres, qui indique qu'en créant de grands pools mutuels de risques indépendants, chaque membre de la mutuelle s'assurera une couverture complète. Ce principe est à la base de l'activité des assureurs : racheter le risque des agents individuels pour, avec la somme des primes d'assurance collectées, l'assumer par mutualisation.

Toutefois, dans la pratique, tous les risques diversifiables ne sont pas diversifiés car il subsiste des imperfections de marché empêchant une parfaite allocation des risques entre les agents au sein de la collectivité. Pour preuve, tous les risques ne sont pas assurables au sens où les acteurs de marché n'offrent pas spontanément de police d'assurance pour couvrir ces risques.

Un risque diversifiable est effectivement diversifié s'il est réellement transféré vers un ou des agents pour lesquels il ne coûte rien. L'exploitation d'établissements pénitentiaires par des entreprises privées s'est par exemple longtemps heurtée au problème de diversification du risque de fréquentation, risque *a priori* non corrélé à la croissance économique mais pourtant difficile à diversifier par le secteur privé. L'émergence des contrats de partenariat, qui permettent la rémunération du partenaire privé non plus en fonction de la fréquentation de l'établissement mais en fonction de sa disponibilité pour l'usage requis, permet désormais de laisser porter le risque de fréquentation par la puissance publique, ce qui est d'autant plus légitime qu'elle en maîtrise tous les paramètres au travers de sa politique judiciaire.

L'ensemble des risques diversifiables peut théoriquement être éliminé grâce à leur mutualisation et doit donc conduire à une démarche spécifique des porteurs de projet pour les diminuer et les mutualiser effectivement (ce qui n'est pas nécessairement sans coût).

Apprécier l'impact différencié des risques sur les différents individus

Dans certains cas, on ne peut pas considérer que le risque est parfaitement mutualisé entre les individus, par exemple parce que le rôle assurantiel de la collectivité ne joue qu'*a posteriori* et ne suffit pas à prévenir les conséquences du risque. En dépit des mécanismes existants de prévention, de secours et de réparation, le risque de catastrophe naturelle reste ainsi partiellement supporté par les individus. Dans un autre domaine, les propriétaires et employés de

certaines petites entreprises sont obligés de conserver à leur charge l'entière responsabilité du risque d'entreprendre. Par ailleurs, certaines politiques publiques peuvent avoir un impact considérable sur la valeur du capital humain de certaines professions, alors que le risque sur le capital humain est inassurable. De même, les risques sur les valeurs immobilières restent en général très largement à la charge des propriétaires individuels¹.

Dans de tels cas, la redistribution du risque sur l'ensemble de la collectivité demeure imparfaite et les conséquences du risque, si modestes soient-elles par rapport à la richesse nationale, peuvent s'avérer dramatiques pour les individus concernés. L'évaluation des mesures de prévention et de protection contre ces risques doit alors tenir compte d'une prime de risque reflétant l'aversion au risque des individus vulnérables. Notons que la valorisation de tels risques, qui doit être effectuée au cas par cas, reste de moindre ampleur que celle des risques corrélés à la croissance économique.

La commission propose de tenir compte de cet aspect éventuel d'un projet en ajoutant au numérateur la somme des primes de risque correspondant aux risques effectivement portés par certaines parties prenantes particulièrement affectées par les incertitudes du projet considéré. On suppose en première approximation que le risque du projet porté par chaque classe d'individus exposés est indépendant des autres risques portés par ces individus. Ces risques, souvent non marginaux pour ceux qui les portent, conduisent à une prime de risque spécifique fonction de leur variance propre, qui, avec les notations précédentes, s'écrit :

$$\sum_{i=1}^N n_i \frac{\gamma \text{var}(X_{it})}{2.E(C_{it})} \quad (2)$$

où

- N est le nombre de classes d'individus porteurs d'une partie non mutualisable du risque global ;
- n_i est le nombre d'individus dans la classe i ;
- $E(C_{it})$ est le niveau de consommation moyen dans la classe i à la date t ;
- $\text{var}(X_{it})$ est la variance des bénéfices du projet spécifiquement obtenus par chaque individu de la classe i ;

[1] Sur l'inefficacité du partage de certains risques dans la société, voir les très intéressantes propositions de Robert Shiller : Shiller R. J. [2003], *The New Financial Order: Risk in the 21st Century*, Princeton University Press.

- γ est l'aversion relative pour le risque de la collectivité (par simplification, on n'envisage pas ici de différencier l'aversion pour le risque entre les classes d'individus : tous sont supposés avoir la même forme de fonction d'utilité que l'individu représentatif moyen, seul le niveau de richesse diffère).

Dans la pratique, le risque peut être de nature différente pour tel ou tel aspect du projet (dissémination du risque, corrélation au PIB/hbt, etc.), de sorte que chaque risque justifie une approche différente dans le calcul de la prime de risque. Il peut être pédagogique, notamment en vue des concertations publiques, de décomposer l'analyse en calculant la VAN ajustée pour le risque de chaque composante du risque (par exemple, dans un projet de transport : VAN des coûts, VAN des gains de temps, VAN des gains de sécurité, VAN des effets environnementaux, etc.), et d'obtenir la VAN du projet par addition. Dans ce cas, la VAN ajustée pour le risque de chaque composante peut être évaluée avec la méthode jugée la plus adéquate. L'évaluateur doit cependant veiller tout particulièrement à éviter les doubles comptes dans les primes de risque, donc à mettre en évidence la présence d'éventuelles corrélations entre les différents risques.

La propriété d'additivité de la VAN permet une grande richesse dans la démarche d'analyse des risques d'un projet, en décomposant le calcul des primes de risque soit par composante des bénéficiaires du projet, soit par catégorie d'acteurs concernés. Il faut distinguer :

- la désagrégation en bilans pour les M composantes du projet (VAN des coûts, VAN des gains de temps, VAN des gains de sécurité, etc.), tout en s'assurant que la somme redonne bien le bilan coûts-avantages collectif ;
- la désagrégation en bilans pour les N agents présents dans l'économie (VAN de la personne publique, VAN des opérateurs, VAN des usagers, etc.), tout en s'assurant là aussi que la somme redonne bien le bilan coûts-avantages collectif.

Ces deux approches ne sont pas nécessairement exclusives l'une de l'autre et peuvent elles-mêmes être combinées dans le calcul grâce à la propriété d'additivité de la VAN. L'important est de bien distinguer la prise en compte d'une éventuelle imperfection des marchés de couverture des risques (qui justifie l'incorporation d'une prime de risque additionnelle selon la formule (2)) et la mise en évidence des effets redistributifs d'un projet entre les agents économiques (qui justifie une analyse acteur par acteur pour identifier les gagnants et les perdants).

Dans l'objectif de prendre en compte les catégories d'agents que l'on estime exclues du marché de l'assurance, il est approprié d'en faire une catégorie « à part » et d'en calculer le bilan coûts-avantages. Cela pose la question des critères (vulnérabilité environnementale et sanitaire, revenu, localisation géographique, etc.) pour déterminer cette catégorie présumée vulnérable, critères d'autant plus difficiles à identifier qu'ils peuvent différer des raisons à l'origine de l'insuffisante couverture de ces agents face aux risques du projet.

2.3. La majoration du taux d'actualisation

Principe de la méthode

Conformément au cadre posé par le rapport Lebègue (chapitre 1), les primes de risque permettent d'objectiver chaque risque associé à chaque flux économique anticipé au numérateur du calcul de VAN. Le taux d'actualisation public, utilisé pour sommer les flux intervenant à différentes dates en tenant compte de la préférence de la collectivité pour le présent, est lui un taux sans risque, c'est-à-dire n'incluant aucune dimension des risques spécifiques à la chose évaluée¹. La question du risque est donc clairement séparée de celle du taux d'actualisation.

La pratique de l'évaluation financière des investissements, en particulier dans le secteur privé, a souvent pris un autre chemin que celui présenté ci-dessus. En effet, les investisseurs ont l'habitude de raisonner sur la base du coût moyen pondéré du capital (CMPC ou WACC), qui est le taux de rentabilité minimal exigé par les financeurs, en demandant une rentabilité moyenne plus élevée pour les investissements plus risqués. Cela revient de fait à calculer la VAN des flux espérés (de *cash flows*, de dividendes...) à un taux d'actualisation corrigé pour le risque. Il faut bien comprendre que, d'un strict point de vue mathématique, cette deuxième technique est rigoureusement équivalente à celle décrite plus haut : il est toujours possible de remplacer une soustraction (*Espérance – Gamma x Covariance*) par une division (*Espérance/Z*), à condition que le facteur de division soit convenablement choisi pour respecter l'égalité des deux expressions.

[1] Comme l'explique le rapport Lebègue, le taux d'actualisation public est fondé sur les anticipations de croissance de l'économie et prend en compte l'incertitude sur cette croissance [risque macroéconomique], ce qui se manifeste notamment par la décroissance du taux à long terme. À très long terme, le taux s'aligne sur la perspective de croissance la plus faible : plus l'horizon temporel est éloigné, plus l'effet précaution l'emporte. La probabilité d'un choc catastrophique [crise mondiale réduisant le PIB de x %, avec x grand] conduit même à faire décroître ce taux d'autant plus vite que la probabilité est élevée [cf. Weitzman, 2007].

Pour des raisons pratiques, il est parfois plus facile de prendre en compte les risques systématiques (non diversifiables) d'un projet au travers d'une modulation adéquate du taux d'actualisation. Cette pratique, très largement répandue dans la sphère privée, a toutefois une limite car elle tend à réduire l'information utile pour la décision en ne présentant pas une analyse désagrégée, risque par risque, des incertitudes pesant sur un projet. Au moment de la décision, les entreprises privées complètent donc souvent cette approche par une appréciation des risques particuliers, laquelle peut conduire à s'écarter des conclusions auxquelles conduirait ce calcul.

Pour expliciter les choses, il s'agit de remplacer le calcul de la VAN d'un projet à partir de l'actualisation au taux sans risque du flux d'espérance des bénéfices corrigée pour le risque, par un calcul en espérance seule (sans prime de risque au numérateur) mais avec un taux corrigé pour le risque. Si l'on note *alpha* le taux d'actualisation sans risque et *alpha'* le taux d'actualisation corrigé pour le risque, il s'agit de remplacer la formule :

$$e^{-\alpha t} \left(E(X_t) - \frac{\gamma}{E(C_t)} \text{cov}(X_t, C_t) \right)$$

par la formule équivalente $e^{-\alpha' t} E(X_t)$.

Classiquement, le taux d'actualisation corrigé pour le risque *alpha'* s'écrit :

$$\alpha + \beta \times \phi \tag{3}$$

où $\phi = \gamma \sigma^2$ désigne la prime de risque macroéconomique¹, intégrant à la fois la volatilité globale de l'économie (σ^2) et l'aversion relative de la collectivité pour le risque (γ), et où le coefficient β , que nous appellerons *bêta* socioéconomique, mesure la relation statistique de corrélation existant entre les risques du projet et le risque macroéconomique. Le *bêta* de même que la variance σ^2 dépendent du temps².

Techniquement, le *bêta* d'un projet d'investissement mesure la sensibilité des bénéfices socioéconomiques espérés aux variations du PIB/hbt. Par exemple,

[1] Dans la formule classique utilisée par les entreprises, la prime de risque macroéconomique est remplacée par la prime de risque de marché, donnée plus représentative du niveau de richesse globale du secteur privé. La différence entre les deux approches est explicitée plus loin.

[2] En effet, la méthode résumée par la formule [1], appliquée à chaque date t , n'est équivalente à une modification unique du taux d'actualisation que si la prime de risque croît exponentiellement avec le temps, ce qui constitue une hypothèse très restrictive. Formellement, le coefficient *bêta* s'obtient comme $\beta = \text{cov}(\ln(X_t), \ln(C_t)) / \text{var}(\ln(C_t))$ qui, sous l'hypothèse que les variables X_t et C_t sont des mouvements browniens géométriques, présente la particularité de ne plus dépendre du temps. La variance de la richesse collective est, elle, donnée par $\sigma^2 = \text{var}(\ln(C_t)) / t$.

un projet qui a un *bêta* nul est un projet dont les bénéfices sont indépendants de l'activité économique générale. Un projet qui a un *bêta* unitaire est un projet dont les bénéfices socioéconomiques croissent en moyenne de 1 % quand le PIB/hbt croît de 1 %.

En dépit de son apparente similitude avec la formule (1), la formule (3) du taux d'actualisation corrigée pour le risque ne résulte pas d'un simple basculement de la covariance au dénominateur. Elle repose sur des hypothèses plus restrictives qui conduisent à considérer que les risques existants, tant sur les bénéfices du projet que sur la consommation agrégée, sont limités à des risques gaussiens affectant leurs taux de croissance instantanés uniquement, tout en maintenant constante leur corrélation dans le temps. Sans ces hypothèses supplémentaires, cette approche basée sur la formule (3) devient très approximative. L'emploi dans le calcul de VAN d'un unique taux d'actualisation corrigé pour le risque suppose implicitement que le risque sur le taux de croissance des flux du projet est inchangé sur toute la période d'évaluation. On perd alors la possibilité de distinguer les risques différents qui surviennent à différentes époques de la vie du projet, par exemple entre la phase de construction et la phase d'exploitation.

Au plan pratique, cette substitution des approches est réductrice car il faut supposer que la prime de risque du projet augmente dans le temps au rythme du nouveau taux d'actualisation corrigé pour le risque. Il y a donc lieu de s'assurer explicitement de cette hypothèse. En particulier, celle-ci signifie que les projets ayant le même *bêta* voient leur prime de risque augmenter au même taux d'actualisation et qu'ils auraient ainsi de très fortes similarités. Or, la méthode du *bêta* socioéconomique gomme les différences possibles entre projets et ne permet pas la prise en compte du risque d'une manière véritablement spécifique à chaque projet.

Corriger le taux d'actualisation pour prendre en compte le risque non diversifiable permet de raisonner en espérance sur les flux économiques du projet évalué¹. Le taux obtenu agrège l'espérance de croissance de la richesse et le risque du projet. Dans cette méthode, que l'on appellera méthode du *bêta* socioéconomique par analogie avec la pratique du secteur privé, la prime de risque systématique est le supplément (par rapport au taux sans risque) de rentabilité demandée par les individus pour accepter de supporter le risque non diversifiable dans l'économie. Si on considère un projet d'investissement marginal qui offre un profil de risque parfaitement parallèle au risque sur la

[1] Sous l'hypothèse que tous les risques diversifiables sont bien diversifiés. Sinon, il convient de raisonner avec une formule de type espérance – variance au numérateur pour les risques imparfaitement diversifiés.

consommation agrégée (*bêta* unitaire), c'est aussi l'accroissement du taux d'actualisation à utiliser pour tester la positivité de la VAN du flux de bénéfices nets espérés. Si le *bêta* est différent de 1, la prime de risque est modifiée au *prorata*, de même que le taux de rentabilité exigé (tenant compte du risque).

Il faut souligner que l'utilisation du *bêta* n'est en aucun cas une utilisation automatique d'une formule qui dédouanerait d'une réflexion approfondie sur l'ensemble des risques associés à la décision. Ce calcul n'a donc de sens que si, par ailleurs, un travail d'identification systématique de tous les risques (diversifiables ou non) a été entrepris.

Analogies et différences avec l'approche financière

L'évaluation quantitative du risque par les entreprises et le secteur financier repose pour une large part sur un modèle développé dans les années 1960, baptisé Modèle d'évaluation des actifs financiers (MEDAF, ou CAPM en anglais pour *Capital asset pricing model*)¹. La méthode du *bêta* telle qu'elle est pratiquée par la sphère privée est directement associée à ce modèle. Un détour par cette approche, désormais standard et balisée, semble utile pour montrer comment elle se compare au calcul socioéconomique. L'objectif n'est pas de « financiariser » le calcul économique public mais plutôt de démythifier certains concepts du monde financier dont l'application est finalement plus large.



Le Modèle d'évaluation des actifs financiers (MEDAF)

Le Modèle d'évaluation des actifs financiers établit comment le risque d'un actif² affecte sa rentabilité escomptée. Il est bâti sur le principe que les marchés de capitaux sont suffisamment parfaits pour que les risques idiosyncratiques (spécifiques à l'actif) soient totalement diversifiés dans les portefeuilles des investisseurs. Autrement dit, tous les risques n'ont pas la même influence sur le prix des actifs : seuls les risques corrélés au marché influent sur les prix. Les risques non corrélés peuvent être diversifiés au sein d'un portefeuille d'actifs suffisamment différents, de sorte qu'ils n'ont en pratique pas d'impact sur le risque de ces portefeuilles et donc sur le prix de ces actifs. Le MEDAF écrit cela ainsi, pour un actif X dont l'espérance de taux de rentabilité est $E(r_X)$:

$$E(r_X) = r_f + \beta(E(r_M) - r_f)$$

[1] Voir par exemple Pérold A. [2004], « The capital asset pricing model », *Journal of Economic Perspectives*, 18(3), p. 3-24.

[2] Le monde financier utilise le terme « actif » plutôt que « projet » ou « investissement », qui ne sont en fait que des actifs parmi d'autres (valeurs mobilières, titres de créance, monnaie, etc.).

où r_f est le taux sans risque, $E(r_M)$ l'espérance de rentabilité du marché et $(E(r_M) - r_f)$ la prime de risque du marché, et $\beta = \text{cov}(r_X, r_f) / \text{var}(r_M)$ est le coefficient *bêta* mesurant le degré de sensibilité entre le risque de l'actif et le risque de marché. Cette formule dit simplement que le rendement d'un actif risqué est égal au rendement de l'actif sans risque augmenté d'une prime de risque et que cette prime est proportionnelle à la prime de risque moyenne du marché. Si l'on inverse la présentation, le rendement équivalent-certain d'un actif risqué, c'est-à-dire le rendement que l'on attendrait s'il s'agissait d'un actif sans aucun risque, est égal au rendement espéré de l'actif, minoré de la prime de risque traduisant sa corrélation avec le marché.

Le MEDAF est largement utilisé, tant pour évaluer le taux de rémunération des capitaux investis dans un projet ou dans une entreprise que pour déterminer le coût moyen pondéré du capital d'un projet ou d'une entreprise, car il fournit une indication précieuse sur la manière dont le projet ou l'entreprise se comporte dans la conjoncture économique. Toutefois, il est d'application délicate car il suppose un marché parfaitement efficace dans le partage des risques, avec une diversification parfaite. C'est cette hypothèse de diversification parfaite qui conduit à ne retenir que le *bêta* pour mesurer le risque.

La simplicité du MEDAF a fait son succès mais sa validité est souvent mise en cause par les données empiriques, de sorte que des modèles plus raffinés (CCAPM, ICAPM, Three-factor Model, APT, etc.) ont été développés avec plus ou moins de succès. À l'instar du MEDAF, ces modèles visent toujours à expliquer le risque spécifique d'un actif en le projetant sur une ou plusieurs dimensions du risque global du marché. Ces variations autour du MEDAF partagent toutefois des fondements communs qui les exposent à cinq grandes critiques évoquées hors encadré, ci-après.

Source : Centre d'analyse stratégique, commission Gollier

L'analogie entre la méthode du *bêta* socioéconomique exposée précédemment et le MEDAF est immédiate : le taux utilisé pour évaluer la rentabilité socioéconomique d'un l'investissement est égal au taux sans risque plus *bêta* fois la prime de risque globale. Néanmoins, si dans le MEDAF le taux sans risque, la prime globale et le *bêta* sont tirés de l'observation des marchés financiers (censés se comporter à l'avenir comme par le passé), les éléments correspondants dans le calcul socioéconomique sont définis à partir des données macroéconomiques sur la richesse collective, intégrant toutes sortes d'externalités qui ne sont pas toujours prises en compte par les entreprises.

Ce point de divergence – la sphère financière n'est-elle qu'un sous-produit de l'économie « réelle » ou bien reflète-t-elle avec un bon niveau de confiance les anticipations de l'ensemble des agents économiques ? – est à l'origine du problème dit de l'*equity premium puzzle*, que l'on évoquera plus loin.

Les critiques rencontrées par le MEDAF sont nombreuses et tournent toujours autour de cinq thèmes :

- le risque pris par les investisseurs est supposé marginal, tant pour eux-mêmes qu'à l'échelle du marché. En particulier, un investisseur ne valorise le risque que sous son aspect moyenne-variance (portefeuille de Markowitz), ce qui revient à dire qu'il ignore tous les risques extrêmes et donc non marginaux (prendre en compte ces phénomènes oblige à revenir sur la forme des distributions de probabilités associées au risque considéré et notamment sur les queues de distribution qui dans ce cas sont dites épaisses) ;
- le marché est supposé efficace (afin d'assurer la diversification des risques). Tous les actifs, y compris les actifs sans risque, peuvent être achetés ou vendus librement, sans limite de quantité et sans coûts de transaction (commissions, taxes, etc.), par tous les investisseurs sur le marché. Cette hypothèse d'efficacité parfaite du marché conduit à supposer que le système de prix reflète exactement les risques sous-jacents à chaque actif, ce qui est loin d'être le cas dans la réalité. De plus, le calcul public prend en compte des effets socioéconomiques hors marché (externalités) qui sont par définition en dehors du marché ;
- les investisseurs évaluent les risques de la même façon, à savoir qu'ils partagent tous les mêmes informations qu'ils interprètent de la même façon et, conséquence des autres hypothèses, à l'équilibre du marché ils détiennent tous les mêmes actifs risqués en portefeuille (seule la part de l'actif sans risque change selon le degré d'aversion au risque) ;
- l'évaluation quantitative des paramètres du MEDAF, taux sans risque, *bêta* et prime de marché, repose sur des données historiques qui ne reflètent pas nécessairement les risques futurs en cas de changement structurel de l'économie. L'existence des produits dérivés et autres formes d'assurance contre les risques à venir pallie partiellement cette insuffisance dans la mesure où ils fournissent une anticipation de la valeur des risques futurs. Toutefois, ces marchés demeurent insuffisamment complets dans certains secteurs ;

- enfin, la méthode du MEDAF ignore la possibilité de risque de liquidité, c'est-à-dire d'une « rupture dans le fonctionnement des services financiers causée par la dégradation de tout ou partie du système financier et ayant un impact négatif généralisé sur l'économie réelle »¹.

L'approche du MEDAF relève avant tout de l'équilibre sur un marché de court terme, reflétant des arbitrages entre actifs. Elle n'est pas directement liée à une problématique d'investissement de long terme. Le MEDAF porte en effet sur des échanges pendant une période donnée, pour des actifs dont les risques sont datés, et c'est pour cette période et compte tenu de ces risques que l'arbitrage se fait. Même si les actifs financiers eux-mêmes sont attachés à des actifs physiques de longue durée de vie, l'hypothèse sous-jacente est que les investissements financiers sont en permanence réversibles (dans un univers à deux périodes, si le risque de l'actif X est modifié par rapport à l'actif Y en période 2, l'arbitrage entre les deux actifs s'en trouve modifié par rapport à ce qu'il était en période 1). Le fait que les calculs du MEDAF utilisent des données de marché de longue période est essentiellement dû au besoin de représentativité statistique des données pour mesurer les variances et covariances.

Domaine d'application au calcul socioéconomique

Les critiques adressées au MEDAF, qu'il faut plutôt considérer comme des limites d'application, sont transposables à la méthode du *bêta* socioéconomique :

- la méthode du *bêta* socioéconomique ne s'applique qu'aux projets marginaux. Elle n'est pas valable pour les projets présentant des risques exceptionnels, et d'autant moins s'il n'existe pas de valorisation de ces risques extrêmes par le système des prix ;
- la méthode du *bêta* socioéconomique suppose une diversification parfaite des risques non systématiques. En particulier, l'économie de marché et les institutions publiques redistribuant les risques sont supposées suffisamment efficaces pour réaliser naturellement l'allocation optimale des risques. À défaut, les risques diversifiables mais non diversifiés ne se reflètent pas dans le coefficient *bêta* et doivent être pris en compte autrement dans l'évaluation des projets ;
- la méthode du *bêta* socioéconomique repose sur l'hypothèse théorique d'un individu représentatif moyen ayant le même comportement que

[1] Lepetit J.-F. (2010), *Rapport sur le risque systémique*, ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi, Paris, La Documentation française, avril.

la collectivité vis-à-vis du risque. Le résultat du MEDAF selon lequel tous les investisseurs détiennent les mêmes actifs en portefeuille est, paradoxalement, peut-être plus vrai dans l'économie « réelle » si l'on en juge par la relative standardisation du panier de consommation des ménages et par l'égalité républicaine devant l'accès aux services et biens publics ;

- la mise en œuvre de la méthode du *bêta* à partir d'observations statistiques doit vérifier au préalable que les données passées sont effectivement transposables aux risques futurs. Sur cet aspect, la question de l'horizon de temps des risques envisagés est cruciale. En effet, les projets publics comportent souvent des risques de long terme (20, 30, 50 ans) qui s'étendent bien au-delà des risques anticipés généralement par le système des prix. Une analyse des retours d'expérience sur des projets similaires est dans ce cas préférable à une valorisation par la méthode du *bêta* ;
- enfin, comme le MEDAF, la méthode du *bêta* socioéconomique ignore *a priori* le risque catastrophique sur la croissance économique, dans la mesure où un effondrement du système n'est pas anticipé, puisqu'on suppose une distribution gaussienne du taux de croissance de l'économie et des flux du projet.

La méthode du *bêta* exposée ici, qui conduit à un *bêta* socioéconomique, et le MEDAF, qui conduit à un *bêta* financier, présentent de nombreuses analogies mais résultent bien de points de vue différents. Dans un cas, le point de vue est celui de l'individu moyen représentatif de la collectivité, dans l'autre, celui d'un investisseur financier quelconque. Il ne s'agit donc clairement pas du même *bêta* et le calcul du *bêta* socioéconomique à partir des observations de marché apparaît moins légitime. Il est préférable de l'estimer directement à partir de la covariance entre les flux économiques du projet envisagé et la croissance économique, auquel cas on peut tout aussi bien intégrer le risque au numérateur dans le calcul de VAN puisqu'il s'agit du même calcul.

Dans le MEDAF, le *bêta* utilisé est généralement le *bêta* de l'entreprise porteuse du risque, c'est-à-dire le coefficient de sensibilité entre la valeur de l'entreprise sur le marché et le risque de marché. Ce *bêta* mesure le risque pesant sur les capitaux de l'entreprise, et non sur le projet lui-même. Le *bêta* du projet est en réalité obtenu indirectement en corrigeant le *bêta* d'entreprise pour tenir compte de la structure dette/capital utilisée pour financer le projet et de la fiscalité applicable aux bénéfices (*bêta* « dé-leveragé »). Il n'en demeure pas moins que le *bêta* ainsi calculé pour un actif économique reflète exclusivement

les risques financiers de l'actif et n'est pas le *bêta* socioéconomique auquel doit s'intéresser le planificateur public soucieux de maximiser le bien-être collectif.

Premièrement, un certain nombre de risques financiers ne sont pas en eux-mêmes des risques pour la collectivité car ils résultent d'un simple transfert entre deux agents : le risque de l'un est l'opposé du risque de l'autre, ce qui est *a priori* neutre du point de vue collectif.

Deuxièmement, les risques financiers incluent des coûts d'agence, par exemple le risque de faillite de l'entreprise porteuse du projet, qui est un risque majeur pour l'investisseur, alors que, du point de vue socioéconomique, la pérennité de l'État rend pratiquement impossible la disparition de la collectivité¹. L'État, financeur des politiques publiques, n'est toutefois pas indifférent aux risques financiers et doit y prêter une attention d'autant plus grande que ses finances sont aujourd'hui à la limite de la soutenabilité. Si le coût d'un projet dérape, l'impact viendra inéluctablement grever le déficit public, la dette publique et, à court ou moyen terme, le poids de la fiscalité sur l'économie. De ce point de vue, prendre en compte le coût d'opportunité des fonds publics dans le calcul socioéconomique est une manière de différencier le risque de financement des projets selon qu'il est porté par le secteur privé (pas de coût d'opportunité) ou par la puissance publique. Le coût d'opportunité des fonds publics peut être vu, en quelque sorte, comme un moyen de tenir compte du risque d'inefficacité de la dépense publique.

Troisièmement, la collectivité est attentive à de nombreux risques non valorisés ou insuffisamment valorisés par les marchés, tels les risques environnementaux et sociaux, ainsi que les risques de long terme dépassant les horizons anticipés par les marchés. L'existence d'externalités non monétarisées et de risques de long terme biaiserait un calcul du *bêta* socioéconomique qui serait fondé sur des observations de marché. Pour un même projet, la valeur privée et la valeur publique du coefficient *bêta* sont donc *a priori* différentes, sauf s'il existe des mécanismes, telle l'internalisation des coûts externes², permettant de faire converger valeur de marché et valeur socioéconomique. L'existence de tels mécanismes et la possibilité pratique de leur mise en œuvre sans distorsions excessives de l'optimum économique restent des questions encore insuffisamment étudiées.

[1] Ce qui ne signifie pas que l'État, en tant qu'entité budgétaire, est exempt du risque de faillite.

[2] Une taxe sur les consommations de carbone est un exemple d'instrument qui permettrait d'internaliser dans le fonctionnement de l'économie le coût de la pollution au CO₂.

La méthode du *bêta* socioéconomique est sujette à caution dès lors que les projets présentent des risques environnementaux ou sanitaires. En effet, il serait très audacieux de réduire la prise en compte des risques environnementaux ou sanitaires à une simple mesure de leur corrélation avec les fluctuations du PIB/hbt, intégrée dans la majoration du taux d'actualisation. Du point de vue de l'évaluation et du débat public, le choix de la méthode appropriée ne doit pas contribuer à créer le paradoxe selon lequel les risques les plus « sensibles » (environnement, santé) seraient moins bien discriminés que des risques d'ordre plus technique et moins sensibles aux débats publics (élasticité des trafics au PIB, par exemple).

La prime de risque macroéconomique

La méthode du *bêta* socioéconomique, fondée sur l'espérance d'utilité de l'individu représentatif moyen (approche normative), se différencie du Modèle d'évaluation des actifs financiers par le fait qu'elle découle d'un point de vue différent et que la valeur des paramètres, notamment le *bêta*, n'est pas nécessairement observable sur les marchés financiers. Une question largement débattue est de décider si le parallélisme entre les deux approches doit s'arrêter à l'analogie des formules ou bien s'il doit également y avoir concordance des valeurs numériques.

Cette question connue sous le nom de paradoxe de la prime de risque¹, ou *equity premium puzzle* en anglais, résulte de l'observation que le taux sans risque de marché et la prime de marché sont significativement différents des prévisions fournies par l'approche économique normative. Or, si un projet présente exclusivement des flux financiers, on attend que l'évaluation du coût de son risque concorde avec les taux de financement que l'on obtiendra sur les marchés de capitaux et de dette. Deux interrogations surgissent au vu des statistiques disponibles :

- pourquoi le taux observé des actifs sans risque est-il si bas (de l'ordre de 1 % à 2 % en termes réels) en comparaison du taux sans risque découlant de l'approche normative (le rapport Lebègue établit ce taux à 4 %) ?
- pourquoi la prime de risque observée sur le marché est-elle si élevée (de l'ordre de 4 % à 5 % en termes réels) en comparaison de la prime de risque systématique prévue par la théorie (de l'ordre de 0,25 % à 1 %) ?

[1] Voir Mehra R. et Prescott E. C. [2003], « The equity premium puzzle in retrospect », in Constantinides G. M., Harris M. et Stulz R. (ed.), *Handbook of the Economics of Finance*, Amsterdam: North Holland, p. 889-938.

Ce double constat est universellement partagé et de nombreux économistes ont montré qu'il ne peut résulter seulement d'une erreur d'estimation de l'aversion au risque des agents économiques : aucun niveau d'aversion au risque ne peut résoudre simultanément les deux questions. L'*equity premium puzzle* révèle que le modèle standard d'espérance d'utilité est impropre à rendre compte simultanément de toutes les observations de marché car il est trop simple pour intégrer toutes les dimensions de la réalité du monde.

L'objectif depuis vingt ans a été d'enrichir le modèle pour le rendre plus réaliste ou de réviser certaines de ses hypothèses relatives au fonctionnement des marchés financiers et au comportement des investisseurs. Kocherlakota (1996), Mehra et Prescott (2003)¹ exposent différents travaux sur ce sujet et leurs limites à apporter une réponse définitive au problème de l'*equity premium puzzle* : modèle d'espérance d'utilité généralisée, formation d'habitudes, conformisme (utilité relative par rapport aux autres individus), incomplétude des marchés, contraintes de crédit, coûts de transaction, théorie des perspectives (*prospect theory*), aversion au regret, aversion à l'ambiguïté... Depuis peu, une idée semble émerger particulièrement qui repose sur l'hypothèse de « *fat tails* » (risques présentant une queue de distribution épaisse), qui n'est pas loin des notions de « cygnes noirs », d'« événements extrêmes », de « *peso problem* » et autres catastrophes.

Dans leurs décisions face au risque, les agents économiques incorporent la possibilité d'événements extrêmes. La formation de la prime de risque globale reflète donc cette anticipation selon laquelle les risques systématiques sont sans doute plus larges que de simples risques gaussiens non diversifiables par le marché. Cette approche a le mérite d'apporter une explication simple préservant diverses hypothèses utiles par ailleurs en macroéconomie et en économie de la finance tout en offrant une manière très pédagogique d'appréhender le risque systématique. La prime de risque systématique résulte de l'anticipation rationnelle de la possibilité, faible mais réelle, d'une violente crise du système économique (*voir encadré*). Réfléchir au risque d'un projet demande donc de s'interroger sur la manière dont ce projet se comporterait en cas de crise économique.

[1] Kocherlakota N. R. [1996], « The equity premium: It's still a puzzle », *Journal of Economic Literature*, 34(1), p. 42-71 ; Mehra R. et Prescott E. C. [2003], *op. cit.*



La prime de risque systématique anticipe la catastrophe

Le modèle de Riez, suivi plus récemment de celui de Robert Barro (2006)¹, donne un moyen simple de réconcilier l'approche standard et l'observation des évaluations des risques financiers par les agents économiques. Une version simplifiée du modèle combine l'hypothèse classique de log-normalité du taux de croissance de l'économie « en temps normal » avec une probabilité p qu'une catastrophe se produise dans l'année. Cette catastrophe fait chuter la richesse collective de b %. Il en résulte que la prime de risque ϕ doit être corrigée comme suit :

$$\phi = \gamma\sigma^2 + p[(1 - b)^{-\gamma} - (1 - b)^{-\gamma} - b]$$

En l'absence de risque de catastrophe [$p = 0$], on retrouve la formule classique de la prime de risque. Si la catastrophe est suffisamment large, il suffit d'une probabilité d'occurrence très faible pour obtenir une prime de risque du même ordre de grandeur que celle observée sur les marchés.

Considérons la calibration suivante :

- $\sigma = 3,6$ % : volatilité du taux de croissance du PIB/hbt ;
- $\gamma = 2$: aversion relative au risque ;
- $p = 2$ % : probabilité de catastrophe par année ;
- $b = 50$ % : chute du PIB/hbt en cas de catastrophe.

Barro (2006) justifie cet ordre de grandeur pour p et b sur la base de l'observation des catastrophes économiques dans l'ensemble des pays de l'OCDE depuis le début du XX^e siècle². En fait, en agrégeant toutes ces informations, il obtient une probabilité de catastrophe égale à 1,7 % par an (60 catastrophes pour 35 pays sur une période de 100 ans), et une distribution de b dans un intervalle compris entre 15 % et 67 %. La prise en compte de l'aversion au risque justifie de biaiser le choix de b dans la zone supérieure de cet intervalle. Nous pourrions utiliser la fréquence empirique de b pour calibrer le modèle mais cela conduirait à une sophistication sans doute trop importante par rapport à l'objectif d'opérationnalité.

L'application de ces valeurs dans la formule de Barro conduit à :

$$\phi = 3,26 \%$$

[1] Barro R. J. (2006), « Rare disasters and asset markets in the twentieth century », *The Quarterly Journal of Economics*, août, p. 823-866.

[2] L'hypothèse d'une chute du PIB/hbt de 50 % avec une probabilité de 2 % n'est pas démentie par l'histoire économique de la France qui a connu de tels événements lors des deux guerres mondiales du XX^e siècle.

Ce modèle offre une explication crédible du paradoxe de la prime de risque. En effet, même si le calibrage retenu peut être sujet à discussion (représentativité de l'échantillon pour le cas français, indépendance statistique des événements considérés, élimination des effets non systématiques), il fournit l'ordre de grandeur correct pour la prime de risque systématique. Parmi les travaux exposés par Kocherlakota [1996], Mehra et Prescott [2003], d'autres approches cherchant à corriger les insuffisances du modèle standard conduiraient également à une prime de risque du même ordre de grandeur.

Source : Centre d'analyse stratégique, commission Gollier

Les travaux scientifiques autour de la prime de risque s'enrichissent au fil des controverses. Ils montrent, d'une part, la difficulté à articuler de manière convaincante les taux sans risque aux primes de risque observées sur les marchés financiers, et d'autre part, que les primes de risque retenues dans la pratique par les entreprises et les financiers sont très variables ; les références évoquées dans la littérature et par les spécialistes se situent autour de 5 % et 6 %.

Ces travaux apparaissent suffisamment robustes pour recommander déjà la démarche qui consiste à intégrer une prime non nulle lorsqu'il existe un risque systématique non diversifiable.

En revanche, la question du calibrage de cette prime apparaît plus complexe notamment parce que ce calibrage ne peut pas être déterminé sans référence au taux d'actualisation sans risque.

Les premières simulations proposées dans le cadre de la commission sur la base d'un modèle intégrant le risque catastrophique et les points de vue des différents experts sollicités peuvent étayer le choix d'une prime de risque macroéconomique ϕ de l'ordre de 3 % (chiffre construit avec un coefficient d'aversion relative au risque $\gamma = 2$ identique à celui pris en compte dans le calcul du taux d'actualisation). Cet ordre de grandeur apparaît comme étant un bon compromis alors que les développements récents de la littérature et le comportement des agents justifieraient un taux beaucoup plus élevé. Se pose néanmoins, comme indiqué ci-dessus, la question de la cohérence de cette valeur avec celle du taux d'actualisation sans risque : la prise en compte de la possibilité d'un risque macroéconomique catastrophique devrait en effet conduire logiquement à réviser à la baisse le taux sans risque de 4 %.

La commission propose, en attendant le calibrage conjoint de la prime de risque et du taux d'actualisation public, de réaliser, à titre conservatoire, les évaluations des projets en intégrant une prime de risque et en effectuant un test de sensibilité sur une plage de valeurs comprises entre 1 % et 3 %, le taux sans risque de 4 % étant amené à être réduit sans être nul pour des valeurs élevées de celle-ci. Le calcul de ces différentes options évite de revenir à la pratique antérieure qui consistait à ne pas intégrer de prime de risque, c'est-à-dire à prendre une prime de risque égale à zéro. Ces différents calculs mettront en évidence l'impact de la prise en compte de la prime de risque systématique et alimenteront ainsi le débat sur l'impact effectif de la prime de risque, ce qui constitue une première étape souhaitable dans l'amélioration des évaluations.

Cette méthode n'est bien sûr pas exclusive d'autres approches qui peuvent être menées en parallèle. La confrontation d'éventuelles contradictions dans les résultats ne peut qu'enrichir le débat, ce qui, sur les questions relatives au risque macroéconomique, constitue non pas un désavantage mais au contraire une excellente approche du problème.

La commission souhaite que le calibrage de cette prime de risque soit réalisé conjointement avec la révision du taux d'actualisation sans risque dans les plus brefs délais et appelle donc de ses vœux une révision du taux sans risque en cohérence avec cette prime de risque. Ce calibrage conjoint du taux sans risque et de la prime de risque devra être fondé sur un exercice prospectif d'estimation de la croissance potentielle de la France à long terme intégrant notamment le risque d'une chute brutale du PIB, et sur une veille internationale des pratiques concernant l'utilisation des primes de risques. Il devra également approfondir les différences qui peuvent exister entre les attitudes privées et collectives face au risque, notamment dans une logique de développement durable.

Rappelons pour terminer que l'estimation de la corrélation entre les avantages socioéconomiques du projet et la croissance économique (coefficient *bêta* socioéconomique) qui pondère la prime de risque est, dans cette méthode, au cœur de l'évaluation du risque puisque c'est ce paramètre qui reflète, sous une forme excessivement agrégée, les risques du projet. La prise en compte du risque dans les évaluations ne se résume pas au calcul de ce coefficient qui deviendrait un critère automatique. Cette réflexion s'inscrit bien dans une analyse fine des risques associés à chaque projet. C'est pourquoi il apparaît incontournable que la détermination de ces coefficients de corrélation s'inscrive dans des réflexions sectorielles plus générales.

À défaut d'un calcul direct des primes de risque à prendre en compte dans la VAN, la méthode des équivalents-certains appuyée sur des simulations de Monte-Carlo offre une alternative efficace pour apprécier les incertitudes pesant *in fine* sur la rentabilité des projets évalués. Elle permettrait notamment de tester la variabilité de certains paramètres importants du calcul comme la consommation par habitant.

La détermination du bêta socioéconomique

L'estimation du coefficient *bêta* socioéconomique est, dans cette méthode, au cœur de l'évaluation du risque puisque c'est ce paramètre qui reflète, sous une forme excessivement agrégée, les risques du projet. La prise en compte du risque dans les évaluations ne se résume pas au calcul d'un coefficient qui deviendrait un critère automatique. Cette réflexion s'inscrit bien dans une analyse fine des risques associés à chaque projet. Le calcul de ce coefficient la suppose même. Une attention toute particulière doit donc être apportée à l'identification, la compréhension et la quantification des risques afin de déterminer convenablement la valeur du *bêta* socioéconomique d'un projet. La discussion et la justification de la valeur retenue sont au moins aussi importantes que la valeur du coefficient elle-même.

Rappelons que le *bêta* mesure la sensibilité relative d'un projet à la conjoncture économique et qu'il peut être déterminé par un simple calcul de covariance avec le PIB, en dehors de toute référence aux marchés financiers. Par ailleurs, le *bêta* n'est pas un critère de décision des investissements, simplement une mesure de leur niveau de risque. L'objectif de la collectivité n'est d'ailleurs sûrement pas de concentrer les dépenses vers les projets moins risqués que la moyenne de l'économie (*bêta* inférieur à 1) car ce serait renoncer à toute opportunité de croissance. Sans prise de risques, il n'y a pas de réelles perspectives de croissance : l'enjeu est de sélectionner les projets dont l'espérance de bénéfices est suffisante pour justifier les risques pris.

La détermination du coefficient *bêta* étant le sujet central de cette méthode, il apparaît nécessaire que les différentes administrations proposent sur ce point des référentiels pour guider les évaluateurs et leur permettre de se situer par rapport à des projets et des valeurs de référence. L'annexe 4 en fin d'ouvrage fournit quelques pistes pour déterminer la valeur d'un *bêta* socioéconomique mais elle ne saurait se substituer aux nécessaires travaux de cadrage sectoriel préalable aux évaluations de projet, ni au travail d'analyse à mener spécifiquement à l'occasion de chaque projet.

2.4. Deux outils complémentaires

Le modèle d'espérance d'utilité donne accès à d'autres méthodes de prise en compte du risque que le calcul explicite des primes à intégrer dans la VAN. Ce rapport ne serait pas complet s'il n'évoquait, d'une part, l'approche dite de la probabilité risque-neutre, qui permet de généraliser le calcul en espérance même en présence d'aversion au risque, et d'autre part, le retour à la formule générique d'évaluation de l'économie publique, qui permet de traiter les projets non marginaux.

La probabilité risque-neutre

À la différence des outils précédents qui s'appliquent à calculer directement les primes de risque, la méthode de la probabilité risque-neutre s'attache à calculer l'équivalent-certain des avantages nets d'un projet directement sous la forme d'une espérance. La simplicité conceptuelle de cette approche cache toutefois une redoutable complexité de mise en œuvre. Cette méthode n'est donc évoquée ici qu'à titre purement informatif et n'est pas recommandée par la commission.

Évaluer un projet d'investissement, c'est déterminer le supplément de bien-être lié *ex-ante* à l'accroissement de consommation que permet cet investissement dans tous les états du monde. Pour déterminer ce supplément de bien-être *ex-ante*, il ne suffit pas de connaître la probabilité des différents états du monde. Bien entendu, à probabilités égales, ce supplément de bien-être *ex-ante* est le plus élevé dans les états les plus défavorables, c'est-à-dire ceux dans lesquels la consommation initiale est la plus faible (gagner 1 dans un état du monde où la richesse est 100 engendre un bien-être supérieur à celui obtenu en gagnant 1 dans un état du monde où la richesse est 150). La raison tient au fait qu'on suppose décroissante l'utilité marginale de la consommation, hypothèse intimement liée, dans le modèle d'espérance d'utilité, à l'aversion au risque.

L'aversion relative au risque crée un biais d'appréciation qui conduit à accorder plus d'importance aux scénarios les plus défavorables. La probabilité risque-neutre est une probabilité fictive qui corrige ce biais d'aversion au risque : c'est la probabilité qu'il faudrait donner aux différents scénarios d'évolution du monde pour que tout risque d'espérance de gain nul n'ait pas d'effet à la marge sur le bien-être du porteur du risque. Cette nouvelle probabilité n'est pas la probabilité réelle mais une probabilité fictive sous laquelle les individus se comportent comme s'ils étaient neutres au risque.

La probabilité risque-neutre dépend de chaque individu, donc chercher à définir celle de la collectivité est un problème aussi difficile que de définir la fonction d'utilité collective. Heureusement, si les risques sont partagés efficacement, tous les agents utiliseront la même probabilité risque-neutre, à savoir celle de l'agent représentatif moyen. Cette probabilité tient compte de l'aversion au risque collective, ce qui en fait son principal avantage : sous la probabilité risque-neutre, tous les calculs se font en espérance et il n'est pas nécessaire de prendre des primes de risque.

Formellement, la méthode de la probabilité risque-neutre est une simple réécriture de la formule qui donne l'équivalent-certain. Sous la probabilité risque-neutre – notons-la Q –, l'équivalent-certain de l'avantage net X se calcule comme une simple espérance (E_Q désigne l'espérance sous Q) :

$$e = E_Q(X) \approx \frac{E(X.u'(C))}{E(u'(C))} = E\left(X \cdot \frac{u'(C)}{E(u'(C))}\right)$$

L'approximation de l'équivalent-certain lorsque le projet est petit (formule tirée de l'encadré sur l'équivalent-certain et le théorème d'Arrow-Lind) montre que la probabilité risque-neutre Q est en fait égale à la probabilité réelle corrigée du facteur $u'(C)/E(u'(C))$. La probabilité risque-neutre conduit donc à corriger la probabilité réelle en fonction de l'utilité marginale de la richesse attendue dans chacun des scénarios. Les scénarios conduisant à une croissance importante du niveau de richesse C entraînent une utilité marginale de la richesse moindre que la moyenne et sont donc pénalisés par la probabilité risque-neutre.

La méthode de la probabilité risque-neutre complète assez bien une approche par scénarios en proposant une façon de les pondérer qui tient compte des préférences du décideur. De ce point de vue, l'approche est séduisante car calculer une VAN pour un certain nombre de scénarios différents et les agréger *via* une pondération *ad hoc* pour le risque peut sembler plus intuitif que calculer une covariance. Toutefois, le calcul précis des valeurs de probabilité risque-neutre à affecter à chaque scénario est une gageure, parce qu'il faut établir non seulement la fonction d'utilité collective mais aussi l'éventail des scénarios macroéconomiques. Elle n'affranchit pas l'évaluateur des questions relatives à la diversification efficace des risques et à l'agrégation des préférences individuelles. Par ailleurs, cette méthode présente l'inconvénient de mettre moins bien en évidence l'effet assurantiel des projets négativement corrélés à la croissance, comme le ferait un calcul standard de covariance ou de *bêta* socioéconomique.

L'évaluation des projets non marginaux

Tous les outils qui précèdent, y compris la probabilité risque-neutre, sont adaptés à des projets présentant des risques marginaux. Reste toutefois le problème de l'évaluation des projets non marginaux au niveau de l'économie dans son ensemble. Ceux-là sont sans doute rares. En effet, la méthode recommandée plus haut pour calculer les primes de risque reste valide tant que le niveau des bénéfices nets socioéconomiques est inférieur à 5-10 % du PIB. Au-dessous de ce seuil, l'approximation (1) de l'effet du projet sur le bien-être collectif est extrêmement précise. Toutefois, certains projets dépassent ce seuil, comme ceux probablement à moyen terme engagés pour lutter contre l'effet de serre, ou comme certains très grands projets d'infrastructure dans le secteur des transports ou de l'énergie. Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser l'approche d'économie publique, en étudiant l'impact positif ou négatif du projet sur le bien-être intergénérationnel.

Avec les notations précédentes, on investira dans le projet X si la somme actualisée de l'espérance d'utilité retirée en faisant le projet X est supérieure à celle qu'aurait la collectivité sans le projet :

$$\sum_{t=0} e^{-\delta t} Eu(C_t + X_t) \geq \sum_{t=0} e^{-\delta t} Eu(C_t)$$

où

- C_t désigne la richesse collective à la date t ,
- X_t est le flux économique engendré par le projet à la date t (coût et avantage socioéconomique classiquement pris en compte dans la VAN),
- Eu est l'espérance d'utilité collective,
- $e^{-\delta t}$ est le facteur de préférence pour le présent, avec δ le taux de préférence pure pour le présent.

C'est cette méthode qu'utilise Nicholas Stern dans son rapport sur le changement climatique en 2006. D'un point de vue pratique, la commission recommande d'évaluer les termes de l'inégalité à l'aide de la méthode probabiliste de Monte-Carlo.

2.5. Évaluation du risque : approche probabiliste et simulation numérique de Monte-Carlo

Les fondamentaux de l'approche

Comme l'ont montré les sections précédentes, les méthodes utilisées traditionnellement pour intégrer le risque dans l'analyse coûts-avantages (utilisation d'une prime sur le taux d'actualisation, encadrement de l'analyse dans plusieurs scénarios contrastés, analyse systématique des sensibilités des principales variables et paramètres du dossier) ont l'avantage de la simplicité et de la souplesse dans la mise en œuvre, mais elles n'exploitent pas toute l'information qui peut être disponible sur la variabilité des paramètres du calcul économique pour la valorisation des coûts ou des bénéfices associés à une décision publique.

La représentation probabiliste des paramètres du calcul, appliquée avec la méthode de Monte-Carlo, offre un outil utile et opérationnel pour enrichir les analyses de risque, lorsque ceux-ci sont identifiables et quantifiables avec un degré de fiabilité correct. Néanmoins, il faut prendre garde à la fascination que peuvent exercer l'outil mathématique et tout chiffrage. Ils ne se substituent pas à une analyse de risque solide, ils la présupposent. Bien souvent, l'histoire montre *a posteriori* que les véritables enjeux se trouvent ailleurs. Cela devrait toujours inciter à la modestie. Par ailleurs, cette méthode n'est pas exclusive des autres méthodes auxquelles elle peut utilement être associée, et cette quantification, lorsqu'elle est possible, n'est qu'une première étape de l'analyse. La méthode de Monte-Carlo est donc recommandée autant pour quantifier les différents risques d'un projet en vue de calculer les primes de risque à intégrer dans la VAN, que pour estimer directement la distribution de probabilité de la VAN.

On présente dans un premier temps le principe de base de cette approche et la manière donc elle peut se décliner en pratique, pour aborder dans un deuxième temps les intérêts et les limites.

Le principe de base

On appelle méthode de Monte-Carlo les méthodes qui calculent numériquement la distribution de probabilité d'une fonction de variables aléatoires en utilisant un procédé aléatoire justifié par une modélisation probabiliste. Elle est utilisée notamment lorsqu'il est impossible ou difficile d'établir ce résultat sur la base d'une approche analytique exacte, ou quand une méthode approchée – par développement de Taylor des premiers moments de cette distribution de

probabilité, par exemple – ne s'avère pas pertinente. Dans le cas d'espèce, cette méthode peut être appliquée pour déterminer les lois de probabilité des variables intermédiaires entrant dans le calcul de VAN (en vue de calculer les primes de risque) ou la distribution de probabilité de la VAN elle-même.

Le nom utilisé pour qualifier ces méthodes fait explicitement allusion aux jeux de hasard pratiqués au Casino de Monte-Carlo¹ à Monaco. Néanmoins, ces techniques et leur développement trouvent leur origine dans l'intuition de Stanislaw Ulam² qui suggéra, pendant la Seconde Guerre mondiale, de les employer pour évaluer les intégrales mathématiques issues de la modélisation des réactions nucléaires en chaîne, qui sont très complexes à résoudre. Von Neuman développa ces outils qui débouchèrent, par la suite, sur de très nombreuses applications à mesure que la puissance de calcul des ordinateurs augmentait. Ces méthodes sont aujourd'hui utilisées pour étudier des systèmes dans lesquels il existe un très grand nombre de degrés de liberté (fluide, structures cellulaires, etc.), ou pour modéliser des phénomènes dans lesquels interviennent de nombreux inputs. Les domaines d'application sont très variés et concernent en premier lieu les mathématiques, la physique, la biologie, la santé et d'autres encore, mais aussi le monde du calcul économique et de la finance³.

L'utilisation dans le monde économique

La représentation des paramètres du calcul par des variables aléatoires plus ou moins corrélées permet d'introduire une approche statistique du risque dans une décision financière. La méthode consiste à isoler un certain nombre de variables décisives de l'évaluation de la valeur d'un actif et à leur affecter une distribution de probabilités. Ces distributions de probabilité permettent de représenter l'imperfection inhérente à notre connaissance de la « vraie » valeur des paramètres ou facteurs du calcul et de leur évolution dans le temps⁴. Pour

[1] « Monte-Carlo » était le nom de code du travail que menaient Ulam et Von Neuman au Laboratoire national de Los Alamos dans le cadre du projet Manhattan. Voir Metropolis N. (1987), « The beginning of the Monte-Carlo method », *Los Alamos Science*, Special Issue dedicated to Stanislaw Ulam, p. 125-130.

[2] Metropolis N. et Ulam S. (1949), « The Monte-Carlo method », *Journal of the American Statistical Association*, 44(247), p. 335-341.

[3] On trouvera une présentation de ce type d'application dans : Savvides S. C. (1994), « Risk analysis in investment appraisal », *Project Appraisal Journal*, 9(1), p. 3-18. Ce papier expose comment on peut utiliser une simulation de Monte-Carlo dans l'évaluation d'un projet d'investissement pour analyser et apprécier le risque.

[4] La représentation d'un lancer de dé par l'attribution d'une probabilité d'occurrence de chacune de ses faces est une forme de méthode de Monte-Carlo. Les lois de la physique newtonienne permettraient théoriquement de calculer exactement la trajectoire du dé selon son impulsion initiale, sa vitesse de rotation, son poids, les chocs, la nature des matériaux ou les courants d'air auxquels il est soumis durant son mouvement. De toute évidence, la difficulté des calculs, *a fortiori* si le dé est pipé, rend préférable de modéliser le résultat du dé par la distribution de probabilité qui sera vérifiée si l'on fait un très grand nombre de tirages.

chacun de ces facteurs, on effectue alors un grand nombre de tirages aléatoires dans ces distributions de probabilité afin d'estimer la probabilité d'occurrence des diverses valeurs possibles de l'actif considéré. Si cet outil s'est développé dans le monde de la finance et du génie civil (théorie de la fiabilité), il peut, sans aucun problème théorique, être utilisé dans des calculs socioéconomiques intégrant bien d'autres variables que les variables financières.

Un dernier exemple, et non des moindres, concerne l'évaluation des impacts du changement climatique sur le bien-être social, comme le propose le rapport Stern¹. Le chiffrage utilise une modélisation probabiliste par simulation de Monte-Carlo sur les principaux paramètres climatiques et impacts socioéconomiques en jeu.

Le principe de cette méthode est relativement simple : il s'agit de simuler numériquement un grand nombre de fois un événement *aléatoire*, puis d'exploiter les résultats des expériences de manière *statistique* (espérance, écart-type, distribution, distribution cumulée, etc.). L'analyse procède en plusieurs étapes : (1) établir les distributions de probabilités des variables et leurs corrélations; (2) mener les simulations et collecter les résultats; (3) procéder à une description statistique des indicateurs simulés et estimer sur cette base des indicateurs de synthèse pertinents.

Cette méthode cherche à décrire et à quantifier le risque, sans lui attacher une valeur. Parce qu'elle ne pose pas la question de la décision, elle présente la caractéristique de ne pas s'appuyer sur une fonction d'utilité, de ne pas présupposer les préférences collectives, l'aversion au risque, etc. Elle se contente de simuler tous les « *outcomes* » possibles d'un projet et de présenter la distribution des résultats au décideur. Elle peut être complétée par une intégration dans un modèle de décision utilisant la « boîte à outils » présentée plus haut dans ce chapitre.

Un exemple dans le secteur ferroviaire

La méthode de Monte-Carlo peut être mise en œuvre dans le secteur ferroviaire² pour intégrer de manière plus fine dans les études financières les risques, dont certains sont assez bien identifiés dans la pratique. Sans chercher à être exhaustif, notons que les spécialistes du secteur peuvent isoler et classer ces risques autour d'une typologie classique :

[1] Stern N. [2006], *Stern Review: The Economics of Climate Change*, Londres, HM Treasury, 30 octobre.

[2] Lors de la deuxième réunion de la commission, Alain Sauvart a proposé un bilan de ce type de pratiques qui ont été mises en œuvre récemment à Réseau ferré de France (RFF).

- il y a les risques *a priori* quantifiables : risques de trafic et de recettes (compte tenu de l'attitude des acteurs du secteur des transports, des incertitudes sur les trafics, du prix payé par l'usager, de la date de mise en œuvre) ; risques associés au coût de construction (investissement, maintenance, exploitation, etc.), risques associés à la conjoncture économique... ;
- ceux qui sont moins quantifiables mais qu'on peut anticiper parce que résultant du comportement stratégique des acteurs dominants dans le secteur (monopole, oligopole, selon les cas) et qui supposent de différencier dans l'analyse les scénarios possibles ;
- ou encore et surtout ceux qui ne relèvent d'aucune stratégie et qui s'imposent à tous les agents. Ces risques sont parfois identifiables mais peu mesurables : apparition de technologies de rupture, acceptabilité sociale du projet, changement dans le paysage réglementaire, risque politique dans le processus de décision lui-même.

Cette typologie conduit à des tableaux comme celui-ci :

 **Typologie des risques en matière ferroviaire**

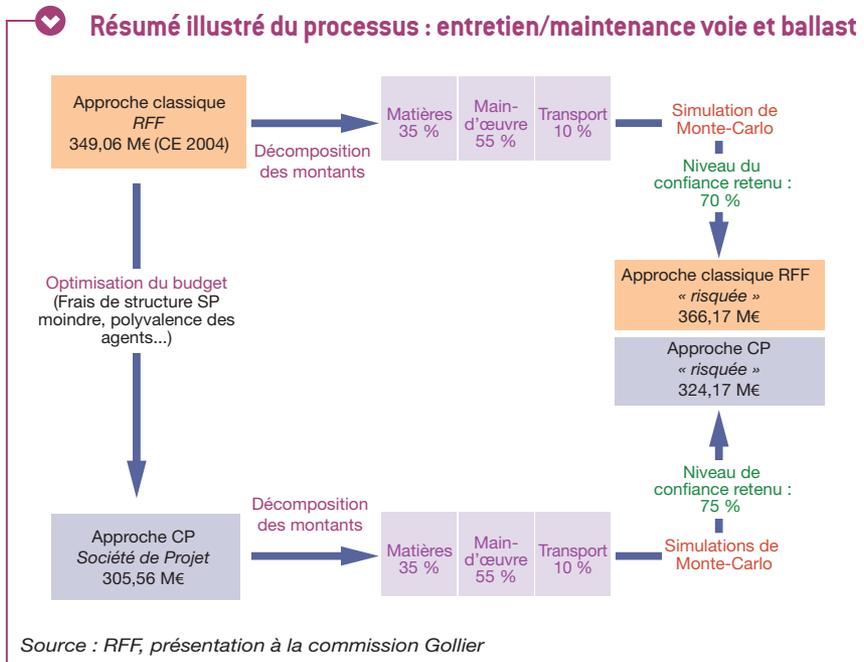
Risques	Capex	Opex	Renouvellement	Recettes
Budget	Loi statistique	Loi statistique	Loi statistique	
« Autres » (ou surcoûts)	Loi statistique	Loi statistique	Loi statistique	
Inflateurs	Loi statistique	Loi statistique	Loi statistique	
Planning (retard)	Loi statistique			
Concurrentiel	Loi statistique			
Capacité contributive				Loi statistique
Non-circulation des trains				Fonction mathématique
Inflateurs recettes en fin de période				Loi statistique
Surcoûts fonctionnels sur le réseau existant			Loi statistique	

Source : RFF, présentation à la commission Gollier

Pour les risques quantifiables, il est possible d'estimer une distribution de probabilité associée pour chacune des variables risquées dans le calcul.

Notons que ces outils peuvent être mis en œuvre dans des perspectives très différentes :

- pour Réseau ferré de France (RFF), par exemple, il est possible d'associer à un projet un encadrement des valeurs prises par les variables jugées déterminantes pour la décision, comme le montant des subventions nécessaires à une date donnée pour rentabiliser un investissement ;
- il est possible de mesurer et de simuler les avantages associés à un partage donné des risques entre privé et public et donc d'apprécier l'intérêt de différentes modalités contractuelles entre les deux parties ;



- il est également possible, dans une perspective plus agrégée, d'associer un intervalle de confiance dans l'estimation de l'espérance ou de la variance de la VAN d'un projet ;
- on peut également effectuer le calcul économique inverse : déterminer la distribution de probabilité d'un paramètre (autrement dit, déterminer

le degré d'information – supplémentaire – à acquérir sur la variabilité de ce paramètre) pour que la probabilité que le projet soit socialement « intéressant » passe au-dessus du seuil minimal admissible, etc.

Rien n'empêche que ce type d'outils soit utilisé sur d'autres problématiques de décision publique que celles d'un investissement dans les infrastructures, ou qu'il soit décliné dans d'autres secteurs que celui des transports.

Le calibrage des hypothèses de distributions de probabilité des variables constitue la phase délicate de la méthode

Avant toute chose, la méthode de Monte-Carlo ne peut pas s'appliquer sans une étude préalable des risques. La typologie des risques est un élément clé de la réussite. Plus l'analyse est fine, plus la simulation offerte par cet outil a d'intérêt, en n'oubliant pas que si certains risques sont identifiables, il demeure toujours des incertitudes radicales. Il faut le rappeler avec insistance : la méthode probabiliste avec simulation de Monte-Carlo s'insère dans une analyse de risque et non l'inverse.

L'analyse préalable du risque, typologie et choix des variables

Une approche probabiliste avec simulation de Monte-Carlo suppose de dresser une typologie complète et exhaustive en séparant clairement :

- les risques identifiables et quantifiables, dont on peut mesurer la probabilité d'occurrence et la gravité des conséquences (c'est le volet qu'il est possible de traiter avec les méthodes dites de Monte-Carlo) ;
- les risques identifiables et non quantifiables et qui, dès lors, ne peuvent être appréciés que dans une approche qualitative¹ ;
- les risques identifiables mais uniquement sur un plan stratégique ;
- mais aussi tout ce qui est non identifiable, voire impensable (le « cygne noir »).

La question des évolutions technologiques est une très bonne illustration du point précédent. Dans le secteur des transports, cette variable apparaît décisive. L'émergence d'une technologie concurrente peut en effet constituer un risque majeur pour la collectivité qui investit dans une infrastructure dont la durée de vie peut être de plus de cinquante ans. L'histoire des transports est

[1] Dans le secteur des transports, des risques identifiables mais dont la quantification précise pose problème : technologie de rupture [apparition d'une technologie concurrente, acceptabilité sociale d'un projet, rupture dans le cadre réglementaire (ouverture à la concurrence d'un secteur, etc.).

très suggestive. Par exemple, si on se met à la place du planificateur ferroviaire de 1900, le principal problème aurait dû être l'anticipation des conséquences des travaux menés par les bricoleurs Benz, Renault et les frères Wright, qui ont conduit à l'apparition du moteur à explosion, de la voiture et de l'avion. Les principales erreurs de prévision sur certains projets contemporains sont dues en grande partie à la sous-estimation de la réaction des modes concurrents.

Il pourrait en être de même du risque politique ou du risque de régulation : un changement des règles dans le secteur (introduction de la concurrence par exemple, modification des règles tarifaires, etc.).

L'enjeu fondamental des distributions des risques

Un des points essentiels à traiter dans une analyse probabiliste réside dans le calibrage du modèle ; cela conditionne la validité des résultats futurs. Comme la validité des résultats de cette méthode repose sur la validité des hypothèses, une attention toute particulière devrait être portée sur leur étalonnage.

Il faut déjà prendre en compte plusieurs types d'aléas : l'aléa sur la mesure elle-même (fiabilité des indicateurs utilisés), l'aléa du modèle utilisé (écart possible entre la réalité mesurée et la modélisation : erreurs portant d'un côté sur la structure du modèle, et de l'autre, sur le calage des valeurs de ses paramètres), l'aléa de la projection (pertinence de la modélisation dans les représentations du futur que l'on se donne).

Plusieurs problèmes se posent : des problèmes techniques et des problèmes d'ordre institutionnel et politique. Rappelons que cette méthode ne traite pas les incertitudes radicales (cygnes noirs) qui seront prises en compte par ailleurs dans la partie décisionnelle de l'analyse.

Dans la mesure du possible, le choix des variables, les distributions de probabilité¹ des aléas, comme la question plus délicate de la corrélation entre les variables, devraient se fonder sur des retours d'expérience. Elles devraient être explicitées et justifiées avec des outils économétriques et des bases de données historiques. Si ceux-ci font défaut, des estimations subjectives (expertise) des distributions de probabilité (forme des lois et leurs paramètres) et des corrélations seront amenées à les suppléer.

[1] Les formes de distributions peuvent être *a priori* quelconques mais on se limitera généralement à quelques lois standard assez simples : gaussienne, log normale, uniforme, triangulaire, exponentielle. Les profils gaussiens se justifient pour des grandeurs synthétiques affectées de nombreux aléas, les distributions triangulaires présentent l'intérêt de s'obtenir avec très peu d'informations (valeur minimale et maximale, et valeur centrale), l'erreur introduite semble faible.

Une combinaison de ces deux approches serait généralement à préconiser, les projets présentant tous un certain degré d'innovation.

Il est possible dans certains cas de tirer des éléments des *expériences historiques* dont les retours limitent la part subjective de l'évaluation. Il n'en demeure pas moins que l'établissement de distributions historiques de probabilité sur ces variables peut être coûteux à établir pour chaque projet et surtout susceptible de manipulations par des acteurs de l'évaluation peu scrupuleux. Un cadrage national permettrait d'éviter ces artefacts quand cela est possible, c'est-à-dire pour les variables communes aux projets, et il pourrait être réalisé par les services centraux sur les nombreux facteurs récurrents des projets passés. Ce travail pourrait être établi secteur par secteur (compte tenu des caractéristiques propres de chacun d'entre eux) mais dans un cadre homogène et harmonisé entre les secteurs.

Ce calibrage pourrait être tenté sur la base des études *ex-post* des projets dont il faut se soucier de la production (dans le secteur des transports on dispose des études *ex-post* requises par la LOTI¹). Dans tous les cas de figure, les distributions issues des bases de données (séries longues) disponibles peuvent être confrontées à celles résultant d'une approche plus analytique, qui chercherait par exemple à désagréger les composantes d'aléas dans la variable concernée. Cependant, il faut noter que la base statistique disponible (quelques dizaines de bilans LOTI depuis la loi de 1982) est sans commune mesure avec celles disponibles dans le champ traditionnel d'application des simulations de Monte-Carlo (bases de données sur les transactions financières, cours des actions, bases de données des assureurs sur les sinistres, bancs d'essai d'équipements, etc.).

Quand les expériences passées ne permettent pas de décrire de manière satisfaisante les aléas affectant les paramètres de l'évaluation, les distributions de probabilité doivent être établies sur la base des données et des meilleures estimations disponibles. Elles peuvent être obtenues sur dire d'experts et synthétisées sur la base d'un débat contradictoire. Les formes de ces distributions doivent faire l'objet d'un examen privilégiant la simplicité. Dans ce cas également, il est incontournable de s'inquiéter de la valeur, de la qualité et de l'indépendance des estimations proposées.

Le calibrage national n'est pas envisageable en revanche pour les variables propres à chaque projet, pour lesquelles les « formats » de prise en compte

[1] Loi n° 82-1153 du 30 décembre 1982 d'orientation des transports intérieurs.

du risque se doivent de tenir compte des actions de gestion du risque et des interactions stratégiques entre les acteurs de projet : par exemple, les clauses contractuelles mutualisant ou corrélant des risques de diverses natures ou entre divers acteurs, les études améliorant l'information en réduisant les incertitudes.

La question particulière des corrélations

Ce point mérite d'être mis en avant : la validité de cette approche suppose de bien cerner le problème particulier des corrélations entre les différentes variables explicatives. C'est un point délicat qui peut aisément conduire à des résultats totalement erronés.

Il apparaît déjà utile de remonter dans un premier temps aux variables exogènes qui structurent un projet sous de nombreuses dimensions (par exemple, le prix du pétrole dans les études de transport qui influe sur le prix des modes concurrents mais aussi sur les coûts de construction).

L'analyse des corrélations observées dans le passé doit être menée à la bonne échelle temporelle, car certaines variables explicatives peuvent être corrélées à court terme et moins à long terme. Le cadre d'analyse retenu doit être en cohérence avec la durée des projets évalués.

Les conditions d'utilisation

Globalement, si l'on suppose les deux derniers points réglés (quantification et corrélation des risques), cette méthode peut utilement compléter les évaluations des projets publics, en particulier les grands projets. Plusieurs questions d'application et d'ordre institutionnel se posent.

Cette méthode a un coût d'implémentation qui reste malgré tout assez faible¹ hors coûts de recueils de données spécifiques, pour peu que la durée des calculs soit raisonnable au regard des capacités informatiques. À titre d'exemple, un seul passage pour un modèle usuel de trafic (transport) dure une vingtaine de minutes. À raison de 10 000 simulations, il faudrait quatre mois et demi de calcul sans interruption pour obtenir la distribution de probabilité de la VAN.

[1] De manière pratique, celle-ci est réalisée à l'aide de logiciels dédiés qui fonctionnent soit dans un environnement indépendant, soit sous un tableur. Ces logiciels intuitifs guident l'utilisateur depuis la phase de création des données jusqu'à celle de l'exploitation des résultats. L'implémentation pose peu de problèmes pratiques. Les évaluations sont en effet réalisées par des services spécialisés ou par des cabinets de conseil. Comme les prestations de ce type sont un standard du financement de projets privés, elles ne devraient renchérir le coût des évaluations que de manière marginale.

Des simplifications s'avèrent alors indispensables, par exemple en passant par un modèle économétrique simplifié reconstitué par calage sur quelques dizaines de passages du modèle complet (soit une nuit de calcul). Certains coûts de production peuvent ainsi être diminués. Il serait particulièrement utile que des référentiels appropriés secteur par secteur établissent des grilles de référence ou des recommandations permettant d'effectuer les simplifications les plus judicieuses.

On peut toutefois considérer que les éléments informatifs de qualité apportés par cette approche, notamment parce qu'elle oblige à une identification explicite des risques, justifient largement le surcoût engagé dans les études.

La méthode de Monte-Carlo ne constitue pas une réelle innovation puisqu'elle est déjà utilisée dans le domaine privé (pas uniquement financier). Des institutions comme l'administration britannique recommandent désormais systématiquement son utilisation.

Cette approche sera d'autant plus mobilisée qu'elle pourra s'appuyer en amont sur une capitalisation des connaissances en expertise des risques. Sans aller jusqu'à la transposition mécanique de certains coefficients qui pourraient nuire à la qualité de l'analyse du risque qui doit être menée projet par projet, on comprend qu'un travail sur un type de risques caractéristique d'un secteur peut ne pas être refait à chaque analyse et que certaines typologies, certaines distributions peuvent être normalisées et proposées comme référent, notamment pour des projets ou des problèmes de taille modeste pour lesquels les montants des études à engager ne justifient pas de lourdes investigations. Ce type de référentiels (approches tutélaires par défaut) permettrait notamment une utilisation dans des projets de taille plus modeste qui pourraient se contenter d'une reprise des coefficients standard. On peut considérer qu'il est tout aussi important pour la puissance publique de traiter de nombreux projets de moyenne envergure que de se focaliser sur un seul projet. En volume, les risques pris sur de très nombreux projets ne sont pas négligeables.

Ces grilles peuvent être proposées (régulateur, administration) ou être l'output de l'expertise externe sollicitée auprès des consultants et cabinets de conseil. Elles gagneraient à être établies sur un consensus construit progressivement au gré des travaux sur un panel de projets assez large. Elles devraient être mises à jour en fonction des retours d'expérience.

Le type d'utilisation peut également être utile pour alimenter le débat public sous certaines conditions (à discuter, notamment car cette méthode peut fournir des éléments d'information très utiles mais qui demeurent des résultats de simulations reposant sur un jeu complexe d'hypothèses). Il est possible d'employer cette méthode pour estimer une espérance de VAN, mais on peut aussi y recourir pour répondre à des questions utiles dans un débat contradictoire : quelle estimation peut-on fournir pour la probabilité que le TRI d'un projet soit inférieur au taux d'actualisation public ? Quelle est la probabilité que les coûts d'infrastructures dépassent les prévisions d'un seuil donné *a priori* ? Que les bénéfices tombent au-dessous d'une valeur cible minimale ?

Ces grilles peuvent également fournir des indications sur l'ampleur des risques auxquels sont soumis certains acteurs, à condition bien entendu que les simulations portent sur des variables directement pertinentes pour ces acteurs et pas uniquement sur un indicateur agrégé du type VAN.

D'un point de vue pratique, il conviendra pour chaque type de décisions et/ou de risques de préciser dans quelle mesure les points clés évoqués plus haut pourront être considérés ou non comme convenablement réglés.

Les méthodes de simulation de Monte-Carlo constituent une approche opérationnelle susceptible d'améliorer considérablement les études traditionnelles. Elles combinent en quelque sorte une approche par les scénarios et une approche par les tests de sensibilité en affectant à chaque paramètre des probabilités d'occurrence. On obtient ainsi une évaluation quantitative et désagrégée, paramètre par paramètre, et des évaluations beaucoup plus riches en information qu'avec la méthode fondée sur un scénario central encadré par une fourchette aux probabilités non spécifiées. On peut en outre décrire en termes aisément accessibles les risques encourus, et repérer les paramètres clés du modèle. En accord avec le principe de précaution, le rapport d'évaluation devra stipuler ces paramètres sensibles, en précisant ceux dont la quantification est la plus délicate.

2.6. Conclusion : un outil adapté à chaque usage

Chacun des outils présentés dans ce chapitre a son domaine de pertinence propre et ne doit être utilisé que si les hypothèses sous-jacentes sont effectivement vérifiées. Le cheminement intellectuel pour sélectionner la

meilleure méthode de prise en compte du risque dans le calcul économique se décompose en quatre étapes principales :

- identifier et quantifier les risques ;
- déterminer si l'impact du projet et de ses risques est marginal pour la collectivité ;
- déterminer si les risques sont ou non corrélés au risque macroéconomique ;
- déterminer s'ils sont correctement disséminés dans l'économie ou si certaines catégories d'agents supportent à leur niveau un risque non marginal.

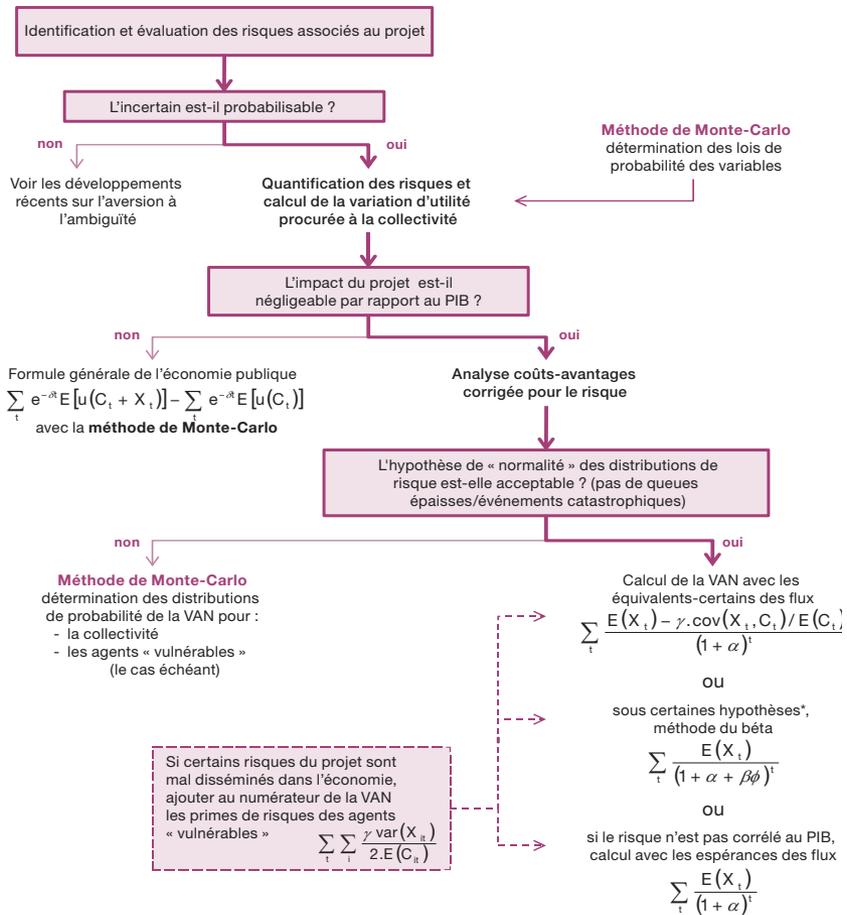
Le calcul des primes de risque repose sur différentes formules selon la nature des risques considérés. En résumé, certains risques sont spécifiques au projet et sont diversifiables par le marché ; dans ce cas, la prime à ajouter au taux d'actualisation est nulle, toute l'analyse porte sur l'espérance des gains et des pertes. Certains risques sont qualifiés de systématiques car ils influent ou sont corrélés au risque sur la richesse globale ; dans ce cas, la prime de risque se calcule à partir de la covariance du risque avec la richesse globale (sous certaines hypothèses restrictives, cette prime peut être transformée en prime sur le taux d'actualisation, à l'aide d'un coefficient particulier appelé le *bêta*). Enfin, certains risques sont spécifiques au projet mais ne sont pas diversifiables (imparfaitement transférables/assurables) ou bien sont de très grande taille ; dans ces cas, on ajoute une prime proportionnelle à la variance.

À défaut d'un calcul direct des primes de risque à prendre en compte dans la VAN, la méthode de Monte-Carlo offre une alternative efficace pour apprécier les incertitudes pesant *in fine* sur la rentabilité des projets évalués.

Dans les cas où un projet n'est pas marginal sur le PIB et/ou les risques sont exceptionnels par leur taille (mesures d'adaptation au changement climatique, par exemple), il faut revenir à la formule classique d'évaluation en économie publique faisant explicitement la différence entre deux trajectoires de bien-être collectif.

Le diagramme ci-contre résume la démarche de réflexion.

Les quelques formules précisées dans ce chapitre ont le mérite de clarifier les différents points à prendre en compte dans les évaluations économiques intégrant le risque. Un des points essentiels, commun à toutes les approches,



(*) Si le taux de croissance des flux X_t est à moyenne constante et volatilité constante (\approx brownien géométrique), possibilité de faire passer la prime de risque dans le taux d'actualisation

Source : Centre d'analyse stratégique, commission Gollier

consiste à étudier précisément les corrélations qui existent entre les différentes variables d'un projet sur lequel pèsent des incertitudes. La commission attire l'attention, en particulier celle des ministères qui auront à décliner de manière opérationnelle les recommandations du rapport, sur l'intérêt de produire des calculs systématiques sur la corrélation fondamentale entre les bénéfices

attendus du projet et la croissance économique. Ces résultats, produits pour toute une typologie de projets et d'hypothèses sur le PIB, permettraient d'encadrer le calcul des primes de risque qui sera effectué par les évaluateurs et auraient une vertu pédagogique certaine. À l'instar de la méthode proposée par Robert Barro pour calculer la prime de risque macroéconomique, ces calculs doivent prendre en compte une hypothèse chiffrée facile à comprendre : que deviendrait l'intérêt collectif du projet dans un scénario où le PIB chuterait de 50 % avec une probabilité de 2 % ?

3 ■ Approches complémentaires

3.1. Options réelles : valoriser la flexibilité et tenir compte de l'information dans les stratégies en situation d'incertitude

Les options réelles constituent une méthode convaincante et fonctionnelle pour intégrer la question du risque dans l'évaluation socioéconomique lorsqu'on se trouve en face d'irrémédialités. Cette section revient sur le concept d'option, et en expose les fondements et les usages possibles. Plusieurs exemples montrent enfin les avantages et les limites de cette approche.

L'intuition des valeurs d'option

La théorie des options réelles met en exergue l'élément clé de la flexibilité dans la gestion et l'évaluation des risques. Dans un environnement incertain, les projets et actions impliquant le plus d'irrémédialité devraient en effet être pénalisés, tandis que ceux qui offrent plus de flexibilité devraient être mieux valorisés.

L'analyse classique des décisions d'investissement à partir du critère de la valeur actuelle nette positive ($VAN > 0$) ne répond pas à cette interrogation. Elle conduit à n'envisager que deux cas : soit réaliser le projet, soit le rejeter. Elle ignore donc la possibilité de différer l'investissement pour tenir compte des évolutions possibles du contexte, ce qui ne garantit pas de prendre une décision optimale. Un projet que l'on espère *a priori* rentable (utile) peut s'avérer *a posteriori* non rentable car la situation se sera dégradée par rapport aux hypothèses initiales. Or, changer de stratégie en cours de route se révèle souvent difficile, coûteux, voire impossible. Dès lors, il est important de prendre en compte et de valoriser, au moment de la décision, les informations qui ne

manqueront pas d'apparaître ultérieurement sur la valeur socioéconomique de l'investissement.

Intuitivement, en présence d'incertitudes, il peut s'avérer sage de reporter la décision d'investir dans le projet, malgré une VAN positive, dans l'attente d'informations complémentaires. L'irréversibilité de la décision crée en effet un coût d'opportunité : tant que la VAN du projet est inférieure à ce coût d'opportunité, il est préférable d'attendre ; si le contexte amène plus tard à réévaluer les bénéfices au-dessus du coût du projet augmenté de ce coût d'opportunité, alors le projet devrait être engagé.

Cette même problématique se retrouve lorsque le projet envisagé permet au contraire d'ouvrir des opportunités qui n'existent pas aujourd'hui, par exemple un projet de recherche permettant d'envisager ultérieurement l'usage d'une technologie nouvelle. Dans ce cas, l'évaluation du projet doit également tenir compte de cette flexibilité offerte pour l'avenir. Les options ouvertes par le projet, telles que généraliser la nouvelle technologie ou continuer avec la technologie existante, sont porteuses d'une certaine valeur qui peut rendre pertinent le projet de recherche, même si sa VAN, calculée par la méthode classique, est initialement négative. En effet, aux bénéfices intrinsèques du projet de recherche comptabilisés dans la VAN, il convient d'ajouter la valeur escomptée des bénéfices additionnels qui seraient rendus possibles, si le contexte devait évoluer favorablement pour décider l'emploi de la nouvelle technologie.

Au total, ouvrir ou préserver des options permettant de s'adapter aux évolutions du monde a de la valeur. De même que l'irréversibilité a un coût, la flexibilité a une valeur. On peut même considérer que la flexibilité constitue une sorte d'assurance que l'on accepte pour se prémunir contre un scénario défavorable.

L'existence d'une incertitude sur la valeur future des bénéfices de la décision, combinée avec la capacité à agir à partir des informations révélées ultérieurement, nécessite de replacer l'évaluation dans un cadre dynamique. La flexibilité dynamique de la plupart des projets permet en effet d'ajuster la stratégie à mesure que le passage du temps apporte de l'information sur l'état du monde et sur la valeur des facteurs aléatoires. C'est pour tenir compte de l'ajustement possible ou non de la stratégie qu'a été développée la notion d'option réelle. En complément de la VAN classique, la théorie des options réelles fournit ainsi un cadre d'analyse pour calculer la « (quasi) valeur d'option » associée au caractère plus ou moins flexible de la décision.



Valeur d'option et politiques environnementales

Les politiques de protection de l'environnement peuvent engendrer des valeurs d'option. Dans ce type de politiques, il y a principalement deux sources d'irréversibilité (voir Dixit et Pindyck, 1994). La première provient des coûts supportés par la société pour réduire des dommages éventuels, par exemple l'adoption de réglementations contraignantes sur les niveaux d'émissions polluantes ou l'obligation faite aux industriels de remplacer leur appareil de production par des installations moins nocives pour l'environnement. Imposer de telles mesures aux agents économiques induit un coût non récupérable : les moyens consacrés à réduire les dommages environnementaux ne peuvent généralement pas servir à autre chose. Par conséquent, la perte économique engendrée pourrait justifier d'attendre de disposer d'informations suffisantes sur les dommages environnementaux, l'incertitude variant avec le temps, pour décider des mesures de protection de l'environnement.

Une seconde source d'irréversibilité conduit à la conclusion inverse. L'émission de CO₂ dans l'atmosphère est un processus essentiellement irréversible, car il serait très coûteux et très long de récupérer ce CO₂ en cas de nécessité. Nul ne met en doute que les effets induits par les émissions de gaz à effet de serre seront durables et que les dommages à l'encontre de certains écosystèmes terrestres peuvent être permanents. Par conséquent, ne rien faire peut conduire à des pertes irrémédiables. À l'inverse de l'observation précédente, mettre en œuvre les mesures adéquates de protection de l'environnement suffisamment tôt permettrait de préserver la diversité des richesses environnementales.

Négliger dans l'analyse coûts-avantages ces deux sources d'irréversibilité, celle portant sur les dommages environnementaux et celle portant sur le coût des mesures de protection, peut biaiser l'évaluation des politiques environnementales, dans un sens ou dans l'autre. En effet, les problématiques environnementales font face à deux options d'attente : d'une part, attendre de mieux cerner les dommages avant de consacrer les ressources nécessaires pour y remédier et, d'autre part, attendre que le sacrifice des ressources environnementales devienne incontournable au regard de la survie économique du territoire. Face à ce double enjeu, l'incertitude radicale pesant sur la valeur de notre environnement et son évolution doit conduire à privilégier systématiquement les décisions préservant l'avenir.

Source : Centre d'analyse stratégique, commission Gollier

L'approche reste assez théorique (voire à l'état embryonnaire) dans l'analyse des projets publics, mais les rares cas concrets qui ont pu être traités *ex-ante* (il en est de même pour les expériences *ex-post*) indiquent que ces valeurs sont parfois très importantes. Elles peuvent dans certains cas modifier la donne de l'arbitrage économique et ne doivent pas être sous-estimées dans les calculs.

Les applications concrètes sont nombreuses. La valorisation des options réelles peut être notamment utilisée pour examiner le bien-fondé du lancement de projets de recherche ou de développement, qui apportent de la flexibilité, mais dont les résultats peuvent être très aléatoires. C'est par exemple le cas, comme on le montre plus loin, lorsqu'on s'interroge sur l'utilité de lancer ou non une nouvelle génération de réacteurs nucléaires. De même, il peut exister un intérêt « optionnel » non négligeable à réserver des terrains ou des ressources pour construire un projet ultérieurement.

Un peu d'histoire : options financières et options réelles

La notion d'option financière

La théorie des options réelles s'est développée depuis une trentaine d'années par analogie avec les options financières. En finance, une option est un contrat qui permet à son détenteur d'acheter ou de vendre une certaine quantité d'un bien ou d'un actif à un cours convenu à l'avance et à (ou jusqu'à) une date fixée¹. Une option financière est donc un instrument offrant de la flexibilité dans la stratégie à adopter face au risque d'évolution du cours de l'actif : son détenteur peut acheter ou vendre à un cours connu à l'avance donc non risqué, mais il conserve toujours la possibilité d'opérer directement sur le marché si cela s'avère plus intéressant que de faire jouer le contrat d'option. L'option constitue par ailleurs une assurance partielle contre le risque, puisqu'elle couvre son détenteur contre une hausse des cours au-delà du seuil convenu. La valeur de l'option, ou prime d'option, correspond à la valeur de cette assurance. Les options financières se sont popularisées à partir des années 1970 avec l'apparition des premiers modèles de calcul des primes d'option, en univers continu (Black et Scholes, 1973)² ou en univers discret (Cox, Ross et Rubinstein, 1979)³. Reposant sur la modélisation probabiliste du taux de variation des actifs financiers, ces premiers travaux ont ouvert la voie à l'essor des produits dérivés, facilité depuis par l'accroissement spectaculaire des performances

[1] On appelle marché dérivé le marché sur lequel s'échangent les options.

[2] Black F. et Scholes M. [1973], « The pricing of options and corporate liabilities », *Journal of Political Economy*, mai-juin.

[3] Cox J., Ross S. et Rubinstein M. [1979], « Options pricing: A simplified approach », *Journal of Financial Economics*, octobre.

de l'outil informatique. En dépit de travaux séminaux sur le lien entre incertitude et flexibilité de la décision (Arrow et Fisher, 1974 ; Henry, 1974)¹ l'application de la théorie financière au cas des actifs réels n'a été bien établie qu'à partir du milieu des années 1990 (Dixit et Pindyck, 1994 ; Trigeorgis, 1996)². La théorie des options réelles³ est désormais utilisée par les entreprises pour valoriser toutes sortes de projets : politique de recherche et développement, concessions minières, développement de l'appareil de production, stratégie de fusion-acquisition, entrée sur un nouveau marché, réversibilité des investissements⁴, etc., mais également pour apprécier des éléments moins tangibles tels qu'une opportunité de croissance ou un avantage compétitif futur.

La notion d'option réelle

Par analogie avec la théorie financière, on peut définir une option réelle comme la possibilité de décider un investissement ou un projet, à une date ou pendant une fenêtre temporelle donnée, pour un coût spécifié à l'avance. Ce type de raisonnement généralise une démarche connue des grandes industries qui consiste à structurer le processus de décision en organisant tous les cas possibles sur un arbre de décision. Exercer l'option, c'est-à-dire prendre la décision, dépendra de la réalisation d'un événement possible mais non certain. Par définition, l'option disparaît au moment où elle est exercée. L'option est une possibilité mais non une obligation, de sorte que le décideur reste libre de son choix quelle que soit l'évolution de la situation, que l'événement conditionnant se réalise ou pas. De fait, le concept d'option réelle reconnaît une certaine valeur à l'asymétrie du cadre décisionnel : moyennant le paiement immédiat d'un prix ou le renoncement à une partie du bénéfice ultérieur, le décideur peut tirer avantage d'une évolution favorable sans supporter les coûts d'une évolution défavorable.

La notion d'option réelle n'est pertinente que si trois conditions sont réunies :

- la présence d'incertitude sur les conséquences positives ou négatives de la décision à prendre ;

[1] Arrow K. J. et Fisher A. C. [1974], « Environmental preservation, uncertainty, and irreversibility », *The Quarterly Journal of Economics*, 88(2), mai, p. 312-319 ; Henry C. [1974], « Investment decisions under uncertainty: The "irreversibility effect" », *The American Economic Review*, décembre.

[2] Dixit A. et Pindyck R. [1994], *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press ; Trigeorgis L. [1996], *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, The MIT Press.

[3] L'adjectif « réel » est utilisé pour faire la distinction avec les options portant sur des actifs financiers : actions, obligations, taux d'intérêt, cours de change...

[4] On trouvera une application de cette approche dans le domaine du stockage de déchets nucléaires : Devezeaux J.-G. et Gollier C. [2001], « Analyse quantitative de la réversibilité du stockage des déchets nucléaires : valorisation des déchets », *Économie & Prévision*, n° 149, p. 1-13.

- la possibilité d'acquérir, postérieurement à la décision, de l'information qui réduit le niveau de cette incertitude ;
- l'existence de coûts non récupérables en cas de changement de stratégie.

La capacité à acquérir l'information nécessaire et la flexibilité dont on dispose pour adapter la décision en fonction de cette information constituent les éléments clés de la démarche. Si le futur ne révèle aucune information supplémentaire par rapport au présent, ou s'il est impossible de modifier une décision quelle que soit l'information nouvelle dont on dispose, il n'y a pas d'option disponible et donc pas de valeur d'option.

Ces problématiques se déclinent dans de nombreux domaines de l'action publique. Le tableau qui suit en donne quelques exemples.



Concept des options réelles décliné sur différents secteurs

Projet à décider	Nature d'option rencontrée	Source d'incertitude	Principale source d'irréversibilité	Information permettant de réduire l'incertitude
Construire une infrastructure de transport nouvelle	Option d'attente	Trafics	Coût de construction	Évolution de la mobilité
Tester l'impact sanitaire d'organismes génétiquement modifiés (OGM)	Option d'apprentissage	Impacts environnementaux et sanitaires	Dépenses de recherche et dissémination du gène	Enseignements tirés du programme de recherche
Construire des centrales électriques mixtes charbon/gaz	Option d'échange	Prix des combustibles	Surcoût lié à la mixité de fonctionnement de l'installation	Observation des marchés de l'énergie
Organiser une campagne de vaccination	Option de déploiement séquentiel	Morbidité causée par le virus	Coûts du dispositif de vaccination	Observatoire de la maladie
Interdire la pêche industrielle du thon rouge	Option d'abandon	Pérennité de l'espèce	Reconfiguration de la filière de pêche et disparition de l'espèce	Démographie de l'espèce
Réduire les émissions de CO ₂ / Lutter contre le changement climatique	Option de report des efforts	Impact du CO ₂ sur le réchauffement	Coût de la réduction des émissions, et irréversibilité des émissions	Recherches scientifiques sur le changement climatique

Source : Centre d'analyse stratégique, commission Gollier

Toute la difficulté consiste à définir la valeur d'une option en donnant une valeur économique aux possibilités qui sont ouvertes dans le futur pour ajuster la stratégie du décideur.

Généralement, deux cas peuvent donc se présenter :

- soit le projet envisagé ferme des possibilités, car il est relativement irréversible, et ce sont les solutions alternatives (l'une d'entre elles peut être de ne rien faire) qui préservent la flexibilité ; le critère de décision revient à comparer la VAN escomptée du projet et la VAN de la solution alternative ;
- soit le projet envisagé ouvre des possibilités nouvelles, et c'est plutôt sa non-réalisation qui limite la flexibilité du décideur ; le critère de décision revient alors à vérifier si la VAN escomptée du projet, augmentée de la valeur de l'option créée, est positive.

Selon le cas, la valeur d'option considérée vient donc s'ajouter ou se retrancher à la VAN du projet et peut ainsi modifier le critère de décision.

Le calcul d'une valeur d'option

Tout l'enjeu des options réelles est d'estimer la valeur actuelle des bénéfices potentiels futurs de la décision, c'est-à-dire des possibilités ouvertes pour éventuellement modifier la stratégie. Cela revient à chercher la valeur aujourd'hui des risques qui se matérialiseront dans le futur, au moment où d'autres décisions seront possibles pour adapter la stratégie.

Considérons par exemple un projet dont la réalisation est irréversible une fois la décision d'implémentation prise, et dont la valeur socioéconomique est incertaine. Dans ce cadre, la valorisation d'une option réelle met en jeu quatre facteurs :

- le coût irrécupérable associé à la décision. Il s'agit généralement du montant de l'investissement I que l'on envisage. C'est le prix d'exercice de l'option et c'est lui qui génère l'irréversibilité de la décision ;
- la valeur socioéconomique actuelle V_0 du projet, c'est-à-dire la VAN espérée du projet s'il était réalisé immédiatement ;
- des informations reçues ultérieurement sur la VAN espérée du projet. Celles-ci vont faire fluctuer sa valeur socioéconomique estimée, notée V_t . On suppose souvent que cette valeur fluctue selon un mouvement brownien géométrique, avec une volatilité σ . La volatilité indique à quelle vitesse

s'élargit l'intervalle de confiance sur la valeur future V_t à mesure que s'éloigne l'horizon de temps ;

- le taux d'actualisation α qui définit le degré de préférence du décideur pour le présent.

Dans un tel contexte, même si la valeur socioéconomique espérée V_t est supérieure au coût d'investissement I , on pourra préférer attendre avant d'entreprendre le projet, en particulier si les perspectives d'obtention d'informations complémentaires sur la vraie valeur du projet sont fortes. On dit alors que la valeur d'option d'attendre est élevée et justifie le report de la décision d'investissement. Si on décide d'investir à la date t , le gain socioéconomique associé à la décision sera la différence entre la VAN des bénéfices socioéconomiques attendus et le coût initial d'investissement ($V_t - I$). La difficulté pour le décideur consiste à déterminer une règle de décision qui maximise la création de valeur socioéconomique nette du projet. Compte tenu des informations disponibles sur le projet synthétisées par V_0 , on cherche la règle de décision qui maximise¹ :

$$E(\max(V_t - I, 0) \cdot e^{-\alpha t} \mid V_0)$$

où $e^{-\alpha t}$ est le facteur d'actualisation donnant la valeur aujourd'hui du gain réalisé à la date t et $E(\dots \mid V_0)$ est l'espérance conditionnelle par rapport à l'information disponible aujourd'hui. Le calcul est établi en utilisant une distribution de probabilité du risque corrigée dans le cas où celui-ci est corrélé avec le risque macroéconomique².

La règle de décision optimale se ramène pratiquement à l'étude du positionnement de la valeur du projet par rapport à un seuil critique, noté V^* , qui fait qu'il est socialement désirable d'investir dans le projet à la date t si et seulement si V_t est supérieur à ce seuil V^* . En appréciant la différence entre V^* et I , on détermine le meilleur compromis possible entre la valeur des informations complémentaires que l'on obtiendrait en attendant, et le coût qu'il faut consentir pour attendre cette information. Si on investit alors que V_t n'est que faiblement supérieur à I , le risque est élevé que des informations complémentaires surgissent rapidement après la mise en œuvre du projet et conduisent à inverser les conclusions sur la valeur socioéconomique nette d'un projet. Au fur et à mesure que V_t s'écarte de I , un tel risque s'amenuise.

[1] *Mutatis mutandis*, l'expression mathématique standard d'une valeur d'option ressemble toujours à cette formule.

[2] Se reporter sur ce point à la présentation théorique du chapitre 2.

Évidemment, les conclusions dépendent du taux d'actualisation. Si les parties prenantes n'accordaient aucune valeur au temps, le mieux serait d'attendre pour obtenir une information complète sur la qualité du projet avant d'investir. Le fait que la société accorde une valeur au temps, c'est-à-dire qu'il existe un coût à ne pas investir dans un projet dont la valeur socioéconomique nette espérée est positive, signifie que la valeur d'option $V^* - I$ est positive, mais finie. Au total, la valeur d'option est une fonction croissante de σ , et décroissante de α .

Lorsque l'incertitude inhérente au projet embrasse un intervalle continu de valeurs possibles, le calcul pratique de cette formule fait appel aux techniques du calcul stochastique et nécessite généralement de recourir à l'outil informatique¹.

Lorsque l'incertitude peut être caractérisée par un petit nombre de scénarios alternatifs sur l'état du monde, le calcul d'une valeur d'option s'effectuera généralement de manière pragmatique en s'appuyant sur une représentation graphique du problème décisionnel, comme on le montre ci-après dans un cas simple. Formellement, la décision en situation d'incertitude peut en effet être représentée par un arbre décisionnel dont chaque nœud correspond à une décision et dont le parcours des branches est soumis à la révélation progressive d'information sur les paramètres incertains. Calculer la valeur d'une option réelle, c'est calculer la valeur des branches encore accessibles depuis le nœud où l'on se trouve (même si, à mesure que l'on acquerra de l'information, on écartera progressivement certaines de ces branches). Par suite, le calcul pratique d'une valeur d'option réelle peut appliquer des techniques de programmation dynamique utilisées en recherche opérationnelle.

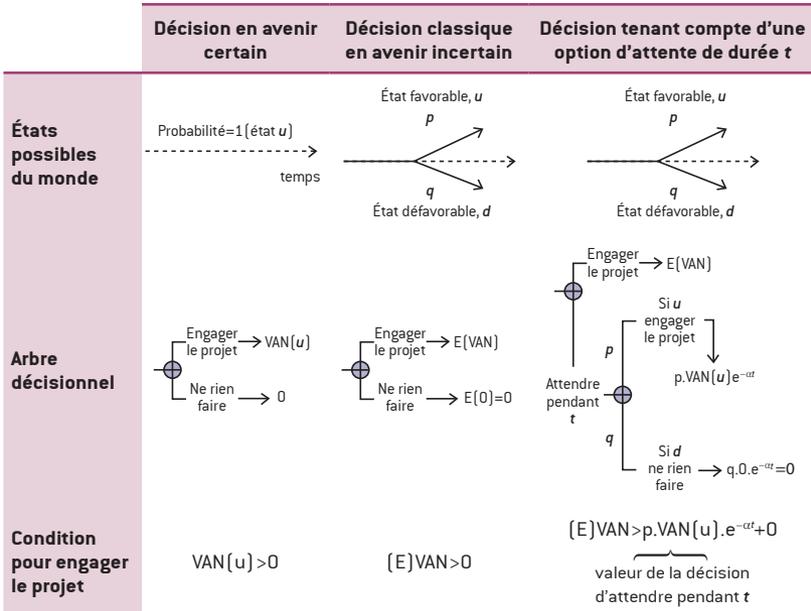
La décision classique en avenir certain consiste à engager le projet si sa VAN est positive². Lorsque le futur est incertain, les bénéfices du projet, et donc sa VAN, vont dépendre de paramètres qui seront plus ou moins favorables et qui ont une probabilité plus ou moins grande de survenir. Si l'on s'en tient à l'approche classique, le critère de décision sera alors de vérifier si l'espérance d'utilité des bénéfices futurs dans tous les états possibles du monde est bien positive. Pour

[1] Sous certaines hypothèses relatives à la forme fonctionnelle de l'incertitude, il existe toutefois quelques modèles donnant lieu à une résolution analytique exacte, tel le modèle de Black et Scholes qui fait notamment l'hypothèse que l'actif sous-jacent (ici les bénéfices du projet) suit un mouvement brownien géométrique. D'autres modèles ont été proposés pour tenir compte de lois d'évolution différentes mais les calculs deviennent rapidement complexes dès lors que l'incertitude est supposée suivre une autre loi que la loi gaussienne et, la plupart du temps, on doit recourir à une résolution numérique approchée.

[2] La VAN du projet est en fait la différence entre la VAN du projet et celle du scénario de référence retenu comme l'alternative la plus probable au projet envisagé, c'est-à-dire en général « ne pas réaliser le projet ».

un décideur neutre au risque, cela revient à vérifier que l'espérance de la VAN du projet est positive ($E[VAN] > 0$)¹.

♥ Valeur d'option et irréversibilité



p, q : probabilités d'occurrence des deux états futurs du monde, respectivement l'état $u(p)$ et l'état $d(q)$ (avec $p + q = 1$);

VAN : valeur actuelle nette du projet $VAN(u)$ indiquant la VAN obtenue lorsque l'état du monde est u ;

$e^{-\alpha t}$: facteur d'actualisation des bénéfices intervenant au bout d'un temps t ;

$E(VAN)$: espérance mathématique de la VAN qui vaut $p.VAN(u) + q.VAN(d)$.

Nota bene : les calculs en avenir incertain font ici l'hypothèse d'un décideur neutre au risque, t est le délai auquel on pense que l'on connaîtra l'état de la nature. Si t est infini, on retrouve le schéma de décision classique en avenir incertain.

Source : Centre d'analyse stratégique, commission Gollier

Si l'on estime que ne pas engager le projet immédiatement permet d'attendre un moment éventuellement plus favorable, en particulier celui où l'on saura

[1] Si le décideur est averse au risque, l'espérance de la VAN doit être minorée d'une prime de risque dépendant de la forme de la fonction d'utilité du décideur. De manière alternative, le calcul est souvent fait en espérance de VAN mais en remplaçant les probabilités réelles p et q par des probabilités fictives, dites risque-neutre, qui intègrent *ex-ante* l'aversion du décideur pour le risque.

si l'état du monde se révèle favorable au projet, l'alternative qui consiste à attendre ce moment présente une valeur d'option. En effet, au bout d'un temps t , on saura si engager le projet engendre une VAN positive ($VAN(u) > 0$) ou au contraire une VAN négative ($VAN(d) < 0$)¹. Dans le cas favorable, on retirera à partir de la date t un bénéfice à réaliser le projet, bénéfice dont la valeur actuelle est $VAN(u).e^{-\alpha t}$, où $e^{-\alpha t}$ est le facteur d'actualisation tenant compte du délai avant l'obtention de ces bénéfices. Dans le cas défavorable, l'état du monde observé à la date t conduira à renoncer au projet et les bénéfices seront nuls.

Cette possibilité de choisir d'engager ou non le projet à la date t permet donc de maximiser les bénéfices à cette date, soit $\max(VAN(u), 0)$, ce qui représente en valeur actuelle $\max(VAN(u), 0).e^{-\alpha t}$ et, si l'on tient compte des probabilités d'occurrence des différents états du monde, conduit à la valeur de la décision tenant compte de l'option d'attendre : $E[\max(VAN(u), 0).e^{-\alpha t}]$.

Considérer l'option d'attendre conduit à comparer la valeur escomptée du projet s'il était réalisé immédiatement ($E[VAN]$) non plus à zéro mais à la valeur escomptée du projet s'il était réalisé ultérieurement une fois connue l'évolution du monde ($E[\max(VAN(u), 0).e^{-\alpha t}] = p.VAN(u).e^{-\alpha t}$). La valeur d'option d'attente fixe donc un nouveau seuil au critère de décision d'engager le projet : il est préférable d'attendre tant que les gains espérés du projet sont inférieurs à la valeur d'option d'attente car, en cas de scénario favorable, ce que l'on perd en ne réalisant pas le projet tout de suite ($p.VAN(u) - p.VAN(u).e^{-\alpha t}$) est inférieur à ce que l'on perdrait en cas de scénario défavorable au projet ($-q.VAN(d)$).

Qualitativement, on lit sur cet exemple simple mais pédagogique que l'attente a d'autant plus de chance d'être préférée à l'engagement immédiat du projet que l'incertitude sur la réussite du projet est importante (p est faible), que le temps d'acquisition de l'information (t) est court et que le rapport de la possibilité de perte à la possibilité de gain est élevé.

Il est possible de raisonner de manière similaire en considérant une option créant de la flexibilité qui ajouterait une valeur à certaines branches de l'arbre décisionnel. Si le projet ouvre une perspective de développement générant des bénéfices $VAN(u)$ dans le cas d'un état du monde favorable, alors la valeur prévisionnelle escomptée de cette option doit être mise au compte du projet. La valeur de l'option serait dans ce cas $\max(0, p.VAN(u).e^{-\alpha t})$ qui vient s'ajouter à l'espérance de VAN du projet lui-même ($E[VAN]$). Le critère de décision du

[1] Raisonner directement sur les VAN fait implicitement l'hypothèse d'un décideur neutre au risque, sauf à prendre en compte les probabilités risque-neutre (voir note précédente).

projet ne se fonde alors plus seulement sur l'espérance de la VAN mais sur l'espérance de la VAN augmentée de la valeur de l'option créée par le projet.

Intérêts et limites des valeurs d'option

La notion de valeur d'option apparaît avec évidence dès que l'incertitude présente un caractère dynamique, ce qui est le contexte de la plupart des décisions. En attachant une valeur à la flexibilité, elle tient compte de facteurs traditionnellement omis par l'analyse coûts-avantages standard alors même qu'ils peuvent présenter un grand intérêt pour le décideur. La valeur d'option formalise par le calcul ce que les décideurs apprécient en général intuitivement lorsqu'ils considèrent les marges de manœuvre qui résulteront de leurs choix. De ce fait, elle rend plus objectifs les critères de décision. Utilisée en complément, voir intégrée à l'analyse coûts-avantages, cette notion peut renforcer la place de l'évaluation quantitative dans les processus de décision. Elle est utilisée de plus en plus fréquemment avec un double avantage, à la fois comme outil d'analyse stratégique, pour analyser la valeur de décisions amenant à disposer de choix dans l'avenir et comme outil numérique, pour valoriser ces choix, et évaluer les investissements en tenant compte de la flexibilité qu'ils apportent.

Par construction, calculer la valeur d'option d'un projet conduit à s'interroger sur la nature de l'incertitude sous-jacente et permet de clarifier le rôle des différentes sources d'aléas. *A fortiori*, l'approche dynamique, associée à la marche sur un arbre décisionnel, revient à décomposer un projet comme une suite de décisions élémentaires. Elle contribue de ce fait à identifier l'enchaînement des étapes et le caractère réversible ou non de chaque phase. Au-delà même de l'aspect quantitatif, la valeur d'option est donc un outil pour analyser les termes du problème décisionnel.

Toutefois, le calcul pratique des valeurs d'option peut présenter de nombreuses difficultés dès que l'on sort des cas simples. À l'instar des autres outils d'analyse des risques présentés dans ce rapport, les valeurs d'option n'échappent pas à deux difficultés récurrentes : la question des interactions entre plusieurs variables aléatoires, qui impose de savoir modéliser les corrélations entre variables, et la question de l'appréciation des très faibles probabilités des événements extrêmes, qui demeure non résolue tant que l'on s'appuie sur des distributions de probabilité historique sans représentation statistique adéquate des risques exceptionnels.

Outre ces difficultés récurrentes, le calcul des valeurs d'option par les méthodes d'options financières, notamment par le modèle de Black et Scholes, pose

des difficultés méthodologiques souvent ignorées. Par exemple, de nombreux modèles d'évaluation des valeurs d'option font l'hypothèse de mouvement brownien de la valeur socioéconomique du projet. Cette hypothèse conduit à la normalité de la distribution des valeurs futures, dont on sait qu'elle sous-estime parfois de façon drastique la probabilité des événements extrêmes, comme l'illustre la crise financière de 2008. Il est clair qu'aucune des trois hypothèses de fonctionnement des marchés supposées en finance, liquidité, complétude et absence d'arbitrage, n'est parfaitement vérifiée en pratique ni pour les actifs financiers ni pour les projets réels. Les facteurs aléatoires qui caractérisent les projets réels peuvent s'éloigner substantiellement des mouvements browniens géométriques généralement postulés pour les modèles d'option standard. Compte tenu de cette limite méthodologique, la prudence s'impose pour l'application de tels modèles et l'interprétation de leurs résultats numériques. D'autres hypothèses sur la variabilité des risques que celles tirées de l'application de la théorie des marchés financiers pourraient conduire à donner une valeur différente, et peut-être plus conforme aux croyances du décideur, à l'option réelle considérée.

Articuler valeur d'option et décision publique

La valeur d'option résulte de la combinaison de l'incertitude, d'une acquisition progressive d'information, d'irréversibilité, et de la capacité à retarder la décision qui invite en amont de l'évaluation à s'assurer que ces quatre critères sont bien concomitants. Comme cela a été rappelé plus haut, la valeur d'option est consubstantielle de la notion de flexibilité. Prendre une décision, qu'il s'agisse de faire ou de ne pas faire, c'est en soi créer de l'irréversibilité. Y a-t-il pour autant potentiellement une valeur d'option détruite à chaque fois que l'on prend une décision ? Non, si la décision est bien prise, car dans ce cas la valeur actuelle estimée de l'option – que l'on n'exerce pas, et à bon escient – est nulle.

Il faut ainsi se garder de considérer la théorie des options réelles comme la solution à tous les problèmes du décideur. Calculer la valeur d'une option n'a d'intérêt que si l'incertitude sous-jacente est importante et si le processus d'acquisition d'information permettra de réduire significativement cette incertitude. Si l'incertitude est faible, il y a peu d'intérêt à calculer une valeur d'option. Décider en environnement quasi certain est presque équivalent à décider en environnement certain : lorsque le risque est négligeable, la valeur d'option ne conduira pas à changer drastiquement les conclusions apportées par un calcul classique de VAN. Par ailleurs, si l'incertitude ne change pas au cours du temps ou s'il faut attendre un temps excessivement long pour cela, le

problème du décideur restera identique dans le futur à ce qu'il est aujourd'hui, toutes choses égales par ailleurs.

L'existence d'une valeur d'option ne doit pas pour autant dissuader de prendre une décision. Par exemple, même si l'option d'attendre est significative, il ne faut pas repousser indéfiniment la décision qui y est suspendue sous peine de ne rien faire du tout. Il faut garder à l'esprit que la valeur d'option repose sur quelque chose d'immatériel, une opportunité, et conserver indéfiniment une opportunité ne fait pas avancer le monde. Parfois même, attendre n'est tout simplement pas possible.

Par ailleurs, en dehors des cas idéaux – où l'incertitude se résume à un mouvement brownien géométrique, ou lorsqu'on peut dupliquer l'option réelle par des options financières cotées sur le marché (supposé parfait...) –, l'estimation requiert une modélisation « à la main » (en fait arbre de décision résolu numériquement par raisonnement rétrograde) qui conduit à réserver l'usage de ces méthodes aux projets d'une ampleur suffisante et dans lesquels ce type d'approche peut alimenter utilement le débat. Dans le cas contraire, il est préférable d'en rester à une appréciation plus qualitative des irréversibilités et à des estimations subjectives des probabilités des états de la nature aux divers instants.

Enfin, l'usage de cet outil impose un surcroît de pédagogie dans la justification de la manière dont l'incertitude est prise en compte dans la décision. Si l'on considère l'exemple du prototype EPR¹, le risque existe que ce projet ne soit pas suivi d'un programme de centrales nucléaires EPR à l'horizon 2015. Les opposants initiaux au projet auront alors toute latitude pour dénoncer le gaspillage d'argent public dans un projet dont la rentabilité était initialement jugée insuffisante et s'est effectivement révélée insuffisante *a posteriori*. Ce serait oublier que le coût du prototype EPR était le prix d'une assurance contre la hausse des prix du gaz naturel. Dès lors, le décideur public aura préféré payer cette assurance, quitte à ce qu'elle ne serve pas, plutôt que se trouver confronté à une hausse massive des prix de l'énergie. En matière de gestion dynamique de l'incertitude, il faut ainsi se garder de juger *a posteriori* une décision de choix entre plusieurs solutions sans tenir compte du niveau d'information qui était disponible au moment où la décision a été prise.

Au total, il semble très utile d'engager ce type de travaux et réflexions notamment pour aborder sur des temps longs la valeur des projets qui

[1] Voir Épaulard A. et Gallon S. [2001], « La valorisation du projet nucléaire EPR par la méthode des options réelles », *Économie & Prévision*, n° 149, 2001-3, p. 29-50.

pourraient, dans certains contextes énergétiques, avoir plus de valeur qu'ils n'en ont aujourd'hui.

Par exemple, l'incertitude sur le prix du carbone et le prix du pétrole amène à recommander, sur le plan économique, d'étudier des projets qui ne présentent pas aujourd'hui un fort intérêt, avec les valeurs actuelles du carbone ou du pétrole, mais qui pourraient en présenter demain en cas de raréfaction des hydrocarbures. Compte tenu de leur temps particulièrement long, certaines infrastructures de transport, notamment ferroviaire, comportent une valeur d'option pour la politique des transports. Cela est particulièrement marqué pour les projets en faveur du fret, où la valeur d'option carbone pourrait représenter 10 % à 25 % du montant du projet en première approche. On trouvera un très bon exemple de l'application de la valeur d'option dans une évaluation socio-économique d'une infrastructure de transport. Cet exemple illustre clairement combien la prise en compte d'un contexte risqué où les décisions n'ont pas le même degré d'irréversibilité et dans lequel le niveau d'information croît au cours du temps peut inverser les arbitrages entre plusieurs projets¹.

De même en matière d'urbanisation, mettre en place des dispositifs de précaution, par exemple réservations de terrain ou projets d'intérêt général (PIG), dans toutes les zones à forte progression de l'urbanisation, comporte une utilité économique que l'on devrait évaluer dès qu'un projet peut y être raisonnablement envisagé. On peut songer, par exemple, aux doubléments futurs des grands axes LGV à la sortie des grandes agglomérations (grande couronne parisienne, Lyon, etc.), ainsi qu'aux projets en zone à forte croissance urbaine (PACA, corridor languedocien) ou aux projets de contournements urbains (contournements ferroviaires de l'agglomération lyonnaise, de Dijon, etc.), pour lesquels des mesures de précaution devraient très rapidement être intégrées dans les projets urbains locaux.

Sur un plan méthodologique, pour accompagner la mise en œuvre de l'outil « valeur d'option » au service des processus de décision publique, on peut recommander les éléments suivants :

- la poursuite de la recherche autour de l'application de la théorie des options réelles, à la fois comme outil de valorisation et comme outil stratégique pour les choix de politiques publiques couvrant des domaines assez larges (politique des transports, de l'énergie, de la santé, de l'environnement, etc.) ;

[1] Denant-Boémont L. et Hammiche S. [2000], « Gains d'information du décideur public et valeur d'option des grands projets d'infrastructure », *Économie & Prévision*, n° 143-144.

- l'étude de son application à la valorisation financière de projets pour leurs porteurs ;
- l'élargissement de son domaine de pertinence à des décisions touchant le mode de fonctionnement des réseaux, les choix technologiques de leur entretien, leur modernisation et leur renouvellement ;
- plus généralement, l'utilisation de cette théorie en économie de l'aménagement, notamment pour ce qui concerne les dispositifs de précaution ; en particulier, en matière d'urbanisme, la prise en compte de l'accès aux transports collectifs dans les schémas, au titre de la précaution par rapport aux risques carbone et pétrole.

3.2. Les enjeux économiques du biais optimiste dans les évaluations

Position du problème

Dans un monde incertain, il faut s'attendre à ce qu'un certain nombre de projets dont l'évaluation socioéconomique *ex-ante* était positive se révèlent destructeurs nets de valeur *a posteriori*. Savoir s'engager dans des paris risqués, mais raisonnés, bien mesurés et bien gérés, peut conduire pourtant à l'échec, par pure mauvaise fortune. Une perte nette *ex-post* ne signifie pas nécessairement une erreur de décision *ex-ante*. Ainsi, l'absence de sinistre *ex-post* ne signifie pas nécessairement que l'effort de prévention *ex-ante* était vain et inutile, tout comme l'existence d'un sinistre ne justifie pas nécessairement la décision de prévention antérieure.

Comme on le rappelait plus haut, quand on juge *ex-post* de l'efficacité d'une décision *ex-ante*, ce jugement doit absolument se faire au regard des informations disponibles sur le risque au moment où la décision a été prise, et non pas de celles qui ont été obtenues depuis. Les bilans *a posteriori* devraient être capables de différencier les échecs qui proviennent d'erreurs manifestes d'évaluation *a priori* de ceux qui sont la conséquence naturelle des aléas.

De fait, les bilans *a posteriori* qui ont pu être réalisés et étudiés¹ montrent que, dans certains secteurs, les évaluations socioéconomiques *ex-ante* pèchent plus souvent par leur excès d'optimisme que de pessimisme, l'opportunité socioéconomique y étant surévaluée. Les prévisions initiales apparaissent entachées d'un biais, les coûts étant généralement sous-estimés et les

[1] Voir notamment Flyvbjerg B., Holm M. S. et Buhl S. [2002], « Underestimating costs in public works projects – Error or lie? », *Journal of the American Planning Association*, 68(3), p. 279-295.

bénéfices parfois surestimés. Ce phénomène semble d'autant plus marqué que la distribution des aléas sur une variable ou un scénario pouvant affecter un projet n'est pas nécessairement symétrique. Dans ce cas l'évaluateur se focalise, souvent de bonne foi, sur la valeur la plus probable (le mode) au lieu de raisonner sur l'espérance mathématique (la valeur moyenne, qui peut être plus faible que le mode).



L'évaluation optimiste des coûts des infrastructures de transports

La loi n° 82-1153 du 30 décembre 1982 d'orientation des transports intérieurs (LOTI) impose que « *les grands projets d'infrastructures et les grands choix technologiques [fassent l'objet d'évaluations] rendues publiques avant l'adoption définitive des projets concernés. Lorsque ces opérations sont réalisées avec le concours de financements publics, un bilan des résultats économiques et sociaux est établi au plus tard cinq ans après leur mise en service. Ce bilan est rendu public.* » [art. 14]. Les évaluations menées *a posteriori* par le ministère en charge des transports font apparaître une dérive systématique des coûts de construction entre les estimations initiales et le coût de réalisation.

Pour les six lignes ferroviaires à grande vitesse en service (hors LGV Est première phase) représentant 1 473 km de lignes nouvelles, on constate que l'écart sur les coûts de construction est en moyenne de 17 % entre la réalisation et la prévision établie au moment de la déclaration d'utilité publique du projet (fourchette de + 8 % à + 24 %). Cet écart moyen se réduit à 7 % si l'on compare le coût de réalisation et la prévision établie au moment de la décision d'approbation ministérielle (fourchette de + 4 % à + 22 %).

Pour 28 projets routiers représentant près de 2 340 km d'infrastructures nouvelles, on constate que l'écart sur les coûts de construction est en moyenne de 21 % entre la réalisation et la prévision établie au moment de la déclaration d'utilité publique du projet (fourchette de - 27 % à + 75 %). En revanche, sur 10 d'entre eux totalisant 585 km, l'écart est de 32 % entre la réalisation et la prévision établie au moment de la déclaration d'utilité publique, mais seulement de 4 % entre la réalisation et la prévision établie au moment de la décision d'approbation ministérielle.

Le laps de temps entre la déclaration d'utilité publique et la décision ministérielle d'engager le projet permet donc d'affiner les estimations de coût mais, en moyenne, il demeure un biais optimiste même dans les estimations les plus approfondies.

Source : ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

En surestimant la rentabilité des projets, l'excès d'optimisme biaise les choix politiques et l'allocation efficace des ressources financières.

La hiérarchisation des projets est vaine si les écarts de rentabilité supposés entre deux projets proviennent d'un différentiel de biais important dans leurs évaluations respectives.

Plus grave, des projets peuvent sembler intéressants alors que l'espérance mathématique non biaisée de leur bilan s'avère négative pour la collectivité.

Par ailleurs, une fois la décision prise, la sous-estimation initiale des coûts conduit à une mauvaise programmation budgétaire qui entrave la phase de mise en œuvre du projet. Faute de crédits suffisants, le projet ne peut se dérouler comme prévu, entraînant divers surcoûts et retards : arrêt momentané des chantiers, pénalités financières, restructuration de la société porteuse du projet en cas de faillite, etc., et les crédits supplémentaires débloqués pour mener le projet à terme réduisent la capacité financière nécessaire à la réalisation des autres projets.

Les causes des biais optimistes

Comme toute erreur d'évaluation, les biais ont des conséquences déplorables sur l'efficacité de l'action publique. Les causes en sont multiples et la résolution de ce problème ne peut s'accommoder d'un traitement forfaitaire global et systématique. Il faut d'ailleurs se garder de l'excès inverse qui résulterait d'un biais pessimiste. Les interprétations élargies, que l'on voit poindre depuis quelques années, en relation avec le principe de précaution, montrent d'ailleurs les conséquences d'un tel travers.

Différentes circonstances semblent expliquer les biais rencontrés dans certains domaines d'intervention de la puissance publique.

Par essence, les projets assumés par la sphère publique sont souvent complexes, de sorte que les problèmes potentiels peuvent y être mal anticipés. La multiplicité des intrants et des interactions, le délicat ordonnancement des tâches et la progressivité dans la modélisation des effets du projet conduisent le planificateur à devoir simplifier volontairement certains aspects. Les études préliminaires servent à évaluer ce qu'est le projet à l'heure de l'évaluation, en l'état des connaissances : c'est un projet en devenir, aux coûts et rendements incertains, mais dont les risques peuvent être identifiés et évalués *via* des marges-projet adéquates. Les incertitudes sous-jacentes, et donc les primes

de risque, ont alors vocation à s'amenuiser à mesure que l'avancement de la procédure d'évaluation permet d'affiner les études et la maîtrise des risques du projet¹.

Toutefois, les délais de maturation, souvent longs lorsqu'il s'agit de projets complexes, induisent des changements dans les équipes d'étude et de pilotage – quand ce n'est pas dans les objectifs mêmes du projet – ce qui ne facilite guère l'affinage des évaluations initiales à mesure que le projet mûrit. Même lorsque les réévaluations successives permettent de gagner en précision et en fiabilité, la rentabilité économique devient généralement une considération secondaire à mesure que les enjeux politiques se cristallisent autour du projet. Enfin, une fois prise la décision de principe de réaliser, les nécessités financières et d'acceptabilité sociale prennent le pas sur les modalités techniques évaluées lors des études et conduisent souvent à modifier le projet, parfois d'une ampleur à la limite du marginal, sans que l'évaluation économique soit remise à jour. Le projet mis en œuvre peut ainsi différer plus ou moins sensiblement du projet étudié. De telles évolutions postérieures à la décision de faire constituent en elles-mêmes un risque difficilement quantifiable dans l'évaluation économique et induisent un biais de fait.

L'intérêt des porteurs de projet est sans doute largement responsable du biais d'optimisme. Qu'il s'agisse du modélisateur qui finit par s'attacher à un projet qu'il étudie parfois pendant des années, du maître d'ouvrage dont l'intérêt est de voir aboutir son projet, ou du décideur public qui privilégie les bénéfices politiques de court terme aux risques de long terme et n'a d'ailleurs pas toujours de responsabilités directes sur le financement, tous les acteurs du processus décisionnel peuvent être enclins à présenter leur projet sous un jour favorable. L'école économique des Choix Publics², et la théorie de la capture

[1] Le *guideline* britannique évoque pour le transport toute une série de points techniques : *Typology of specific technical causes for cost escalation in transport projects: Standards* (changed requirements such as speed, road width, road type); *Routing* (changed routing); *Norms* (changed safety norms or building norms); *Environment* (tighter environmental standards); *Geo-techniques* (complex or extensive works on geo-techniques, water or mountain); *Archaeology* (unexpected archaeological finds); *Expropriation costs* (under estimated expropriation costs); *Complex interfaces* (urban environment, links to existing infrastructure); *New or unproven technology* (limited experience base); *Construction costs* (business cycle or competitive situation); *Calculation approach* (calculations based on everything goes as planned); *Delays due to weather*.

[2] Cette approche théorique de la décision publique (dont les chefs de file les plus connus sont James M. Buchanan, Gordon Tullock, William Niskanen, Robert D. Tollison) suppose que chaque acteur cherche, dans le processus de décision et les libertés que lui donnent les institutions, à maximiser son intérêt. Cet intérêt peut être économique (profit), mais aussi bureaucratique (prestige, budget, personnel) ou politique (influence).

du régulateur par les groupes de pression, ont largement analysé ces conflits d'intérêts en montrant comment le processus décisionnel, aussi démocratique soit-il, peut dévier de l'objectif de maximisation du bien-être collectif et ne refléter qu'imparfaitement l'avis de la collectivité. Ces conflits d'intérêts sont d'autant plus difficiles à contrôler que les incertitudes sont complexes, et que l'information est asymétrique.

Le biais d'optimisme¹ peut alors être analysé comme résultant tout à la fois de l'organisation du processus de décision aussi bien que des comportements stratégiques dans ce processus. Devant le constat que, souvent, trop peu d'acteurs ont intérêt à une évaluation prudente, ou tout simplement centrée sur la moyenne estimée, il peut sembler utile que l'évaluation économique soit conduite sur une base contradictoire, en donnant lieu à contre-expertise, et que les porteurs de projet soient mieux responsabilisés.



Exemples de causes du biais d'optimisme dans les projets de transport

Causes du biais d'optimisme	Exemples
techniques	<ul style="list-style-type: none"> Information imparfaite : date imprécise, technologie nouvelle ou non éprouvée. Changements de cadre ou d'envergure en ce qui concerne la vitesse, la capacité de l'infrastructure, les itinéraires possibles, les normes de sécurité et d'environnement. Problèmes dans la gestion du projet : méthode de calcul inadéquate, passation des marchés, partage des risques.
psychologiques	<ul style="list-style-type: none"> Tendance des individus et des organisations à l'optimisme. Optimisme de l'évaluation.
économiques	<ul style="list-style-type: none"> Intérêts de l'entreprise de construction et des consultants à l'avancement du projet.
politiques et institutionnelles	<ul style="list-style-type: none"> Intérêts, pouvoirs, et jeux institutionnels. Les acteurs peuvent mentir délibérément pour servir leurs intérêts et voir un projet se réaliser.

Source : *The British Department for Transport (ministère des transports britannique), 2004 ; traduction CAS*

Fondamentalement, le biais d'optimisme résulte d'une prise en compte insuffisante et insuffisamment contradictoire des risques au cours du

[1] On parlera plutôt de biais pessimiste quand il s'agit d'investissement de prévention, certaines parties prenantes ayant là intérêt à une évaluation pessimiste du risque d'inondation, de catastrophe écologique ou d'épidémie.

processus de décision. Seule une évaluation minutieuse, transparente, sincère, contradictoire et proportionnée des risques du projet semble donc à même de limiter ce biais. Minutieuse, car tous les risques doivent être évalués avec méthode et attention. Transparente, car l'évaluation doit mettre à disposition toutes les informations utilisées afin d'éviter les problèmes d'asymétrie d'information qui pourraient biaiser le point de vue, voire le comportement des différents acteurs envers le projet. Sincère, car l'évaluation ne doit pas chercher à tromper. Contradictoire, car elle doit permettre de faire valoir des points de vue suffisamment divergents quant à l'appréciation réelle des risques et de l'aversion aux risques. Enfin, proportionnée, car l'évaluation doit se concentrer sur les facteurs influençant significativement l'atteinte des critères qui caractérisent le projet (qualité, coûts, délais, etc.).

Corriger les biais

La correction du biais d'optimisme dans les études ne peut se borner à l'application de coefficients forfaitaires minorant les rendements attendus. Ce type de pratique systématique risquerait de donner l'illusion que le problème est ainsi maîtrisé, alors que pour limiter ces effets il est indispensable de mettre en place avec ténacité les procédures évoquées ci-dessus. Par ailleurs, les référentiels qui seraient produits seraient très vite intégrés par les acteurs concernés par le projet, le biais optimiste endigué pourrait s'en trouver renforcé dans une fuite en avant. De plus, la stratégie du coefficient correcteur systématique pénalise les institutions vertueuses qui tentent de mettre en place des méthodes d'évaluation efficaces, ou celles qui ont des projets très transparents, peu propices aux dépassements imprévus de coût.

Cela étant, l'étude de ces biais est un élément d'information important. Si ce biais est vérifié sur les données historiques de projets comparables, il est possible d'identifier les variables sur lesquelles ce biais est sensible, voire de les quantifier.

À titre d'illustration, la méthode britannique, explicitée dans le *Green Book*¹, prescrit de compenser le biais d'optimisme dans le calcul des coûts

[1] La réflexion de l'administration britannique sur le sujet est exposée dans le Livre vert sur l'évaluation. Ce document émis sous l'autorité du Trésor britannique propose un *guideline* sur les évaluations [*ex-ante* (*appraisal*) et *ex-post* (*evaluation*)]. Dans ce guide, on trouvera un développement particulier et une annexe consacrés à l'analyse du biais d'optimisme : www.hm-treasury.gov.uk/greenbook. Par ailleurs, l'administration britannique en charge des transports propose un guide spécifique sur ce point : *The British Department for Transport, Procedures for Dealing with Optimism Bias in Transport Planning Guidance Document*, juin 2004.

et des bénéfiques de manière très différenciée selon les caractéristiques fines du projet, son cadrage et l'état d'avancement des études. Risque par risque, les valeurs résultant de l'approche standard (réputée biaisée) sont alors corrigées, à la hausse ou à la baisse, d'une provision pour aléas et imprévus, dont l'ampleur repose sur les performances historiques de projets comparables. Si certains risques apparaissent d'ores et déjà maîtrisés, les promoteurs du projet peuvent décider de ne prendre en compte qu'une partie de la correction, tout en étant tenus de justifier leur choix. Cette évaluation est intégrée au sein d'une stratégie de *risk management* plus globale qui vise à minimiser les dérives par une identification systématique des risques, puis par leur traitement. La procédure est à la fois pratique, souple et évolutive – les provisions pour aléas et imprévus recommandées par *Her Majesty Treasury* sont régulièrement mises à jour en fonction des évolutions observées sur les nouveaux projets.

Cette approche évite l'écueil d'une application arbitraire de coefficients forfaitaires et semble bénéficier d'une bonne acceptabilité sociale et politique au Royaume-Uni. Elle permet de prendre en compte ces effets dans les évaluations, mais aussi d'alimenter le débat et les discussions sur la base d'éléments objectifs. Une des méthodes pour circonscrire ce problème est, après avoir identifié les éléments qui expliquent ce biais, de demander que l'évaluation documente systématiquement, au moins qualitativement, chacun de ces points. L'explicitation dans l'étude et le débat des éléments de motivation sur les principaux risques de dérive a une vertu intrinsèque.

L'effet d'« échelle de perroquet » relaté plus haut demeure, mais cette approche tente de le limiter par la procédure de mise à jour des provisions standardisées, qui permet de récompenser les efforts de réduction des biais des porteurs de projet.

D'autres techniques pour compenser les biais seraient de « stresser la VAN » avec des scénarios de plus faible probabilité d'occurrence (donc d'autant plus contraignants et contrastés) ou (avec la méthode de Monte-Carlo) d'intervenir à l'aval des calculs en réduisant la probabilité acceptable que la VAN soit négative, et ce d'autant plus sévèrement que les inputs seraient réputés biaisés.

📌 Exemples de sources de dérive d'un projet

Passation des contrats

1. Complexité du contrat

- Les détails du transfert de risques ne sont pas précisés.
- Les modalités de paiement ne sont pas clairement définies.
- La longueur des négociations sur les termes du contrat est sous-estimée.

2. Implication tardive de l'entreprise dans la conception du projet

- Une évaluation/expertise/gestion de la valeur est nécessaire mais le contractant n'est pas impliqué assez tôt pour pouvoir la faire.
- Le programme de réalisation ne peut être suivi à cause de problèmes de construction [ex. : accès au chantier].
- Les remarques du contractant sur la conception/les plans de construction arrivent tardivement et impliquent de reconcevoir l'ouvrage.

3. Capacités insuffisantes du contractant

- Le contractant n'a pas suffisamment d'expérience.
- Les normes de santé et sécurité sur le chantier ne sont pas respectées.
- La construction n'est pas réalisée selon les normes.
- Le contractant ne dispose pas d'une assise financière suffisante.

4. Directives gouvernementales

- Il n'existe aucun précédent ni aucun texte de référence pour réaliser un projet novateur.

5. Litiges et indemnisation

- Litige sur les paiements intermédiaires.

- Réclamation de l'entreprise sur les modifications du projet.
- Réclamation pour diffusion tardive d'informations par les autres parties prenantes.

6. Système de gestion de l'information

- Les interfaces entre les acteurs ne sont pas gérées efficacement et, par suite, l'information n'est pas diffusée correctement.

Facteurs spécifiques au projet

7. Complexité du projet

- La construction est prévue sur un site minier, nécessitant donc des fondations complexes.
- La projet doit être réalisé dans des conditions difficiles [ex. : station hydroélectrique].

8. Degré d'innovation

- Conception de nouvelle génération.
- Site requérant des solutions innovantes [ex. vents forts, composition chimique du sol, sol contaminé].

9. Impact environnemental

- Risque de contamination : centrale nucléaire, incinérateur.
- Nuisances sonores [ex. : aéroport].
- Impact sur la faune et la flore [ex. : nouvelle route à travers une zone protégée].

Facteurs spécifiques au client/porteur du projet

10. Insuffisante analyse de rentabilité

- Certains services n'ont pas été prévus.
- Le cahier des charges n'est pas clairement défini.

- Négligence/erreur dans les équipements/ installations nécessaires.
- Toutes les parties prenantes n'ont pas été associées, leurs besoins n'ont pas été précisés et intégrés dans l'analyse financière.

11. Multiplicité des acteurs

- Différents acteurs publics ayant des intérêts divergents dans le projet.
- L'obtention des autorisations prend plus longtemps que prévu en raison du nombre d'acteurs impliqués.

12. Disponibilité des financements

- Difficultés à obtenir certains soutiens financiers.
- Des financements additionnels inattendus sont reçus en cours de projet et incitent à modifier la taille du projet.

13. Équipe de gestion de projet

- L'équipe projet est inexpérimentée dans le montage de projets de cette nature.
- Insuffisant contrôle des plans par le chef de projet avant le lancement des travaux.

14. Prise de renseignements insuffisante

- Étude de sol insuffisante.
- L'avant-projet détaillé est fondé sur une information insuffisante des caractéristiques du site.
- Expertise insuffisante de l'existant (ex. : remise à neuf de bâtiments).

Contexte et environnement du projet

15. Relations publiques

- Opposition des riverains (à l'égard du trafic, des bruits du chantier et de l'impact environnemental).

- Manifestations d'associations de défense de l'environnement.

16. Caractéristiques du site

- Présence de terriers de blaireaux sur le site [1].
- Cours d'eau souterrain exigeant des mesures de protection durant le chantier.
- Découvertes archéologiques.

17. Permis/Agréments/Homologation

- Arrêté autorisant le lancement du chantier.
- Difficultés d'obtention du permis de construire, avec recours éventuel auprès du ministre.

Influences/Interférences externes

18. Politiques

- Opposition d'un parti politique important.
- Impact sur les circonscriptions électorales sensibles.
- Manque de soutien de la part des autorités politiques parties prenantes.

19. Économiques

- Évolution de la demande entraînant un changement dans les priorités de financement.
- Effondrement des marchés financiers.

20. Législation/Régulation

- Modification des normes.

21. Technologies

- Avancées technologiques inattendues.
- Virus informatique.
- Limites de la technologie.

(1) Les blaireaux sont protégés au Royaume-Uni depuis le *Protection of Badgers Act* de 1992 : www.legislation.gov.uk/ukpga/1992/51/contents

Source : *Supplementary Green Book Guidance, HM Treasury, UK, p. 14-15 (complément au guide de référence de l'évaluation établi par le ministère de l'Économie britannique)*; traduction CAS

4 ■ Poser les fondements d'une mise en œuvre opérationnelle du principe de précaution

Sans revenir sur l'ensemble du dossier¹ relatif au principe de précaution, il est important de positionner la réflexion de la commission par rapport à ce concept qui est largement passé dans le langage courant, avec des acceptions assez différentes, et qui est inscrit désormais dans la Constitution française.

Le principe de précaution est devenu depuis les années 1990² une référence pour l'action publique dans le domaine de la protection de l'environnement, de la sécurité alimentaire et de la santé publique. Tous les textes et références véhiculent la même idée centrale : le principe de précaution est justifié par un contexte d'incertitude, le dommage potentiel doit être grave et/ou irréversible, la réponse doit être proportionnée à l'effet néfaste potentiel. Les divergences d'interprétation ne sont pas théoriques, elles renvoient aux conséquences que l'on tire de ce principe en matière de prise de décision et de gestion concrète des risques.

De manière caricaturale, on trouve deux interprétations qui s'opposent : l'une dite raisonnable ou proportionnée, et l'autre radicale. La première approche

[1] Un dossier spécial de la Revue économique [n° 54, 2003] résume un grand nombre de positions sur le principe de précaution : Introduction de Katheline Schubert ; *Le principe de précaution comme norme de l'action publique, ou la proportionnalité en question*, Olivier Godard ; *État de la connaissance scientifique et mobilisation du principe de précaution*, Claude Henry et Marc Henry ; *La mise en œuvre du principe de précaution dans l'accord SPS de l'OMC – Les enseignements des différends commerciaux*, Laurence Boy et al. ; *Calcul d'un coût économiquement acceptable pour la mise en pratique du principe de précaution*, Robert Kast ; *La gestion des risques environnementaux en présence d'incertitudes et de controverses scientifiques – Une interprétation du principe de précaution*, Morgane Chevét et Ronan Congar.

[2] Ce concept et cette doctrine ont mis plus de dix ans pour se construire avant d'être introduits dans la Constitution française :

- ébauche de la notion sur le dossier de la couche d'ozone lors de la Convention de Vienne du 22 mars 1985 et le Protocole de Montréal en septembre 1987 ;
- développement de la notion sur le dossier du changement climatique lors de la Déclaration de Rio en 1992. L'article 3, alinéa 3 de la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique indique qu'il incombe aux Parties de prendre des mesures de précaution pour prévoir, prévenir ou atténuer les causes des changements climatiques. Il est précisé qu'en cas de risques de perturbations graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour différer l'adoption de telles mesures ;
- élargissement du domaine d'application lors du traité de Maastricht sur l'Union européenne le 2 octobre 1997, qui précise dans son article 174, alinéa 2, que la politique de la Communauté dans le domaine de l'environnement « est fondée sur les principes de précaution et d'action préventive » ;
- renforcement du concept dans la loi n° 95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement, dite loi Barnier : « Le 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 ».

considère que la décision doit se référer au calcul économique classique en mettant en balance le coût des mesures conservatoires et les bénéfices retirés de l'évitement des dommages potentiels. La seconde réclame l'abstention pure et simple dès lors qu'il existe des risques graves et que n'est pas prouvée l'innocuité des actions auxquelles on impute *a priori* ces risques. Dans ce dernier cas, on remet en cause radicalement l'innovation comme source de progrès social. La théorie économique n'a alors plus grand-chose à dire. Dans le premier cas, au contraire, l'évaluation économique et l'appréciation du risque, ainsi que la réévaluation périodique ou continue, deviennent le cœur de la démarche, mais la tâche est d'autant plus délicate que la recherche des probabilités d'occurrence du phénomène est une spéculation intellectuelle puisque les dommages potentiels restent insuffisamment connus et que l'information sur ces risques est elle-même controversée.

Entre ces deux interprétations du principe de précaution, le bilan coûts-avantages d'une part et la nécessaire preuve de l'innocuité d'autre part, se trouve un large spectre d'attitudes possibles selon la quantité et la qualité des informations disponibles et selon le degré de confiance qu'on leur accorde. Les spécialistes s'entendent pour dire qu'il n'existe à l'heure actuelle que des tentatives de formalisation préliminaires et partielles de ces différentes attitudes. Les développements théoriques récents, souvent au croisement entre l'économie et la psychologie, introduisent pour ce faire la distinction entre aversion au risque et aversion à l'ambiguïté, permettant de fait une prise en compte explicite du principe de précaution dans les modèles du comportement humain. Introduire l'aversion à l'ambiguïté dans ces modèles est en effet une manière de formaliser l'idée que le décideur n'aime pas les situations dans lesquelles l'information disponible est pauvre. Lorsque l'incertitude n'est pas probabilisable, les individus tendent à se comporter comme si les événements devaient tourner à leur désavantage.

La littérature académique propose ainsi différents modèles décisionnels dont l'intuition est intéressante pour appréhender le principe de précaution. Citons quelques exemples¹ :

- une première classe de modèles part du principe que les croyances sur le risque ne peuvent se simplifier en une distribution de probabilité unique : parce que la science ne nous permet pas de trancher et parce que les

[1] Le lecteur trouvera une revue rigoureuse plus exhaustive de ces modèles dans le document de travail de Etner J., Jeleva M. et Tallon J.-M. (2009), « Decision theory under uncertainty », *CES Working Paper*, n° 64, 9 novembre.

données disponibles n'éliminent pas toutes les hypothèses envisageables, il existe tout un ensemble de lois de probabilité sur une étendue très large d'événements qui sont chacun plus ou moins crédibles et plus ou moins plausibles. Dans un « catastrophisme éclairé »¹, le décideur pourrait chercher à prendre la décision qui maximise l'espérance d'utilité avec la pire des lois de probabilité ne pouvant être exclues. Ce modèle est hélas très sensible à l'étendue des événements pris en considération et à la plausibilité qui leur est accordée. On peut toujours donner un poids plus élevé que son voisin aux événements les plus catastrophiques. L'applicabilité de ce modèle nécessite un approfondissement de cette notion sur laquelle la théorie est essentiellement muette ;

- plus riches encore sont les modèles décisionnels qui, tout en reconnaissant l'existence d'un ensemble de lois de probabilité, supposent que chacune de ces lois a elle-même une certaine probabilité d'être vraie, ou du moins d'être acceptable par le décideur. La décision optimale est alors celle qui maximise l'équivalent-certain des espérances d'utilité mesurées à partir des différentes lois plausibles. L'applicabilité de ce modèle nécessite un important travail de mesure de la vraisemblance des différentes lois de probabilité supposées ;
- une autre classe de modèles (aversion au regret) suppose que le décideur cherche à maximiser une somme pondérée entre l'utilité de sa décision dans le pire scénario et l'utilité retirée dans le meilleur scénario. Le poids relatif accordé à ces deux scénarios reflète son pessimisme indépendamment de la probabilité, connue ou non, d'occurrence de chaque scénario ;
- d'autres modèles encore abandonnent le concept de maximisation de l'utilité pour celui de minimisation du regret. Une telle approche part du constat que les individus, bien souvent, n'évaluent pas une action en fonction des informations disponibles au moment de la décision mais en fonction de celles acquises *a posteriori*. L'enjeu pour le décideur est alors de minimiser le regret potentiellement suscité par sa décision. De tels modèles pourraient traduire l'idée du devoir de responsabilité.

Au-delà de ces modèles, qui allient malheureusement à la richesse d'analyse une complexité croissante, tout l'enjeu des développements théoriques pour formaliser le principe de précaution est de préciser comment tenir compte de l'information disponible, aussi mince et aussi discutable soit-elle. La prise en compte des dangers de l'amiante par les pouvoirs publics illustre bien cet

[1] Dupuy J.-P. (2002), *Pour un catastrophisme éclairé*, Paris, Seuil, 216 p.

enjeu¹ : alors qu'un ensemble de faits scientifiques cohérents mais incomplets (notamment l'absence d'un modèle de causalité sur les effets sanitaires de l'amiante) existait en Europe depuis le début du XX^e siècle, il aura fallu attendre de nombreux travaux épidémiologiques ultérieurs pour prendre enfin la décision d'interdire l'amiante à la fin des années 1990. Ce qui aurait pu être interprété comme des avertissements sérieux, justifiant des travaux d'investigation complémentaires sur les dangers de l'amiante, est ainsi resté sans conséquence pendant de nombreuses décennies.

Les développements théoriques les plus récents restent insuffisants pour définir un cadre robuste intégrant le principe de précaution dans une théorie de la décision rigoureuse et pour déboucher sur des outils opérationnels. Il faut retenir de ce débat que le principe de précaution² articule fondamentalement le risque et la connaissance du risque, et met donc en jeu la question de l'information, les procédures d'acquisition de l'information et plus encore l'incertitude scientifique elle-même sur l'évaluation des risques³. Le principe de précaution met en jeu l'altération de la perception des probabilités et place au centre des débats la recherche de l'information et son rôle sur la maîtrise de l'incertitude. Le principe de précaution engage de manière concrète le concept théorique, développé par les économistes et présenté plus haut, d'aversion à l'ambiguïté.

L'économiste peut apporter des éléments de réponse pour une mise en œuvre raisonnée de ce principe :

- en confrontant de manière équilibrée la position qui consiste à rechercher l'illusoire risque zéro et celle qui laisse s'engager des initiatives qui font prendre à la collectivité des risques inconsidérés ; en éclairant la question du calendrier optimal : prendre des mesures trop tard (catastrophe irréversible) ou prendre des mesures trop tôt (inhibition du progrès) ;
- en garantissant un principe de proportionnalité et de cohérence (équivalence des mesures dans leur portée et leur nature avec les dispositions déjà

[1] Henry C. et Henry M. [2003], « État de la connaissance scientifique et mobilisation du principe de précaution », *Revue économique*, vol. 54, n° 6, novembre, p. 1277-1290. Cet article reprend le texte d'une conférence prononcée lors du séminaire « Développement durable et économie de l'environnement » de l'IDDRI en septembre 2003. Il propose une articulation entre la mobilisation du principe de précaution et la question de la connaissance scientifique sur la base des principaux risques que la collectivité a dû gérer ces dernières années : amiante, ESB, changement climatique, etc.

[2] Gollier C. [2001], « Should we beware of precautionary principle? », *Economic Policy*, octobre.

[3] Henry C. et Henry M. [2003], *op. cit.*

- prises) ; en contribuant à l'évaluation des coûts et des avantages au fur et à mesure de l'évolution des connaissances ;
- en montrant la valeur de l'information qui permet de réviser les probabilités d'occurrence des phénomènes et qui conduit à choisir les décisions les plus flexibles, car les décisions irréversibles contraignent le futur ; en montrant combien il est rationnel de préserver la possibilité de réviser les jugements en cas d'arrivée de nouvelles connaissances ;
 - en séparant les situations dans lesquelles la prévention peut être mise en place, chaque fois que la distribution de probabilité est connue, de celle dans lesquelles la précaution s'impose comme une attitude de prudence qui consiste à se donner les moyens de produire l'information utile et manquante ;
 - en éclairant le débat contradictoire favorisant l'analyse des risques et l'acceptation sociale ; en proposant une représentation la plus fidèle possible des préférences collectives tout en facilitant l'appropriation de la décision par tous les membres du corps social.

Mise en œuvre du calcul économique et gouvernance

Les outils théoriques présentés dans le deuxième chapitre doivent trouver leur place dans une démarche globale de prise en compte du risque, qui implique de traiter plusieurs dimensions dont certaines relèvent d'une analyse institutionnelle qu'on regroupe ici sous le terme de gouvernance du risque. La prise en compte du risque dans les évaluations socioéconomiques se fait en plusieurs temps. Il y a tout d'abord l'identification des risques, puis leur valorisation et enfin le processus de décision lui-même :

- l'identification ou la quantification du risque est l'un des premiers temps de l'analyse. L'évaluation doit permettre de définir précisément la nature des risques, leur ampleur et éventuellement, lorsque cela est possible, les probabilités qui les caractérisent ;
- la valorisation du risque constitue le second temps de la démarche : valoriser, c'est déterminer le « prix » que l'on attache à chaque risque en fonction de son impact potentiel. Cela peut se matérialiser, par exemple, par le prix que le décideur serait prêt à payer ou le coût des mesures que la collectivité est disposée à mettre en œuvre pour éviter tel ou tel risque ;
- la prise en compte du risque se comprend dans l'ensemble du processus de décision. Ce dernier aspect est sans doute le point le plus délicat compte tenu, d'une part, des divergences observées entre les préférences individuelles et les préférences collectives, et d'autre part, de la combinaison possible entre des risques quantifiables et des incertitudes radicales.

Ce troisième chapitre va revenir sur plusieurs points en articulant les outils théoriques et opérationnels au processus de décision. L'efficacité de ces études, c'est-à-dire l'aide qu'elles peuvent effectivement apporter pour éclairer le débat et finalement la décision, suppose d'une part que l'on trouve à l'intérieur des études de risque un certain nombre d'éléments et, d'autre part, qu'elles puissent être appropriables par les différentes parties au débat.

On revient sur quelques éléments pratiques et sur la question du partage du risque pour synthétiser les éléments clés à mettre en œuvre dans les études (le rapport propose le cadre structurant des référentiels qu'il convient de décliner dans les secteurs où la puissance publique investit et joue un rôle important). On conclut sur quelques questions relatives à la gouvernance du système de production de ces études qui constitue un des rouages essentiels de leur efficacité. L'appropriation de ces outils dans le débat public suppose enfin que l'on s'occupe de la crédibilité des analyses techniques, d'autant qu'elles peuvent porter dans certains cas sur des questions engageant le principe de précaution.

1 ■ L'évaluation socioéconomique du partage du risque

Le chapitre précédent a montré l'importance qu'avait l'évaluation de la diversification des risques sur les choix méthodologiques pour les prendre en compte dans le calcul socioéconomique. Il s'agit donc de se donner les moyens d'apprécier précisément cette réalité dans les évaluations. En effet, bien souvent, les risques sont inégalement répartis entre les acteurs et la capacité de diversification est donc concrètement réduite. Dès lors, l'évaluation socioéconomique du partage du risque constitue un enjeu important des politiques publiques pour des raisons d'efficacité mais aussi d'équité¹. Il s'agit également d'apporter les éléments d'information permettant d'inciter les acteurs à réduire les risques.

1.1. Valoriser correctement le risque pour chacun des acteurs

La valorisation d'un risque dépend de l'acteur qui le porte :

- d'une part, le risque est apprécié différemment selon le niveau d'aversion au risque et selon que l'impact est marginal ou pas sur la richesse des acteurs économiques concernés ;

[1] Nous n'abordons pas dans ce rapport les pratiques du partenariat public-privé qui se sont fortement développées ces dernières années en France. Les dispositions législatives de l'ordonnance n° 2004-559 du 17 juin 2004 instituant les contrats de partenariat public-privé, complétée par la loi n° 2008-735 du 28 juillet 2008, offrent en effet la possibilité de réaliser des investissements publics en transférant un ensemble de risques techniques et financiers au secteur privé. L'analyse du partage du risque constitue un élément essentiel de la procédure, puisque l'un des intérêts de ce type de contrats est bien de faire porter chacun des risques (financement de l'investissement, construction de l'ouvrage, exploitation, maintenance, usages du bien, recettes, etc.) par le partenaire le plus à même de le supporter pour en diminuer le coût global. Cela oblige les promoteurs de ces projets à identifier ces risques et à valoriser le gain que la collectivité peut trouver dans une meilleure allocation des risques.

- d'autre part, certains acteurs disposent d'une capacité de prévention qui leur permet de diminuer le risque à leur niveau, en réduisant la probabilité de réalisation ou l'ampleur des aléas possibles par la réalisation d'actions plus ou moins coûteuses.

L'analyse socioéconomique de projets d'investissement dans des biens et des services doit impérativement prendre en compte non seulement le risque mais la manière dont ceux-ci sont répartis entre les différents acteurs. Cela conduit à recommander une analyse désagrégée du partage du risque entre les acteurs.

Par exemple, le risque de chômage doit être évalué différemment selon que les individus perdant leur emploi sont convenablement indemnisés par la collectivité ou non. En effet, la valeur collective du risque qu'une personne sur 100 perde 100 % de son revenu est largement plus importante que celle que chacun perde 1 % de son revenu. Plus généralement, si le risque d'un projet est porté par un nombre restreint d'agents, certains d'entre eux étant particulièrement vulnérables, son évaluation devra certainement être moins favorable que si, toutes choses égales par ailleurs, le risque est convenablement disséminé dans l'économie.

L'existence de niveaux différents d'aversion au risque au sein de la collectivité doit inciter à répartir ces risques entre les agents en fonction des coûts individuels qu'ils impliquent. Cette répartition peut se faire « naturellement » dans le cadre des mécanismes de marché ou bien doit être « organisée » par la puissance publique. De manière générale, on admet que, quel que soit le dispositif, contractuel, tarifaire ou juridique, le partage du risque repose sur un double principe de diversification et de mutualisation. Il doit néanmoins tenir compte des problèmes d'agence que ces partages de risque génèrent (coût de coordination, asymétrie d'informations, comportements stratégiques, etc., voir *infra*). La théorie économique et les pratiques dans de nombreux secteurs (assurance, finance) ont de fait bien mis en évidence les effets sous-optimaux des comportements des agents sur l'intérêt collectif.

La diversification fait en sorte de mélanger, au sein d'un même pool, des risques suffisamment variés pour que la loi des Grands Nombres puisse s'appliquer. Cet équilibrage, qui vise à gommer le risque spécifique de chaque actif en ne laissant finalement qu'un risque global où les risques diversifiables ont disparu, est parfois réalisé par le jeu du marché. L'objectif de diversification poursuivi par chacun des acteurs économiques conduit à répartir les risques sur l'ensemble du marché, en transférant une part des risques d'un acteur

vers d'autres acteurs disposés à les supporter. Par exemple, l'automobiliste transfère son risque d'accident à un assureur en contrepartie d'une prime d'assurance. Le premier y trouve intérêt si la prime d'assurance est inférieure au montant qu'il serait prêt à perdre pour ne pas avoir à acquitter le coût qu'il supporterait en cas d'accident, le second y trouve intérêt si la prime d'assurance est supérieure au coût moyen unitaire des accidents sur l'ensemble de ses assurés. L'aversion au risque de l'assuré et la dissémination de son risque dans le pool d'assurés conduit ainsi à un contrat de transfert de risque dont chaque partie sort gagnante. La création de valeur de ce transfert de risque organisé par l'assureur ou la mutuelle provient de sa capacité à mutualiser ce risque sur une large population, c'est-à-dire de découper le risque de l'automobiliste « en petits morceaux » pour le répartir sur la prime d'assurance de tous ses clients avec un impact unitaire très faible.

Ce mécanisme bien connu au niveau individuel (qui relève de l'interaction entre les individus) doit être apprécié au niveau plus collectif. Le système de mutualisation est un mécanisme de coordination entre agents qui est profitable pour tous. Il est donc important que la collectivité prenne en compte cette dimension dans les décisions qu'elle prend.

1.2. Mutualisation des risques et création de valeur sociale

Trois mécanismes expliquent la création de valeur sociale générée par la mutualisation des risques :

- parce que la prime de risque est essentiellement proportionnelle au carré de la taille du risque porté par l'agent économique (formule d'approximation d'Arrow-Pratt), demander à 100 personnes de prendre 1 % du risque collectif est préférable à demander à un agent de porter 100 % de ce risque. Réaliser un tel partage divise le coût social du risque par 100. Plus globalement, si 100 personnes portent chacune un risque indépendant et identiquement distribué, la mutualisation parfaite et égalitaire des risques individuels au sein d'un pool de risques divisera par 100 la variance du risque porté par chacun par rapport à la solution autarcique. Donc, elle divisera par 100 la prime de risque collective. Cette illustration de la loi des Grands Nombres est à l'origine du théorème d'Arrow-Lind ;
- si deux agents portent deux risques parfaitement négativement corrélés (ce que l'un gagne, l'autre le perd), la mutualisation des risques individuels permet leur élimination complète. Plus généralement, la mutualisation permet d'éliminer les risques non corrélés au risque systématique.

C'est l'origine du résultat de type MEDAF dans lequel seuls les risques diversifiables ne sont pas assortis d'une prime de risque ;

- le transfert des risques permet de faire porter ceux-ci par les agents les moins riscophobes. La protection des agents les plus vulnérables crée donc de la valeur sociale. Celle-ci doit pouvoir être mesurée et prise en compte dans les évaluations socioéconomiques.

Si de nombreux risques ordinaires sont déjà couverts par le marché, d'autres ne le sont pas efficacement, voire pas du tout, car ils sortent de l'ordinaire par leur ampleur, leur rareté ou l'horizon de temps qu'ils impliquent. C'est le cas des risques épidémiques, des dommages à l'environnement ou du changement climatique. L'efficacité des marchés est aussi entachée par l'existence d'asymétries d'information, à l'origine du problème *d'anti-sélection* et de *risque moral*. Cela explique par exemple pourquoi les risques liés au capital humain ne sont pas mutualisés : l'assurance chômage est très imparfaite ; les inégalités des destins de carrière sont inassurables. Ceci explique aussi pourquoi les marchés financiers allouent imparfaitement le capital disponible dans l'économie (bulles financières et immobilières, crise des *subprimes*...), et pourquoi ils sont incapables d'offrir une mutualisation adéquate des risques d'entreprendre (PME, *start-up*, entreprises familiales...).

L'objet de nombreuses politiques publiques est ainsi de corriger la répartition des risques qui résulterait naturellement des pratiques de marché, afin de protéger les catégories vulnérables ou de promouvoir des services économiques qui n'existeraient pas en présence de risques importants. Cela passe par des mécanismes d'assurance (assurance chômage, assurance maladie, protection sociale, etc.), de soutien financier (aide aux jeunes entreprises innovantes, financement de la recherche, politique agricole, etc.), d'encadrement tarifaire (tarifs sociaux dans les transports, l'énergie, etc.), de réglementation (droit du consommateur, droit du travail, contrôles sanitaires, etc.), de prévention et réparation des sinistres (mesures de protection contre les catastrophes naturelles, indemnisation, etc.)... De fait, l'État est un acteur majeur de la gestion des risques et son action vise autant à réduire les risques collectifs qu'à les répartir équitablement.

On comprend dès lors tout l'intérêt qu'il y a à identifier ces défaillances de marchés et à en mesurer le coût puisqu'elles peuvent légitimer l'intervention publique pour y remédier. Cette intervention a une valeur sociale qui doit être prise en compte.

1.3. L'analyse coûts-avantages face au partage des risques

La multidimensionnalité des risques collectifs requiert d'accorder autant d'importance à la valorisation collective de ces risques qu'à leur allocation entre les différents acteurs. La valeur collective d'un risque est égale à la somme des valeurs (positives ou négatives) que chacune des parties prenantes accorde à la part du risque qu'elle porte. En constatant si cette valeur collective du risque peut être améliorée par une modification de son allocation dans l'économie, le calcul économique peut indiquer si le risque est équitablement réparti ou si des modalités de compensation doivent être envisagées. De même que le calcul économique met en évidence la répartition du surplus entre les différents acteurs, il doit mettre en évidence la répartition des risques et constituer par là-même un outil d'évaluation de l'équité de traitement des acteurs face au risque. Les méthodes de prise en compte du risque dans le calcul économique doivent être vertueuses : par conséquent, l'analyse coûts-avantages doit mettre en évidence quel acteur porte quel risque et comment ce partage affecte la valeur du risque, pour aider chacun à réduire son risque spécifique par une stratégie adaptée.

Toutefois, et cela peut sembler paradoxal, la prise en compte du risque dans le calcul économique doit procéder d'un seul et unique point de vue pour l'ensemble du calcul. Si l'on évalue un projet d'investissement du point de vue de la collectivité, comme il se doit pour un service public, l'ensemble des risques doit être apprécié selon ce point de vue et la méthode de valorisation ne doit pas changer d'un risque à l'autre sous prétexte qu'ils sont portés par des agents différents¹. Dans ce cas, l'évaluateur estimera l'impact du risque sur le bien-être de chaque classe d'acteurs, et agrégera les primes de risque correspondantes de manière à valoriser collectivement le risque. Quelle que soit la clé de partage du risque, c'est le point de vue adopté pour calculer la VAN qui dicte la valeur du risque.

[1] La question de l'agrégation des préférences individuelles évoquée ici se situe dans le cadre utilitariste standard généralement retenu dans les analyses coûts-avantages, qui consiste à additionner sans pondération les utilités individuelles. D'autres choix seraient possibles dans des analyses plus fines sur ces questions d'équité face au risque pris. Le principe de neutralité des choix publics implique effectivement que des agents comparables soient traités de la même manière. Mais les considérations d'équité font qu'une attention particulière doit être portée aux populations les plus défavorisées. Et le principe de neutralité n'impose pas non plus de traiter des risques de nature différente selon des modalités différentes (GES, environnement, sécurité, santé...) : quand elles existent, les valeurs tutélaires supposées pondérer relativement ces enjeux de nature variée ont été établies selon des bases qui ne tenaient pas compte de leur intégration dans une fonction d'« utilité collective » dans le risque.

Prenons l'exemple d'une autoroute concédée confrontée à un risque de recette. Sur le principe, l'État encadre le barème kilométrique autorisé et décide des revalorisations annuelles. L'évolution des tarifs est en pratique fixée par une formule d'actualisation dans le contrat de concession dans l'objectif de limiter le risque pris par la société concessionnaire. Du point de vue de la société concessionnaire, le risque sur la perspective de recette porte donc avant tout sur le trafic et sur l'inflation (sur laquelle est indexée la formule tarifaire). L'évolution des trafics impactés par les tarifs (tenant compte des possibilités de substitution) et l'évolution des tarifs eux-mêmes présentent des incertitudes qui rejaillissent sur les perspectives de recettes et donc sur l'équilibre financier de la concession. La possibilité de faillite de la société fait de ce risque un enjeu important des négociations tarifaires avec la puissance publique. La collectivité est en revanche moins concernée par le risque d'équilibre¹ de la concession, qui ne constitue au fond qu'un transfert monétaire entre les usagers et le concessionnaire. Pour la collectivité, le risque tarifaire concerne principalement l'impact du tarif sur la demande de transport *via* l'impact sur la variation du surplus du consommateur que ce tarif implique. Le calcul de la VAN socioéconomique de l'autoroute ou de la LGV doit ainsi intégrer le risque tarifaire au regard de son impact sur la demande de transport et moins au regard de la viabilité financière du concessionnaire ou du gestionnaire d'infrastructure qui fait l'objet d'une analyse financière séparée pour prévenir le risque de défaillance de cet opérateur.

Pour résumer, l'analyse de risque dans le cadre de ce type d'applications doit se faire par une approche normative déterminant la valeur socioéconomique collective du projet compte tenu des risques et de leur allocation, tout en organisant cette allocation de manière à satisfaire les contraintes de participation et d'incitation de l'opérateur².

Cela étant, la valeur attribuée à un même risque variant selon le point de vue adopté, l'analyse coûts-avantages peut très bien être menée suivant les différents points de vue intéressés au projet et conduire à des valorisations

[1] Le concédant reste malgré tout concerné par le risque de faillite, car la continuité du service de l'infrastructure le concerne très directement, de même que les coûts de transaction pour changer d'opérateur en cas de faillite.

[2] Dans le calcul économique public, les primes de risque portées par la collectivité sont mesurées par rapport au PIB/hbt. Les primes de risque ne sont mesurées par rapport à la richesse de tel ou tel agent que lorsque le risque en question est mal disséminé dans l'économie et pèse sur cet agent sans qu'il puisse le diversifier. Bien évidemment, il en irait autrement si l'on s'intéressait au calcul financier, visant à établir les modalités de financement du projet par l'État, par une collectivité locale ou par la sphère privée, mais ce n'est pas l'objet de ce rapport.

différentes pour un même actif. Les écarts de valorisation entre l'approche publique et l'approche privée, voire entre le point de vue de l'État et celui de ses opérateurs publics astreints à l'équilibre financier, peuvent justifier la mise en place de compensations financières dans un sens ou dans l'autre. Ainsi, l'octroi d'une subvention publique peut apparaître justifié afin de couvrir certains risques imposés par l'État à une entreprise. À l'inverse, le versement d'une soulte par l'entreprise peut apparaître justifié s'il existe un effet d'aubaine engendré par une moindre valorisation du risque par cette entreprise que par l'État. Le cas échéant, de tels dispositifs de prise en charge des risques peuvent reposer la question du transfert réel de certains risques d'une partie vers l'autre et doivent inciter à un examen approfondi en préalable au calcul économique.

De même, si des clauses de transfert de risque peuvent avoir un pouvoir incitatif quand l'acteur qui reprend en charge tout ou partie du risque est mieux armé pour agir par des mesures de prévention, en sens inverse, quand le rapport de force des acteurs est disproportionné, le transfert de risque ne s'effectue pas nécessairement de façon optimale et peut conduire à une détérioration collective. Cela peut être le cas de clauses d'exclusion de responsabilité qui reporteraient arbitrairement la charge du risque sur des acteurs plus faibles ou moins informés, et moins bien armés pour le prendre en charge et pour le prévenir.

Cette séparation des résultats du calcul économique, en mettant en évidence les éléments de risque face auxquels la capacité de réaction des agents peut être différente, est un point décisif du débat public. L'identification de ces risques participe d'une part à la transparence sur des éléments qui sont souvent très sensibles et bloquants dans le débat public – ce faisant, on ouvre un espace de discussion voire de négociation sur des bases objectivées. Elle permet d'autre part de tester et donc de prendre en compte l'impact sur la valeur globale du projet de solutions de minimisation des risques obtenues par des stratégies alternatives. Enfin, elle donne les éléments qui permettent d'alimenter l'élaboration de différents scénarios (par exemple l'existence ou non d'un cadre réglementaire, la mise en place d'une tarification particulière, etc.). Cela permet de montrer combien la transformation du contexte dans lequel est envisagé le projet, la mise en œuvre d'un cadre externe au projet peuvent impacter la valeur du projet du point de vue de la minimisation des risques et donc légitimer la mise en place de stratégies d'accompagnement.

1.4. L'information est au centre d'un partage efficace et équitable du risque

Le partage efficace et équitable du risque évoqué *supra* est un sujet central de l'économie moderne, qui a fait l'objet d'analyses approfondies dans le cadre de la théorie principal-agent. Trois types de problèmes abordés dans ce cadre théorique mettent en jeu d'une part la question de la maîtrise de l'information sur le risque et, d'autre part, celle de la connaissance effective qu'en ont les acteurs :

- le premier problème est celui de l'anti-sélection, ou sélection adverse, qui consiste à éviter qu'une mesure de mutualisation des risques ne manque son objectif en ne sélectionnant que les acteurs les plus à risque. En effet, si le dispositif assurantiel ne repose que sur les agents à risque élevé car les agents à risque faible s'en détournent, la mutualisation est insuffisante et le partage du risque inefficace. Contrairement aux assureurs privés, la puissance publique dispose dans ce cas du levier fiscal pour forcer la mutualisation entre les contribuables ;
- le deuxième problème est celui de l'aléa moral (d'après l'expression anglaise « *moral hazard* » qu'il faudrait plutôt traduire par risque comportemental), qui consiste à éviter que la couverture des risques d'un acteur n'incite celui-ci à augmenter sa prise de risque. L'enjeu, en particulier lorsque la puissance publique est dans un rôle d'assureur, explicitement ou implicitement (assurance en dernier ressort du système bancaire), est de provisionner et de tarifier convenablement la valeur réelle du risque assuré et non la valeur perçue *ex-ante* ;
- le troisième problème est connu sous le nom de « problème de signal », et cherche à révéler la valeur véritable d'un risque lorsque celui-ci ne se reflète pas naturellement dans les prix. L'enjeu est de pouvoir discriminer suivant le niveau de risque en utilisant un signal suffisamment représentatif, afin d'éviter que certains agents vendeurs de risque ne bénéficient d'un effet d'aubaine et que les agents acheteurs de risque ne soient floués.

Sur chacun de ces trois points, la disponibilité et la fiabilité de l'information sur le risque sont à la base d'une répartition plus ou moins efficace du risque entre les acteurs. Lors de l'évaluation économique, les planificateurs et les décideurs devraient ainsi garder à l'esprit ces difficultés, car une mauvaise appréhension du risque ou du comportement des acteurs face au risque peut biaiser sensiblement l'évaluation. Ces problèmes conduisent à des distorsions dans l'allocation des risques. Ainsi, du point de vue du partage de risque, il

est souhaitable d'assurer à 100 % les individus pour les risques parfaitement diversifiables au niveau de la société. Mais si cette assurance conduit à la déresponsabilisation de ces individus dans leurs efforts de prévention (par exemple parce que l'organisme assureur ne peut observer ces efforts de prévention), alors cette assurance peut détruire plus de valeur du fait de la hausse de sinistralité qu'elle n'en crée par la mutualisation. Plusieurs auteurs ont ainsi mis en cause le système français d'indemnisation des catastrophes naturelles : bien qu'offrant une très utile couverture des risques traditionnellement considérés comme inassurables par les marchés, il a potentiellement pour conséquence de déresponsabiliser les acteurs dans la prévention des risques d'inondation, par exemple.

Ces développements permettent d'établir une conclusion importante. L'inefficace allocation des risques par les marchés financiers que ces problèmes d'agence génèrent remet en cause le résultat du MEDAF selon lequel seul le risque systématique du projet conduit à une prime de risque positive. Si certaines parties prenantes au projet d'investissement tels qu'entrepreneurs, investisseurs, employés ou consommateurs sont condamnées à conserver une partie du risque diversifiable dans leur giron, alors cette partie doit être valorisée et prise en compte dans l'évaluation socioéconomique du projet, contrairement aux recommandations du MEDAF.

1.5. La réduction des risques et l'information générée par les politiques publiques

On retrouve dans le domaine du long terme les mêmes problématiques relatives à la valeur de l'information. Les risques d'un investissement sont souvent difficiles à prévoir au-delà de quelques années, au point que les marchés financiers offrent rarement des produits de couverture à long terme. En particulier, pour des projets d'intérêt public tels qu'une centrale électrique, un métro, une clinique, les opérateurs ont besoin d'une bonne visibilité sur le devenir des politiques publiques en matière d'énergie, de transport ou de santé. L'absence de visibilité crée une incertitude que les opérateurs ne peuvent assumer qu'en prenant des provisions pour risques qui pèsent *in fine* sur le coût collectif de l'ouvrage. À cet égard, le cadre réglementaire, l'encadrement tarifaire, les dispositions fiscales sont des instruments à disposition de la puissance publique pour partager le risque : entretenir l'incertitude sur l'évolution de ces instruments fait peser un risque sur les opérateurs, qui pourrait être limité si la puissance publique fixait les lignes directrices sur vingt ans. À l'inverse, en fixant de telles lignes directrices, la

puissance publique s'astreint à un minimum de discipline qui l'empêchera de faire évoluer significativement ces instruments de régulation si le contexte le justifie.

La puissance publique a donc un rôle à jouer sur la prise en charge des risques de long terme, en donnant des lignes directrices de son intervention dans la durée. En particulier, deux types d'actions *a priori* peu onéreuses permettraient de réduire les incertitudes auxquelles font face les investisseurs : d'une part, la construction de réflexions prospectives et partagées sur les grands enjeux des prochaines décennies, notamment l'avenir du pétrole et l'adaptation au changement climatique, et d'autre part, un effort de visibilité sur les politiques de l'État à long terme, qui permettrait notamment de réduire l'insécurité juridique et fiscale pour les entreprises.

Par ailleurs, la crédibilité de cette visibilité reposera sur la capacité de l'État à réfréner les comportements opportunistes en réaction aux difficultés conjoncturelles.

2 ■ La régulation publique et la diminution des risques : l'enjeu de la gouvernance

À de nombreuses reprises, nous avons évoqué au cours de ce rapport des questions relatives à la dimension stratégique de l'information (production, mise en forme, utilisation) et l'impact que les comportements stratégiques en matière d'information pouvaient avoir sur la qualité des évaluations et donc sur leur intérêt dans le processus même de décision. Il est important d'avoir à l'esprit qu'il ne suffit pas de disposer d'une boîte à outils pour identifier et mesurer les risques associés à un projet, et pour que cette prise en compte soit effective. En effet, on suppose, en en restant à ces seules considérations techniques, que les pouvoirs publics sont parfaitement informés et qu'ils mettent en œuvre les moyens pour rationaliser leur action. L'exigence communément partagée aujourd'hui d'opportunité, de transparence et d'évaluation des projets n'a aucune chance d'aboutir si on ne se soucie pas des modalités par lesquelles celle-ci est garantie.

Force est de constater que le rôle de l'évaluation dans la décision publique n'est pas satisfaisant, comme le montrent :

- l'insuffisance de la contre-expertise des évaluations réalisées par les porteurs de projets ;

- l'absence de processus d'évaluation pour les projets d'investissements hors transport ;
- la difficulté à articuler débat démocratique et évaluation socioéconomique.

Or la théorie économique a depuis longtemps considéré que cette hypothèse d'omniscience et de bienveillance de l'État pouvait être discutée et que cette remise en cause était même une condition pour renouveler en profondeur l'analyse des politiques publiques et leur mise en œuvre (du point de vue positif comme du point de vue normatif). De fait, il faut donc, pour assurer dans les instruments de gouvernance la défense de l'intérêt général, supposer le contraire : l'asymétrie d'information dans les jeux d'acteurs constitue bien souvent un défaut majeur des processus décisionnels et rend possibles de nombreux biais dans les analyses et les choix opérés.

2.1. Les enjeux de la transparence : une exigence indispensable

La neutralité et la crédibilité des études jouent un rôle essentiel dans le processus d'évaluation. Cela est vrai pour les projets dans lesquels les risques sont peu importants, cela l'est encore plus lorsque les risques se trouvent au cœur des arbitrages.

Comme pour le calcul économique hors risques, la prise en compte des risques doit faire l'objet d'une pratique la plus transparente possible. L'enjeu est d'explicitier les jeux d'hypothèses sous-jacentes afin d'éclairer la décision sur le contexte dans lequel se place l'information quantitative apportée par le calcul économique et le calcul des risques. La transparence est aussi une garantie d'absence de biais dans les jugements de valeur.

La transparence passe par un accès libre et complet aux données de l'étude, ainsi que par la mise en œuvre de méthodes reconnues et partagées (ou à défaut suffisamment bien décrites).

Le souci de transparence s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue des pratiques. Les études de risques devraient ainsi donner lieu à des évaluations *ex-post* pour vérifier si les risques ont été convenablement appréciés et, le cas échéant, modifier ou enrichir les méthodes existantes. Il faut bien voir qu'au-delà des risques de construction et de montée en charge, des risques substantiels demeurent (risques sur la demande) qui font que même un bilan LOTI ne constitue pas *stricto sensu* une analyse *ex-post* de la réalisation des risques.

L'enjeu de la transparence existe donc tout au long du processus : en amont de la décision, pendant la phase de décision, durant la vie du projet et à la fin du projet :

- en amont de la décision : identifier les risques, leur ampleur et leur impact sur la rentabilité du projet ;
- durant la phase décisionnelle : chiffrer l'impact de diverses modalités d'allocation ou de partage des risques, en vue d'optimiser leur répartition ;
- durant la vie du projet : évaluer l'impact de modifications substantielles par rapport aux décisions initiales sur le coût des risques, leur partage et l'économie du projet ;
- à la fin du projet : tirer le bilan *a posteriori*, en constatant les risques qui se sont matérialisés et, le cas échéant, en évaluant ceux qui pourraient encore se matérialiser¹.

Il va de soi qu'il n'y a pas de transparence sans une information accessible au public, contrôlable et vérifiable². Cela milite pour la constitution d'un organe indépendant d'expertise des évaluations économiques avec risques (agence d'évaluation indépendante) et, plus généralement, pour la constitution d'un réseau de compétences au sein de l'administration (besoin de formation individuelle et collective).

Les calculs ou évaluations d'experts doivent intégrer explicitement les hypothèses retenues, les incertitudes et sensibilités aux variations de ces hypothèses. Dans le débat public, chacun comprend que l'on ait du mal à prévoir trente ans à l'avance le prix du pétrole, l'activité économique ou les échanges internationaux. Il est toutefois difficile de faire œuvre de pédagogie pour expliquer les marges d'incertitude des calculs et leur origine. C'est particulièrement vrai pour les valeurs tutélaires des effets non marchands (biens environnementaux, santé, etc.), notion complexe par nature et dont le poids sur les résultats peut être important.

[1] Par exemple, lors d'un bilan LOTTI réalisé trois à cinq ans après la mise en service d'une nouvelle infrastructure de transport, il subsiste une part d'incertitude sur les trafics et les coûts d'exploitation futurs.

[2] Une telle obligation générale figure déjà à l'article 3.7. de la directive communautaire 2001/42/CE, dite « directive plans et programmes », relative à l'évaluation environnementale, notamment, des plans et programmes élaborés par une autorité nationale en application d'une disposition législative dans divers secteurs. Cette directive est transposée en droit français par les articles L.122-4 à L.122-11 et R.122-17 à R.122-24 du code de l'environnement.

Les calculs économiques sont en général menés et présentés avec en perspective l'utilité globale pour la société, alors que les participants à un débat public s'intéressent souvent plus à l'analyse des gagnants et des perdants. Or une utilité globale positive n'exclut pas que certains acteurs supportent des pertes significatives, ce qui n'est généralement pas analysé et présenté avec suffisamment de soin ou l'est trop partiellement. La volonté de prendre en compte le risque doit répondre à cette même exigence et se décliner précisément par type d'acteurs : qui gagne, qui perd, et qui porte quel risque ?

Il est nécessaire également de faire le tri, dans la présentation des évaluations, entre ce qui relève de la technique de l'expert, fondée sur des méthodes scientifiques si possible non contestables, et ce qui relève de choix politiques ou éthiques par nature non univoques et qui doivent rester ouverts dans les études. Le plus difficile pour l'expert est sans doute de faire la distinction entre la légitimité de l'expertise, à laquelle il doit se limiter, et la légitimité politique, qui est au-delà et d'une autre nature.

2.2. Le management des études

Le management du risque dans les études servant à éclairer la décision publique doit être encadré par des procédures plus générales qui en garantissent la qualité. C'est un des arguments qui conduisent à défendre une stratégie pragmatique simple : reconnaître que le décideur public est nécessairement mal informé, et qu'il apparaît incontournable de réduire l'asymétrie d'information elle-même, en créant une instance d'évaluation indépendante.

S'il existe dans le domaine des transports une culture du calcul socioéconomique qui a conduit à inscrire dans la loi d'orientation sur les transports intérieurs de décembre 1982 la nécessité de réaliser des bilans socioéconomiques des grands projets envisagés, dans la plupart des autres domaines, le volet économique des études d'impact se limite à présenter la dépense publique sans chercher à mettre en regard les avantages attendus. Ce point n'est pas nouveau. Il a déjà été abordé dans les travaux du Commissariat général du Plan sur les évaluations : à plusieurs reprises, ces rapports, notamment le rapport Lebègue, se sont inquiétés de l'intérêt insuffisant accordé au calcul socioéconomique par les décideurs. Le diagnostic sévère sur la capacité des pouvoirs publics à procéder effectivement aux mesures de l'utilité sociale attendue des décisions d'investissement invite à s'interroger sur l'utilité d'une agence chargée de garantir la production de ces référentiels en amont des discussions et des débats publics.

Ces interrogations qui relèvent de la bonne gouvernance ont été reprises encore récemment dans les différents rapports de la révision générale des politiques publiques (RGPP)¹.

Dans le suivi de ces approches, les réflexions actuelles conduisent à s'interroger sur la création d'une agence ou d'une entité chargée de procéder à l'évaluation socioéconomique des grands projets d'investissement de l'État. Il n'y a pas lieu, dans ce rapport, d'entrer dans la définition de ce type d'organismes, mais simplement de faire état des fonctions qui doivent être assurées pour que les études puissent effectivement être prises en compte dans le processus de décision. Il est clair que l'organisation de ces fonctions peut varier selon les secteurs considérés et que les modalités d'organisation ont un impact sur la prise en compte effective de ces travaux.

Les discussions menées par la commission permettent de converger vers plusieurs dimensions importantes :

- définir, dans les différents domaines de la société, les objectifs que l'on entend poursuivre et les valoriser à l'aide d'une fonction d'utilité quantifiable. Dans le domaine des transports, on cherche à valoriser le temps gagné, que l'on comparera aux dépenses d'investissement et aux externalités des transports (accidents, émissions de gaz à effet de serre, pollution, etc.). Dans le domaine de la santé, on pourrait comparer le bénéfice en termes d'années et de qualité de vie gagnées par rapport aux dépenses réalisées et aux conséquences secondaires. Dans d'autres domaines, ces objectifs doivent être définis, les contraintes pertinentes identifiées, afin d'en déduire le dispositif optimal et de procéder à la valorisation monétaire des gains enregistrés ;
- définir la méthodologie de calcul, qui va permettre d'estimer la valeur actualisée du projet ;
- vérifier que les calculs socioéconomiques, réalisés dans le cadre des différents projets, respectent la méthode ainsi définie ;
- comparer, dans toute la mesure du possible et si besoin est, les différents projets entre eux afin de sélectionner les plus rentables dans un souci d'allocation efficiente de ressources publiques limitées ;
- garantir la contre-expertise des évaluations socioéconomiques réalisées par le maître d'ouvrage tout au long du processus de maturation du projet d'infrastructure ;

[1] Voir www.rgpp.modernisation.gouv.fr [décembre 2008, mai 2009, février 2010].

- produire et améliorer les méthodes d'évaluation, afin de créer un cadre unifié d'évaluation, décliné en guides sectoriels selon les domaines d'intervention ;
- diffuser les résultats de l'évaluation et, plus généralement, promouvoir les méthodes d'évaluation, en rendant publics les avis.

Rappelons cependant que la définition même de la méthodologie pertinente peut prendre plusieurs années et demande un investissement intellectuel non négligeable. Ainsi, le calcul socioéconomique dans le domaine des transports a été formalisé par le Commissariat général du Plan puis par le Centre d'analyse stratégique lors des travaux successifs menés au cours des quinze dernières années¹. La mise en œuvre d'un projet peut également nécessiter la détermination de paramètres cruciaux qui ne sont pas disponibles *ex-ante*. Dans ce cas, son exécution doit comporter une phase d'évaluation concomitante dûment élaborée, les renseignements ainsi recueillis conditionnant la réussite pleine et entière de l'opération.

Le retour d'expérience sur la comparaison des évaluations socioéconomiques *ex-ante* et *ex-post* d'un même projet est un complément indispensable à la définition de la méthodologie : il permet de traiter de manière rigoureuse les « biais optimistes » des concepteurs de projets.

Il apparaît indispensable dans tous les cas de figure, pour améliorer la prise en compte du risque, que la puissance publique garantisse :

- la construction, la collecte et la mise à jour des données historiques nécessaires à l'analyse statistique des risques sur les projets passés ;
- la production de contre-expertises des évaluations du risque effectuées ;
- la formation des agents de l'État, en position d'évaluation et/ou de décision, aux techniques de prise en compte du risque.

3 ■ Les enjeux de la praticabilité des calculs

La méthode de prise en compte du risque doit être proportionnée à la taille et à l'enjeu des projets tout en assurant la cohérence des évaluations. Les outils présentés dans le chapitre précédent sont relativement nombreux et d'un emploi plus ou moins aisé selon les données disponibles et les compétences

[1] Rapport Boiteux 1 [1994], *Transports : pour un meilleur choix des investissements* ; rapport Boiteux 2 [2001], *Transports : choix des investissements et coûts des nuisances* ; rapport Lebègue [2005], *Le prix du temps et la décision publique* ; rapport Quinet [2008], *La valeur tutélaire du carbone* ; rapport Chevassus-au-Louis [2009], *L'approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*.

de l'évaluateur. La recherche d'une certaine facilité de mise en œuvre ne doit pas dicter une méthode unique, sous peine de sacrifier la richesse des résultats obtenus en termes d'analyse et de valorisation du risque.

Les recommandations suivantes visent à orienter la mise en œuvre de ces outils mais doivent être considérées comme des référentiels, non comme des règles pratiques irrévocables. Le travail de déclinaison pratique des méthodes discutées dans ce rapport en vue d'une application au calcul économique public relève de la responsabilité des ministères concernés dans chaque secteur.

3.1. Quantifier les risques à l'aide de l'information disponible

L'information est un élément central de la prise en compte du risque dans les évaluations, car elle est essentielle pour quantifier les risques.

S'agissant des risques standard et relativement bien connus, on dispose non seulement de données historiques qui indiquent l'éventail des aléas possibles, mais aussi de statistiques qui fournissent une mesure de la probabilité de ces aléas. Par exemple, dans le secteur des transports, les bilans LOTI de projets routiers montrent que le risque de dérive du coût d'investissement peut varier de - 5 % à + 75 % avec une moyenne de 21 % (valeurs mesurées sur un échantillon de 28 projets). Flyvbjerg *et al.* (2004) ont calculé, sur la base d'un échantillon de 167 projets routiers, que la dérive moyenne du coût d'investissement est de + 20 %. La construction de l'espace des aléas possibles – savoir par exemple que le risque de surcoût est compris entre - 5 % et + 75 % – repose sur le recensement aussi exhaustif que possible des natures d'aléas constatés par le passé. La construction de la loi de probabilité sous-jacente repose, elle, sur le calcul des fréquences d'apparition de chacun des aléas.

Les observations passées, sous réserve qu'elles soient suffisamment nombreuses et statistiquement exploitables, fournissent donc une description approchée (ensemble des aléas possibles et lois de probabilité) des risques qui se sont matérialisés dans le passé. L'extrapolation au contexte futur de cette description du risque est toutefois sujette à caution. En effet, les sources d'aléas passés peuvent pour certaines avoir changé, dans le sens d'une atténuation ou au contraire d'un renforcement du risque. Par exemple, la vitesse de diffusion d'une épidémie, et donc du risque sanitaire, qui pouvait autrefois se compter en semaines, se compte désormais en heures du fait de l'existence de transports rapides entre les différentes échelles de territoire.

Les retours d'expérience s'avèrent une source cruciale de données pour mieux identifier et quantifier les risques dans le calcul économique. L'amélioration des méthodes passe donc inévitablement par une amélioration indispensable de l'appareil statistique orientée vers la connaissance des coûts et des bénéfices des politiques publiques, amélioration que la commission appelle de ses vœux.

Lorsqu'on se projette vers l'avenir, la quantification des risques doit tenir compte de la connaissance de leur histoire et de leurs causes, afin de déterminer dans quelle mesure les aléas passés sont reproductibles dans le futur. Si les causes changent, les risques changent. À défaut de modèle explicatif des causes sous-jacentes et des mécanismes de développement des risques, l'analyse économétrique permet d'établir des corrélations ou des lois empiriques. Par exemple, il est établi que le nombre d'accidents automobiles d'un individu est corrélé avec son âge, les individus les plus jeunes ayant en moyenne plus d'accidents que le reste de la population. Si cette relation économétrique est invariante dans le temps, ce que l'on peut raisonnablement supposer si l'accidentologie des jeunes conducteurs est liée à un manque d'expérience, alors le risque d'accidents chez les futurs jeunes conducteurs devrait être sensiblement le même que par le passé. Toutefois, si un facteur de risque est modifié, par exemple le niveau d'expérience des jeunes conducteurs, le risque s'en trouve modifié en conséquence ; c'est ce qui s'est passé à partir de 1986 avec la mise en place de la conduite accompagnée dès l'âge de 16 ans.

L'évaluation d'un risque repose largement sur les techniques de régression multivariée qui permettent de déterminer les facteurs explicatifs du risque, leur influence sur sa distribution de probabilité et la corrélation éventuelle entre facteurs. Lors d'une telle analyse, il convient de restreindre autant que possible le nombre des facteurs explicatifs et de veiller à leur indépendance. En effet, l'existence d'une corrélation forte entre deux facteurs est signe que le pouvoir explicatif additionnel d'un des deux facteurs est faible si l'autre facteur est déjà présent dans le modèle économétrique. Pour la robustesse du modèle, il convient alors de ne garder qu'un seul des deux facteurs envisagés pour expliquer telle composante du risque.

Même lorsque les observations historiques sont transposables pour quantifier les risques futurs, le traitement statistique d'un échantillon de données nécessairement fini crée des incertitudes sur la quantification des risques. La moyenne, l'écart-type et, plus généralement, toute la distribution de probabilité

sont estimés avec un certain niveau de confiance qui dépend de la taille de l'échantillon statistique : chercher la moyenne d'un jeu de pile ou face avec seulement trois lancers est par exemple une gageure, mais l'exercice sera beaucoup plus pertinent si l'on dispose d'un millier d'observations. La quantité et la qualité des données historiques disponibles sont donc de première importance pour apprécier les risques. À cet égard, prendre en compte le risque dans le calcul socioéconomique doit commencer par documenter et comprendre les risques observés dans le passé.

Pour certains risques, les observations passées n'offrent pas suffisamment d'informations, principalement parce que ce sont des risques rares et peu documentés. Ils présentent toutefois un réel enjeu car les aléas sont importants. C'est le cas par exemple des phénomènes naturels exceptionnels comme les cyclones, les tremblements de terre ou les crues extrêmes, dont la connaissance statistique demeure limitée mais dont les conséquences sont généralement dévastatrices.

Les risques de faible probabilité et d'aléa fort sont modélisés à l'aide de la théorie des valeurs extrêmes. Cette théorie établit les lois de probabilité du minimum ou du maximum d'un grand nombre de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées¹. Elle repose sur le principe démontré par Emil Julius Gumbel (1958) : sous réserve que la distribution de probabilité sous-jacente (la loi mère) soit suffisamment régulière, les valeurs extrêmes suivent asymptotiquement, selon toute probabilité, une loi analytique particulière dont la forme est indépendante de la distribution de probabilité sous-jacente². Typiquement, les phénomènes dépressionnaires tropicaux sont des événements météorologiques courants dont seuls quelques-uns atteignent ou dépassent chaque année le stade du cyclone dévastateur. La théorie des valeurs extrêmes donne une base plus rigoureuse pour extrapoler les séries statistiques vers les queues de distribution et permet par exemple de calculer la probabilité qu'une dépression en formation se transforme en cyclone tropical étant donné les conditions de vent observées. En outre, ce qui est plus utile pour le calcul économique des mesures de protection à envisager, cette théorie permet de calculer les durées moyennes de retour et les probabilités des phénomènes les plus exceptionnels.

[1] En ce sens, elle fait le pendant de la loi des Grands Nombres pour les fonctions « *minimum* » et « *maximum* ».

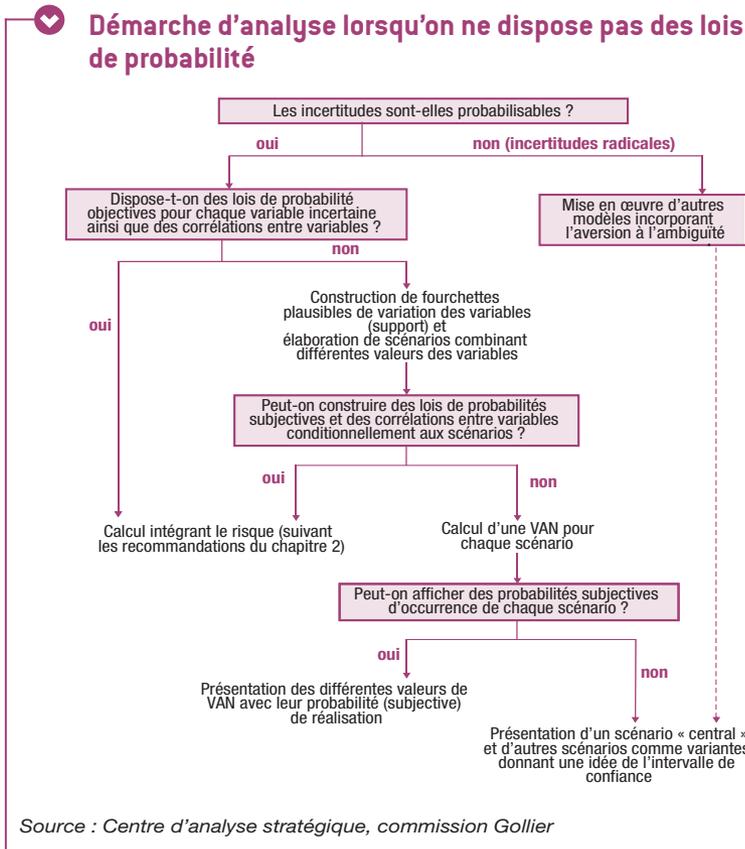
[2] Plus rigoureusement, la loi du maximum tend asymptotiquement vers une loi des valeurs extrêmes généralisée (ou famille de Fisher-Tippett), qui comprend les lois de Gumbel, Fréchet et Weibull.

En l'absence de lois de probabilité « objectives » issues de l'exploitation statistique de séries de données suffisamment longues et stables, on peut quantifier les risques probabilisables par des lois de probabilité issues de l'expertise ou de simulations numériques *ad hoc*. Ces lois de probabilité sont alors « subjectives » et reflètent les éléments pris en considération par l'expert ou les paramètres choisis pour la simulation.

Ces approches peuvent être complétées par une démarche prospective d'évaluation de scénarios, destinée à quantifier l'épaisseur des queues de distribution de probabilité. Le principe en est simple : étant donné que tous les chemins de l'arbre des possibles (*i.e.* tous les scénarios de manifestation du risque) ne peuvent être explorés exhaustivement, on envisage *a priori* certains types de scénarios défavorables et on évalue leur probabilité de réalisation. Au lieu de tracer la distribution de probabilité complète de la VAN – ou de l'utilité socioéconomique collective du projet – on calcule ainsi un petit nombre de VAN correspondant aux différentes combinaisons de risques postulées *a priori*. Les préférences collectives et l'aversion collective au risque sont ensuite prises en compte, au travers du choix des seuils de probabilité conduisant à accepter ou rejeter le projet.

Enfin, s'agissant des incertitudes exceptionnelles (ou radicales), leur prise en compte quantitative, en l'absence de base de données exploitable, peut passer par des dires d'expert et/ou des méta-analyses de la littérature scientifique. Les démarches de prospective ne sont plus à même d'apprécier les probabilités. On demandera donc à l'étude d'apprécier non plus une probabilité mais de considérer sur la base d'appréciations plus qualitatives (croyances, plausibilité), et pour un petit nombre de valeurs possibles des variables pertinentes, des grandeurs de type « valeur moyenne, haute, basse, catastrophique ». C'est avec ces combinaisons de valeurs que des VAN pourront être calculées. Toute l'attention de l'évaluateur devra être portée sur le niveau de preuve des études et des arguments scientifiques utilisés. Au besoin, ce niveau de preuve doit être discuté et clairement exposé au décideur (par des tests de sensibilité, par exemple).

Le schéma suivant résume la démarche d'analyse selon que l'on peut ou non disposer de lois de probabilité sur les risques envisagés.



3.2. Adapter les méthodes aux enjeux

Nier la complexité de certaines méthodes ou l'insuffisance des données nécessaires à leur application serait faire preuve de naïveté. La prise en compte du risque dans l'évaluation pratique d'un projet doit donc être adaptée aux multiples enjeux de l'évaluation, parmi lesquels la faisabilité et la signification des calculs. Toutefois, adapter ne signifie pas réduire le niveau d'exigence quant à la pertinence et la richesse du calcul des risques. Si une méthode complexe ne peut être mise en pratique sur un projet qui le nécessiterait, un effort particulier doit être accompli pour résoudre les difficultés rencontrées afin que les cas ultérieurs puissent en bénéficier. À cet égard, les retours d'expérience tant sur l'évaluation *ex-ante* que sur les résultats des projets constatés *a posteriori* sont indispensables à l'amélioration de la prise en compte du risque dans le calcul économique.

L'élaboration de référentiels sectoriels par les différentes institutions concernées devrait préconiser, pour chaque type de projets ou de politiques évalué, la méthode de prise en compte du risque la plus adaptée. Le choix de la méthode doit tenir compte de la taille du projet et de l'ampleur des incertitudes (*voir tableau ci-après*) mais également de l'objectif de l'étude et de l'étape du processus dans laquelle prend place l'évaluation. La profondeur d'analyse et la présentation des résultats doivent ainsi s'adapter selon que l'on mène une étude préliminaire, un débat public, une étude de définition ou un bilan *a posteriori*, que l'on vise à donner un éclairage préalable ou à fournir un élément de décision du projet, et que l'on s'adresse à des décideurs ou à l'opinion publique dans son ensemble.

Le tableau suivant établit une liste des outils recommandés par la commission pour trois grandes catégories de projets, dans l'optique de guider les différents ministères vers une meilleure prise en compte du risque dans leurs évaluations socioéconomiques. Ces outils ne sont pas exclusifs les uns des autres. Les catégories de projets sont à définir, de préférence, par des seuils financiers.



Boîte à outils en fonction du type de projets

Catégories de projets	Caractéristiques principales	Outils recommandés pour la prise en compte du risque	Commentaires
Petit projet standard	<ul style="list-style-type: none"> Impact du projet négligeable par rapport au PIB Risques ordinaires [l'hypothèse de normalité des distributions de probabilité est acceptable] Bonne mutualisation des risques du projet dans l'économie 	Calcul de la VAN avec les équivalents-certains des flux	Les calculs d'espérance et de covariance sont réalisés spécifiquement pour le projet à partir des lois de distribution.
		(si les primes de risque croissent uniformément dans le temps, méthode du <i>bêta</i> socioéconomique)	Éventuellement, certains résultats peuvent être repris de tables standard établies pour chaque secteur et chaque type de projets par les ministères concernés (ex. : <i>bêta</i>).
		Estimation de la distribution de VAN par une méthode de Monte-Carlo simplifiée	Les simulations de Monte-Carlo sont limitées à quelques variables déterminantes du projet. La modélisation des variables entrant dans la VAN est simplifiée.
		Évaluation de scénarios contrastés standard	Les scénarios forment des combinaisons des principales variables déterminantes du projet. Ils sont standardisés par un guide technique qui précise également les probabilités associées à chacun d'entre eux.

Catégories de projets	Caractéristiques principales	Outils recommandés pour la prise en compte du risque	Commentaires
Projet de taille moyenne et/ou présentant des risques spécifiques	<ul style="list-style-type: none"> Impact du projet négligeable par rapport au PIB Présence de risques sortant de l'ordinaire (l'hypothèse de normalité des distributions de probabilité n'est manifestement pas acceptable) 	<p>Calcul de la VAN avec les équivalents-certains des flux et prise en compte spécifique des risques pas ou peu diversifiables</p> <p>Estimation de la distribution de VAN par une méthode de Monte-Carlo</p> <p>ET</p> <p>estimation de la distribution de VAN des agents vulnérables</p>	<p>Les calculs d'espérance et de covariance sont réalisés spécifiquement pour le projet à partir des lois de distribution. Les lois sont construites à partir de simulations de Monte-Carlo et étayées par les retours d'expérience et diverses approches empiriques.</p> <p>La méthode de Monte-Carlo est aussi raffinée que nécessaire, tant par le nombre de variables simulées aléatoirement que par le nombre de tirages et la nature supposée des interactions entre variables.</p>
	<p>ET/OU</p> <ul style="list-style-type: none"> Mutualisation insuffisante des risques du projet dans l'économie (présence d'agents vulnérables) 	<p>Calculs des valeurs d'option liées aux risques majeurs</p>	<p>Selon les cas, les valeurs d'option sont calculées à partir de l'arbre de décision associé ou bien à partir d'une formule standard comme celle de Black et Scholes.</p>
Autres projets ou programme de grande ampleur (très grande taille et/ou présentant des risques exceptionnels)	<ul style="list-style-type: none"> Impact non négligeable par rapport au PIB 	<p>Combinaison de plusieurs techniques : principalement méthode de Monte-Carlo là où c'est possible, évaluation de scénarios pessimistes, et calcul des valeurs d'option.</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> Présence de risques majeurs et/ou incertitudes difficilement probabilisables 	<p>La variation d'utilité collective procurée par le projet doit être estimée en revenant à la formule générale de l'économie publique.</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> Diversification des risques impossible ou inefficace 	<p>Un effort particulier doit être fait sur la justification des hypothèses et leur impact sur les résultats (notamment, <i>via</i> des tests de sensibilité).</p>	

Source : Centre d'analyse stratégique, commission Gollier

Cette grille ne vise pas à l'exhaustivité et ne doit pas conduire à rigidifier les pratiques. Le traitement du risque doit être adapté à l'ampleur des risques envisagés et aux éléments dont dispose l'évaluateur. La criticité des risques, la représentativité et la précision des bases de données, la performance de l'outil informatique sont autant d'éléments à apprécier avant de choisir la méthode de calcul.

Dans le cas où les incertitudes déterminantes portent sur des grandeurs non monétarisables, tels des éléments relatifs à la santé, à la défense, à la biodiversité, le calcul de la VAN peut laisser la place à une analyse du type

coûts-efficacité. Au lieu de mettre sur un même plan l'ensemble des grandeurs en jeu dans l'évaluation, l'analyse coûts-efficacité vise à trouver le meilleur compromis possible entre un objectif d'efficacité et un niveau de coût. Par exemple, des mesures de prévention sanitaire pourront être classées suivant un indicateur de type QALY¹ par euro dépensé.

Dans le cadre de l'évaluation du risque, l'approche coûts-efficacité pose toutefois deux questions auxquelles les ministères concernés devront apporter une réponse spécifique :

- comment actualiser les bénéfices non monétaires ou, plus précisément, comment sommer des gains d'efficacité obtenus à des dates différentes ?
- quelle valeur de l'aversion au risque faut-il considérer lorsque le risque porte sur des bénéfices non monétaires ?

Sans prétendre résoudre ces questions, quelques éléments de réponse peuvent être esquissés. D'une part, les évaluations coûts-efficacité reposent implicitement sur le principe que la collectivité a une fonction d'utilité à variables séparées, avec d'un côté les grandeurs monétaires ou monétarisables et de l'autre celles non monétarisables. De fait, l'aversion pour le risque qui affecte ces deux types de grandeurs est donc possiblement différente. D'autre part, si certaines grandeurs ne sont pas monétarisables, il n'y a pas de raison de les comparer à la richesse collective. Il faut alors plutôt les rapporter à d'autres dimensions du bien-être collectif.

Par exemple, il semble judicieux de rapporter le QALY à l'espérance de vie moyenne des Français. Ainsi, au lieu d'utiliser un taux d'actualisation sans risque de 4 % qui, on le rappelle, découle d'une espérance de croissance de la richesse nationale par tête avoisinant 2 % par an, il conviendrait peut-être d'actualiser les QALY avec un taux de 0,5 %, si l'on estime que l'espérance de vie moyenne devrait s'accroître par exemple de 0,25 % par an². La valeur de 0,5 % est donnée ici à titre purement illustratif et suppose, entre autres, que l'aversion collective pour le risque en matière de durée de la vie est identique à l'aversion collective pour le risque en matière de richesse, ce qui ne repose à ce jour sur aucun fondement. Elle serait d'ailleurs certainement mieux

[1] Le QALY, acronyme anglais de « *quality adjusted life year* », mesure l'utilité d'une action médicale perçue par les patients. Une variation de QALY rapporte l'efficacité d'une action médicale à un équivalent en termes de nombre d'années gagnées passées en bonne santé.

[2] Voir, par exemple, Guesnerie R. [2004], « Calcul économique et développement durable », *Revue économique*, vol. 55, n° 3, mai, p. 363-382. et Gollier C. [2010], « Ecological discounting », *Journal of Economic Theory*, 145(2), mars, p. 812-829.

appréciée si l'on observait les préférences révélées par les choix collectifs visant à protéger la vie humaine. De ce point de vue, l'usage courant du QALY révèle bien une certaine convexité de la fonction d'utilité collective vis-à-vis de la variable « espérance de vie ».

3.3. Assurer la cohérence des évaluations

Le meilleur moyen d'assurer la cohérence des évaluations du risque est sans doute de fixer un cadre d'analyse commun à l'ensemble des projets. Le présent rapport y contribue mais une déclinaison sectorielle des recommandations formulées ici semble indispensable pour tenir compte des spécificités de chaque secteur.

Le souci de cohérence doit s'appliquer à tous les niveaux du processus d'évaluation.

Premièrement, l'évaluation d'un projet donné doit intégrer le risque de manière cohérente avec les autres choix de calcul. La mise en pratique d'un calcul d'actualisation dépend étroitement du cadre d'hypothèses sous-jacent : monnaie constante ou courante, flux bruts ou nets d'impôts, espérance des flux ou équivalent-certain, etc. Le calcul des primes de risque, quelle qu'en soit la méthode, doit être cohérent avec les hypothèses retenues sur le taux d'actualisation public. De même, ce souci de cohérence conduira notamment les responsables de l'évaluation à s'interroger sur la compatibilité entre l'approche retenue pour intégrer le risque et différentes valeurs tutélaires utilisées dans le calcul. Par exemple, il est clair que la valeur tutélaire du carbone, déterminée d'après plusieurs scénarios de changement climatique, tient déjà compte du risque climatique¹. Ajouter une prime de risque climatique dans les calculs reviendrait à faire un double compte tout à fait préjudiciable.

Deuxièmement, les évaluations réalisées à différents stades du processus de maturation d'un projet doivent conduire à des résultats cohérents, voire identiques si les hypothèses relatives au projet restent inchangées. La connaissance des risques s'affinant au fil des évaluations, les méthodes de prise en compte seront généralement de plus en plus raffinées au fur et à mesure que le projet approchera de la phase de réalisation. Un éventuel changement de méthode de prise en compte des risques ne doit pas pour

[1] () Voir Centre d'analyse stratégique (2009), *La valeur tutélaire du carbone*, rapport de la commission présidée par Alain Quinet, Paris, La Documentation française, mars.

autant conduire à modifier sensiblement la valorisation des mêmes risques et, par suite, à juger différemment de leur impact sur le projet.

Les outils présentés dans ce rapport présentent cette cohérence interne. Il importe que les personnes appelées à rédiger les référentiels sectoriels préservent cette cohérence, sous peine de discréditer l'ensemble des avancées méthodologiques sur le traitement des risques dans le calcul économique. En particulier, on attire l'attention sur la nécessaire cohérence entre la méthode du *bêta* socioéconomique et la méthode des équivalents-certains. Dans la première approche, la prime de risque de marché prend en compte l'hypothèse que, chaque année, le PIB par habitant pourrait éventuellement connaître une chute catastrophique. Il importe de respecter cette hypothèse lorsqu'on applique la méthode des équivalents-certains, sans quoi l'évaluation des risques du projet ne tiendrait pas compte de la possibilité, même très faible, d'une catastrophe.

Troisièmement, la cohérence des méthodes est un besoin primordial lorsqu'il s'agit d'évaluer un ensemble de projets formant un programme complet. Si deux projets présentant le même risque ressortaient avec deux évaluations différentes du risque, toute tentative de comparaison et de hiérarchisation des projets serait vaine. L'allocation des ressources aux projets en fonction de leur niveau de risque aurait alors peu de chances d'être optimale.

La meilleure méthode pour assurer la cohérence de l'évaluation sur différents projets est sans doute que celle-ci soit réalisée par une seule et même entité, et avec une approche constante. Toutefois, le niveau de connaissance des risques étant souvent disparate d'un projet à l'autre, une telle solution est rarement possible. De plus, concentrer les travaux d'évaluation sur une seule entité empêche de paralléliser les tâches afin de gagner en temps et en efficacité.

Dans l'administration comme dans les grandes entreprises, l'évaluation de nombreux projets, en particulier des plus modestes, est souvent décentralisée dans les unités locales. Afin de préserver cette efficacité organisationnelle, il convient de standardiser autant que possible les méthodes de prise en compte des risques. La définition par l'échelon central de quelques paramètres clés, telle une liste de valeurs de coefficients de corrélation, de variances, de *gamma* et de *bêta* pour différents types de projets standard (ou différents segments d'activité) ou une caractérisation de scénarios-types probabilisés à évaluer systématiquement, serait de nature à assurer un premier degré de cohérence des évaluations réalisées au sein des différentes unités.

Il n'en demeure pas moins qu'une standardisation excessive, mal comprise et mal appliquée, serait contre-productive. Les organismes pratiquant aujourd'hui l'évaluation de projets à des niveaux décentralisés seront donc peut-être amenés à réviser leurs critères de décentralisation de l'évaluation afin de traiter à l'échelon central un plus grand nombre de projets dont l'enjeu le justifierait. Dans tous les cas, la diffusion des méthodes de prise en compte du risque jusqu'aux différents échelons pratiquant l'évaluation de projet doit s'accompagner d'un effort spécifique de formation des personnels.

Le présent rapport établit des recommandations générales concernant la prise en compte du risque dans le calcul économique mais il ne saurait remplacer des guides pratiques adaptés aux spécificités de chaque secteur. Il revient donc à chaque ministère d'étoffer les guides d'évaluation existants en y intégrant convenablement le traitement des risques afin de rendre totalement opérationnelles les recommandations formulées ici. De tels guides pratiques contribueront à améliorer la prise en compte efficace, transparente et adaptée des risques dans l'évaluation économique et renforceront du même coup la crédibilité des choix publics. Il va de soi que ces guides doivent s'inscrire dans une démarche d'amélioration continue et qu'ils seront à mettre à jour régulièrement en fonction de l'évolution du contexte et des enjeux de politique publique.

3.4. L'apport de la modélisation et de la simulation

Il est important d'avoir à l'esprit que la modélisation et la capacité de calcul des ordinateurs permettent de tester de nombreuses simulations. Ce type de travaux peut alimenter le débat public de différentes manières :

- en hiérarchisant les nombreuses alternatives ;
- en établissant du calcul économique renversé, qui consiste par exemple à rechercher le degré de risque acceptable pour qu'un projet économique atteigne un seuil de rentabilité fixé à l'avance, etc. ;
- en testant la robustesse de certains scénarios.

Ces modèles sectoriels ou globaux (articulant l'analyse des phénomènes sur lesquels portent des risques et les principales variables économiques) supposent des investissements importants, dont certains se comptent en dizaines d'années (voir sur ce point l'utilité des modèles utilisés dans le secteur énergétique et dans l'analyse économique des politiques de lutte contre le changement climatique sans lesquels il n'aurait pas été possible d'avancer de

manière sérieuse sur le sujet). Par exemple, le Centre d'analyse stratégique n'a pu procéder au calibrage de la valeur carbone et la présenter avec un certain crédit que parce qu'il existait sur le marché de l'expertise plusieurs modèles énergétiques reconnus au niveau international. L'existence de modèles aux spécificités différentes permet de mettre en balance différentes simulations et de progresser significativement dans la manière d'appréhender la sensibilité de certaines variables. Les discussions contradictoires rendues possibles par la confrontation des résultats sont un mode opératoire extrêmement utile dans la mise à plat d'une analyse de risques. Encore faut-il disposer de ces outils prospectifs.

Il est clair que les recommandations faites sur l'analyse de la corrélation des risques avec la croissance économique, par exemple, supposent de pouvoir disposer d'outils relativement performants, dont l'élaboration et la maintenance dépendent d'une forte coordination entre les principaux acteurs des secteurs considérés et les modélisateurs. Les ministères doivent pouvoir recourir à des modèles reconnus et validés au niveau international pour caler les référentiels utiles aux évaluateurs. Cela implique d'intégrer, dans une politique d'évaluation systématique des politiques publiques, un soutien aux équipes susceptibles de maintenir et développer ce type de compétences.

3.5. Un risque particulier : le risque pétrole

Plusieurs variables particulières se trouvent au cœur des politiques publiques et impactent de nombreux secteurs d'activité. C'est le cas de valeurs comme celle de la vie humaine, du carbone, etc., qu'on retrouvera impliquées à divers titres dans de nombreuses évaluations. L'appréciation sur les risques associés à ces grandeurs mériterait que chacune de ces variables fasse l'objet d'une prospective particulière et qu'on y consacre des études plus poussées ou que l'on fixe comme référence des travaux internationaux reconnus. C'est le cas du prix des hydrocarbures qui conditionne la rentabilité de nombreux investissements et la croissance de nos économies.

La commission a considéré qu'il était utile de développer un point plus particulier sur cette variable. Le développement qui suit pose quelques pistes de travail sur la base de travaux récents qui ont pu être menés sur le sujet. Un cadrage plus systématique dans les référentiels sectoriels reste à faire.

Le prix du pétrole constitue l'une des variables les plus importantes dans l'estimation de la rentabilité notamment des projets d'infrastructures de

transport ou d'énergie. Plus généralement, son influence sur l'économie française, même si elle est nettement plus faible qu'en 1973, reste significative.

Une double question se pose dès lors au moment de se lancer dans un calcul socioéconomique :

- comment prendre en compte ce paramètre dans le calcul de la VAN intégrant le risque ?
- quelle valeur et quelle loi de probabilité du prix du pétrole retenir pour effectuer les différents calculs ?

L'analyse de l'évolution du cours des hydrocarbures¹ montre à l'évidence une grande volatilité. Les changements de tendance (parfois brutaux) observés ces dernières années ont pu surprendre les meilleurs spécialistes. On considère aujourd'hui que les tensions sur la disponibilité de la ressource, qui devraient se manifester dans un avenir proche notamment en cas de reprise forte de la croissance mondiale, devraient même renforcer la volatilité des cours sur un marché qui est devenu un marché financier comme un autre : le volume des transactions financières a pris une telle ampleur qu'il devient difficile d'interpréter les évolutions des cours par les seuls fondamentaux physiques. L'impact sur la croissance de ces fortes variations fait l'objet de nombreux débats et se trouve au cœur des évaluations d'un grand nombre d'investissements.

Il existe plusieurs manières de prendre en compte ces incertitudes, on peut évoquer quelques pistes :

- la première stratégie consiste à s'appuyer sur les scénarios élaborés dans des instances reconnues au niveau international comme l'Agence internationale de l'énergie, en se souciant de la cohérence de ces références avec celles utilisées pour d'autres variables de calcul ;
- la présentation en termes de scénarios est une approche qui garde toute sa pertinence. Elle permet d'apprécier la variation de la rentabilité du projet non seulement en cas de hausse forte du prix des hydrocarbures, mais aussi en cas de prix modéré : certains opérateurs de transport ont ainsi particulièrement souffert d'un prix du baril durablement inférieur à 60 dollars. Elle incite le porteur de projet à traiter ce risque explicitement

[1] On trouvera des éléments précis sur ce sujet notamment dans les rapports suivants : Centre d'analyse stratégique [2008], *Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050*, rapport de la commission présidée par Jean Syrota, Paris, La Documentation française ; Chevalier J.-M. [2010], *La volatilité des prix du pétrole*, rapport pour le ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi, Paris, La Documentation française ; Artus P., d'Autumne A., Chalmin P. et Chevalier J.-M. [2010], *Les effets d'un prix du pétrole élevé et volatil*, rapport du Conseil d'analyse économique, n° 93.

- dans le cadre d'une contractualisation par exemple et d'apprécier dans chaque cas l'ensemble des conséquences sur l'intérêt et le coût d'un projet ;
- la question du prix relatif des énergies constitue un excellent terrain d'application pour les valeurs d'options. Ces dernières pourraient être utilisées en particulier pour les projets ferroviaires de voyageurs et de fret (voir quelques illustrations en annexe). Ces calculs donnent une idée de la valeur assurantielle que l'on prête au projet par rapport aux risques d'augmentation du prix du pétrole ou de celui du carbone ;
 - enfin, pour les projets les plus complexes et les plus importants par leur coût, la méthode de Monte-Carlo, qui n'est pas exclusive des autres approches, fournit des perspectives intéressantes. Il est possible d'envisager différentes lois de probabilité dont les valeurs évolueront à la hausse dans le temps (si possible avec une certaine volatilité) et qui pourront atteindre des valeurs relativement élevées.

4 ■ La mise en œuvre d'une grille générale pouvant être déclinée par secteur

Le développement qui suit propose un cadre opérationnel permettant de passer des considérations théoriques, rappelées dans les chapitres précédents, à la mise en œuvre (implémentation) pratique afin d'assurer que la démarche d'évaluation entreprise par les pouvoirs publics donne au management du risque toute sa place.

Comme nous l'avons précisé dans le premier chapitre, la mise en œuvre du calcul économique doit tenir compte des caractéristiques des secteurs dans lesquels on souhaite développer les études d'évaluation socioéconomique et financière. S'il n'y a pas lieu dans le cadre de ce rapport de construire les documents d'application opérationnels (référentiels détaillés), qui relèvent de chacun des ministères concernés, il est opportun de proposer un état des lieux pour faciliter l'élaboration de recommandations sectorielles et de caractériser l'ensemble des têtes de chapitre qui devraient être prises en compte. La grille qui suit rassemble ainsi en trois rubriques les points qui apparaissent incontournables à la commission et qui devraient être systématiquement renseignés dans les études : l'identification des risques, la mesure (quantification) des risques, la présentation des résultats.

4.1. Les principes généraux

Contexte institutionnel de l'évaluation

Cette grille de lecture ne se contente pas de décliner certaines variables et certains outils. Elle comprend également des considérations relatives au cadre institutionnel et de gouvernance dans lequel doivent s'inscrire ces études et qui est développé plus précisément dans la suite de ce chapitre.

C'est une recommandation fondamentale de ce rapport : le management du risque ne se limite en aucun cas à la seule application d'outils plus ou moins sophistiqués. Ceux-là restent finalement très modestes au regard des enjeux auxquels sont confrontés les évaluateurs et les responsables politiques. La pertinence de ces outils dépend en effet tout autant de la manière dont les résultats sont produits, utilisés et discutés que des résultats numériques eux-mêmes. Le traitement du risque dans les évaluations et le processus de décision s'inscrit, en amont et en aval des évaluations, dans un cadre institutionnel plus large qui donne à ces procédures tout leur sens.

Ces outils doivent donc s'intégrer dans un processus d'évaluation clair et transparent, voire contradictoire. Ils supposent un réel investissement dans la formation des évaluateurs et de ceux qui utiliseront ces études, la capitalisation de ces études, l'investissement dans la recherche sur les éléments les plus sensibles, et plus généralement la production et la gestion de l'information qui constitue l'élément clé du management du risque.

Une démarche dynamique

L'évaluation se décompose en deux étapes distinctes : l'évaluation *ex-ante* qui est un élément de la décision, et l'évaluation *ex-post* qui relève d'une démarche de vérification et d'amélioration continue. Souvent, cette dernière n'est pas engagée et, lorsqu'elle l'est, c'est dans une relative autonomie. Or, ce deuxième temps est un élément clé du processus d'évaluation des décisions publiques. C'est la base sur laquelle il est possible de capitaliser l'expérience et d'enrichir les études *ex-ante*. Sur les questions de risque, cette capitalisation est essentielle. Elle permet d'identifier les procédures efficaces, les variables qui posent problème, et d'offrir des informations qui, une fois recensées, organisées et analysées, constituent une base indispensable pour l'amélioration des études.

La commission recommande vivement que ces deux temps de l'évaluation, *a priori* et *a posteriori*, soient menés dans un cadre d'ensemble cohérent pour

que cette capitalisation puisse être effective. La question du financement de ces études, qui fait souvent difficulté, doit être résolue. Si différentes modalités pratiques peuvent être envisagées selon les secteurs, on retiendra notamment celle qui consiste à intégrer directement le coût des études *ex-post* dans le budget des études *ex-ante* et à faire explicitement peser sur des acteurs pérennes l'obligation de la fourniture des études *ex-post* aux autorités compétentes. On reviendra sur ce point dans la dernière partie du rapport.

Un outil adapté à la taille des projets

Le traitement du risque dans les évaluations apparaît décisif dans les projets de taille importante, ce qui légitime d'y consacrer des moyens (financement des études, délais des études, production d'informations, etc.) permettant de mieux apprécier cette dimension. Cette exigence apparaît à première vue moins forte pour les projets de taille plus modeste. Ce point de vue est contestable si l'on considère que les coûts et les risques d'un grand nombre de petits projets peuvent globalement représenter un défi majeur pour la collectivité.

De ce fait, il est important, pour les projets pour lesquels des études fines de risque ne peuvent être entreprises, de disposer de méthodes à coûts et délais adaptés en application du principe de proportionnalité qui, tirant parti des connaissances obtenues sur les études des grands projets, permettraient d'intégrer quelques éléments généraux et d'isoler les quelques aspects particuliers du projet méritant d'être traités plus en détail. C'est un point qui pourrait être utilement renseigné par l'étude des travaux d'évaluation *ex-post*.

Un outil associé à un management du risque

Ces différentes études, et les outils qu'elles mobiliseront, doivent s'inscrire dans une attitude plus générale qui consiste à mettre en place des procédures de management du risque à tous les niveaux de décision : suivre les informations stratégiques et procéder à des réévaluations en cas de changement, acquérir l'information pour réduire l'incertitude, promouvoir les décisions qui préservent la flexibilité dans le temps, engager des études pilotes, prendre des mesures de précaution systématiques, transférer les risques lorsqu'ils peuvent l'être, être prêt également à abandonner ou faire évoluer un projet pour d'autres alternatives, informer les parties prenantes d'éléments nouveaux modifiant l'évaluation des actions, etc.

4.2. Le plan détaillé d'une étude de risques

Toute étude devrait comporter un préambule précisant le cadre méthodologique utilisé, décrire (de manière qualitative) les différents risques et les enjeux associés en identifiant les acteurs concernés, proposer des solutions de quantification de ces risques en se situant, de manière motivée, par rapport à des recommandations méthodologiques applicables au problème étudié, préciser les conditions (information, études complémentaires, procédures) qui permettraient de minimiser chacun de ces risques lorsque cela est possible, et enfin conclure sur le profil de risque du projet dans une présentation synthétique lisible par les acteurs concernés.

Une bonne étude de risques doit ainsi ouvrir la voie à une réflexion sur les leviers de maîtrise des risques : sous quelles conditions peut-on réduire les risques identifiés, que ce soit en jouant sur leur ampleur ou leur probabilité d'occurrence ? Comment pourrait-on les diversifier efficacement ou, à défaut, mieux les répartir entre les membres de la collectivité ? Les lignes qui suivent détaillent les éléments que l'on s'attend à trouver dans l'étude des risques d'un projet.

Préambule

Cette section énonce le cadre méthodologique dans lequel se place l'étude, en faisant référence aux documents utilisés (présent rapport du Centre d'analyse stratégique, recommandations sectorielles et leurs actualisations). Elle précise le point de vue auquel se place le décideur pour analyser les risques et, ce faisant, dans quelle mesure le projet et ses risques présentent ou non un caractère marginal.

Elle explicite si l'évaluation repose :

- sur le calcul de la VAN espérée ;
- sur le calcul de la distribution de probabilité complète du bilan actualisé du projet par une méthode de type Monte-Carlo ;
- sur le calcul de certaines valeurs représentatives du bilan actualisé du projet par une méthode scénarisée ;
- sur le calcul d'un équivalent-certain de chaque flux du bilan actualisé du projet ;
- ou sur le calcul d'un taux d'actualisation majoré d'une prime de risque quand les conditions sont remplies.

La méthode doit en particulier tenir compte des enjeux de l'étude (stade de maturation du projet, nature des risques envisagés, modalités d'association des parties prenantes à la décision) et des efforts nécessaires pour quantifier et réduire convenablement les risques (historique de données disponible, base de données à construire...).

Description des risques

Cette section explicite chacun des risques considérés dans l'évaluation. On peut les classer *a priori* en trois catégories (liste non exhaustive) :

- les risques pesant sur les coûts du projet : postes de coût, indice d'évolution des quantités et des prix, formation des prix (degré de concurrence, risque fiscal), risque de délais... ;
- les risques pesant sur les avantages et inconvénients du projet : recettes, avantages non monétaires, indice d'évolution des quantités et des prix, caractérisation, quantification et monétarisation des effets externes... ;
- les risques exogènes au projet : croissance économique, conjoncture financière et risques de taux, évolution démographique, évolution du cadre réglementaire dans lequel se place le projet (risque politique), risques environnementaux, risques technologiques (obsolescence)...

Cette description précise si et comment les risques considérés sont quantifiés dans l'évaluation (description de probabilité, scénarios, etc.). Elle peut renvoyer en annexe les justifications techniques, conduisant à valoriser ou non certains risques.

Il apparaît décisif pour la qualité des études et la comparabilité des évaluations portant sur plusieurs projets que les évaluateurs produisent de l'information sur des variables déterminées au préalable dans le texte méthodologique sectoriel pertinent et motivent les écarts ou interprétations qu'ils seraient amenés à introduire en raison de la spécificité de chacun des projets. Ces recommandations sectorielles devraient encadrer d'autant plus précisément la façon dont sont estimées et traitées les variables repérées *a priori* comme les plus sensibles.

Quantification des risques

Pour chacun des risques valorisés dans l'évaluation, cette section précise leur mode de prise en compte. On cherchera à s'appuyer autant que possible sur

des représentations probabilistes des paramètres relatifs aux avantages et inconvénients du projet et l'on précisera :

- la nature et la source des informations utilisées pour construire ces représentations probabilistes : distribution de probabilité « fréquentielle » estimée, soit directement à partir de bases de données existantes, soit indirectement par un travail intermédiaire de modélisation sur des chroniques observées ; distribution de probabilité « subjective » obtenue par expertise ; combinaison d'approches avec fusion de données ;
- la forme des lois de probabilité retenues, en particulier la plausibilité d'événements extrêmes ;
- la valeur des paramètres de la loi de probabilité, ou les intervalles auxquels ces paramètres sont les plus susceptibles d'appartenir.

Une attention particulière sera portée aux corrélations entre les paramètres aléatoires. En particulier, on précisera pour chacune des corrélations mises en évidence comment elle est prise en compte : *via* un coefficient de corrélation, *via* un *bêta*, *via* une loi de probabilité jointe de deux ou plusieurs variables risquées, *via* une fonction ou loi économétrique entre variables.

Les risques avec un faible nombre de réalisations possibles (par exemple, la possibilité qu'un événement se réalise ou pas) seront traités sous forme d'arbre de décision. On précisera les probabilités, objectives ou subjectives, attachées à chacune des branches, ou des intervalles de probabilité.

Les limites d'emploi des modèles utilisés (exemple du MEDAF) et leurs hypothèses sous-jacentes sont rappelées et on en justifie l'application au cas d'espèce.

Quand le risque est difficile à quantifier, le degré de subjectivité de la loi de probabilité utilisée doit être clairement signalé. Les conclusions doivent faire état d'une analyse de sensibilité.

Cette section doit s'attacher à illustrer chaque risque graphiquement (distribution de probabilité, schéma d'arbre de décision, etc.). Suivant la taille de l'étude, cette section peut éventuellement être fusionnée avec la précédente.

Résultat de l'analyse de risques

Cette section met en évidence la contribution des principaux aléas identifiés au risque global du projet, en montrant la sensibilité de chacun. Elle présente les résultats chiffrés, le cas échéant sous forme graphique, pour les différents

indicateurs économiques du projet : valeur actuelle nette, taux de rentabilité interne, bénéficié par euro investi, etc.

Dans le cas d'une application par simulation de Monte-Carlo sont notamment précisées les valeurs correspondant à des seuils de probabilité de dépassement (« *Value at Risk* », quantile à 90 %, par exemple) et les espérances conditionnellement au dépassement d'un seuil (« *Expected shortfall* », moyenne des pertes dépassant un seuil fixé, par exemple).

Dans le cas d'une application par scénarios contrastés dans lesquels les bénéfices actualisés sont calculés (un scénario haut, un scénario central et un scénario bas, par exemple), on précisera les probabilités de dépassement ou les quantiles attachés aux valeurs représentatives des paramètres constituant les scénarios, et l'on donnera une appréciation de la probabilité de chacun des scénarios.

Dans le cas d'une application de la VAN espérée, on indique le mode de calcul de l'espérance et le cas échéant pour les distributions non symétriques autour de la moyenne, la manière dont celle-ci diffère de la valeur la plus probable.

Dans le cas d'une application par calcul d'un équivalent-certain, celui-ci est détaillé pour chaque paramètre en indiquant les valeurs de l'espérance et de la prime de risque.

Quand les conditions sont réunies pour l'application d'un taux d'actualisation majoré, on indique, en le justifiant, la valeur du *bêta* et la valeur de la prime de risque macroéconomique.

Dans cette section, on mettra en exergue, le cas échéant, l'existence d'incertitudes spécifiques qui n'ont pu être quantifiées, et on rappellera en conséquence les limites de l'analyse.

Pour chacune de ces applications, les analyses de sensibilité ont des vertus pédagogiques qui doivent être utilisées dans les discussions qui s'engagent au cours du processus de décision entre les acteurs concernés et avec l'opinion publique. Les recommandations sectorielles devraient proposer des cadres de référence sur ce point pour les principales variables sensibles. Ces cadres permettraient d'harmoniser l'ensemble des études.

Les annexes du document

Enfin, les annexes du document doivent être relativement homogènes d'une étude à l'autre pour faciliter la capitalisation des travaux et les comparaisons entre les différentes investigations.

Sans chercher à donner ici une liste exhaustive, on peut citer plusieurs points méritant d'être renseignés dans les annexes :

- les données historiques utilisées et leur interprétation pour quantifier certains risques ;
- l'évolution historique des indices de prix ;
- le calibrage des lois économétriques ;
- les retours d'expérience sur des projets similaires.

L'élaboration de ces grilles de référence constitue un élément clé de la qualité des études. Ces grilles permettront de donner un cadre d'exigence minimale attendue d'une évaluation du risque, elles diffuseront les bonnes pratiques à différents niveaux décisionnels, et renforceront ainsi la cohérence de décisions prises de manière indépendante dans différents secteurs. Parce qu'elles pourront évoluer à l'usage, elles constituent également une manière de capitaliser les expériences et d'adapter en permanence le cadre d'évaluation aux attentes des décideurs et aux contraintes des évaluateurs.

En se situant à l'interface entre la recherche théorique et la mise en œuvre pratique de recommandations, l'amélioration de ces grilles de référence conduira également, en retour, à alimenter les travaux de recherches théoriques et empiriques.

Conclusion et recommandations

La lettre de saisine invitait la commission à faire évoluer le cadre traditionnel d'évaluation des grands investissements publics pour mieux intégrer le risque. Le sentiment partagé par les décideurs et les évaluateurs est que l'analyse du risque est certes pratiquée aujourd'hui, mais de manière diverse, souvent implicite, à des degrés hétérogènes ou insuffisants, et ce alors même que les débats de société manifestent dans de nombreux domaines une aversion collective au risque de plus en plus marquée, notamment pour certains types de risques (concernant la sécurité, la santé, la sûreté, etc.). La popularité du principe de précaution, les exigences fortes en matière de politique publique de développement durable imposent d'avancer sur les outils opérationnels pour que le calcul économique soit en phase avec les attentes sociales. L'ensemble des réflexions de ce rapport, auxquelles ont contribué des experts universitaires, des professionnels impliqués sur de telles évaluations et des représentants des différents ministères, ouvre de nombreuses perspectives.

Le travail engagé ne permet pas de répondre à toutes les questions théoriques et pratiques légitimes que pose la prise en compte du risque dans le calcul socioéconomique. Plusieurs points théoriques et les déclinaisons pratiques de certaines observations des comportements des acteurs mériteront sans doute des travaux ultérieurs, car ils restent aujourd'hui sans réponses claires et définitives dans la communauté scientifique.

Cela étant, plusieurs avancées doivent être mises en exergue.

Ce travail et la richesse des propositions qui en résultent démontrent que le calcul économique peut prendre en compte le risque de manière satisfaisante. Il constitue un outil pertinent donc incontournable pour éclairer la décision publique. Ce point mérite d'être souligné alors que le calcul économique reste insuffisamment pratiqué en France, à la différence de ce qui s'observe dans d'autres pays et contrairement aux exigences d'évaluation qui se renforcent dans tous les domaines de la sphère publique. Les attentes collectives peuvent

trouver dans le calcul économique des éléments pertinents pour éclairer les enjeux économiques des risques pris à l'occasion des choix publics. Ces attentes sont extrêmement claires, comme le montrent les développements de la première partie du rapport sur les enjeux de l'évaluation dans plusieurs secteurs (agriculture, santé, transport, énergie).

Ce travail s'inscrit résolument dans la continuité du rapport Lebègue qui a révisé le taux d'actualisation public en 2005. La valeur du risque et celle du temps avaient alors été clairement séparées : cette dichotomie de l'analyse (saisir le risque d'un côté pour lui-même et utiliser un taux sans risque par ailleurs) constituait une avancée considérable dans la culture de l'évaluation en France et portait en germe une clarification méthodologique compatible avec l'intérêt général. Utiliser un paramètre et un seul, tel que le taux d'actualisation, pour traiter de deux notions distinctes, le risque et le temps, ne peut en effet qu'être source de confusion et d'inefficacité. C'est particulièrement vrai dès lors que les projets valorisés sont très hétérogènes dans leurs dimensions temporelles et dans la nature des risques qu'ils impliquent.

Ce travail articule les avancées théoriques, les pratiques courantes et les comportements qu'on peut observer aujourd'hui sur les marchés en matière de gestion des risques, aux attentes concrètes des évaluateurs. Il pose les différentes hypothèses qui conditionnent la validité de chaque outil. La commission a souhaité insister sur les spécificités des risques auxquels peut être confrontée la collectivité afin d'établir les distinctions d'ordre conceptuel, traditionnelles pour certaines, plus récentes pour d'autres, qui s'avèrent décisives pour apprécier la pertinence des différentes approches et méthodes de calcul.

Le fruit des travaux de la commission est un cadre méthodologique général pour la production des évaluations intégrant le risque, cadre qui appelle la production de guides sectoriels précisant les modalités opérationnelles spécifiques à chaque secteur. Au-delà des aspects méthodologiques, la commission tient à souligner que les différents outils proposés pour apprécier et évaluer les situations de risque au moment d'une décision n'ont aucune chance d'atteindre leur objectif si ces calculs ne s'inscrivent pas dans une posture plus générale de la collectivité vis-à-vis du risque. Enfin, il est important de préciser que ces calculs sont constitutifs d'un dialogue raisonné sur les risques collectifs mais qu'ils n'en sont ni le premier ni le dernier mot.

1 ■ Distinguer la nature des différents risques

La littérature économique théorique sur la décision en situation d'incertitude et de risque a très vite introduit des nuances fondamentales pour l'analyse qui ne se résument en aucun cas à des jeux de langage. Le vocabulaire courant du risque peut en effet conduire à mettre sur le même plan des situations très différentes en matière de pratique de la décision, ce que la théorie est aussi apte à retracer. Cet écueil impose un minimum de rigueur conceptuelle et terminologique afin d'éviter des contresens regrettables.

On peut énumérer plusieurs notions qui vont jouer ensuite un rôle important dans les approches proposées.

Tout d'abord, il convient – c'est un acquis depuis les travaux de Keynes et Knight – de distinguer le « risque » qu'on estime probabilisable de « l'incertitude » à laquelle il n'est pas possible, ou beaucoup plus difficile, d'associer une loi de probabilité :

- dans le premier cas, il est possible de s'engager dans des calculs de probabilité et d'utiliser la notion centrale de l'espérance mathématique qui, lorsque la loi des Grands Nombres s'applique, modélise sous la forme d'un calcul rationnel, et en les simplifiant, les comportements humains face au risque ;
- dans le second cas, cette perspective calculatoire n'est plus immédiate, voire est totalement impossible. Pour caractériser cette dernière situation, on parlera, de manière moins traditionnelle mais peut-être plus claire, d'« incertitudes radicales ». On qualifie là des situations totalement imprévisibles (« je sais que je ne sais pas »), voire inconcevables, inimaginables, ce qui est une situation encore différente (« je ne sais même pas que je ne sais pas »). C'est dans ce cadre qu'il faut apprécier l'importance des risques extrêmes, dont on ne peut connaître précisément la probabilité d'occurrence compte tenu du fait qu'ils sont extrêmement rares et donc difficilement prévisibles. C'est dans ce cadre également que l'on placera les risques qualifiés de risques émergents : la perspective du changement climatique, l'utilisation croissante des nanoparticules, la production d'organismes génétiquement modifiés (OGM) ou l'exposition aux ondes électromagnétiques (téléphones portables)...

Ensuite, il convient de s'interroger sur la question de la diversification du risque. Cette question apparaît moins simple qu'on peut le supposer car la situation est différente si l'on considère un individu, une entreprise ou l'ensemble de la collectivité. Contrairement au cas d'un acteur économique

isolé, la théorie établit que la collectivité n'a pas à tenir compte des risques si ceux-ci sont marginaux et parfaitement diversifiables. Au niveau collectif, les risques peuvent être mutualisés et, de ce fait, peuvent apparaître globalement neutres quand le risque global est marginal devant la richesse globale : un risque parfaitement diversifié ne contribue pas au risque agrégé porté par la collectivité. Dans la pratique, une des questions déterminantes sera de savoir si cette mutualisation est effective ou pas : un risque diversifiable n'est pas nécessairement diversifié. Ces éléments d'appréciation vont devenir une des clés de la qualité des études d'autant que la question de la répartition des effets des décisions publiques sur les différents agents revêt une importance majeure et croissante.

Dans la suite logique de ce qui précède, il est décisif de déterminer si l'investissement considéré augmente ou réduit le risque agrégé porté *in fine* par les citoyens. Il faut donc situer le risque au regard de la richesse de la collectivité. Cela conduit déjà à se demander si les conséquences d'une situation seront ou pas marginales par rapport à cette richesse. En cas d'impact non marginal, il faut se tourner vers des méthodes particulières (comme l'a fait le rapport Stern pour l'analyse de l'impact du changement climatique sur la collectivité). Cela conduit également, ce qui est une question très différente, à s'interroger sur la corrélation qui peut exister entre une variable incertaine, risquée, et la croissance économique. Si cette corrélation existe, on parle alors de « risque systématique ». Ce risque est particulier au sens où il n'est pas diversifiable : on ne peut pas l'éliminer par mutualisation et il pèse dans le risque agrégé porté par la collectivité. Dans ce cas, comme nous le rappellerons plus loin, la collectivité doit introduire dans ces calculs une prime de risque traduisant l'aversion au risque des individus qui le portent.

Enfin, pour conclure sur ces précisions conceptuelles, il est important d'associer aux termes de risque et d'incertitude la notion d'aversion au risque et, dans les développements plus récents, d'aversion à l'ambiguïté qui renvoie aux comportements des individus face à des situations plus ou moins risquées, plus ou moins incertaines. L'aversion au risque est un concept bien défini lorsque le risque est connu, c'est-à-dire lorsqu'on sait le probabiliser correctement. Ce concept apparaît naturellement dans le cadre traditionnel de réflexion bâti par von Neumann et Morgenstern et enrichi par Savage¹, qui repose sur l'idée que les agents économiques cherchent à maximiser l'espérance de l'utilité retirée de leurs actions. Les récents développements théoriques cherchent à compléter

[1] Von Neumann J. et Morgenstern O. [1947], *op. cit.* ; Savage L.-J. [1954], *op. cit.*

ce modèle de base trop simple pour rendre compte de certains paradoxes, notamment celui d'Allais sur la prime à la certitude. Les développements sur l'aversion à l'ambiguïté (paradoxe d'Ellsberg) ouvrent de nouvelles perspectives sur le rôle de l'information et de la connaissance des risques.

RECOMMANDATION N° 1

Intégrer systématiquement dans l'évaluation économique des projets d'investissement la prise en compte des risques en cherchant à les identifier, à les qualifier puis à les quantifier.

2 ■ Choisir des outils adaptés à la nature des risques

La question du choix de l'outil technique pour la prise en compte des risques s'inscrit dans une démarche plus large qui requiert d'examiner la nature des risques relatifs au projet et d'en apprécier l'ampleur et les caractéristiques. Les développements techniques qui suivent ne doivent en aucun cas être séparés des recommandations déterminantes pour la qualité du calcul économique qui figurent tout au long du rapport.

2.1. La structure de base de la VAN espérée

Lorsque l'incertitude est relativement standard (tous les risques sont probabilisables, leur ampleur est marginale au regard de la croissance économique, les distributions de probabilité sont proches d'une distribution gaussienne, il n'y a pas de corrélation forte entre la croissance économique et les bénéfices attendus du projet, les risques envisagés sont bien diversifiés au niveau collectif), la réponse la plus simple apportée par la théorie consiste à généraliser l'analyse coûts-bénéfices traditionnelle en intégrant le caractère aléatoire des bénéfices et des coûts grâce au calcul des probabilités. Dès lors, on ne raisonne plus sur la valeur actuelle nette mais sur la valeur actuelle nette « espérée », comme le recommandaient Arrow et Fisher dans les années 1970. L'analyse du risque consiste à identifier pour chaque projet les risques, puis à associer à chacun d'entre eux sa loi de probabilité, à calculer l'espérance puis à procéder à une actualisation de l'ensemble avec un taux sans risque.

Évaluer un projet à partir de sa valeur actuelle nette « espérée » constitue un progrès par rapport au cadre d'évaluation traditionnel qui tend à se focaliser sur la valeur la plus probable et à mener les calculs comme si l'on était en univers certain. L'apport de la valeur actuelle nette « espérée » est la prise en

compte des probabilités d'occurrence de chaque cas. Cela conduit à éliminer le biais souvent présent entre valeur la plus probable et valeur espérée.

Il faut avoir à l'esprit que cette approche – valeur nette espérée actualisée avec un taux sans risque – suppose qu'on considère la collectivité comme non averse au risque. Ce seul calcul ne suffit donc pas, en général, à déterminer si le bien-être social procuré par l'investissement est supérieur au risque pris, autrement dit « si le risque pris collectivement en vaut la chandelle ». En présence d'aversion au risque, des approches plus raffinées sont nécessaires, par exemple en actualisant les bénéfices espérés avec un taux majoré pour tenir compte du risque, à l'instar des pratiques répandues dans le secteur privé.

RECOMMANDATION N° 2

Utiliser dans les calculs des démarches probabilistes et raisonner sur l'espérance des gains et des coûts engendrés par le projet.

2.2. Les conditions de l'introduction éventuelle d'une prime de risque

La prime de risque pour la collectivité

L'aversion au risque d'un individu peut être appréhendée par la prime de risque qui mesure l'impact d'un risque donné sur le bien-être de l'individu concerné. Dans le cadre du modèle standard, l'agent valorise la situation risquée comme équivalente à la certitude d'obtenir l'espérance mathématique des gains nets diminuée de la prime de risque. Cela revient à considérer simplement le montant qu'il serait prêt à payer pour supprimer ce risque. Plus un agent économique est averse au risque, plus la prime de risque qu'il demandera pour porter ce risque est importante. Dans le calcul économique public, le passage des primes de risque individuelles à une prime de risque collective ne va pas de soi et pose de nombreux problèmes théoriques. Dès lors que les risques individuels sont supposés efficacement mutualisés au sein de la collectivité, la prime de risque à considérer est celle de l'individu représentatif moyen.

De manière générale, et paradoxalement, si le risque d'un projet, supposé convenablement réparti sur l'ensemble des individus, est négligeable par rapport à la richesse de la nation et si ce risque fluctue indépendamment de cette richesse, il n'y a pas lieu, du point de vue théorique, d'intégrer une prime de risque dans les évaluations : la prime de risque est alors nulle (au premier ordre d'approximation près).

Lorsque ces conditions ne sont pas remplies, et c'est très souvent le cas, il faut au contraire considérer une prime de risque, qui conduit à remplacer les flux intervenant dans le calcul de la VAN par leurs équivalents-certains.

En cas de risques systématiques (risques non diversifiables dans l'économie) : l'existence d'une corrélation entre les bénéfices attendus d'un projet et le niveau de richesse de la collectivité justifie que l'espérance mathématique des bénéfices soit corrigée d'une prime de risque qui favorisera les projets à caractère assurantiel et pénalisera ceux présentant un risque systématique. Dans ce cas, on retranche au calcul classique de l'espérance des gains attendus du projet une expression qui intègre deux autres éléments : un coefficient γ qui traduit l'aversion relative de la collectivité pour le risque, et le rapport entre la variation de richesse apportée par le projet en fonction de la croissance économique et la richesse attendue pour la collectivité (exprimée par la consommation attendue). Il est recommandé de prendre pour le calibrage du coefficient γ la valeur de 2 retenue dans le rapport Lebègue et avec laquelle a été défini le taux d'actualisation public. Ce choix est cohérent avec les calibrations proposées pour le taux d'actualisation public par des travaux plus récents comme ceux de Weitzman (2009) et Dasgupta (2008).

En cas de non-marginalité du projet par rapport à la richesse collective : le caractère marginal ou non d'un projet s'apprécie par rapport à la consommation de l'agent qui supporte le risque. Un projet d'investissement public vérifie en général l'hypothèse de marginalité dès lors que les coûts sont répartis par la fiscalité sur l'ensemble des contribuables, de sorte qu'ils apparaissent négligeables à l'échelon individuel, et lorsque les retombées du projet bénéficient là aussi à un grand nombre d'individus. En fait, plus que la taille du projet, ce sont la taille et les caractéristiques des risques qui importent. Si le projet est générateur d'un risque extrême, même de faible probabilité, la formule proposée ici n'est plus valable. On a pu observer dans ce cas une tendance à sous-estimer les probabilités d'événements extrêmes et, par suite, à considérer comme marginaux des risques qui ne le sont pas. Dans les cas où un projet n'est pas marginal sur le PIB et/ou les risques sont exceptionnels par leur taille (par exemple, les mesures d'adaptation au changement climatique), il faut revenir à la formule classique d'évaluation en économie publique faisant explicitement la différence des fonctions d'utilité entre deux trajectoires de bien-être collectif.

En cas de non-diversification des risques entre les agents : jusqu'ici on supposait que l'attitude de la collectivité face au risque était équivalente à

celle d'un agent représentatif moyen, dont l'aversion au risque dépend de la distribution des aversions au risque dans l'économie et des inégalités de richesse qui traversent la société. Si certains risques ne sont pas correctement mutualisés au sein de la collectivité et laissent un poids significatif sur certains agents économiques (par exemple, des personnes ou des entreprises particulièrement exposées à un risque d'environnement), le caractère marginal à l'échelle de la collectivité n'est sans doute plus vérifié à l'échelle de ces agents. Le calcul socioéconomique doit en tenir compte en intégrant une prime de risque spécifique à ces agents « vulnérables ». Dans ce cas, il convient de prendre en compte dans le calcul de la VAN du projet la somme des primes de risque correspondant aux risques effectivement portés par certaines parties prenantes particulièrement affectées par les incertitudes du projet considéré. Ces risques, souvent non marginaux pour ceux qui les portent, conduisent à une prime de risque spécifique en fonction de leur propre variabilité. Ces primes peuvent être négatives si le projet apporte au contraire de l'assurance à ces agents vulnérables.

La méthode du bêta socioéconomique : son intérêt et ses limites de validité

Pour des raisons pratiques, il est parfois plus facile de prendre en compte les risques systématiques (non diversifiables) d'un projet au travers d'une modulation adéquate du taux d'actualisation. Toutefois, celle-ci ne peut être envisagée que dans un cadre très limité et après avoir étudié l'ensemble des paramètres du risque. Cette approche consiste à remplacer le calcul de la VAN d'un projet avec les équivalents-certains et le taux sans risque par un calcul en espérance seule (sans prime de risque au numérateur) mais avec un taux corrigé pour le risque. L'actualisation se fait donc avec un taux corrigé qui fait apparaître plusieurs termes :

$$\alpha + \beta \times \phi \text{ avec } \phi = \gamma \sigma^2$$

Le terme α désigne le taux sans risque. Le terme ϕ désigne la prime de risque macroéconomique, intégrant à la fois la volatilité globale de l'économie (σ^2) et l'aversion relative de la collectivité pour le risque (γ).

Le coefficient β , qu'on qualifiera ici de *bêta* socioéconomique pour le distinguer du cadre financier habituel dans lequel il est généralement utilisé, mesure la relation statistique de corrélation existant entre les risques du projet et le risque macroéconomique. Techniquement, le *bêta* d'un projet d'investissement mesure la sensibilité des bénéfices socioéconomiques espérés aux variations

du PIB/hbt. Sa valeur peut être déterminée directement par un calcul de covariance des bénéfices attendus du projet avec le PIB, en dehors de toute référence aux marchés financiers.

Le taux ainsi obtenu agrège l'espérance de croissance de la richesse et le risque du projet. Dans cette méthode, que l'on appellera méthode du *bêta* socioéconomique par analogie avec la pratique du secteur privé, la prime de risque systématique est le supplément (par rapport au taux sans risque) de rentabilité demandée par la collectivité pour accepter de supporter le risque non diversifiable dans l'économie, ce supplément pouvant être *in fine* un bonus si le projet concourt à la protection, à la résilience, de l'économie dans les scénarios les plus défavorables.

Bien que largement pratiquée par les analystes financiers dans le cadre du Modèle d'évaluation des actifs financiers (MEDAF), cette méthode repose sur des hypothèses théoriques très restrictives qui en limitent l'usage. Elle impose une étude fine des risques au préalable. Elle ne s'applique tout d'abord qu'aux projets marginaux et ne doit pas être utilisée lorsque les projets présentent des risques exceptionnels, surtout s'il n'existe pas de valorisation de ces risques extrêmes par le système des prix. Elle suppose ensuite une diversification parfaite des risques non systématiques. Cette méthode ignore *a priori* le risque catastrophique sur la croissance économique, dans la mesure où un effondrement du système n'est pas anticipé, puisqu'on suppose une distribution gaussienne du taux de croissance de l'économie et des flux du projet. Enfin, la méthode est sujette à caution dès lors que les projets présentent des risques environnementaux ou sanitaires importants car ceux-ci s'apparentent plus souvent à des incertitudes profondes qu'à des risques standard probabilisables avec une loi gaussienne. Il serait ainsi très audacieux de réduire la prise en compte des risques environnementaux ou sanitaires à une simple mesure de leur corrélation avec les fluctuations du PIB/hbt.

Si dans le MEDAF, le taux sans risque, la prime globale et le *bêta* sont tirés de l'observation des marchés financiers (censés se comporter à l'avenir comme par le passé), les éléments correspondants dans le calcul socioéconomique sont définis à partir des données macroéconomiques sur la richesse collective, intégrant toutes sortes d'externalités qui ne sont pas toujours prises en compte dans le calcul financier par les entreprises. L'articulation et la cohérence entre le taux sans risque et la prime de risque ne sont pas pour autant résolues du point de vue théorique. Certains travaux comme ceux menés par Barro (2006) permettent d'expliquer une prime de risque élevée conforme aux observations

mais, dans le même temps, ils indiquent que le taux sans risque devrait être faible, voire négatif dans certains cas. Ces travaux semblent montrer qu'il existe une relation inverse entre le taux d'actualisation sans risque et la prime de risque : plus celle-ci est élevée et plus le taux sans risque est faible.

RECOMMANDATION N° 3

Introduire une prime de risque dans les calculs lorsque les fondamentaux du projet sont fortement corrélés à l'activité économique.

Le calibrage de la prime de risque et la révision du taux d'actualisation

L'aversion collective au risque ne peut s'apprécier par la simple transposition de ce qui pourrait être observé dans les pratiques individuelles, notamment parce que la finalité de certaines politiques publiques est justement de promouvoir des services économiques qui n'existeraient pas s'ils étaient laissés à la seule initiative des agents économiques pris individuellement. Il n'en demeure pas moins que la prise en compte du risque systématique est incontournable.

Les travaux scientifiques autour de la prime de risque s'enrichissent progressivement au fil des controverses. Ils montrent, d'une part, la difficulté à articuler de manière convaincante les taux sans risque aux primes de risque observées sur les marchés financiers ; et, d'autre part, que les primes de risque retenues dans la pratique par les entreprises et les financiers sont très variables (les références évoquées dans la littérature et par les spécialistes se situent autour de 5 % ou 6 %).

Ces travaux apparaissent suffisamment robustes pour recommander déjà la démarche qui consiste à intégrer une prime non nulle lorsqu'il existe un risque systématique non diversifiable. La question du calibrage de cette prime apparaît en revanche plus complexe, notamment parce que ce calibrage ne peut pas être déterminé sans référence au taux d'actualisation sans risque.

Les premières simulations proposées dans le cadre de la commission sur la base d'un modèle intégrant le risque catastrophique et les points de vue des différents experts sollicités peuvent étayer le choix d'une prime de risque macroéconomique ϕ de l'ordre de 3 % (chiffre construit avec un coefficient d'aversion relative au risque $\gamma = 2$ identique à celui pris en compte dans le calcul du taux d'actualisation). Cet ordre de grandeur apparaît comme un bon compromis alors que les développements récents de la littérature et le comportement des agents justifieraient un taux beaucoup plus élevé. Se pose

néanmoins, comme indiqué ci-dessus, la question de la cohérence de cette valeur avec celle du taux d'actualisation sans risque : la prise en compte de la possibilité d'un risque macroéconomique catastrophique devrait en effet conduire logiquement à réviser à la baisse le taux sans risque de 4 %.

La commission propose, en attendant le calibrage conjoint de la prime de risque et du taux d'actualisation public, de réaliser, à titre conservatoire, les évaluations des projets en intégrant une prime de risque et en effectuant un test de sensibilité sur une plage de valeurs comprises entre 1 % et 3 %, le taux sans risque de 4 % étant amené à être réduit sans être nul pour des valeurs élevées de celle-ci. Le calcul de ces différentes options évite de revenir à la pratique antérieure qui consistait à ne pas intégrer de prime de risque, c'est-à-dire à prendre une prime de risque égale à zéro. Ces différents calculs mettront en évidence l'impact de la prise en compte de la prime de risque systématique et alimenteront ainsi le débat sur l'impact effectif de la prime de risque, ce qui constitue une première étape souhaitable dans l'amélioration des évaluations.

Cette méthode n'est bien sûr pas exclusive d'autres approches qui peuvent être menées en parallèle. La confrontation d'éventuelles contradictions dans les résultats ne peut qu'enrichir le débat, ce qui, sur les questions relatives au risque macroéconomique, constitue non pas un désavantage mais au contraire une excellente approche du problème.

La commission souhaite que le calibrage de cette prime de risque soit réalisé conjointement avec la révision du taux d'actualisation sans risque dans les plus brefs délais et appelle donc de ses vœux une révision du taux sans risque en cohérence avec cette prime de risque. Ce calibrage conjoint du taux sans risque et de la prime de risque devra être fondé sur un exercice prospectif d'estimation de la croissance potentielle de la France à long terme intégrant notamment le risque d'une chute brutale du PIB, et sur une veille internationale des pratiques concernant l'utilisation des primes de risque. Il devra également approfondir les différences qui peuvent exister entre les attitudes privées et collectives face au risque, notamment dans une logique de développement durable.

Rappelons pour terminer que l'estimation de la corrélation entre les avantages socioéconomiques du projet et la croissance économique (coefficient *bêta* socioéconomique) qui pondère la prime de risque est, dans cette méthode, au cœur de l'évaluation du risque puisque c'est ce paramètre qui reflète, sous une forme excessivement agrégée, les risques du projet. La prise en compte

du risque dans les évaluations ne se résume pas au calcul de ce coefficient qui deviendrait un critère automatique. Cette réflexion s'inscrit bien dans une analyse fine des risques associés à chaque projet. C'est pourquoi il apparaît incontournable que la détermination de ces coefficients de corrélation s'inscrive dans des réflexions sectorielles plus générales.

À défaut d'un calcul direct des primes de risque à prendre en compte dans la VAN, la méthode des équivalents-certains appuyée sur des simulations de Monte-Carlo offre une alternative efficace pour apprécier les incertitudes pesant *in fine* sur la rentabilité des projets évalués. Elle permettrait notamment de tester la variabilité de certains paramètres importants du calcul comme la consommation par habitant.

RECOMMANDATION N° 4

Lancer une révision du taux d'actualisation sans risque destinée à le rendre compatible avec la valeur de la prime de risque utilisée dans le calcul.

2.3. Enrichir l'analyse du risque

Valoriser la flexibilité et tenir compte de l'information dans les stratégies en situation d'incertitude

Ouvrir ou préserver des options permettant de s'adapter aux évolutions du monde représente une valeur qu'il faut prendre en compte dans les évaluations des projets. La flexibilité est une forme d'assurance pour se prémunir de conséquences non souhaitées dans un scénario défavorable.

La théorie des options réelles fournit un cadre d'analyse pertinent pour calculer la « (quasi-)valeur d'option » associée au caractère plus ou moins flexible de la décision. Elle place résolument les outils du calcul économique dans une approche dynamique de la gestion des risques. Même si l'approche reste assez théorique (voire embryonnaire) dans l'analyse des projets publics, les rares cas concrets qui ont pu être traités indiquent que ces valeurs peuvent être importantes et modifier considérablement la donne de l'arbitrage économique.

Les applications concrètes de ces méthodes peuvent être nombreuses (transport, énergie, environnement, urbanisme, développement des réseaux, etc.) sous réserve (i) de bien être face à des incertitudes positives ou négatives sur les conséquences d'une décision, (ii) qu'une information puisse être

mobilisée dans un avenir proche pour réduire cette incertitude et (iii) qu'il existe des coûts non récupérables en cas de changement de stratégie.

Le calcul pratique des valeurs d'option fait appel, lorsque l'incertitude inhérente au projet embrasse un intervalle continu de valeurs possibles, aux techniques du calcul stochastique et nécessite généralement de recourir à l'outil informatique.

Lorsque l'incertitude peut être caractérisée par un petit nombre de scénarios alternatifs, une approche efficace et pragmatique est de calculer la valeur d'option envisagée en s'appuyant sur un arbre décisionnel dont chaque nœud correspond à une décision et dont le parcours des branches est soumis à la révélation progressive d'information sur l'état du monde.

Toutefois, le calcul pratique des valeurs d'option peut présenter de nombreuses difficultés dès que l'on sort des cas simples. À l'instar des autres outils d'analyse des risques présentés dans ce rapport, les valeurs d'option n'échappent pas à deux difficultés récurrentes : la question des interactions entre plusieurs variables aléatoires, qui impose de savoir modéliser les corrélations entre variables, et la question de l'appréciation des très faibles probabilités des événements extrêmes, qui demeure non résolue tant que l'on s'appuie sur des distributions historiques de probabilité sans représentation statistique adéquate des risques exceptionnels.

Malgré tout, cette méthode offre des perspectives très utiles dans le débat public dans la mesure où elle permet d'appréhender le caractère dynamique des risques envisagés. Utilisée en complément, voire intégrée à l'analyse coûts-avantages, cette notion peut renforcer la place de l'évaluation quantitative dans les processus de décision. Elle est utilisée de plus en plus fréquemment avec un double avantage, à la fois comme outil stratégique, pour analyser la valeur de décisions amenant à disposer de choix dans l'avenir et comme outil numérique, pour valoriser ces choix, et évaluer les investissements en tenant compte de la flexibilité qu'ils apportent.

RECOMMANDATION N° 5

Systématiser les analyses des options ouvertes par les projets pour valoriser la flexibilité dans les situations d'incertitude.

Minimiser le risque de biais dans les évaluations

Les bilans *a posteriori* qui ont pu être analysés montrent que, dans certains secteurs, les évaluations socioéconomiques *ex-ante* pèchent plus souvent par leur excès d'optimisme que de pessimisme : les prévisions initiales apparaissent entachées d'un biais, les coûts étant généralement sous-estimés et les bénéfices parfois surestimés.

En surestimant la rentabilité des projets, l'excès d'optimisme biaise les choix politiques et l'allocation efficace des ressources financières, et favorise des projets qui peuvent sembler intéressants alors que l'espérance mathématique non biaisée de leur bilan se révèle au contraire moins favorable, voire négative pour la collectivité.

Les causes en sont multiples et la résolution de ce problème ne peut s'accommoder d'un traitement forfaitaire global et systématique. La pratique qui consiste en l'application de coefficients forfaitaires minorant les rendements attendus risquerait de donner l'illusion de maîtriser ces effets. Par ailleurs, les référentiels qui seraient produits pour corriger de manière forfaitaire ces dérives seraient très vite intégrés par les acteurs concernés par le projet ; le biais optimiste endigué pourrait s'en trouver renforcé dans une fuite en avant. De plus, la stratégie du coefficient correcteur systématique pénalise les institutions vertueuses qui tentent de mettre en place des méthodes d'évaluation efficaces, ou celles qui ont des projets très transparents, peu propices aux dépassements imprévus de coût.

Cela étant, l'étude de ces biais constitue un élément d'information important pour la puissance publique. La mise en évidence précise des biais les plus sensibles, en utilisant notamment les données historiques de projets comparables, permet d'alimenter le débat et les discussions sur la base d'éléments objectifs. Une des méthodes pour traiter ce problème est, après avoir identifié les éléments qui expliquent ce biais, de demander que l'évaluation documente systématiquement, au moins qualitativement, chacun de ces points. L'explicitation dans l'étude et le débat des éléments de motivation sur les principaux risques de dérive est un exercice intrinsèquement vertueux auquel doivent se soumettre les porteurs de projet.

2.4. Les principes fondamentaux de la maîtrise du risque dans les évaluations

La qualité de l'information et de l'analyse des risques est le facteur déterminant de la qualité des résultats de l'évaluation. Une analyse incomplète ou mal réalisée peut en effet générer des biais fondamentaux dans la prise en compte du risque, non seulement au titre du calcul socioéconomique mais aussi plus largement pour les autres éléments d'évaluation mis à disposition des décideurs et du public. La nature des risques en cause pour le projet, par exemple pour certains risques environnementaux, peut ne pas correspondre à des estimations d'impacts monétarisables, eu égard notamment aux limites des connaissances au moment de l'évaluation. Ces risques ne doivent pas pour autant être ignorés au motif que le calcul socioéconomique ne peut en rendre compte. Le bon usage des outils proposés dans ce rapport doit donc reposer sur la maîtrise de plusieurs aspects fondamentaux et structurants de l'évaluation.

Le travail préalable et indispensable d'identification des risques

L'ensemble des méthodes précédentes doit s'appuyer sur un travail constant d'identification, de qualification, de quantification puis de valorisation des risques. Le calcul, quel qu'il soit, ne peut venir que dans un second temps. Ce dernier sera d'autant plus efficace dans l'évaluation et le processus de décision qu'il pourra s'appuyer sur un diagnostic clair et partagé.

L'évaluation des risques identifiables et quantifiables doit permettre de définir précisément la nature des risques, ceux qui les portent, leur ampleur et éventuellement, lorsque cela est possible, les probabilités qui les caractérisent.

L'évaluation doit aller ensuite jusqu'à valoriser le risque, c'est-à-dire déterminer le « prix » que l'on attache à chaque risque en fonction de son impact potentiel. Cela peut se matérialiser, par exemple, par le prix que le décideur serait prêt à payer ou le coût des mesures que la collectivité est disposée à mettre en œuvre pour éviter tel ou tel risque. Dans certains secteurs, cela impose de s'appuyer sur des normes quantitatives, éventuellement à construire, représentant l'acceptabilité sociale de certains risques : valeurs de la vie humaine, de la pollution, du détriment radiologique, etc.

L'évaluation doit ensuite cerner de manière qualitative les risques identifiables mais non quantifiables (incertitudes) et exposer au décideur les moyens envisageables pour se prémunir contre ces risques.

L'évaluation doit également envisager ce qui n'est pas facilement identifiable, voire impensable. On pense ici notamment à l'analyse des incertitudes radicales.

Une évaluation des risques d'un projet doit être minutieuse, transparente, sincère, contradictoire et proportionnée. Minutieuse, car tous les risques doivent être évalués avec méthode et attention. Transparente, car l'évaluation doit mettre à disposition toutes les informations utilisées afin d'éviter les problèmes d'asymétrie d'information qui pourraient biaiser le point de vue, voire le comportement des différents acteurs envers le projet. Sincère, car l'évaluation doit permettre d'objectiver et mettre en pleine lumière les mérites, mais aussi les coûts et les risques des projets. Contradictoire, car elle doit permettre de faire valoir des points de vue suffisamment divergents quant à l'appréciation réelle des risques et de l'aversion aux risques. Enfin proportionnée, car l'évaluation doit se concentrer sur les facteurs influençant significativement l'atteinte des critères et effets qui caractérisent le projet (qualité, coûts, délais...).

Ce travail qu'il faut engager pour chaque projet peut être encadré et facilité par des exercices de prospective menés en amont des projets eux-mêmes, qui offriraient un cadre global cohérent d'analyse entre les différentes études, et sur lesquels pourraient s'appuyer systématiquement les évaluateurs.

L'information devient, à double titre, un élément central de la prise en compte du risque dans les évaluations : en tant que moyen de connaissance et de compréhension des risques en amont de l'évaluation, mais aussi en tant que message adressé par l'évaluation à la société civile.

La démarche de quantification des risques et leur modélisation

La quantification des risques doit procéder à partir de toutes les informations disponibles, voire donner lieu à des recueils de données spécifiques, en veillant à questionner systématiquement la pertinence des données utilisées (doute scientifique). Diverses approches peuvent guider l'évaluateur selon la typologie des risques rencontrés.

Pour les risques standard bien documentés par des observations historiques, les techniques statistiques et économétriques fournissent en général une description convenable du risque (ensemble des aléas possibles et loi de probabilité) et permettent d'en déterminer les facteurs explicatifs ainsi que

les corrélations éventuelles avec d'autres facteurs. L'extrapolation de ces observations au contexte futur doit toutefois rester prudente.

Certains risques de faible probabilité, donc insuffisamment documentés par les observations historiques, mais d'aléa fort, donc présentant un réel enjeu pour la collectivité (événement climatique exceptionnel, par exemple), peuvent être modélisés à l'aide de la théorie des valeurs extrêmes qui donne une base plus rigoureuse pour extrapoler les séries statistiques vers les queues de distribution.

En l'absence de lois de probabilité « objectives » issues de l'exploitation statistique de séries de données suffisamment longues et stables, on peut quantifier les risques probabilisables par des lois de probabilité issues de l'expertise ou de simulations numériques *ad hoc* (lois de probabilité « subjectives »). Ces distributions, qui devraient privilégier la simplicité, peuvent être obtenues sur dire d'experts et synthétisées sur la base d'un débat contradictoire.

Enfin, s'agissant des incertitudes exceptionnelles (ou radicales), leur prise en compte quantitative, en l'absence de base de données exploitable, peut passer par des dires d'experts et/ou des méta-analyses de la littérature scientifique. Faute de pouvoir apprécier les probabilités, on demandera à l'étude d'apprécier le couple croyances-plausibilité pour un petit nombre de valeurs possibles des variables pertinentes (valeur moyenne, haute, basse, catastrophique). C'est avec ces combinaisons de valeurs que des VAN pourront être calculées.

Ces approches peuvent être complétées par une démarche prospective d'évaluation de scénarios, destinée à quantifier l'épaisseur des queues de distribution de probabilité. Dans tous les cas, l'attention de l'évaluateur doit porter sur le niveau de preuve des études et des arguments scientifiques utilisés. Au besoin, ce niveau de preuve doit être discuté et clairement exposé au décideur (par exemple par des tests de sensibilité).

Si les éléments tirés des *expériences historiques* limitent la part subjective de l'évaluation, il n'en demeure pas moins que l'établissement de distributions historiques de probabilité pour chaque projet peut être coûteux, mais surtout peut être susceptible de manipulations par des acteurs de l'évaluation peu scrupuleux. Un cadrage national permettrait d'éviter ces artefacts quand c'est possible, c'est-à-dire pour les variables communes aux projets. Il pourrait être réalisé, secteur par secteur, par les services centraux (administrations, régulateurs) travaillant dans un cadre homogène et harmonisé, et donner lieu

à des mises à jour régulières en fonction des facteurs récurrents observés sur les projets passés.

Sans aller jusqu'à la transposition mécanique de certains coefficients qui pourraient nuire à la qualité de l'analyse du risque, qui doit être effectuée projet par projet, on comprend qu'un travail sur un type de risques caractéristique d'un secteur peut ne pas être recommencé à chaque analyse et que certaines typologies, certaines distributions peuvent être normalisées et proposées comme références dans le cas de projets ou de problèmes de taille modeste pour lesquels les montants des études à engager ne justifient pas de lourdes investigations. Il est en effet tout aussi important pour la puissance publique de traiter de nombreux projets d'envergure moyenne que de se focaliser sur un seul gros projet. En volume, les risques pris sur de très nombreux projets ne sont pas négligeables, *a fortiori* s'ils présentent de fortes corrélations.

Enfin, la construction des lois de probabilité peut nécessiter l'emploi de modèles sectoriels ou globaux, articulant l'analyse des phénomènes sur lesquels portent des risques et les principales variables économiques. Il faut avoir à l'esprit que ces modèles supposent des investissements importants, dont certains se comptent en dizaines d'années, et que, pour garantir l'objectivité des analyses, il est souhaitable de disposer de modèles concurrents. L'existence de plusieurs modèles aux spécificités différentes permet en effet de mettre en balance différentes approches et de progresser significativement dans la manière d'appréhender la sensibilité de certaines variables. Les discussions contradictoires rendues possibles par la confrontation des résultats sont alors un mode opératoire extrêmement utile dans la mise à plat d'une analyse de risques.

L'analyse particulière des corrélations

Toutes les analyses de risques supposent une attention particulière à la corrélation entre les différents risques, entre les différents paramètres qui sont utilisés dans les évaluations. C'est une difficulté souvent évoquée par les évaluateurs eux-mêmes alors que, bien souvent, pour simplifier les calculs, c'est au contraire l'hypothèse d'une relative indépendance entre les différentes variables qui est retenue. Ce point délicat peut aisément conduire à des résultats totalement erronés et doit inciter les évaluateurs à bien comprendre les interactions existant entre les risques qu'ils envisagent.

Compte tenu de la complexité de cette question, il est là aussi recommandé d'engager, en amont des études des projets, des travaux plus généraux de

référence se concentrant sur les variables les plus décisives des projets. En particulier, la corrélation des principales variables d'un projet avec la croissance économique constitue une partie stratégique et décisive de l'analyse, non seulement parce qu'il s'agit du premier facteur des primes de risque mais aussi parce que cela conditionne le choix des outils présentés plus haut. Le recours à des simulations numériques de type Monte-Carlo peut être un moyen d'estimer ces corrélations à partir de modèles économiques sectoriels.

La désagrégation de l'évaluation du risque acteur par acteur et la mise en évidence des risques spécifiques

L'objet de certaines politiques publiques porte sur la correction de la répartition des risques qui résulterait naturellement des pratiques de marché, afin de protéger les catégories vulnérables ou de promouvoir des services économiques qui n'existeraient pas en présence de risques importants. On comprend dès lors tout l'intérêt qu'il y a à identifier ces défaillances de marchés et à en mesurer le coût puisqu'elles peuvent légitimer l'intervention publique pour y remédier. Cette intervention a une valeur sociale qui doit être prise en compte. Par ailleurs, une mauvaise appréhension du comportement des acteurs face au risque peut fausser sensiblement l'évaluation et conduire à des distorsions dans l'allocation des risques.

L'identification de ces éléments participe d'une part à la transparence sur des éléments qui sont souvent très sensibles et bloquants dans le débat public – ce faisant, on ouvre un espace de discussion, voire de négociation, sur des bases objectivées. D'autre part, elle permet de tester et donc de prendre en compte l'impact sur la valeur globale du projet de solutions de minimisation des risques obtenues par des stratégies alternatives, et enfin de donner les éléments qui permettent d'alimenter l'élaboration de différents scénarios (par exemple, l'existence ou non d'un cadre réglementaire, la mise en place d'une tarification particulière, etc.).

L'analyse socioéconomique de projets d'investissement dans des biens et des services doit donc impérativement prendre en compte non seulement le risque mais la manière dont celui-ci est réparti entre les différents acteurs. Cela conduit à recommander une analyse désagrégée du partage du risque entre les différents acteurs et entre les différentes composantes du projet. Les propriétés d'additivité de la VAN permettent aux évaluateurs d'estimer l'impact de chaque risque sur le bien-être de chaque classe d'acteurs, et d'agréger ensuite les primes de risque correspondantes afin de dégager le bilan collectif.

Les multiples usages des outils de simulation : la méthode de Monte-Carlo

Les méthodes de simulation de Monte-Carlo, qui consistent à simuler numériquement un grand nombre de fois un événement *aléatoire*, puis à exploiter les résultats des expériences de manière *statistique* (espérance, écart-type, distribution, distribution cumulée, etc.), représentent une approche opérationnelle susceptible d'améliorer considérablement les études traditionnelles qui sont menées aujourd'hui. Elles combinent en quelque sorte une approche par les scénarios et une approche par les tests de sensibilité en affectant à chaque résultat des probabilités d'occurrence.

Cette approche permet de donner une évaluation quantitative et désagrégée, paramètre par paramètre, et fournit des évaluations beaucoup plus riches en informations que ne le fait la méthode traditionnelle fondée sur un scénario central encadré par une fourchette aux probabilités peu ou non spécifiées. Elle offre la possibilité de décrire en termes aisément accessibles les risques encourus, et permet de repérer les paramètres clés du modèle.

Cette approche sera d'autant plus mobilisée qu'elle pourra s'appuyer en amont sur une capitalisation des connaissances en expertise des risques. La puissance calculatoire des ordinateurs permet d'envisager aisément les simulations de Monte-Carlo mais la technicité des outils de calcul ne doit pas prendre le pas sur la qualité de l'analyse. Le résultat d'une simulation numérique n'est que le fruit des hypothèses introduites dans le modèle, si bien que le calibrage (le choix des variables qui ne peuvent être qu'en nombre limité, les distributions de probabilité souvent difficiles à établir) reste la phase cruciale de l'évaluation et conditionne la validité des résultats futurs.

Les approches de type Monte-Carlo ne se limitent pas à produire un calcul de VAN, elles permettent également d'alimenter le débat public contradictoire par l'exploitation de nombreuses simulations dans des scénarios contrastés, à condition d'offrir une réelle transparence sur les choix et les paramétrages du calibrage. Au-delà du calcul lui-même, les éléments informatifs apportés par cette approche, notamment parce qu'elle oblige à une identification explicite des risques, justifient largement le surcoût engagé dans les études. Ces méthodes permettent par exemple de hiérarchiser les alternatives, de tester la robustesse de certains scénarios, de révéler les seuils de risque acceptables en cherchant les valeurs des paramètres qui font basculer le niveau de rentabilité du projet, etc.

3 ■ Intégrer le calcul du risque dans le cadre d'une posture générale de maîtrise des risques

Les outils théoriques présentés dans le deuxième chapitre doivent trouver leur place dans une démarche globale de prise en compte du risque qui implique de traiter plusieurs dimensions, dont certaines relèvent d'une analyse institutionnelle qu'on regroupe ici sous le terme de gouvernance du risque.

L'efficacité des études, c'est-à-dire l'aide qu'elles peuvent effectivement apporter pour éclairer le débat et finalement la décision, suppose d'une part, qu'on y trouve un certain nombre d'éléments indispensables, et d'autre part, qu'elles soient effectivement appropriables par les différentes parties au débat.

3.1. Un cadre de cohérence global

Le meilleur moyen d'assurer la cohérence des évaluations du risque est sans doute de fixer un cadre d'analyse commun à l'ensemble des projets. Ce rapport en constitue l'amorce, en clarifiant les concepts, en exposant les principaux enjeux des outils disponibles et en donnant quelques principes de référence. On trouvera par exemple des grilles qui précisent les étapes de la démarche d'analyse et fixent des repères utiles dans la production des études. Ce travail reste à décliner plus précisément en fonction des spécificités des différents secteurs.

Le souci de cohérence doit s'appliquer à tous les niveaux du processus d'évaluation.

Tout d'abord, l'évaluation d'un projet donné doit intégrer le risque de manière cohérente avec les autres choix de calcul. La mise en pratique d'un calcul d'actualisation dépend étroitement du cadre d'hypothèses sous-jacent : monnaie constante ou courante, flux bruts ou nets d'impôts, espérance des flux ou équivalent-certain, etc. Le calcul des primes de risque, quelle qu'en soit la méthode, doit être cohérent avec les hypothèses retenues sur le taux d'actualisation public. De même, ce souci de cohérence conduira notamment les responsables de l'évaluation à s'interroger sur la compatibilité entre l'approche retenue pour intégrer le risque et les différentes valeurs tutélaires utilisées dans le calcul (par exemple, la valeur tutélaire fixée pour le prix du CO₂ intègre déjà l'incertitude sur le changement climatique).

Dans l'administration comme dans les grandes entreprises, l'évaluation de nombreux projets, en particulier des plus modestes, est souvent décentralisée

dans les unités locales. Afin de préserver cette efficacité organisationnelle, il convient de standardiser autant que possible les méthodes de prise en compte des risques. La définition par l'échelon central de quelques paramètres clés, telle une liste de valeurs de coefficients de corrélation, de variances, de *gamma* et de *bêta* pour différents types de projets standard (ou différents segments d'activité) ou une caractérisation de scénarios-types probabilisés à évaluer systématiquement, serait de nature à assurer un premier degré de cohérence des évaluations réalisées au sein des différentes unités.

Par ailleurs, la puissance publique a un rôle à jouer dans la prise en charge des risques de long terme, en donnant des lignes directrices de son intervention dans la durée. En particulier, deux types d'actions *a priori* peu onéreuses permettraient de réduire les incertitudes auxquelles font face les investisseurs : d'une part, la construction de réflexions prospectives et partagées sur les grands enjeux des prochaines décennies, notamment le recours aux énergies fossiles et l'adaptation au changement climatique, et d'autre part, un effort de visibilité sur les politiques de l'État à long terme, qui permettrait notamment de réduire l'insécurité juridique et fiscale pour les entreprises.

De manière plus précise, il est du rôle de l'État de donner des repères généraux sur des référentiels qui devraient s'imposer à tous les secteurs : éléments relatifs à des variables clés comme une prospective de la croissance, l'évolution du prix de l'énergie, la trajectoire de la valeur de la tonne de carbone, de se prononcer sur des coefficients fondamentaux comme celui de l'aversion au risque de la collectivité, de définir conjointement certaines références, notamment le taux d'actualisation et la prime de risque que la commission souhaite voir réviser régulièrement (période de cinq ans).

3.2. Un cadre d'analyse décliné au niveau sectoriel

Le présent rapport établit des recommandations générales concernant la prise en compte du risque dans le calcul économique mais il ne saurait remplacer des guides pratiques adaptés aux spécificités de chaque secteur. Il revient à chaque ministère d'étoffer les guides d'évaluation existants en y intégrant convenablement le traitement des risques afin de rendre totalement opérationnelles les recommandations formulées ici.

De tels guides pratiques contribueront à améliorer la prise en compte efficace, transparente et adaptée des risques dans l'évaluation économique et renforceront du même coup la crédibilité des choix publics. Il va de soi que ces guides doivent s'inscrire dans une démarche d'amélioration continue et qu'ils

seront à mettre à jour régulièrement en fonction de l'évolution du contexte et des enjeux de politique publique.

Ces documents sectoriels devront préciser les principales variables à prendre en compte, donner des repères notamment sur les distributions de probabilité (sur les coûts, l'élasticité de la demande, etc.), sur les corrélations entre certaines variables sensibles, sur d'éventuels coefficients *bêta* socioéconomiques, sur les risques associés aux principaux effets externes.

La commission appelle l'attention, en particulier celle des ministères qui auront à décliner de manière opérationnelle les recommandations du rapport, sur l'intérêt de produire des calculs systématiques sur la corrélation fondamentale qui existe entre les bénéfices attendus du projet et la croissance économique. Ces résultats, produits pour toute une typologie de projets et d'hypothèses sur le PIB, permettraient d'encadrer le calcul des primes de risque qui sera effectué par les évaluateurs et auraient une vertu pédagogique certaine.

De manière générale, ce travail devrait s'inscrire dans des démarches prospectives régulières. Le rôle de la puissance publique est essentiel dans leur animation pour leur donner une certaine envergure et une certaine autorité.

3.3. Un cadre de gouvernance renouvelé et le rôle stratégique de la production de l'information

Il ne suffit pas de disposer d'une boîte à outils permettant d'identifier et de mesurer les risques associés à un projet pour que la prise en compte du risque soit effective. Ces outils doivent s'inscrire dans un cadre institutionnel facilitant la démarche d'évaluation et le dialogue contradictoire.

Sans entrer dans le détail des mécanismes institutionnels de production des évaluations, la commission rappelle malgré tout l'importance des fonctions qui doivent être assurées, d'une manière ou d'une autre, pour que les travaux puissent effectivement peser dans le processus de décision. Il est clair que l'organisation de ces fonctions peut être assez différente selon les secteurs considérés (santé, agriculture, énergie, transport, etc.) et qu'il n'y a pas de règles générales et de système aisément transposable d'un secteur à l'autre.

Les discussions de la commission font ressortir plusieurs dimensions importantes :

- définir, dans les différents domaines de la société, les objectifs que l'on entend poursuivre et les valoriser à l'aide d'une fonction d'utilité quantitative.

Dans le domaine des transports, on cherche généralement à valoriser le temps gagné, que l'on comparera aux dépenses d'investissement et aux externalités des transports (accidents, émissions de gaz à effet de serre, pollution, etc.). Dans le domaine de la santé, on pourrait comparer les bénéfices en années et en qualité de vie gagnées par rapport aux dépenses réalisées et aux conséquences secondaires. Dans le domaine de l'énergie, les objectifs à considérer seraient d'abord la satisfaction des besoins de la collectivité (sécurité d'alimentation) et, ensuite, la lutte contre le changement climatique (réduction des émissions de CO₂);

- définir la méthodologie de calcul des coûts et des avantages enregistrés au compte d'un projet et promouvoir des méthodes quantitatives cohérentes avec les attentes sociales. Au-delà de ce travail de conception, il convient de veiller à la bonne application de ces méthodes (appui technique et audit de vérification), et d'assurer leur mise à jour et leur amélioration régulières ;
- comparer, dans la mesure du possible, les différents projets entre eux afin, *ex-ante*, de sélectionner les plus performants dans un souci d'une allocation efficiente de ressources publiques limitées et, *ex-post*, d'utiliser l'enseignement des projets passés pour améliorer l'évaluation et le choix des projets futurs ;
- garantir la contre-expertise des évaluations socioéconomiques réalisées par le maître d'ouvrage et le débat tout au long du processus de maturation du projet d'infrastructure, et assurer la diffusion des résultats de l'évaluation et des avis d'experts rendus sur le projet.

Les retours d'expérience sont une source cruciale de données pour mieux identifier et quantifier les risques dans le calcul économique. L'amélioration des méthodes passe donc inévitablement par une amélioration indispensable de l'appareil statistique orientée vers la connaissance des coûts et des bénéfices des politiques publiques. La commission recommande ainsi la construction, la collecte et la mise à jour régulière de bases de données historiques sur les risques des projets passés, notamment en assurant l'analyse systématique des bilans *a posteriori*.

Parce que l'amélioration des pratiques passe également par une amélioration de l'appareil décisionnaire, la commission recommande par ailleurs un effort de formation des agents de la fonction publique, placés en position d'évaluation et/ou de décision, aux techniques d'analyse et d'évaluation du risque. Cet effort de formation passe autant par l'appropriation des principes que par le partage des connaissances et des expériences acquises en matière d'appréciation et

de gestion des risques, au contact des acteurs du monde académique et de celui des entreprises.

Enfin, l'animation de la recherche théorique et empirique sur les questions relatives aux risques individuels et collectifs, et le soutien des équipes sectorielles susceptibles de mettre en œuvre des modèles de simulation adaptés aux différents enjeux sectoriels (santé, transport, agriculture, énergie, etc.) restent des instruments à développer par la puissance publique soucieuse d'une meilleure compréhension des incertitudes et de leur impact sur la collectivité. Les recommandations émises sur l'analyse de la corrélation des risques avec la croissance économique, par exemple, supposent de pouvoir disposer d'outils performants, dont l'élaboration et la maintenance dépendent d'une forte coordination entre les modélisateurs et les principaux acteurs des secteurs considérés.

4 ■ Mettre le principe de précaution au cœur de l'analyse du risque

Le principe de précaution est devenu depuis les années 1990 une référence pour l'action publique dans le domaine de la protection de l'environnement, de la sécurité alimentaire et de la santé publique. Les textes d'application de ce principe véhiculent la même idée centrale : le principe de précaution est justifié par un contexte d'incertitude, le dommage potentiel doit être grave et/ou irréversible, la réponse doit être proportionnée à l'effet néfaste potentiel. Les interprétations de ce principe sont multiples, allant de l'application de mesures proportionnées aux risques encourus jusqu'à l'interdiction pure et simple de toute décision présentant un risque non nul.

La théorie économique de la décision en situation d'incertitude reste encore mal armée pour traduire le principe de précaution dans les évaluations quantitatives. La recherche des probabilités d'occurrence de l'incertitude est en effet pure spéculation intellectuelle, les dommages potentiels restant insuffisamment connus et l'information sur ces dommages et leur occurrence étant elle-même controversée. Les développements théoriques récents ne fournissent pas encore de cadre robuste intégrant le principe de précaution dans des outils opérationnels, mais ils proposent différents modèles décisionnels dont l'intuition est intéressante.

La plupart de ces modèles décisionnels prennent acte de la multiplicité des probabilités plausibles pour un même risque, et ils tentent de refléter

la manière dont les individus appréhendent cette plausibilité selon l'état du monde. Cela conduit à différentes attitudes telles que le « catastrophisme éclairé » (le décideur cherche à maximiser l'espérance d'utilité avec la pire des lois de probabilité), le pessimisme (pondération entre le pire des scénarios et le meilleur) ou l'aversion au regret (minimisation du regret constaté *a posteriori*). Ces outils allient malheureusement à la richesse d'analyse une complexité croissante, engendrée par l'incertitude sur l'information même servant à la décision.

Il faut retenir de ces développements que le principe de précaution articule fondamentalement le risque et la connaissance du risque, et met donc en jeu la question de l'information, les procédures d'acquisition de l'information et plus encore l'incertitude scientifique elle-même sur l'évaluation des risques. Le principe de précaution met justement en jeu l'altération de la perception des probabilités, et place au centre des débats la recherche de l'information et son rôle dans la gestion de l'incertitude. Le principe de précaution engage ainsi de manière concrète le concept théorique d'aversion à l'ambiguïté, développé par les économistes. Il replace également la décision publique dans le cadre d'un processus dynamique et interactif incluant une acquisition progressive d'informations pertinentes.

Le calcul économique traditionnel incorporant le risque peut apporter des éléments de réponse pour une mise en œuvre raisonnée de ce principe adaptée aux attentes de la société :

- en confrontant de manière équilibrée la position qui consiste à rechercher l'illusoire risque zéro et celle qui laisse s'engager des initiatives qui font prendre à la collectivité des risques inconsidérés ; en éclairant la question du calendrier optimal : prendre des mesures trop tard (catastrophe irréversible) ou prendre des mesures trop tôt (inhibition du progrès) ;
- en garantissant un principe de proportionnalité et de cohérence (équivalence des mesures dans leur portée et leur nature avec les dispositions déjà prises) ; en contribuant à l'évaluation des coûts et des avantages au fur et à mesure de l'évolution des connaissances ;
- en montrant la valeur de l'information qui permet de réviser les probabilités d'occurrence des phénomènes et qui conduit à choisir les décisions les plus flexibles, car les décisions irréversibles contraignent le futur ; en montrant combien il est rationnel de préserver la possibilité de réviser les jugements en cas de nouvelles connaissances ;

- en séparant les situations où la prévention peut être mise en place, chaque fois que la distribution de probabilité est connue, de celles où la précaution s'impose comme une attitude de prudence qui consiste à se donner les moyens de produire l'information utile et manquante ;
- en éclairant le débat contradictoire favorisant l'analyse des risques et l'acceptation sociale ; en proposant une représentation la plus fidèle possible des préférences collectives tout en facilitant l'appropriation de la décision par tous les membres du corps social.

En traitant la prise en compte du risque dans les évaluations, ce rapport met finalement en exergue le rôle essentiel de l'information et du processus de production de cette information. Cela est loin d'être anodin. La production de l'information – qu'on peut considérer comme un bien public – est appelée à devenir un des éléments majeurs des politiques publiques.



Annexes

Annexe 1

Lettre de saisine



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Le ministre d'État

Paris, le 11 MAI 2009

Référence : D09007606

Madame la Ministre,

L'évaluation socioéconomique et environnementale constitue pour les pouvoirs publics un instrument traditionnel d'aide à la décision en particulier pour les grands projets d'infrastructure et de service dans le secteur des transports. Les travaux menés par le Commissariat général du Plan (rapports Boiteux 1 et 2), puis par le Centre d'analyse stratégique (rapport Quinet sur la valeur de la tonne de carbone, rapport Chevassus sur la biodiversité), ont permis d'en préciser certaines règles et d'en définir des paramètres essentiels. Le rapport Lebègue a proposé de retenir un taux d'actualisation de 4 % au lieu de 8 % précédemment.

Il ressort de ces travaux que les diverses formes de l'ignorance partielle (incertitude, imprécision, incomplétude...) et les situations de risque que cela génère, ne sont pas toujours prises en compte de manière satisfaisante dans l'évaluation des projets de l'État et des collectivités territoriales.

Par ailleurs, le souci du développement durable impose une prise en compte dynamique de l'incertitude et de la valeur de l'information (amélioration progressive des connaissances et des enjeux de long terme) ainsi que de l'aversion au risque et de la façon d'appréhender les irréversibilités.

Dans la ligne des rapports précédents, je vous serais reconnaissant de mettre en place une commission d'experts de la théorie de la décision en situation d'incertitude ainsi que de l'évaluation socio-économique et environnementale. Cette commission sera chargée de déterminer les avancées théoriques actuelles les plus applicables dans l'évaluation des décisions et projets publics. Le but est de faciliter et d'harmoniser la mise en oeuvre pratique des méthodes et des principes d'évaluation par les administrations en charge de telles démarches dans leurs composantes économiques, environnementales et sociales.

Madame Nathalie KOSCIUSKO-MORIZET
Secrétaire d'État chargée de la Prospective
et du Développement de l'économie numérique
auprès du Premier Ministre
35 rue Saint-Dominique
75007 PARIS 07

LE CALCUL DU RISQUE DANS LES INVESTISSEMENTS PUBLICS

Cette commission rassemblera notamment des représentants des administrations particulièrement sensibles à ces questions (développement durable, santé, énergie, transport, écologie, économie...). Elle cherchera à établir des passerelles entre les chercheurs spécialistes de ces problématiques, les acteurs économiques ayant une pratique particulière sur ces questions (secteur des assurances sur les grands risques, grandes entreprises sur des secteurs sensibles, etc.) et les pratiques et attentes des administrations. Elle pourra s'inspirer d'expériences comparables d'évaluations réalisées dans d'autres pays.

Le groupe devra remettre ses travaux pour le début de l'année 2010.

Je vous prie de croire, Madame la Ministre, à l'assurance de mes sentiments les meilleurs.



Jean-Louis BORLOO

Annexe 2

Composition de la commission

Président

Christian Gollier

Université des Sciences sociales, Toulouse

Rapporteur général

Luc Baumstark

Centre d'analyse stratégique

Université de Lyon

Rapporteur

Pierre Fery

Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie – DG Trésor

Coordinateurs

Dominique Auverlot

Centre d'analyse stratégique

Christine Raynard

Centre d'analyse stratégique

Assistante

Élise Martinez

Centre d'analyse stratégique

Membres

Denis Babusiaux

Consultant

Manuel Baritaud

Areva

Jean-Jacques Becker

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Bruno Bensasson

GDF SUEZ

Olivier Bommelaer

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Xavier Bonnet

Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie – DG Trésor

Jean-Paul Bouttes

EDF – Chef économiste, directeur de la prospective et des relations internationales

Marie-Hélène Briant

Commission de régulation de l'énergie (CRE)

Dominique Bureau

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer –
Conseil économique pour le développement durable (CEDD)

Frédéric Cherbonnier

Toulouse School of Economics

Pascaline Cousin

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la
Mer – SETRA

Isabelle Dechavanne

Commission de régulation de l'énergie (CRE)

Daniel Delalande

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la
Mer – DGEC

Michel De Lara

CERMICS – ENPC

Jean Delons

Cofiroute

Jean-Guy Devezeaux

Commissariat à l'énergie atomique (CEA)

Sylvano Domergue

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer – DGEC

Stéphane Gallon

Caisse des dépôts et consignations

Claude Gressier

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer – DGITM

Marie-Laure Guillerminet

Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie – DG Trésor

Jean-Pierre Hansen

GDF SUEZ

Lionel Janin

Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP)

Laurent Joudon

EDF – Chef du pôle Économie, Direction de la prospective et des relations internationales

Robert-Daniel Kast

Lameta, INRA-AGRO Montpellier

Jean-Bernard Kovarik

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer – DGITM

Henri Lamotte

Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie – DG Trésor

Sébastien Léger

McKinsey

Thuriane Mahé

Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire – Centre d'études et de prospective

Grégoire Marlot

Réseau ferré de France (RFF)

Véronique Massenet

Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie – DG Trésor

Michel F. Massoni

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer – CGEDD

Joël Maurice

École des Ponts ParisTech (ENPC)

Josy Mazodier

Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche

David Meunier

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer – CGEDD

Patrice Moura

Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie – MAPPP

Jean-Paul Ourliac

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer – CGEDD

Vincent Piron

Vinci Concessions

Lise Rochaix

Haute Autorité de santé

Noël de Saint-Pulgent

Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie – Mission de contrôle économique et financier

Alain Sauvant

Réseau ferré de France (RFF)

Jean-Pierre Taroux

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer – CGEDD

Jean-Michel Trochet

EDF – Économiste senior, Direction de la prospective et des relations internationales

Bruno Weymuller

Total

Annexe 3

Intervenants et personnes auditionnées

Réunion du 1^{er} octobre 2009

Jean-Paul Bouttes

Directeur Stratégie, Prospective et Relations internationales – EDF
Prise en compte du risque dans la décision : expériences chez EDF

Claude Gressier

Ex-CGEDD – Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM)

Prise en compte du risque dans la décision publique : situation dans le secteur des transports

Claude Henry

Président du conseil scientifique du développement durable et des relations internationales – IDDRI-Sciences Po

Prise en compte du risque dans la décision : avancées scientifiques

Réunion du 19 novembre 2009

Denis Babusiaux et Bruno Weymuller

Consultants – Total

Analyse du risque dans l'industrie pétrolière

Manuel Baritaud

Corporate Strategy Department – Areva

Détermination des taux d'actualisation prenant en compte le risque – Quelques commentaires tirés de l'expérience d'Areva

Alain Sauvant

Directeur du service Économie – Réseau ferré de France (RFF)

Aperçu sur l'économie du risque pour un gestionnaire d'infrastructure ferroviaire

Réunion du 19 décembre 2009

Laurent Denant-Boëmont

Maître de conférence – Université de Rennes-1

Calcul de la valeur d'option sur un projet transport

Anne Épaulard

Sous-directrice des Politiques macroéconomiques – Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, DG Trésor

et **Stéphane Gallon**

Chef du service Études économiques et prospective – Caisse des dépôts et consignations

La valorisation du projet nucléaire EPR par la méthode des options réelles

Elyès Jouini

Vice-président – Université Paris-Dauphine

Théorie de la finance et mesure du risque – Réponses et limites du modèle du MEDAF

Jean-Marc Tallon

Directeur de recherche – Université Paris-1

Théorie de la décision : aversion au risque et aversion à l'ambiguïté

Réunion du 7 janvier 2010

Benoît Dervaux

Économiste – Faculté de médecine de Lille

Exemple d'une modélisation de la vaccination

Pierre-Yves Geoffard

Directeur d'étude – École des hautes études en sciences sociales (EHESS)

Gestion du risque et santé

Lise Rochaix

Membre du collège de la Haute Autorité de santé

Expérience britannique du National Institute for Health and Clinical Excellence

Les attentes de l'administration française

Thierry Schneider

Directeur adjoint – Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire (CEPN)

Évaluation et gestion du risque radiologique associé à l'exposition aux faibles doses

Réunion du 11 février 2010

Frédéric Cherbonnier

Secrétaire général de la Fondation Jean-Jacques Laffont – Toulouse School of Economics

Estimations d'aversion au risque

François Ewald

Professeur au CNAM – Président du conseil scientifique de la Fondation pour l'innovation politique

Le principe de précaution : quels outils méthodologiques ? comment mettre en place les institutions dans un monde d'incertitude ?

Christian Gollier

Directeur de la Toulouse School of Economics – Président de la commission *Approfondissement de certains points : interaction entre le choix du taux d'actualisation et la prise en compte du risque; Arrow-Lind et CAPM; Fat tails, Black swans, principe de précaution*

Réunion du 16 mars 2010

Simon Dietz

Deputy Director, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment and Lecturer in Environmental Policy

Climate change policy under uncertainty

Renaud Crassous

Économiste senior – Direction Stratégie, Prospective et Relations internationales – EDF

Le modélisateur face au risque

Réunion du 8 avril 2010

James Hammitt

Chercheur INRA au LERNA – Directeur du Harvard Center for Risk Analysis

Prise en compte du risque dans l'évaluation des politiques sanitaires et environnementales aux États-Unis

Sébastien Bouvatier

Chef du bureau du crédit et de l'assurance – Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche

État des lieux des mécanismes de prévention et de gestion des risques en agriculture et discussion en cours dans le cadre de la loi de modernisation agricole (LMA)

Frédéric Courleux

Chef de bureau – Centre d'études et de prospective, ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche

Pratiques actuelles, attentes et besoins en termes d'évaluation socioéconomique appliquée au secteur de la production agricole au ministère de l'Agriculture

Pascale Parisot

Chef du bureau de l'appui scientifique et technique

et **Stéphanie Bordes**

Chargée de mission – Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche

Présentation de l'étude de cas (INRA, 2009) : Analyse coût-bénéfice de la généralisation des autocontrôles sur Escherichia coli O157:H7 dans la filière viande hachée

Franck Lecocq

Laboratoire d'économie forestière – INRA Nancy

Application des outils du calcul socioéconomique à des décisions de gestion forestière sous risque climatique

Réunion du 29 avril 2010

Jean Delons

Chef du département Économie Trafic – Cofiroute

et **Pierre Samblat**

Chargé d'étude – Centre d'études techniques de l'équipement du Sud-Ouest

Calcul socioéconomique sur le projet d'une autoroute interurbaine

Grégoire Marlot

Chef du service Économie et Régulation – Réseau ferré de France (RFF)

Évaluation risques dans le cadre d'un projet ferroviaire

Olivier Simon

Adjoint au chef du bureau Politique macroéconomique France – Direction générale du Trésor

Impact du prix du pétrole sur la croissance potentielle : quelques éclairages

Pierre Fery

Adjoint au chef du bureau Économie des réseaux – Direction générale du Trésor

Les recommandations du rapport appliquées aux projets d'infrastructures de transport

Annexe 4

Quelques pistes pour déterminer le *bêta* socioéconomique d'un projet

Lorsqu'on cherche à prendre en compte le risque par la méthode du *bêta*, la détermination de la valeur du coefficient *bêta* revêt une importance fondamentale. La démarche d'analyse conduisant à cette valeur est au moins aussi importante que la valeur elle-même.

1 ■ Le questionnement sur la forme et la nature des risques

Avant de se lancer dans le calcul, l'évaluateur doit réfléchir aux caractéristiques du projet qui vont déterminer la valeur du *bêta* socioéconomique. On propose ici quelques éléments non exhaustifs qu'il serait utile de fournir systématiquement dans les études et qui éclairent utilement la détermination du *bêta*¹ :

- la dimension assurantielle du projet : le projet a-t-il une valeur d'assurance ? Sa valeur sociale est-elle la plus élevée dans les phases d'expansion ou de récession du pays ? En cas de catastrophe macroéconomique majeure, dans un scénario qui s'assimilerait aux années 1930, ce projet peut-il être salvateur, ou au contraire son utilité sociale y serait-elle évanescence ?
- la structure des coûts : les risques pesant sur les coûts du projet portent-ils d'abord sur une composante fixe (coût de construction, par exemple), dont les dérives seraient difficilement récupérables en cas d'évolution défavorable de la conjoncture économique, ou plutôt sur des coûts variables que l'on pourrait ajuster en fonction des aléas économiques ?
- le secteur dans lequel se place le projet : certains secteurs démultiplient les variations de l'activité économique générale comme le transport à longue distance, la construction immobilière (*bêta* supérieur à 1) ; d'autres, au contraire, les atténuent comme l'éducation, la santé (*bêta* inférieur à 1) ;
- la demande adressée au projet : un projet à horizon rapproché, pour lequel la demande peut être extrapolée à partir de la tendance des dernières années,

[1] Ces éléments reprennent des considérations importantes détaillées dans les manuels de finance d'entreprise tels que : Quiry P., Vernimmen P. et Le Fur Y. (2005), *Corporate Finance: Theory and Practice*, Wiley-Blackwell.

ou un projet dont la demande sociale bénéficie d'un cadre réglementaire durable seront moins risqués qu'un projet dont l'utilité à 5 ou 10 ans n'est pas établie. Pour les projets à horizon de temps éloigné, il importe de s'intéresser au taux de croissance de la demande : si celui-ci est élevé, l'essentiel des bénéfices attendus du projet s'explique par des flux éloignés dans le temps, donc plus incertains que ceux d'un projet dont l'essentiel des bénéfices serait acquis dès les premières années ;

- les modalités de financement du projet : un projet qui peut être victime de la régulation budgétaire semble *a priori* plus risqué qu'un projet financé par l'endettement ou par un partenariat public-privé¹ ;
- le profil des risques au cours de la vie du projet : les primes de risque calculées par la méthode du *bêta* conduisent à un taux d'actualisation rigide, insensible aux variations significatives du risque au cours du temps. Lorsque ces variations sont importantes, par exemple dans le cas de certaines infrastructures de transport pour lesquelles le risque est majeur durant le chantier et se réduit une fois passées les premières années d'exploitation, il peut être légitime de calculer plusieurs *bêta* selon la période, voire d'abandonner la méthode du *bêta* pour revenir à une prise en compte explicite du risque au numérateur de la VAN.

L'impact de ces différents facteurs sur la valeur du *bêta* n'est pas toujours évident. Certains peuvent jouer en sens opposé. Néanmoins, il importe d'y réfléchir attentivement afin d'éviter les erreurs grossières, qui pourraient découler d'une analyse économétrique brutale et dénuée de sens économique.

Rappelons que le coefficient *bêta* est valable de manière ponctuelle dans un référentiel donné. Il vaut pour une structure donnée de l'économie et ne saurait rester inchangé en cas de modification significative du secteur dans lequel se place le projet ou, d'une manière générale, en cas de modification de la structure de consommation des agents économiques.

Par exemple, dans un pays faiblement doté en énergie nucléaire et en l'absence d'interconnexions électriques de grande capacité avec l'étranger, l'exploitation d'une centrale nucléaire est une activité relativement peu risquée. Celle-ci trouvera une clientèle toute l'année compte tenu de son faible coût marginal de production par rapport aux autres sources d'énergie (de même qu'une capacité éolienne ou solaire) ; le *bêta* d'un tel investissement, pourvu que le

[1] Rappelons que l'on s'intéresse ici aux risques du point de vue de la collectivité prise dans son ensemble et non aux risques particuliers de l'un ou l'autre des acteurs.

risque de construction et de sécurité soit faible, est probablement inférieur à 1. En France, où le nucléaire assure déjà environ 75 % de la production d'électricité, une nouvelle centrale de ce type risque fort de ne pas être utilisée 100 % du temps où elle est disponible. L'investissement semble donc plus sensible à l'activité économique, en particulier si le déficit d'interconnexion électrique vers des pays limitrophes empêche d'envisager d'autres débouchés à la nouvelle centrale. Le *bêta* est alors probablement proche de ou supérieur à 1.

2 ■ L'approche à partir de données financières

Si l'évaluateur choisit, parce que les risques de son projet sont efficacement internalisés par les marchés, de construire son estimation du *bêta* socio-économique à partir d'observations de marché, il doit s'interroger sur la technique économétrique employée. L'expérience montre que la valeur d'un *bêta* déterminée d'après des observations de marché est un résultat très sensible à la méthode de calcul retenue. Le choix du filtre temporel (périodicité des données retenues) est crucial. Si la période entre deux observations est courte, le prix de l'actif¹ s'ajuste d'autant moins au niveau de risque que l'actif est peu liquide. Si la période retenue entre deux observations est longue, l'échantillon de données peut devenir insuffisant pour mener un travail statistique robuste. La durée couverte par l'échantillon doit donc être assez longue pour que l'échantillon soit statistiquement significatif, mais sans être trop longue pour rester représentative, sinon de la situation future, du moins de la situation actuelle².

L'utilisation des données des marchés financiers est utile, mais il faut néanmoins être extrêmement prudent sur l'usage qu'on en fait. Le *bêta* socioéconomique du projet mesure la sensibilité des bénéfices nets socioéconomiques à la croissance de la consommation du pays. Le *bêta* de marché mesure quant à lui la sensibilité du cours d'un actif à un indice de prix de marché. L'écart entre les deux *bêta*, socioéconomique et financier, pour un même actif peut être très significatif, et se justifier de différentes façons.

[1] Dans cette approche, il est supposé que les bénéfices socioéconomiques du projet sont approximatés par la valeur d'un actif financier qui sera utilisé comme proxy dans la régression.

[2] À titre d'illustration, Quiry, Vernimmen et Le Fur (2005, *op. cit.*) indiquent qu'un filtre temporel hebdomadaire et une période de deux ans semblent un bon compromis dans les analyses menées sur les actifs financiers. Étant donné que l'utilité sociale des projets publics s'inscrit généralement dans la durée, un pas de temps au moins trimestriel et une période de plusieurs années peuvent sembler préférables lorsqu'il s'agit de calculer un *bêta* socioéconomique.

Premièrement, le *bêta* socioéconomique intègre un certain nombre d'externalités qui ne sont pas valorisées dans le cours de l'actif. Deuxièmement, l'indice de prix des marchés financiers est bien sûr relativement corrélé aux informations sur la croissance du PIB d'une nation mais cet indice ne reprend qu'une toute petite partie de l'ensemble des actifs de cette nation (marchés incomplets). S'il s'agit d'un indice actions, il faut par ailleurs tenir compte de l'effet de levier (ratio dette/capital). Troisièmement, les marchés tendent à sur-réagir largement aux événements économiques. Ces deux derniers points sont responsables d'une volatilité plus grande sur les marchés financiers que la volatilité du PIB/hbt. Cela tend à rendre le *bêta* de marché souvent plus élevé que le *bêta* socioéconomique.

Une valeur de *bêta* est difficile à calculer même pour les entreprises cotées sur les marchés. Cette difficulté a entraîné la création de sociétés spécialisées et cabinets de conseil qui ont développé un savoir-faire très spécifique. La difficulté est sans doute encore plus grande dans la sphère publique.

Toutefois, les autorités de régulation sectorielle (CRE, ARCEP, ARAF)¹, qui ont légalement accès à toutes les données confidentielles des entreprises, doivent calculer ou faire calculer un *bêta* (financier) pour les entreprises régulées afin de fixer un taux de rémunération des actifs régulés et de déterminer le niveau des services associés (généralement, les activités ayant vocation à être exercées par un monopole naturel : transport et distribution d'électricité, traitement des eaux, réseau ferroviaire, etc.). Les régulateurs convergent souvent, sur la base des informations parcellaires disponibles (études externes de cabinets spécialisés en finance, consultations publiques...), vers des *bêta* compris entre 0,5 et 1 selon le risque estimé pour les entreprises régulées². Malgré leurs imperfections méthodologiques, ces estimations sont confortées par le sens commun qui veut que ces activités suivent la tendance générale de l'économie mais demeurent moins sensibles à la conjoncture que d'autres activités. Les conclusions des régulateurs sont toutefois spécifiques aux domaines des réseaux d'infrastructures et ne peuvent être généralisées arbitrairement à l'ensemble des domaines de l'action publique.

[1] CRE : Commission de régulation de l'énergie ; ARCEP : Autorité de régulation des communications électroniques et des postes ; ARAF : Autorité de régulation des activités ferroviaires.

[2] Voir par exemple Jenkinson T. (2006), « Regulation and the cost of capital », in Crew M. et Parker D. (ed.), *International Handbook on Economic Regulation*, Edward Elgar. Notons que, dans les secteurs régulés, les coûts du capital fondés sur la méthode du *bêta* sont révisables à brève échéance, de un à trois ans.

3 ■ Hors des données financières, que faire ?

Si le recours aux observations de marché n'est pas pertinent pour déterminer la valeur du *bêta* socioéconomique d'un projet, diverses alternatives s'offrent à l'évaluateur¹. La plus rigoureuse, mais aussi la plus coûteuse en données, est d'établir la séquence des bénéfices socioéconomiques attendus du projet et de calculer la covariance entre la croissance de ces bénéfices et la croissance prévue du PIB/hbt. Le *bêta* peut ainsi être calculé comme un sous-produit de la méthode probabiliste de Monte-Carlo dès lors que l'on connaît la distribution de probabilité du risque étudié. Une méthode dégradée consisterait à calculer la covariance non sur le projet lui-même, pour lequel il faut par définition connaître les distributions de probabilité, mais sur des projets semblables ayant déjà eu lieu (approche sur données historiques, avec un certain nombre des mêmes limites que l'approche sur données financières).

Dans certains secteurs, la valeur d'un *bêta* socioéconomique peut être approchée par une analyse d'élasticité au PIB/hbt. Le coefficient d'élasticité qui relie les bénéfices socioéconomiques d'un projet à la conjoncture économique peut en effet constituer une approximation du coefficient *bêta* recherché.

Considérons, par exemple, un projet de transport dont les coûts seraient supposés parfaitement connus et dont le seul risque porterait sur les avantages retirés par les usagers. Si l'on admet que les avantages des usagers sont constitués majoritairement par les gains de temps, la valeur des gains de temps apportés par le projet constitue le facteur essentiel pour déterminer le *bêta*. Concrètement, si l'élasticité du trafic du projet au PIB/hbt vaut 0,9 et l'élasticité de la valeur unitaire du temps au PIB/hbt vaut 0,7, cela signifie que, lorsque le PIB/hbt augmente de 1 %, le nombre d'heures gagnées grâce au projet (approximativement proportionnel au trafic) augmente de 0,9 % et la valeur de ces heures gagnées augmente de 0,7 %. La valeur des gains de temps augmente donc à peu près de $0,9 \% + 0,7 \% = 1,6 \%$ (et inversement, cette valeur baisserait de 1,6 % en cas de baisse du PIB/hbt de 1 %). Cette première approche indique que les bénéfices socioéconomiques du projet varient donc comme le PIB/hbt avec un multiplicateur égal à 1,6. Le *bêta* socioéconomique du projet vaut alors 1,6, c'est-à-dire que le projet est plus risqué que la moyenne de l'économie (*bêta* > 1).

[1] En dépit des imperfections du marché, une comparaison avec les *bêta* financiers de certaines entreprises du secteur pourra *a posteriori* s'avérer utile pour conforter la valeur déterminée par une autre méthode que l'économétrie sur données financières.

Les valeurs d'élasticité que l'on trouve dans la littérature scientifique résultent généralement d'estimations sur des données assez agrégées. Elles sont donc valables pour un agrégat et pas nécessairement pour le projet auquel on s'intéresse. Si l'évaluateur choisit cette méthode, il doit alors s'interroger sur la cohérence entre les élasticités utilisées et son projet. Rappelons qu'un *bêta* sectoriel n'a *a priori* pas de valeur pour un projet d'investissement donné, puisqu'il faut tenir compte de façon effective du risque spécifique du projet d'investissement, considéré dans son environnement futur.

Afin d'éviter les approches trop simplificatrices et, surtout, afin d'aider les évaluateurs à situer le niveau de risque de leur projet, il paraît utile que chaque ministère mène, pour ce qui le concerne, des calculs systématiques de valeurs du coefficient *bêta* pour les projets standard relevant de son champ de compétence. C'est un travail que la commission n'a pas pu engager dans les délais impartis, faute des données nécessaires.

4 ■ Un exemple de calcul : de la théorie à la pratique

À titre purement exploratoire, on propose ici un calcul possible du coefficient *bêta* dans quelques branches de l'économie. Il est bien évident que le résultat n'a qu'un aspect illustratif et ne saurait être utilisé pour mener des évaluations de projets. Une valeur de *bêta* obtenue à partir des données agrégeant l'ensemble d'un secteur est à considérer avec la plus grande prudence et ne peut donner qu'une intuition du risque sectoriel auquel sera confronté le projet. L'évaluateur est invité à s'en écarter dès lors qu'il dispose d'éléments plus fiables et plus complets sur les risques de son projet.

La méthode du *bêta* repose sur l'hypothèse que les flux économiques suivent au cours du temps une tendance constante affectée de chocs aléatoires indépendants (hypothèse de mouvements browniens géométriques). Selon cette hypothèse, le flux de richesse collective C_t suit l'équation d'évolution temporelle :

$$C_t = c_0 e^{\mu_c t + \sigma_c B_t^C} \text{ ou encore } \ln(C_t) = \ln(c_0) + \mu_c t + \sigma_c B_t^C$$

avec :

- c_0 la valeur initiale, supposée connue
- μ_c le taux de croissance temporel

- B_t^c un pré-mouvement brownien représentant les chocs aléatoires¹
- et σ_c un facteur d'échelle.

Autrement dit, le taux de croissance $R_c = \ln(C_t/c_0)/t$ suit une loi normale de moyenne μ_c et de variance σ_c^2 . Plus généralement, le calcul du coefficient *bêta* repose sur l'hypothèse que les taux de croissance des flux économiques X_t du secteur considéré et des flux de richesse collective C_t , écrits respectivement sous la forme $X_t = x_0 e^{R_x t}$ et $C_t = c_0 e^{R_c t}$, forment un vecteur gaussien :

$$\begin{pmatrix} R_x \\ R_c \end{pmatrix} \sim N \left(\begin{pmatrix} \mu_x \\ \mu_c \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \rho \sigma_x \sigma_c \\ \rho \sigma_x \sigma_c & \sigma_c^2 \end{pmatrix} \right)$$

Sous ces hypothèses, le coefficient *bêta* figurant dans l'équation (3) du rapport vaut exactement :

$$\beta = \frac{\text{cov}(R_x, R_c)}{\text{var}(R_c)} = \frac{\rho \sigma_x}{\sigma_c}$$

L'hypothèse que les taux de croissance R_x et R_c forment un vecteur gaussien est essentielle pour la détermination du coefficient *bêta*. Si les taux de croissance ne sont pas stationnaires (indépendants du temps), alors le ratio covariance/variance n'est pas indépendant du temps : il existe potentiellement une valeur de *bêta* différente pour chaque période. Par ailleurs, si les taux de croissance ne sont pas gaussiens, la variabilité des phénomènes ne se retrouve pas toute dans le coefficient *bêta* : la prime de risque calculée à partir du *bêta* néglige certains risques, en particulier les risques extrêmes logés dans les queues des distributions de probabilité.

Même si les hypothèses sous-jacentes ne sont pas vérifiées, rien n'empêche de calculer la quantité :

$$\frac{\text{cov}(R_x, R_c)}{\text{var}(R_c)} = \frac{\text{cov}(\ln(X_t/x_0)/t, \ln(C_t/c_0)/t)}{\text{var}(\ln(C_t/c_0)/t)} = \frac{\text{cov}(\ln(X_t), \ln(C_t))}{\text{var}(\ln(C_t))}$$

Il faut simplement se garder d'interpréter la valeur obtenue comme étant celle du coefficient *bêta* défini par la théorie. La méthode du *bêta* devrait dans ce cas être formellement exclue car le résultat du calcul n'a aucun sens.

[1] Par définition, les accroissements successifs $B_t^c - B_{t-1}^c$ sont indépendants les uns des autres et suivent une loi normale de moyenne nulle et de variance égale à $t - (t-1) = 1$. La variable aléatoire B_t^c suit donc une loi normale d'espérance $E(B_t^c) = 0$ et de variance $\text{var}(B_t^c) = t$.

Pour calculer un *bêta*, il suffit donc de vérifier une double hypothèse sur les taux de croissance, stationnarité et normalité, et d'estimer la valeur du ratio covariance/variance à partir des lois de probabilité des deux variables aléatoires $\ln(X_t)$ et $\ln(C_t)$. Toutefois, à supposer que les hypothèses soient jugées statistiquement valides, la principale difficulté du calcul du *bêta* tient au fait que les distributions de probabilité de $\ln(X_t)$ et $\ln(C_t)$, à une date t quelconque, sont généralement inconnues et qu'elles doivent être estimées à partir des séries temporelles des observations historiques $\{X\} = \{x_{-k}, \dots, x_{-1}, x_0\}$ et $\{C\} = \{c_{-k}, \dots, c_{-1}, c_0\}$. De fait, les séries temporelles auxquelles s'intéresse l'évaluateur sont non stationnaires, ce qui signifie que la distribution de probabilité de la variable n'est pas la même à chaque date t . Il serait donc faux d'estimer variance et covariance directement à partir des séries temporelles. Il faut les retraiter pour les rendre stationnaires.

Sous l'hypothèse des mouvements browniens géométriques, on observe que les séries temporelles des logarithmes sont intégrées d'ordre 1 :

$$\begin{aligned}\ln(C_t) &= \ln(C_{t-1}) + \mu_c + \sigma_c (B_t^c - B_{t-1}^c) \\ \ln(X_t) &= \ln(X_{t-1}) + \mu_x + \sigma_x (B_t^x - B_{t-1}^x)\end{aligned}$$

puisque, par définition d'un mouvement brownien, les accroissements entre deux années consécutives sont stationnaires. Les séries des différences en logarithme sont donc stationnaires et l'on peut constater qu'elles vérifient la bonne propriété de conduire au coefficient *bêta*, à savoir :

$$\frac{\text{cov}(\ln(X_t/X_{t-1}), \ln(C_t/C_{t-1}))}{\text{var}(\ln(C_t/C_{t-1}))} = \frac{\rho\sigma_x}{\sigma_c} = \beta$$

Pour calculer un *bêta* à partir de séries temporelles, il suffit donc de vérifier que les séries des logarithmes sont intégrées d'ordre 1 et d'estimer le rapport covariance/variance à partir des premières différences des logarithmes¹.

Pour un projet d'investissement, le coefficient *bêta* exprime la corrélation existant entre la croissance des bénéfices nets du projet, c'est-à-dire la différence entre les avantages socioéconomiques et les coûts socioéconomiques

[1] On notera qu'il n'est pas nécessaire de supposer une relation économétrique explicite du type $\ln(X_t) = a + b \ln(C_t) + \varepsilon_t$, avec des résidus ε_t indépendants et identiquement distribués, pour calculer un *bêta*. Une telle relation n'est en fait qu'un des deux cas particuliers $\rho = 1$ ou $\rho = -1$. En pratique, la technique des élasticités suggérée dans la section précédente de cette annexe repose toutefois sur cette hypothèse et conduit à prendre $\beta = b$.

du projet, et la croissance de l'économie. Par analogie, on a cherché ici à estimer le coefficient *bêta* d'une branche à partir de la valeur ajoutée de la branche, c'est-à-dire la différence entre la production et les consommations intermédiaires de la branche. Notons que cette approche néglige l'effet des impôts et subventions affectant la branche et, par ailleurs, qu'elle traduit seulement la vision économique de chaque branche : d'autres aspects, comme certaines aménités associées à l'agriculture, sont clairement ignorés ici dans la mesure où ils n'ont pas de traduction économique dans la valeur ajoutée de la branche considérée. Enfin, la croissance de l'économie est mesurée à partir du PIB par habitant.

Les données utilisées proviennent de la comptabilité nationale établie par l'INSEE et sont fournies en volume annuel aux prix de l'année précédente chaînés¹, en euros 2000.

Le calcul du *bêta* est mené sur la période 1990-2009 jugée suffisamment représentative de la situation actuelle de l'économie. Le faible nombre de points (20 points par série) implique toutefois que les estimations sont d'une fiabilité toute relative : d'une part, les hypothèses de stationnarité et de normalité des taux de croissance annuelle ne peuvent être validées avec un bon niveau de confiance, d'autre part, les estimations de *bêta* restent affectées d'une relative incertitude.

Les résultats, à considérer avec la plus grande précaution, sont rassemblés dans le tableau suivant. Les séries temporelles ne vérifiant manifestement pas les deux hypothèses nécessaires (test de Jarque-Bera pour l'hypothèse de normalité et test de Ljung-Box pour l'hypothèse de stationnarité) ont été écartées du calcul de *bêta* (signalé par N.A. dans le tableau) et celles ne vérifiant qu'une des deux hypothèses sont signalées par un astérisque (c'est en général la stationnarité des résidus qui pose problème).

[1] Le chaînage des prix, utilisé par l'INSEE pour donner une représentation plus fidèle de la structure de l'économie, ne pose ici pas de problème puisque le raisonnement sur les différences entre deux années consécutives conduit à éliminer la déformation de la structure des prix : le ratio X_t/X_{t-1} est bien un rapport entre deux volumes.



Estimations préliminaires de valeurs de *bêta* sectorielles

Branches (nomenclature INSEE, niveau F)	Bêta de la valeur ajoutée de la branche
Agriculture, sylviculture, pêche	0,85*
Industrie	2,09*
Industries agricoles et alimentaires	0,71
Industries de la viande et du lait	1,01
Autres industries agricoles et alimentaires	0,61*
Industries des biens de consommation	1,34*
Habillement, cuir	1,40
Édition, imprimerie, reproduction	1,08*
Pharmacie, parfumerie et entretien	1,31*
Industries des équipements du foyer	1,75
Industrie automobile	4,98
Industries des biens d'équipement	2,50*
Construction navale, aéronautique et ferroviaire	N.A.
Industries des biens d'équipement mécaniques	3,00*
Industries des équipements électriques et électroniques	3,18*
Industries des biens intermédiaires	2,76
Industries des produits minéraux	2,66*
Industrie textile	2,44
Industries du bois et du papier	1,38
Chimie, caoutchouc, plastiques	2,00*
Métallurgie et transformation des métaux	3,27
Industrie des composants électriques et électroniques	4,40*
Énergie	0,85
Production de combustibles et de carburants	0,63
Eau, gaz, électricité	0,92
Construction	1,45*
Bâtiment	1,43*
Travaux publics	1,54
Services principalement marchands	1,04*
Commerce	1,19
Commerce et réparation automobile	1,70
Commerce de gros, intermédiaires	1,49
Commerce de détail et réparations	0,67*
Transports	1,60
Activités financières	0,15
Intermédiation financière	0,49
Assurances et auxiliaires financiers	- 0,36

Activités immobilières	0,38*
Promotion, gestion immobilière	N.A.
Location immobilière	0,29
Services aux entreprises	1,65*
Postes et télécommunications	1,56
Conseils et assistance	1,48*
Services opérationnels	2,15*
Recherche et développement	0,10*
Services aux particuliers	0,96*
Hôtels et restaurants	1,42
Activités récréatives, culturelles et sportives	0,87
Services personnels et domestiques	0,26
Services administrés	- 0,08*
Éducation, santé, action sociale	- 0,09
Éducation	0,11*
Santé	- 0,24*
Action sociale	N.A.
Administration	- 0,06
Administration publique	- 0,06
Activités associatives	N.A.

N.A. : ne vérifie ni l'hypothèse de normalité ni l'hypothèse de stationnarité.

(*) : vérifie une des deux hypothèses.

Nota bene : les *bêta* sont calculés comme le rapport covariance (série VA, PIB)/variance (PIB) appliqué sur les séries en différence annuelle des logarithmes, de 1990 à 2009.

Données : Comptes nationaux – Base 2000, INSEE; séries en volume aux prix de l'année précédente chaînés, en milliards d'euros 2000, n° 1.102 (PIB), 2.202 (VA).

Source : Centre d'analyse stratégique, commission Gollier

Une analyse rapide de ce tableau montre que la plupart des activités industrielles présentent des *bêta* élevés, souvent supérieurs à 2, ce qui témoigne d'une volatilité positivement corrélée au PIB/hbt et très élevée. Les industries de biens de consommation, la construction, le commerce, les transports¹, les services aux entreprises présentent généralement des *bêta* compris entre 1 et 2, donc des niveaux de risque plus élevés que la moyenne de l'économie mais moindres que dans l'industrie. L'agriculture, les industries agroalimentaires, l'énergie présentent généralement des *bêta* compris entre 0,5 et 1, reflétant

[1] La valeur pour la branche des transports cache sans doute de profondes disparités et tout un éventail de valeurs de *bêta* entre les transports du quotidien (métro, réseau de bus, etc.), relativement peu risqués, et les transports de fret internationaux, excessivement sensibles à la conjoncture économique.

par là le caractère de nécessité collective de ces biens. Parmi les *bêta* les plus faibles, on trouve notamment la location immobilière, les services à la personne, la recherche, l'éducation, avec même des *bêta* négatifs pour la santé, l'action sociale et les activités administratives ou associatives. Bien que ces résultats soient plutôt conformes à l'intuition, ils dépendent largement des conventions de calcul prises en comptabilité nationale, conventions choisies avec d'autres objectifs que le calcul des *bêta*, ce qui peut expliquer l'incongruité de certaines valeurs du tableau (par exemple, $-0,36$ pour les assurances et auxiliaires financiers).

L'examen des agrégats intermédiaires montre bien que les valeurs de *bêta* peuvent être assez différentes entre un agrégat et ses composantes. L'exemple des services aux particuliers est assez probant, avec une nette différence entre les activités risquées liées au tourisme et celles moins aléatoires couvrant les services à la personne. Cet exemple devrait achever de convaincre qu'une valeur de *bêta* sectorielle n'est pas applicable à tous les projets et activités du secteur mais qu'il est bien nécessaire de mener une analyse au cas par cas de chaque projet.

Bibliographie

Allais M. (1953), « Le comportement de l'homme rationnel devant le risque, critique des postulats et axiomes de l'école américaine », *Econometrica*, vol. 21, p. 503-546.

Arrow K. J. et Fisher A. C. (1974), « Environmental preservation, uncertainty, and irreversibility », *The Quarterly Journal of Economics*, 88(2), mai, p. 312-319.

Arrow K. J. et Lind R. C. (1970), « Uncertainty and the evaluation of public investment decisions », *American Economic Review*, n° 60, juin, p. 364-378.

Artus P., d'Autume A., Chalmin P. et Chevalier J.-M. (2010), *Les effets d'un prix du pétrole élevé et volatil*, rapport du Conseil d'analyse économique, n° 93, Paris, La Documentation française.

Australie (2001), Partnerships Victoria, *Public Sector Comparator - Technical Note*, État de Victoria, juin.

Banque asiatique de développement (2002), *Handbook for Integrating Risk Analysis in the Economic Analysis of Projects*, mai.

Barro R. J. (2006), « Rare disasters and asset markets in the twentieth century », *The Quarterly Journal of Economics*, août, p. 823-866.

Barsky R. B., Juster T. F., Kimball M. S. et Shapiro M. D. (1997), « Preference parameters and behavioral heterogeneity: An experimental approach in the health and retirement study », *The Quarterly Journal of Economics*, 112(2), mai, p. 537-579.

Bernoulli D. (1738), *Specimen theoriae novae de mensura sortis* (exposé d'une nouvelle théorie sur la mesure du risque), édition anglaise de 1968, Gregg, Farnborough.

Black F. et Scholes M. (1973), « The pricing of options and corporate liabilities », *Journal of Political Economy*, mai-juin.

Blanchemanche S., Treich N. et Tello R. (2009), *Évaluation socioéconomique en appui à la gestion des risques alimentaires*, rapport pour le ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, INRA, novembre.

Boiteux M. (2001), *Transports : choix des investissements et coûts des nuisances*, Commissariat général du Plan, 328 p.

Boiteux M. (1994), *Transports : pour un meilleur choix des investissements*, Commissariat général du Plan, Paris, La Documentation française, 132 p.

Bouleau N. (2009), *Mathématiques et risques financiers*, Paris, Odile Jacob, 345 p.

Bouttes J.-P. *et al.* (2010), *Prise en compte du risque dans la décision économique : l'expérience du secteur électrique*, note de réflexion soumise à la commission.

Boy L. *et al.* (2003), « La mise en œuvre du principe de précaution dans l'accord SPS de l'OMC - Les enseignements des différends commerciaux », *Revue économique*, n° 54, septembre, p. 1291-1306.

British Department for Transport (2004), *Procedures for Dealing with Optimism Bias in Transport Planning Guidance Document*, juin.

Canada (1998), Treasury Board, *Benefit-Cost Analysis Guide*.

Centre d'analyse stratégique (2009), *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*, rapport de la mission présidée par Bernard Chevassus-au-Louis, Paris, La Documentation française, juin, 399 p.
www.strategie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_18_Biodiversite_web.pdf

Centre d'analyse stratégique (2009), *La valeur tutélaire du carbone*, rapport de la commission présidée par Alain Quinet, rapporteur général Luc Baumstark, Paris, La Documentation française, mars, 420 p.
www.strategie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapp_16_VTC_web.pdf

Centre d'analyse stratégique (2008), *Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050*, rapport de la commission présidée par Jean Syrota, Paris, La Documentation française, mars, 326 p.
www.strategie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_Energie_synthese_VOLUME_1.pdf

Chevalier J.-M. (2010), *La volatilité des prix du pétrole*, rapport pour le ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi, Paris, La Documentation française, février, 143 p.

Chevassus-au-Louis B. (2007), *L'analyse des risques. L'expert, le décideur et le citoyen*, coll. Sciences en questions, Éditions Quae, 96 p.

Chevé M. et Congar R. (2003), « La gestion des risques environnementaux en présence d'incertitudes et de controverses scientifiques. Une interprétation du principe de précaution », *Revue économique*, n° 54, septembre, p. 1335-1352.

Commissariat général du Plan (2005), *Révision du taux d'actualisation des investissements publics*, rapport du groupe d'experts présidé par Daniel Lebègue, rapporteur général Luc Baumstark, janvier, 112 p.

[www.plan.gouv.fr/intranet/upload/actualite/Rapport Lebegue Taux actualisation 24-01-05.pdf](http://www.plan.gouv.fr/intranet/upload/actualite/Rapport%20Lebegue%20Taux%20actualisation%2024-01-05.pdf)

Commissariat général du Plan (2001), *Transports : choix des investissements et coûts des nuisances*, rapport du groupe de travail présidé par Marcel Boiteux, rapporteur général Luc Baumstark, Paris, La Documentation française, juin, 325 p.

http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/cgi-bin/brp/telestats.cgi?brp_ref=014000434&brp_file=0000.pdf

Commissariat général du Plan (1994), *Transports : pour un meilleur choix des investissements*, rapport du groupe présidé par Marcel Boiteux, Paris, La Documentation française, novembre, 71 p.

http://temis.documentation.equipement.gouv.fr/documents/temis/9780/9780_1.pdf

Commission européenne (2003), *Guide de l'analyse coûts-avantages des projets d'investissement*.

Cox J., Ross S. et Rubinstein M. (1979), « Options pricing: A simplified approach », *Journal of Financial Economics*, octobre.

Crifo P., Debonneuil M. et Grandjean A. (2009), *La croissance verte : l'économie du futur*, rapport pour le Conseil économique pour le développement durable (CEDD).

Dasgupta P. (2008), « Discounting climate change », *Journal of Risk and Uncertainty*, 37(2-3), décembre, p. 141-169.

Denant-Boémont L. et Hammiche S. (2000), « Gains d'information du décideur public et valeur d'option des grands projets d'infrastructure », *Économie & Prévision*, n° 143-144.

Devezeaux J.-G. et Gollier C. (2001), « Analyse quantitative de la réversibilité du stockage des déchets nucléaires : valorisation des déchets », *Économie & Prévision*, n° 149, p. 1-13.

Dixit A. et Pindyck R. (1994), *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press.

Ellsberg D. (1961), « Risk, ambiguity and the Savage axioms », *The Quarterly Journal of Economics*, 75, p. 643-669.

Épaulard A. et Gallon S. (2001), « La valorisation du projet nucléaire EPR par la méthode des options réelles », *Économie & Prévision*, n° 149, 2001-3, p. 29-50.

Etner J., Jeleva M. et Tallon J. M. (2009), « Decision theory under uncertainty », *CES Working Paper*, n° 2009.64, 9 novembre.

Federal Highway Administration (2006), *Guide to Risk Assessment and Allocation for Highway Construction Management*, Washington, octobre.

Fischler C. (1990), *L'Homnivore*, Paris, Odile Jacob.

Flyvbjerg B., Holm M. S. et Buhl S. (2002), « Underestimating costs in public works projects - Error or lie? », *Journal of the American Planning Association*, 68(3), p. 279-295.

Godard O. (2003), « Le principe de précaution comme norme de l'action publique, ou la proportionnalité en question », *Revue économique*, n° 54, septembre, p. 1240-1244.

Gollier C. (2010), « Ecological discounting », *Journal of Economic Theory*, 145(2), mars, p. 812-829.

Gollier C. (2007), « Comment intégrer le risque dans le calcul économique ? », *Revue d'économie politique*, vol. 117, n° 2, p. 209-223.

Gollier C. (2001), « Should we beware of precautionary principle? », *Economic Policy*, octobre.

Guesnerie R. (2004), « Calcul économique et développement durable », *Revue économique*, vol. 55, n° 3, mai, p. 363-382.

Guillaume H. (1985), *Recommandations sur les règles du calcul économique pour le IX^e Plan*, note ronéotée, Commissariat général du Plan, octobre.

Henry C. (1974), « Investment decisions under uncertainty: The irreversibility effect », *The American Economic Review*, décembre.

Henry C. et Henry M. (2003), « État de la connaissance scientifique et mobilisation du principe de précaution », *Revue économique*, n° 54, septembre, p. 1277-1290.

HM Treasury (1997), *GreenBook. Appraisal and Evaluation*, et *Supplementary Green Book Guidance*, Londres.

Jenkinson T. (2006), « Regulation and the cost of capital », in Crew M. et Parker D. (eds) *International Handbook on Economic Regulation*, Edward Elgar.

Kast R. (2003), « Calcul d'un coût économiquement acceptable pour la mise en pratique du principe de précaution », *Revue économique*, n° 54, septembre, p. 1307-1334.

Keynes J.M. (1921), *A Treatise on Probability* (2nd ed., 1948), Londres, McMillan.

Knight F. H. (1921), *Risk, Uncertainty, and Profit*. New York, Houghton Mifflin.

Kocherlakota N. R. (1996), « The equity premium: It's still a puzzle », *Journal of Economic Literature*, 34(1), p. 42-71.

Lebègue D. (2005), *Le prix du temps et la décision publique*, Commissariat général du Plan, janvier, 112 p.
www.plan.gouv.fr/intranet/upload/publications/documents/Lebegue-rapportDF.pdf

Lepetit J.-F. (2010), *Rapport sur le risque systémique*, ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi, Paris, La Documentation française, avril.

Mehra R. et Prescott E. C. (2003), « The equity premium puzzle in retrospect », in Constantinides G. M., Harris M. et Stulz R., *Handbook of the Economics of Finance*, Amsterdam, Elsevier, p. 889-938.

Metropolis N. (1987), « The beginning of the Monte-Carlo method », *Los Alamos Science* (special issue dedicated to Stanislaw Ulam), p. 125-130.

Metropolis N. et Ulam S. (1949), « The Monte-Carlo method », *Journal of the American Statistical Association*, 44(247), p. 335-341.

Meyer D. J. et Meyer J. (2005), « Relative risk aversion: What do we know? », *Journal of Risk and Uncertainty*, 31(3), décembre, p. 243-262.

- Moatti J.-P. (2004), *Éléments de réflexion dans le secteur de la santé*, document interne Plan, INSERM, décembre.
- OCDE (2007), *Analyse coûts-bénéfices et environnement – Développements récents* juin, 352 p.
- Pérol A. (2004), « The capital asset pricing model », *Journal of Economic Perspectives*, 18(3), p. 3-24.
- Savage L. J. (1954), *The Foundations of Statistics*, Wiley, New York.
- Savvides S. C. (1994), « Risk analysis in investment appraisal », *Project Appraisal Journal*, 9(1), p. 3-18.
- Schumpeter J. A. (1954), *Histoire de l'analyse économique*, Paris, Gallimard.
- Shiller R. (2003), *The New Financial Order: Risk in the 21st Century*, Princeton University Press.
- Stern N. (2006), *Stern Review: The Economics of Climate Change*, Londres, HM Treasury, 30 octobre, 603 p.
- Trigeorgis L. (1996), *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resources Allocation*, The MIT Press.
- Vernimmen P. et al. (2005), *Corporate Finance: Theory & Practice*, Wiley-Blackwell.
- Von Neumann J. et Morgenstern O. (1947), *Theory of Games and Economic Behaviour*, Princeton University Press.
- Weitzman M. L. (2009), « On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change », *Review of Economics and Statistics*, 91(1), février, p. 1-19.



Le rapport
*Le calcul du risque dans
les investissements publics*
est une publication
du Centre d'analyse stratégique

Directeur de la publication :
Vincent Chriqui, directeur général

Directeur de la rédaction :
Pierre-François Mourier,
directeur général adjoint

Secrétariat de rédaction :
Olivier de Broca

Création : Christine Mahoudiaux

Crédits photos :

Couverture : Fotolia

Page 3 : Thierry Marro

[Centre d'analyse stratégique]

Réalisation : AWS

Impression :

Imprimé en France

Df : 5RD27590

ISBN : 978-2-11-008737-9

© Direction de l'information légale
et administrative – Paris, 2011

Diffusion :

Direction de l'information légale
et administrative

La documentation Française

Dépôt légal : juillet 2011

Contact presse :

Jean-Michel Roullé, responsable

de la Communication

01 42 75 61 37 / 06 46 55 38 38

jean-michel.roulle@strategie.gouv.fr

www.strategie.gouv.fr

« En application de la loi du 11 mars 1957 (art. 41) et du code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992, complétés par la loi du 3 janvier 1995, toute reproduction partielle ou totale à usage collectif de la présente publication est strictement interdite sans autorisation expresse de l'éditeur. Il est rappelé à cet égard que l'usage abusif et collectif de la photocopie met en danger l'équilibre économique des circuits du livre. »