

PARTIE II

Chapitre 9

Incertitudes

Dans l'ACA, les méthodes permettant de gérer les incertitudes – et plus particulièrement les risques probabilistes – sont généralement centrées sur la théorie de l'utilité espérée. Celle-ci constitue une base théorique solide pour s'éloigner de la simple utilisation de l'espérance dans un cadre déterministe en faveur d'une estimation des corrections en termes de bien-être à utiliser dans l'ACA. Or, l'estimation des valeurs en équivalent-certain qui en résulte suppose de faire des hypothèses sur la nature de la fonction d'utilité de la société et de réaliser des estimations complexes des distributions de probabilité des variables risquées associées à un projet donné. Même dans ce cas, les spécialistes sont de plus en plus disposés à recourir à de telles hypothèses, au vu d'éléments nouveaux qui montrent que des méthodes plus simples s'accompagnent d'erreurs. Cela dit, des solutions ad hoc comme l'analyse de sensibilité et les simulations de Monte Carlo ont leur place, et ce chapitre montre comment utiliser la méthode de Monte Carlo et en interpréter les résultats dans le cadre de l'évaluation d'un projet de centrale nucléaire. Privilégier l'économie mathématique ne doit pas pour autant conduire à ignorer le fait que l'ACA peut s'appuyer sur nombre d'autres principes afin de prendre une décision en situation d'incertitude, comme la devise « la sécurité d'abord » ou le principe de précaution.

Note de la Turquie :

Les informations figurant dans ce document qui font référence à « Chypre » concernent la partie méridionale de l'île. Il n'y a pas d'autorité unique représentant à la fois les Chypriotes turcs et grecs sur l'île. La Turquie reconnaît la République turque de Chypre Nord (RTCN). Jusqu'à ce qu'une solution durable et équitable soit trouvée dans le cadre des Nations Unies, la Turquie maintiendra sa position sur la « question chypriote ».

Note de tous les États de l'Union européenne membres de l'OCDE et de l'Union européenne :

La République de Chypre est reconnue par tous les membres des Nations Unies sauf la Turquie. Les informations figurant dans ce document concernent la zone sous le contrôle effectif du gouvernement de la République de Chypre.

9.1. Introduction

Jusqu'ici, il a été implicitement supposé que les coûts et les avantages des projets étaient connus avec certitude. En réalité, les estimations des coûts et des avantages sont souvent très incertaines et sujettes à des variations aléatoires au cours du temps. L'incertitude peut avoir plusieurs origines. Les problèmes techniques constituent une source importante d'incertitude. Par exemple, les conditions géologiques précises dans lesquelles seront mis en œuvre de grands projets d'infrastructures, comme des installations hydroélectriques ou des centrales nucléaires, ne sont pas connues avec certitude à l'avance. Outre une grande variété d'aspects techniques spécifiques au projet, les prix des biens et des services sont aussi susceptibles de varier dans le temps, si bien qu'ils sont également incertains.

Du point de vue de l'ACA, l'incertitude n'est pas sans conséquence. En effet, l'incidence sur le bien-être de deux projets présentant des courbes de coûts et d'avantages *espérés* (c'est-à-dire de coûts et avantages moyens) identiques sera très différente si les coûts et les avantages d'un projet sont incertains, mais pas ceux de l'autre. De façon générale, le comportement des individus suggère une aversion pour les situations dans lesquelles existe une incertitude. En témoignent la forte demande d'assurance en tout lieu ainsi que des études, expérimentales notamment, toujours plus nombreuses (Holt et Laury, 2002 ; Andreoni et Sprenger, 2012 ; Harrison et al., 2002 ; Groom et Maddison, 2017, par exemple). Il y a donc de bonnes raisons de tenir compte de l'aversion de la société pour l'incertitude dans l'évaluation des projets publics, ce qui toutes choses égales par ailleurs, conduirait à choisir des projets présentant de faibles niveaux d'incertitude. En d'autres termes, les projets dont les résultats sont plus prévisibles et plus certains seraient privilégiés du point de vue du bien-être social.

Au-delà des incertitudes sur les coûts et les avantages, il existe aussi des incertitudes sur l'économie en général, ce que l'on appelle l'incertitude systématique sur le taux de croissance. Comme l'explique plus en détail le chapitre sur l'actualisation, les incertitudes liées à un projet et l'incertitude systématique ont aussi une incidence sur l'effet en termes de bien-être des projets publics lorsqu'il existe une corrélation entre ces risques. Si un projet dégage des avantages importants lorsque la conjoncture est favorable, ces mêmes avantages ont une valeur moindre en termes de bien-être que s'ils se matérialisaient en période de récession où ils joueraient en substance le rôle d'une police d'assurance. L'importance de la pénalité à appliquer à un projet dont les avantages sont corrélés positivement avec la croissance dépend du projet lui-même, des préférences de la société et des possibilités dont disposent les pouvoirs publics pour répartir les risques au sein de la société.

Les économistes ont tendance à envisager les décisions en situation certaine du point de vue de la théorie de l'utilité espérée. Cette dernière donne lieu à de belles expressions théoriques des variations du bien-être en situation d'incertitude. Cependant, certaines informations nécessaires pour rendre ces mesures opérationnelles sont difficiles ou coûteuses à obtenir et les méthodes sont sujettes à discussion. C'est la raison pour laquelle les spécialistes de l'ACA disposent d'un certain nombre d'autres méthodes, comme

l'analyse de sensibilité ou les simulations de Monte Carlo. Ces méthodes ne sont pas particulièrement fondées sur la théorie du bien-être que les économistes ont l'habitude d'utiliser, mais elles constituent un moyen pratique de réfléchir aux conséquences des incertitudes et à la sensibilité du calcul de la VAN à des hypothèses particulières dans le cadre de l'évaluation d'un projet.

Ce chapitre commence par présenter la théorie qui sous-tend l'analyse du bien-être pour les projets risqués et examine brièvement le théorème d'Arrow-Lind (Arrow et Lind, 1970). Il explique également l'utilisation de l'équivalent-certain, des primes de risque et du consentement à payer en vue de réduire ou d'éliminer des risques, comme le risque d'inondation. D'ailleurs à l'aide d'un exemple concernant ce risque, ce chapitre montre comment il convient d'utiliser les méthodes d'évaluation en situation de risque. Il expose ensuite des méthodes plus ciblées pour gérer l'incertitude : l'analyse de sensibilité et les simulations de Monte Carlo et illustre par un exemple portant sur la construction d'une centrale nucléaire la manière dont ces méthodes fonctionnent. Avant d'aller plus loin, une définition plus précise de l'incertitude s'impose.

9.2. Risque et incertitude : quelques définitions

Si les coûts et les avantages sont incertains, cela signifie qu'*ex ante*, avant la mise en œuvre du projet, ils peuvent prendre des valeurs différentes. Avant de lancer une pièce de monnaie, par exemple, on sait que le résultat est soit pile soit face. Avant de creuser les fondations d'une centrale nucléaire, on sait que les caractéristiques géologiques du terrain peuvent être très favorables, ou bien peu favorables. Ici, il convient de tenir compte d'une distinction fondamentale entre risque et incertitude. Dans le cas d'un tirage à pile ou face, on est à peu près sûr que la probabilité d'obtenir pile est proche de 0.5 tout comme celle d'obtenir face. Lorsqu'il est possible d'affecter des probabilités aux événements, et aussi, de connaître l'univers des possibles, on parle généralement d'une situation *risquée*. Quand ces informations ne sont pas disponibles, comme ce peut être le cas lorsque l'on s'interroge sur des caractéristiques géologiques ou lorsqu'il s'agit de définir la probabilité d'une défaillance technique, on parle d'une situation d'*incertitude*. D'un point de vue analytique, il est évidemment plus facile de faire face à une situation risquée qu'à une situation d'incertitude, car on peut calculer des statistiques sommaires à partir de la répartition des possibilités : espérance, variance, etc.

Le reste de ce chapitre porte davantage sur le risque que sur l'incertitude. On suppose que l'on peut associer aux résultats possibles une certaine distribution de probabilités, à l'instar de la probabilité de 0.5 d'obtenir pile, qui est la même que d'obtenir face. Tous les résultats possibles sont connus, et il n'y a pas d'inconnues qui soient réellement inconnues. Les exemples numériques s'appuient sur ces hypothèses pour analyser le bien-être. Dans la suite du chapitre, les termes incertitude et risque seront utilisés indifféremment.

9.3. Le bien-être en situation d'incertitude

Dans un univers déterministe, l'ACA évaluerait la désirabilité sociale d'un projet à l'aide de la fonction de bien-être social utilitariste classique, comme cela a été évoqué au chapitre 2.

$$W_0 = \int_0^{\infty} U(c_t) \exp(-\delta t) dt \quad [9.1]$$

L'évaluation d'un projet consiste alors à tester dans quelle mesure ce projet et ses conséquences sur le niveau courant de consommation au cours du temps c_t font augmenter

cet indicateur de bien-être intertemporel. Quand la consommation est incertaine et quand les avantages nets du projet sont incertains, la société doit décider de quelle façon la mesure du bien-être doit tenir compte de l'incertitude.

En économie, l'approche classique consiste à utiliser une fonction d'utilité espérée :

$$V_0 = \int_0^{\infty} E[U(\tilde{c}_t)] \exp(-\delta t) dt \quad [9.2]$$

où la consommation est alors une variable aléatoire \tilde{c}_t , et où, au temps t , la valeur courante (non actualisée) de l'utilité espérée est :

$$E[U(\tilde{c}_t)] = \int_{c_{\min}}^{c_{\max}} U(c_t) f(c_t) dc_t$$

où $f(c_t)$ est la fonction de densité de probabilité de la consommation et où c_{\max} et c_{\min} sont les valeurs maximale et minimale de \tilde{c}_t . Dans le cas discret, par exemple, en supposant deux niveaux de consommation possibles c_{t1} et c_{t2} avec des probabilités respectives p_1 et p_2 , on a $f(c_{t1}) = p_1$ et $f(c_{t2}) = p_2$, la consommation espérée au temps t est alors :

$$E(\tilde{c}_t) = p_1 c_{t1} + p_2 c_{t2}$$

tandis que l'utilité espérée au temps t est :

$$E[U(\tilde{c}_t)] = p_1 U(c_{t1}) + p_2 U(c_{t2})$$

Étant donné que les valeurs possibles de \tilde{c}_t et que les probabilités qui leurs sont associées sont définies, on se trouve, à proprement parler, dans un contexte de risque, plutôt que d'incertitude d'après les définitions données au début de ce chapitre.

Le fait que le bien-être soit évalué différemment en situation d'incertitude, c'est-à-dire sur la base de l'utilité espérée signifie que l'espérance de la consommation utilisée dans le cadre déterministe de [9.1] ne convient plus pour mesurer la variation du bien-être. Soit la consommation espérée $\bar{c} = E[\tilde{c}_t]$, il résulte du constat précédent que si $U(\cdot)$ est non linéaire, alors :

$$U(\bar{c}_t) \neq EU(\tilde{c}_t).$$

L'utilisation d'une fonction de bien-être social et d'une espérance (membre de gauche de l'équation ci-dessus) issues d'un cadre déterministe aboutit à une mauvaise mesure du bien-être social par rapport au cadre de l'utilité espérée (membre de droite). En effet, si la fonction d'utilité reflète les préférences d'un agent présentant une aversion au risque, alors :

$$U(\bar{c}_t) > EU(\tilde{c}_t) \quad [9.3]$$

Il en sera ainsi lorsque la fonction d'utilité est concave en c_t . Donc en utilisant l'espérance d'une consommation incertaine, on surestime la valeur d'un niveau risqué de consommation quand les agents présentent une aversion au risque. La raison à cela est évidente : en utilisant l'espérance comme si elle était certaine, on ne tient pas compte du risque qui est associé à la consommation. Si les agents sont prudents, on s'attend à une mesure du bien-être qui représente un risque moins élevé. Comme le montre la section suivante, la méthode consistant à utiliser l'espérance des avantages nets d'un projet, facilité à laquelle certains recourent souvent pour évaluer des projets risqués, se révèle également inadéquate pour évaluer l'apport d'un projet risqué en termes de bien-être. C'est ce que font clairement apparaître les mesures habituelles de la valeur en termes de bien-être associée à des projets incertains, lesquelles mesures permettent a) d'estimer les corrections destinées à intégrer les effets du risque, ou b) de mettre en évidence la valeur en termes de bien-être d'une diminution ou d'une suppression pure et simple des risques.

9.4. Équivalent-certain et primes de risque : définitions

Une manière possible d'utiliser le cadre déterministe de [9.1] pour évaluer le bien-être et prendre en compte l'aversion au risque consiste à calculer la valeur en équivalent-certain de la variable incertaine. D'après [9.3], il est évident qu'un agent prudent qui maximise l'utilité espérée sera disposé à accepter une valeur de consommation certaine inférieure à l'espérance \bar{c} . La valeur certaine de la consommation qui égalise les deux membres de l'équation [9.3] est ce que l'on appelle l'équivalent-certain, c_E . Elle est définie comme suit :

$$U(c_E) = EU(\tilde{c}_t). \quad [9.4]$$

Pour un agent prudent, la consommation en équivalent-certain est inférieure à la consommation espérée : $c_E < \bar{c}$. Ceci nous amène à un autre concept utile pour l'ACA, la *prime de risque* PR. PR mesure la différence entre la consommation espérée et la consommation en équivalent-certain et elle est définie comme suit :

$$U(\bar{c} - PR) = EU(\tilde{c}_t) \Leftrightarrow \bar{c} - c_E = PR. \quad [9.5]$$

Pour les risques limités, on peut en déduire une expression simplifiée de la prime de risque. L'annexe 9.A1 montre que l'on peut obtenir une approximation de la prime de risque de la façon suivante :

$$PR(\eta) \approx \frac{1}{2} \eta \sigma_c^2 \quad [9.6]$$

où $\eta = -\frac{U''(c)}{U'(c)}c$ est l'élasticité de l'utilité marginale, aussi appelée le coefficient d'aversion

relative pour le risque, qui mesure la courbure de la fonction d'utilité, et σ_c^2 est la variance de la consommation. La prime de risque mesure le consentement à payer pour recevoir l'espérance de c de façon certaine plutôt que d'être confronté à un risque.

Il existe un certain nombre de façons d'estimer les primes de risque. Il est possible d'estimer séparément chaque élément de [9.6]. Cette méthode pragmatique suppose de faire une hypothèse concernant la forme spécifique de la fonction d'utilité et de connaître les paramètres de la variance (pour un exemple de cette approche pragmatique, voir Kind et al., 2016). La prime de risque peut aussi être estimée grâce à une expérimentation conçue de façon adéquate comme le consentement à payer pour obtenir l'espérance du gain à la loterie plutôt que le gain lui-même. Une mesure connexe de l'aversion au risque est le consentement à payer pour réduire le risque, que l'on peut estimer en utilisant les préférences révélées ou déclarées lorsque l'on peut observer les bénéfices et les variations du risque.

Ainsi, en principe, l'une des façons de tenir compte de l'incertitude dans l'ACA consiste à utiliser les valeurs en équivalent-certain dans un univers déterministe standard. Ces valeurs peuvent être estimées de plusieurs façons.

Jusqu'ici, l'analyse a été menée en termes de consommation globale. La section suivante introduit dans l'analyse les avantages nets du projet, avec et sans risques liés au projet. Les concepts d'équivalent-certain et de prime de risque servent à montrer comment intégrer les risques spécifiques à un projet dans l'évaluation de celui-ci.

9.5. Équivalent-certain : application dans l'ACA

L'un des moyens d'intégrer le coût en termes de bien-être des incertitudes associées aux avantages nets d'un projet consiste à calculer leur équivalent-certain. Quand les avantages nets sont comparés au niveau de revenu de référence, l'équivalent-certain reflète deux

aspects de l'incertitude : i) l'incertitude sur les avantages nets eux-mêmes (correspondant, par exemple, à l'incertitude quant à la quantité de biens ou de services qui sera fournie) et ii) l'incertitude sur le niveau de revenu ou de consommation de référence au moment où les avantages nets se matérialisent. Une fois calculées, les valeurs en équivalent-certain peuvent être considérées « comme si » elles étaient certaines. Elles peuvent alors être actualisées normalement pour calculer la valeur actuelle nette à l'aide d'un taux d'actualisation sans risque. L'équivalent-certain est maintenant défini et un exemple d'évaluation de projet est présenté ci-après.

Supposons qu'un projet procure un avantage net incertain AN exprimé en termes monétaires. Supposons aussi que le niveau de revenu de référence Y soit lui aussi incertain. Cela signifie que l'on ignore quelle sera la richesse de la société quand les avantages nets se matérialiseront. On obtient la valeur courante du supplément de bien-être apporté par le projet à un moment donné par son utilité espérée :

$$E[U(Y + NB)]$$

et l'utilité espérée en l'absence du projet évalué est :

$$E[U(Y)]$$

La variation de bien-être ΔW associée à ce projet est la différence entre ces deux utilités :

$$\Delta W = E[U(Y + NB)] - E[U(Y)] \quad [9.7]$$

L'annexe montre qu'en utilisant les approximations d'une série de Taylor, la variation du bien-être pour une petite valeur de AN, mesurée en unités de consommation/revenu, est donnée par¹ :

$$\Delta W^* = \mu_{AN} - \frac{1}{2\bar{Y}} \eta \sigma_{AN}^2 - \frac{1}{\bar{Y}} \eta \sigma_{Y,AN} \quad [9.8]$$

avec $\eta = -\frac{U''(\bar{Y})}{U'(\bar{Y})} \bar{Y}$, et $\bar{Y} = E[\bar{Y}]$. Dans le cas d'un projet public, Y peut être considéré comme le revenu national (ou parfois comme le portefeuille de projets publics). L'équation [9.8] montre que la variation de bien-être en termes de consommation est au fond équivalente à la somme de trois termes : 1) l'espérance de la variation des avantages nets μ_{AN} , 2) une prime de risque associée à la pure variance de l'avantage net du projet σ_{AN}^2 et 3) une prime de risque reflétant la covariance entre l'avantage net et le revenu national, Y. $\sigma_{Y,AN}$. Comme expliqué plus haut, dans le contexte de l'évaluation de projets publics, les deux dernières composantes peuvent être considérées comme des sources de risques *spécifiques* ou *diversifiables* et *systématiques* ou *non diversifiables*. Concrètement, [9.8] est la valeur en équivalent-certain de l'avantage net incertain AN mesuré en unités de consommation. C'est la variation sûre de l'avantage net qui donnera la même variation du bien-être que l'AN incertain du projet. Si sa valeur est supérieure à zéro alors le projet est vaut la peine d'être mené².

En principe, l'équation [9.8] donne la possibilité de corriger l'espérance de l'avantage net pour tenir compte du fait que la société présente une aversion pour le risque et que le projet est risqué. Cependant, contrairement aux définitions qui précèdent, dans les équations [9.4]-[9.6], l'équivalent-certain comprend une prime de risque constituée de deux composantes. La première est :

$$PR_{AN} = \frac{1}{2\bar{Y}} \eta \sigma_{AN}^2 \quad [9.9]$$

qui mesure le consentement à payer pour éviter la seule variation des avantages nets. Pour un agent prudent, elle sera positive. La seconde composante de la prime de risque est :

$$PR_{Y,AN} = \frac{1}{Y} \eta \sigma_{Y,AN}. \quad [9.10]$$

Cette composante reflète la possibilité que les avantages nets soient corrélés avec le revenu national incertain de référence. Ce n'est pas sans conséquence, car si un projet est positivement corrélé avec le revenu national, c'est-à-dire s'il génère des gains élevés quand la société est riche et faibles (voire négatifs) quand la société est pauvre, alors il contribue clairement au risque global auquel la société est confrontée. Les projets qui accroissent le risque global devraient se voir appliquer une pénalité si la société présente une aversion au risque. Inversement, les avantages nets d'un projet peuvent être négativement corrélés avec le revenu. Dans ce cas, le projet dégage des avantages élevés quand le revenu est bas et des avantages faibles quand le revenu est élevé. Un tel projet réduit le risque auquel la société est confrontée. Il devrait donc se voir appliquer un bonus si la société présente une aversion au risque, puisqu'en substance, il joue le rôle d'une police d'assurance.

Ainsi $PR_{Y,AN}$ représente soit le coût des risques supplémentaires qu'engendre un projet dont les avantages nets sont positivement corrélés avec le revenu ($PR_{Y,AN} > 0$), soit le gain découlant de la réduction des risques associés à un projet dont les avantages nets sont négativement corrélés avec le revenu ($PR_{Y,AN} < 0$).

Ensemble, ces deux primes de risque montrent qu'utiliser l'espérance des avantages nets comme un moyen de gérer les incertitudes peut aboutir à fausser l'évaluation des projets, car cette méthode ne tient pas compte des préférences pour les différents types de réduction des risques. Les avantages nets attendus doivent être corrigés de manière à prendre en compte ces deux sources d'incertitude dans l'ACA. Il suffit d'estimer les paramètres appropriés pour ces deux primes de risque. Sur le plan pratique, plusieurs approches sont possibles selon les données disponibles. La prochaine section étudie la façon dont ces termes peuvent en principe être estimés. Quant à celle qui la suit, elle explique l'importance de ces éléments de risque pour la prise de décisions en matière de politiques publiques.

9.5.1. Avantages nets en équivalent-certain : estimation et mise en application

Pour d'estimer [9.8], on peut adopter une approche directe en estimant tout d'abord les risques associés à un avantage net particulier et ceux associés au revenu puis le paramètre de préférence η . Cela suppose en particulier d'estimer la variance des avantages nets, σ_{AN}^2 , la variance du revenu de référence, σ_Y^2 , et la covariance de AN et Y, notée $\sigma_{Y,AN}$. Il faut aussi estimer la distribution de probabilité jointe pour Y et AN, à partir de laquelle on pourra obtenir la distribution marginale de Y et AN pour estimer les paramètres de préférence. Jusqu'ici, l'étude a porté sur l'aversion au risque, c'est-à-dire sur les préférences associées à la variance des résultats. En principe, la société aura notamment pour préférences une aversion pour le risque à la baisse (aversion asymétrique) et une aversion pour l'aplatissement (voir par exemple Groom et al., 2008). Ce chapitre n'aborde que l'aversion pour le risque : l'aversion pour la dispersion.

En règle générale, et principalement pour faciliter l'analyse, il est supposé, dans l'application de la théorie et dans les applications empiriques, que la société manifeste des préférences isoélastiques : $U(Y) = (1 - \eta)^{-1} Y^{(1-\eta)}$, soit une fonction d'utilité caractérisée par une aversion relative constante au risque (CRRA d'après l'anglais *constant relative risk aversion*) dans laquelle le coefficient d'aversion relative au risque est donné par la constante :

$\eta = -\frac{U''(Y)}{U'(Y)} Y$. Il existe un certain nombre d'estimations empiriques de ce paramètre, obtenues dans différents contextes. Si dans des situations de décisions privées les individus se comportent comme si leur aversion au risque était élevée et pouvait atteindre $\eta > 10$, des études expérimentales tendent à montrer qu'en moyenne, les agents présentent une aversion au risque avec d'un coefficient $\eta \approx 1$ (par exemple Holt et Laury, 2002 ; Harrison et Rutstrom, 2009). Groom et Maddison (2017) analysent l'aversion globale pour le risque sur les marchés de l'assurance au Royaume-Uni. De telles études, de par leur portée générale, sont probablement plus pertinentes pour l'ACA que des études expérimentales au niveau individuel. D'après leurs estimations, $\eta \approx 1.5$. Une fois qu'un paramètre est estimé et que les caractéristiques des risques d'un projet sont connues, il est possible de calculer les valeurs en équivalent-certain des avantages nets pour l'ACA. Analysons quelques critiques de l'équivalent-certain avant de proposer un exemple numérique.

En pratique, il est possible de calculer la variation du bien-être entraînée par une intervention dans (8) comme suit. Plutôt que de s'intéresser à l'impact d'une intervention sur l'économie dans son ensemble, considérons le cas d'un agriculteur qui désire investir dans un dispositif de protection contre les inondations. Ce dispositif représente un gain net de 350 GBP en cas d'inondation, en raison des dommages évités, et un coût de 100 GBP en l'absence d'inondation. Le revenu de l'agriculteur est de 4 000 GBP en cas d'inondation et de 5 000 GBP en l'absence d'inondation. L'inondation se produit avec une probabilité de 0.2. Le tableau 9.1 présente le gain, l'espérance et la variance associés à chaque situation de cet exemple³.

Tableau 9.1. **Gain généré par le projet et revenu selon la situation**

	Inondation	Absence d'inondation	Espérance	Variance
Revenu	4 000	5 000	4 800	160 000
Gain généré par le projet	350	-100	-10	32 400
Revenu + Gain	4 350	4 900	4 790	48 400
			Covariance	-72 000

Source : Adapté de Dinwiddy et Teal (1996).

Les résultats de ce projet présentent une covariance négative avec les niveaux de revenu. Ce projet a donc les caractéristiques d'une assurance étant donné qu'il dégage un gain important dans les situations défavorables (faible revenu) et un gain faible dans les situations favorables (revenu élevé). Le revenu final en fonction de la situation présente une variance plus faible si l'agriculteur installe le dispositif que s'il ne le fait pas (48 400 contre 160 000). Les primes de risque dans l'équation [9.8] seront donc de signes opposés. C'est ce que montre le tableau 9.2 et l'effet d'assurance du projet peut l'emporter. La première prime de risque est négative comme prévu, mais la seconde est positive et élevée. La valeur du bien-être généré par ce projet peut être nettement supérieure à l'espérance du gain du projet, qui est négative (-10).

L'importance de la correction du risque augmente avec le niveau d'aversion au risque. Le tableau 9.2 montre que dans ce cas, lorsque l'aversion au risque (η) augmente, la prime de risque qui reflète les caractéristiques du projet en termes d'assurance, équation [9.10], l'emporte sur l'autre. Lorsque le paramètre d'aversion au risque η dépasse $\eta = 0.8$, l'effet sur le bien-être devient alors positif. Ce résultat illustre d'une part l'importance de prendre soigneusement en compte les risques associés à un projet et d'autre part la nécessité de bien comprendre le niveau d'aversion au risque lors de l'évaluation de projets en situation d'incertitude.

Tableau 9.2. **Variation du bien-être et primes de risque associées à l'installation d'un dispositif de protection contre les inondations**

	Variation du bien-être (GBP) Équation [9.8]	Prime de risque 1 (GBP) Équation [9.9]	Prime de risque 2 (GBP) Équation [9.10]	% de l'espérance du projet ($E[Z]$)	
				Prime de risque 1	Prime de risque 2
0.5	-4.2	-1.7	7.5	16.9 %	75.0 %
0.6	-3.0	-2.0	9.0	20.3 %	90.0 %
0.7	-1.9	-2.4	10.5	23.6 %	105.0 %
0.8	-0.7	-2.7	12.0	27.0 %	120.0 %
0.9	0.5	-3.0	13.5	30.4 %	135.0 %
1	1.6	-3.4	15.0	33.8 %	150.0 %
1.1	2.8	-3.7	16.5	37.1 %	165.0 %
1.2	4.0	-4.1	18.0	40.5 %	180.0 %
1.3	5.1	-4.4	19.5	43.9 %	195.0 %
1.4	6.3	-4.7	21.0	47.3 %	210.0 %
1.5	7.4	-5.1	22.5	50.6 %	225.0 %

Si en principe, ces effets sur le bien-être sont à prendre en compte lorsqu'il est question du bien-être d'un agriculteur donné comme c'est le cas ici, d'autres considérations s'imposent quand des projets publics sont étudiés au niveau agrégé. C'est alors que les concepts de partage et de mutualisation des risques deviennent importants. Dans certains cas, on peut affirmer que ces éléments de risque ne sont pas pertinents pour l'évaluation des politiques publiques. Indépendamment de cela, l'analyse qui précède montre clairement que lorsque les avantages des projets sont incertains, il convient au moins de calculer et d'utiliser l'espérance dans l'évaluation des projets. Le partage et la mutualisation des risques sont étudiés plus loin.

Avant d'analyser ces questions de façon plus approfondie, intéressons-nous à une dimension différente de l'évaluation d'un projet en situation de risque : la valeur de l'élimination du risque. La section suivante porte sur cette dimension dans le cas de l'élimination du risque d'inondation.

9.5.2. Consentement à payer total pour éliminer le risque d'inondation

L'exemple précédent portait sur l'évaluation d'un investissement dont le gain était risqué et corrélé avec le revenu de référence. La corrélation avec le revenu de référence était généralement négative et la variation du bien-être générée par le projet était supérieure à l'espérance du gain (qui était négative). Des méthodes similaires auraient pu être appliquées à l'évaluation d'un projet positivement corrélé avec le revenu de référence, projet qui donc accroît les risques pour l'économie.

Toutefois, de nombreux projets publics visent à éliminer entièrement le risque. Ils ont par conséquent des effets importants, et non marginaux, sur le bien-être espéré. Les dispositifs de protection contre les inondations en sont un bon exemple. Dans de tels cas, il peut être nécessaire de mesurer les avantages en termes de bien-être générés par l'élimination totale des risques, plutôt que de corriger la nature risquée des coûts et des avantages du projet comme expliqué plus haut.

Kind et al. (2016) définissent clairement la marche à suivre pour réaliser une ACA de l'élimination du risque d'inondation tout en tenant compte de l'aversion au risque à l'aide des instruments décrits précédemment. Cet exemple illustre la manière dont tous les concepts présentés jusqu'ici peuvent être utilisés. Il met également en lumière les erreurs

susceptibles de survenir lorsque l'on utilise l'espérance de variables incertaines au lieu d'évaluer explicitement les effets du risque sur le bien-être.

Supposons que la société soit confrontée à un risque d'inondation, dont la matérialisation entraînerait une perte de biens et de services. Le tableau 9.3 donne les informations précises associées à cet exemple. En l'absence d'inondation, les ménages ne supportent aucun dommage et leur niveau de consommation est de 100. En cas d'inondation, ils subissent des pertes de 90 et leur niveau de consommation n'est plus que de 10. L'inondation se produit avec une probabilité $p = 0.2$. La consommation espérée est de 82, si bien que les dommages espérés sont de 18 (= 100-82). On suppose que l'utilité est isoélastique avec $\eta = 1.2$.

Tableau 9.3. **Exemple dans le cas d'un risque d'inondation : matrice des gains, espérance et équivalent-certain**

	Gains	Probabilités	Dommages	Utilité
Inondation	10.0	0.2	90.0	0.84
Absence d'inondation	100.0	0.8	0.0	2.01
Mesures du bien-être	Gain espéré	82	Dommages espérés	18
				Utilité espérée
				Équivalent-certain
				Prime de risque

Le tableau 9.3 fournit assez d'informations pour évaluer le consentement à payer, et donc les avantages associés à l'élimination du risque d'inondation par la mise en place de dispositifs de protection. Il convient de remarquer tout d'abord que l'équivalent-certain est calculé comme suit⁴ :

$$U(Y_E) = EU(\tilde{Y})$$

$$\Rightarrow Y_E = U^{-1} \left[EU(\tilde{Y}) \right] = (1-\eta) \left[p(10)^{1-\eta} + (1-p)(100)^{1-\eta} + 4 \right]^{\frac{1}{1-\eta}}$$

$$= 57.5$$

La prime de risque est donc :

$$RP = \bar{Y} - Y_E$$

$$\Rightarrow 82 - 57.5 = 24.5$$

L'importante prime de risque positive indique un fort consentement à payer pour l'élimination du risque associé à l'inondation. Cependant, sachant que l'élimination totale du risque supprimerait aussi les dommages espérés, la valeur associée à l'élimination de ces derniers devrait également être ajoutée à la prime de risque pour obtenir le gain total en termes de bien-être. Le consentement à payer total (CAPT) pour éliminer le risque d'inondation est déterminé ainsi :

$$\begin{aligned} \text{CAPT} &= \text{Dommages espérés} + \text{Prime de risque} \\ &= 18 + 24.5 \\ &= 42.5 \end{aligned}$$

En substance, même si l'aversion au risque est plutôt faible ($\eta = 1.2$), si l'analyse ne porte que sur les avantages espérés du dispositif de protection contre les inondations, elle ne fait apparaître qu'une partie des avantages du projet en termes de bien-être. Kind et al. (2016) expliquent que ce qu'ils appellent le « multiplicateur de prime de risque » (MPR) constitue un bon indicateur synthétique de l'erreur résultant du fait de ne prendre en

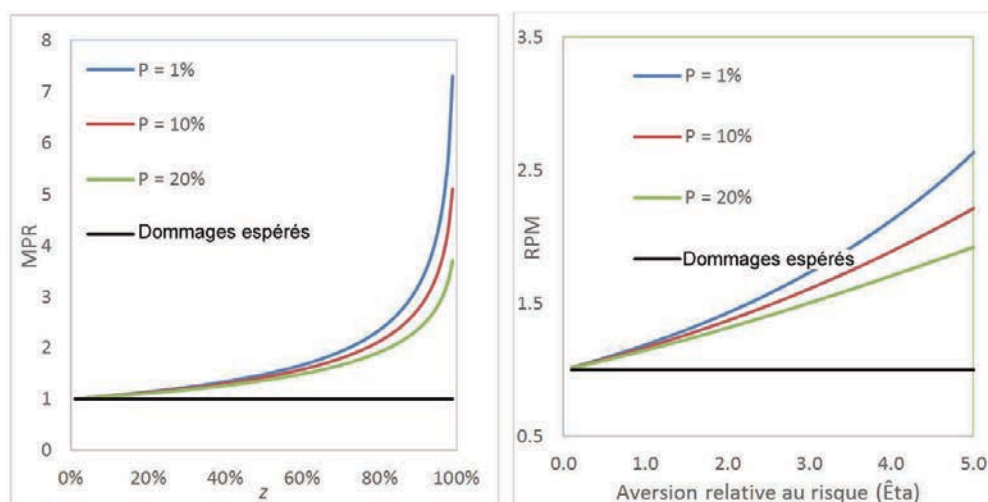
compte que les valeurs espérées. Dans cet exemple numérique, le rapport s'élève à 2.3 (= 42.5/18). Cet indicateur correspond à la grandeur par laquelle il faut multiplier les dommages espérés pour obtenir une mesure adéquate du bien-être dans le cas d'un projet d'élimination du risque. L'indicateur est défini comme suit quand l'utilité est isoélastique (pour la dérivation, voir annexe) :

$$MPR = \frac{1 - \left[1 + p \left\{ (1-z)^{1-\eta} - 1 \right\} \right]^{\frac{1}{1-\eta}}}{p \cdot z} \quad [9.11]$$

où p est la probabilité qu'une inondation se produise, et z , la proportion de la consommation perdue à cause de l'inondation : ici, $z = 90/100 = 0.9$. Le graphique 9.1 montre comment cette erreur varie avec l'aversion au risque et avec les risques auxquels la société est confrontée (la part du revenu perdue à cause de l'inondation). Le graphique 9.1 montre qu'en ignorant l'aversion pour le risque dans l'analyse du bien-être, on sous-estime les gains de bien-être découlant de la réduction du risque, surtout lorsque les risques (dommages potentiels) et l'aversion au risque sont élevés.

Graphique 9.1. Multiplicateur de prime de risque

Comme fonction de la proportion : du revenu perdu à cause de l'inondation (à gauche) ; de l'aversion relative au risque (à droite)



9.6. Risque dans le secteur public : le théorème d'Arrow-Lind

Revenons à l'équation [9.8] ci-dessus, reproduite ici pour plus de commodité :

$$\Delta W^* = \mu_{NB} - \frac{1}{2\bar{Y}} \eta \sigma_{NB}^2 - \frac{1}{\bar{Y}} \eta \sigma_{Y,NB}$$

Cette section étudie l'importance des deux primes de risque dans le cas de l'évaluation de politiques publiques (le deuxième et le troisième terme du membre de droite de [9.8]). La première prime de risque est liée à la variance du projet lui-même et la deuxième traduit la corrélation entre les risques liés au projet et, dans le cas d'une politique publique, le revenu national Y . Deux arguments sont généralement utilisés pour défendre l'idée que ces deux primes de risque ne sont pas pertinentes dans le cas de l'évaluation des projets publics.

Tout d'abord, comme laissé entendre plus haut, la première prime de risque représente les risques *spécifiques* ou diversifiables sur l'ensemble du portefeuille de projets dont

disposent les pouvoirs publics. Cela signifie que les effets de ces risques se compensent si l'on considère l'ensemble des nombreux projets mis en œuvre, si bien que globalement, ces risques sont négligeables. En second lieu, selon le théorème d'Arrow-Lind (Arrow et Lind, 1971), à partir du moment où le risque agrégé est partagé entre un grand nombre d'individus au sein de la société, les risques deviennent infimes au niveau agrégé.

Cette idée générale peut être appliquée à l'exemple du dispositif de protection contre les inondations présenté dans les tableaux 9.1 et 9.2⁵. Si les risques uniquement associés au projet étaient partagés entre deux parties, de telle sorte que les pertes s'élèveraient à 50 GBP lorsque la conjoncture est mauvaise et les gains, de 175 GBP lorsque la conjoncture est favorable, alors la variance de ce risque serait divisée par quatre. Le rythme de diminution du risque est égal au nombre de personnes qui supportent ce risque au carré et il baisse jusqu'à disparaître à toutes fins pratiques conformément à l'idée générale du théorème.

La deuxième prime de risque concerne la corrélation entre les avantages nets du projet et, dans le cas des politiques publiques, le revenu national ou l'économie en général. Il s'agit de risques qui ne sont pas considérés comme spécifiques, mais comme *systématiques*. Par le passé, il a été allégué que cet élément de risque était généralement faible, compte tenu de la petite taille d'un grand nombre de projets par rapport à l'ensemble de l'économie. C'est pourquoi il est souvent ignoré. Le Green Book du Trésor britannique, par exemple, adopte cette position en matière de risques systématiques. Cependant, un certain nombre de pays tiennent compte des risques systématiques.

Le théorème d'Arrow-Lind, sur lequel s'appuie l'idée selon laquelle le risque systématique est négligeable, exerce une influence considérable dans le domaine de l'ACA. Ce théorème a pourtant toujours été remis en question, en raison de certaines des hypothèses requises dans le cas du partage du risque dans le secteur public. Selon certains, il est irréaliste de supposer que les risques diversifiables de projets particuliers seront partagés de la manière indiquée par Arrow et Lind (1970). Par ailleurs, selon Baumstark et Gollier (2014), l'hypothèse selon laquelle les avantages des investissements privés et publics seraient indépendants les uns des autres est aussi irréaliste. En résumé, ces arguments signifient que les deux primes de risque figurant dans [9.8] devraient également être prises en compte dans l'ACA. Ignorer ces primes de risque entraînerait une mauvaise sélection des projets publics et ferait courir le risque que les pouvoirs publics retiennent un portefeuille de projets accroissant le risque macroéconomique, par exemple dans les transports et l'énergie.

9.7. Analyse de sensibilité

En cas d'incertitude sur la valeur de certains paramètres clés dans l'ACA, une analyse de sensibilité peut permettre de mieux comprendre quelle est la sensibilité de la VAN d'un projet donné, d'un coût ou d'un avantage particulier, aux variations d'un paramètre. Il s'agit d'une méthode quelque peu arbitraire et particulière qui n'a pas la signification en termes de bien-être mise en évidence dans les sections précédentes, mais elle permet aux spécialistes d'avoir une idée de l'importance de certaines hypothèses dans le calcul de la VAN de référence.

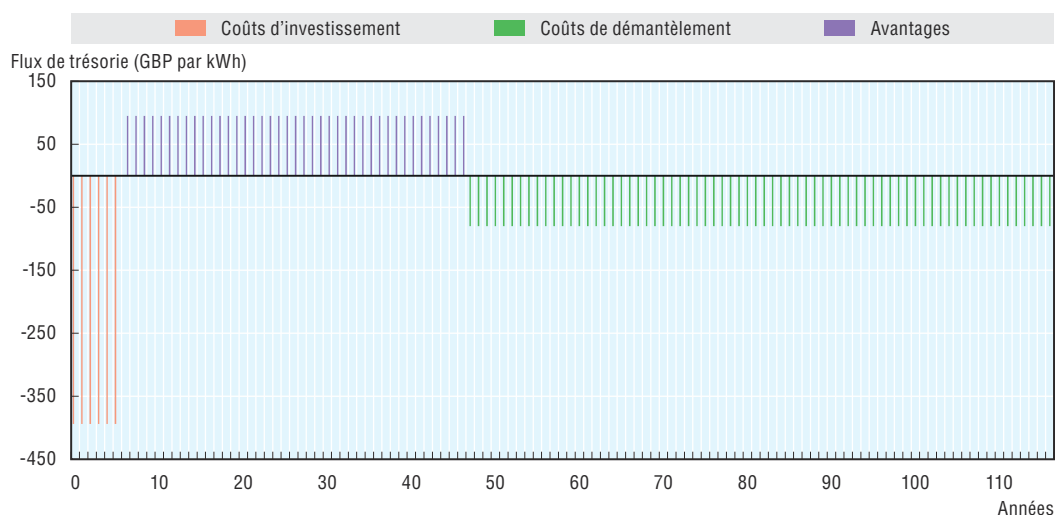
L'analyse suivante prend la production d'énergie nucléaire comme exemple de projet caractérisé par des incertitudes sur le flux des coûts et des avantages dans le temps, en particulier sur les *coûts de démantèlement*. Par ailleurs, en raison de la durée des horizons temporels associés à la production d'énergie nucléaire et au démantèlement des installations, de tels projets ont tendance à être sensibles au *taux d'actualisation* choisi.

Dans une analyse de sensibilité par rapport à ces deux paramètres, deux concepts se révèlent importants : la *valeur seuil* et le *ratio seuil*. Une valeur seuil correspond à la valeur d'un paramètre pour laquelle la VAN change de signe ; le ratio seuil indique la variation proportionnelle du paramètre qui est nécessaire, à partir de la valeur de référence, pour que la VAN change de signe. L'exemple suivant présente ce que l'on appelle une *analyse de sensibilité brute*, portant sur la sensibilité de la VAN.

9.7.1. Énergie nucléaire : sensibilité au taux d'actualisation et aux coûts de démantèlement

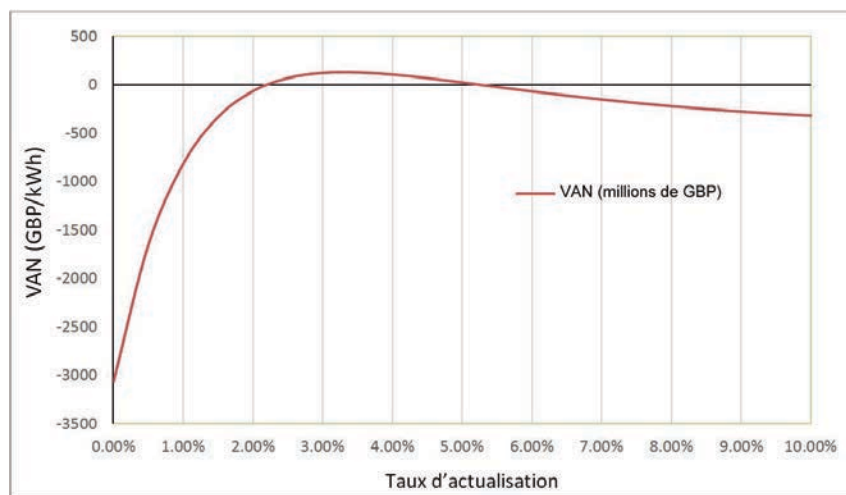
Le graphique 9.2 représente l'estimation des flux de trésorerie associés à une centrale nucléaire. Ces valeurs sont données uniquement à titre indicatif, car les estimations datent du début des années 2000. Elles proviennent du rapport sur l'énergie de l'Unité performance et innovation du Cabinet Office publié en 2002 (PIU, 2002)⁶. Le graphique met en évidence une longue période, d'environ 6 ans, marquée par des coûts d'investissement suivie d'une période de production de 40 ans durant laquelle les avantages nets sont positifs. Après celle-ci vient une longue période de démantèlement, également caractérisée par des coûts. Globalement, l'horizon temporel de cette ACA est d'environ 120 ans.

Graphique 9.2. Flux de trésorerie associés à une centrale nucléaire



Source : Pearce et al., 2003 ; PIU, 2002.

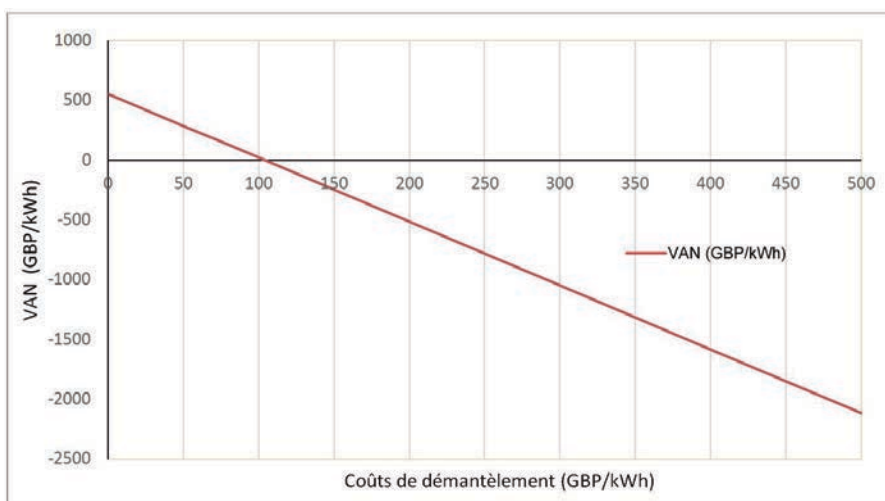
Le graphique 9.3 représente l'analyse de sensibilité associée à la centrale nucléaire. L'analyse de sensibilité indique que la VAN est très sensible au taux d'actualisation, mais selon une logique imprévue. Lorsque ce taux est égal à 0 %, la VAN est négative, ce qui signifie que la somme brute des flux de trésorerie est négative, principalement en raison de la durée du démantèlement et des coûts qu'il suppose dans le futur. Cependant, quand on applique un taux d'actualisation plus élevé, la VAN augmente, étant donné que la valeur actuelle de ces coûts est actualisée à des taux plus élevés encore. La valeur seuil est de 2.25 %, au-delà de celle-ci la VAN est positive. Cette relation positive entre le taux d'actualisation et la VAN découle du fait que les avantages nets du projet de centrale nucléaire changent de signe à deux reprises. Au-delà d'une certaine valeur, l'augmentation du taux d'actualisation a pour effet de réduire la VAN, comme cela se produirait dans un

Graphique 9.3. **Analyse de sensibilité : taux d'actualisation**

projet d'investissement standard sans coûts en fin de période. Lorsque le taux d'actualisation des avantages futurs atteint 5,25 %, la VAN change de signe une nouvelle fois. L'analyse de sensibilité révèle des aspects du projet dont l'analyste aurait pu ne pas avoir conscience. Tout d'abord, l'existence de deux valeurs seuils pour le taux d'actualisation, et ensuite, le fait qu'il n'existe qu'une fourchette étroite de taux d'actualisation pour lesquels la VAN > 0.

Il existe aussi deux ratios seuils. Le gouvernement britannique utilise un taux d'actualisation de référence de 3,5 %, par conséquent, le ratio seuil inférieur est 0,64 (2,25 %/3,5 %), et le ratio seuil supérieur est 1,5 (5,25 %/3,5 %). Ces ratios sont proches de 1 ce qui indique que le projet est très sensible au taux d'actualisation.

Une analyse similaire peut être faite pour les coûts de démantèlement, dont la valeur actuelle est une composante essentielle de la VAN. Le graphique 9.4 représente une analyse de sensibilité brute relative aux coûts de démantèlement présentant une relation monotone et une seule valeur seuil.

Graphique 9.4. **Analyse de sensibilité : coûts de démantèlement**

Il est possible réaliser des analyses de sensibilité plus compliquées et de calculer de meilleures mesures de la sensibilité. On pourrait, par exemple, soumettre le projet à un test de résistance consistant à tester la VAN au regard des scénarios optimiste et pessimiste pour telle ou telle variable, ou pour l'ensemble des variables.

L'analyse de sensibilité fournit des informations utiles sur la robustesse de la VAN par rapport à diverses hypothèses concernant des variables qui sont considérées comme incertaines (prix, coûts, horizons temporels pour la construction, etc.). Néanmoins, les variations des variables sont plutôt *ad hoc* et elles sont à la discrétion de l'analyste. Ainsi, l'analyse précédente ne permet pas d'avoir une idée de la probabilité que le taux d'actualisation soit compris entre 2.25 % et 5.25 % ni que les coûts de démantèlement soient inférieurs à 100 GBP par kWh. Il pourrait être souhaitable de déterminer la probabilité que ces variables prennent des valeurs particulières et ainsi avoir une idée de la probabilité que ces variables prennent des valeurs proches des valeurs seuils. C'est ce que permet la méthode de Monte Carlo⁷.

9.8. La méthode de Monte Carlo

L'analyse de Monte Carlo se sert d'estimations des distributions de probabilité des coûts et des avantages, ainsi que d'autres paramètres utilisés dans l'ACA, pour réaliser une analyse probabiliste de la VAN d'un projet particulier. Les distributions de probabilité des coûts ou du taux d'actualisation, par exemple, fournissent des informations sur la probabilité des différents scénarios envisageables, comme le fait que les coûts de démantèlement soient élevés, et ces informations permettent de déterminer une distribution de probabilité de la VAN. La méthode de Monte Carlo suit les étapes suivantes :

1. estimer les distributions de probabilité des paramètres d'intérêt. Lorsque des paramètres sont susceptibles d'être corrélés, on estime les distributions de probabilité jointe ;
2. tirer au sort un échantillon de valeurs des paramètres concernés de taille n ;
3. estimer la VAN n fois en utilisant les valeurs de paramètres tirées au sort ;
4. calculer la VAN moyenne sur les n estimations et enregistrer cette valeur ;
5. répéter m fois jusqu'à pouvoir établir la distribution de probabilité de la VAN moyenne en fonction des paramètres incertains avec une taille d'échantillon n et m répétitions ;
6. évaluer la probabilité que la VAN soit positive ou négative.

La difficulté de la méthode de Monte Carlo est parvenir à refléter de façon précise les fonctions de densité de probabilité associées aux paramètres concernés. On peut se référer aux données historiques, aux avis d'experts ou aux résultats expérimentaux quand on étudie des paramètres de préférence comme l'aversion au risque. La méthode est généralement appliquée en utilisant une représentation « déterministe » du bien-être plutôt que l'approche par l'utilité espérée. Cependant, ce n'est pas toujours le cas, et il est aussi possible de prendre en compte les paramètres de préférence, comme l'aversion au risque, dans l'analyse de Monte Carlo. C'est l'approche adoptée dans un certain nombre de modèles d'évaluation intégrés (Stern, 2007, par exemple).

Pour illustrer cette technique, nous continuons d'utiliser l'exemple de la centrale nucléaire présenté plus haut, pour nous intéresser aux deux variables auxquelles la VAN de ce projet est manifestement sensible : le taux d'actualisation et les coûts de démantèlement.

9.8.1. Énergie nucléaire : simulations de Monte Carlo pour les taux d'actualisation et les coûts de démantèlement

Dans le cadre de la méthode de Monte Carlo, la distribution de probabilité jointe pour le taux d'actualisation et les coûts de démantèlement est définie selon le tableau 9.4. Si les chiffres concernant les coûts de démantèlement sont centrés sur les valeurs présentées sur le graphique 9.2, les écarts types qui leur sont associés sont seulement indicatifs. On pourrait imaginer obtenir une distribution de ces coûts à partir des avis des experts. Ces avis diffèreraient selon la nature du projet et les attentes en matière d'évolution future des technologies. Le taux d'actualisation, en revanche, est proche de 3.5 %, taux utilisé par le Trésor britannique et la valeur de l'écart type repose sur divers avis d'experts dans le domaine du taux d'actualisation social que l'on trouve dans Drupp et al. (2017). Pour estimer ces paramètres, on pourrait tout aussi facilement utiliser des données historiques sur les taux d'intérêt si la politique était d'utiliser les taux d'intérêt pour déterminer le taux d'actualisation sociale comme aux États-Unis (Groom et Hepburn, 2017). Le code STATA pour la simulation de Monte Carlo figure à l'annexe 3. Les données sont disponibles sur demande.

Tableau 9.4. Valeurs des paramètres pour la simulation de Monte Carlo

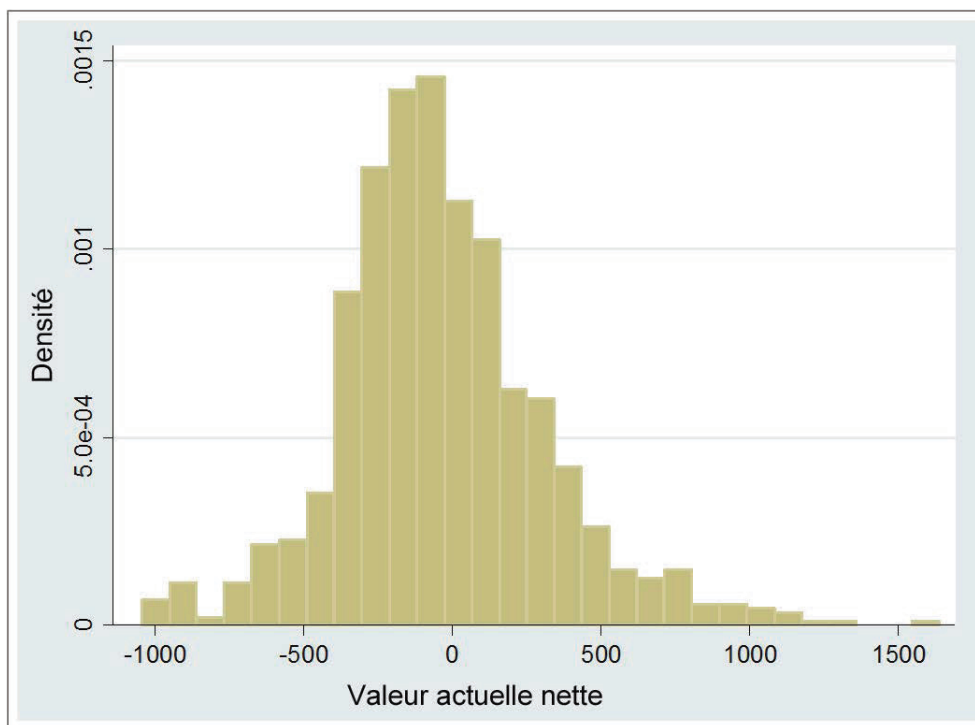
	Taux d'actualisation (%)	Coûts de démantèlement (GBP/kWh)
Moyenne	3.5	80
Écart type	2.5	50
Coefficient de corrélation		+0.7
Taille de l'échantillon		1 000
Nombre de répétitions		1 000

Enfin, deux simulations qui diffèrent en termes de corrélation entre les taux d'actualisation et les coûts de démantèlement sont présentées ici. Dans la première simulation, les variables sont supposées être corrélées positivement tandis que dans la seconde elles sont supposées être corrélées négativement. Là encore, on ne dispose pas de source d'information claire sur ce sujet, aussi les simulations illustrent-elles simplement les implications des corrélations positives ou négatives entre les deux paramètres aléatoires. Pour la taille de l'échantillon n et le nombre de répétitions, on a choisi la valeur 1 000. Les graphiques 9.5 et 9.6 représentent les simulations de distribution de la VAN moyenne.

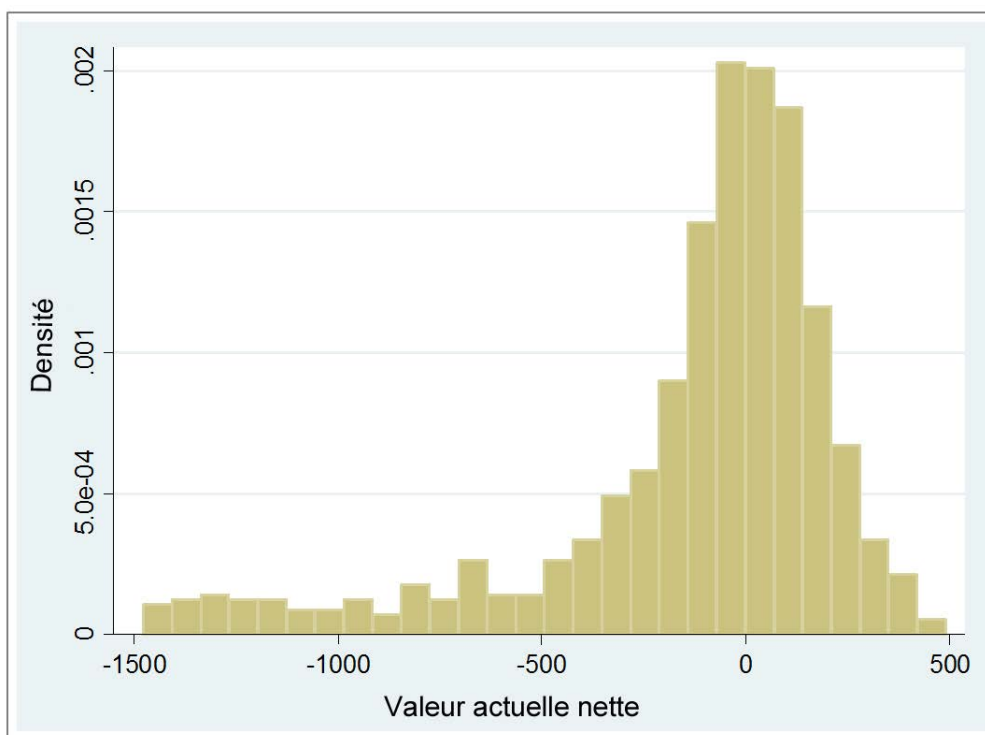
Le graphique 9.5 représente la distribution de la VAN dans la simulation 1, où par hypothèse le taux d'actualisation et les coûts de démantèlement sont corrélés négativement⁸. Ici, les valeurs de la VAN sont centrées au-dessous de zéro. La VAN moyenne est à peu près égale à 200 GBP, et la médiane, approximativement égale à 150 GBP. Ainsi, dans plus de 50 % des simulations, la VAN moyenne est négative. Cela indique une incertitude considérable autour d'une valeur moyenne nulle. Le projet ne semble pas pertinent.

Le graphique 9.6 montre les résultats de la simulation 2 où par hypothèse le taux d'actualisation et les coûts de démantèlement sont positivement corrélés. Avec une corrélation positive, une valeur élevée du taux d'actualisation est associée à une valeur élevée des coûts de démantèlement, et inversement. La queue de la distribution de la VAN a alors tendance à s'allonger, si bien qu'il existe une probabilité positive d'obtenir de très mauvais résultats, c'est-à-dire des VAN négatives importantes. La moyenne et la médiane ne prennent pas des valeurs très différentes de celles obtenues dans la simulation 1, mais cette distribution décalée présentant une queue de distribution étendue vers la gauche constitue un avertissement pour un gestionnaire prudent.

Graphique 9.5. **VAN avec corrélation négative entre taux d'actualisation et coûts de démantèlement ($r = -0.7$)**



Graphique 9.6. **VAN avec corrélation positive entre taux d'actualisation et coûts de démantèlement ($r = 0.7$)**



9.9. Le biais d'optimisme

Les travaux de Flyvbjerg (2009) mettent en évidence la constance avec laquelle les projets publics finissent par se révéler plus onéreux que prévu dans le descriptif initial du projet. Le Green Book du Trésor britannique (HMT 2003, ch.7, p.85) consacre à ce sujet une section entière de son chapitre sur l'incertitude. Le biais d'optimisme est souvent considéré comme la principale caractéristique de l'incertitude et comme la principale crainte des responsables politiques qui ont peur que les avantages soient plus faibles, ou les coûts plus élevés, que prévu. Le fait que ce phénomène se produise systématiquement dans l'évaluation des projets justifie que ce type d'incertitude soit qualifié de « biais ».

Dans l'évaluation d'un projet, le biais d'optimisme concerne principalement les coûts, mais il peut aussi porter sur les avantages. Lors de la phase de planification, le coût du capital est souvent mal défini et parfois il n'est pas pris en considération. Par ailleurs, la durée des travaux est souvent sous-estimée.

La crainte d'un biais d'optimisme a conduit à proposer toutes sortes de solutions pour s'en prémunir, certaines plus sommaires que d'autres (HMT, 2003, pp. 85-87) :

- collecte des données les plus fiables sur les avantages nets ;
- adoption de systèmes de gestion des performances ;
- nomination de gestionnaires de projets compétents ;
- division des gros projets en projets plus petits et plus faciles à gérer ;
- ajout d'une prime au taux d'actualisation pour refléter le biais d'optimisme.

Ces méthodes sont analysées dans HMT (2003). En règle générale, il n'est pas recommandé d'utiliser le taux d'actualisation pour tenir compte du biais d'optimisme, méthode qui revient à traiter tous les avantages nets des projets de la même manière et à ignorer le fait que le biais d'optimisme varie d'un projet à un autre.

9.10. Conclusions

Ce chapitre constituait une introduction aux méthodes de gestion des incertitudes dans l'ACA. L'accent a été mis sur la théorie de l'utilité espérée, qui constitue une base théorique solide pour s'éloigner de la simple utilisation de l'espérance dans un cadre déterministe en faveur d'une estimation des corrections en termes de bien-être à utiliser dans l'ACA. Les économistes recommandent habituellement de recourir aux avantages nets en équivalent-certain pour analyser des projets publics. Plusieurs exemples pratiques, montrant comment réaliser ce type de corrections en termes de bien-être, ont été expliqués. Déterminer des valeurs en équivalent-certain suppose de faire des hypothèses audacieuses concernant la nature de la fonction d'utilité de la société et de réaliser des estimations complexes des distributions de probabilité des variables risquées associées à un projet donné.

Plus classiques, bien que plus spécifiques, sont les méthodes visant à examiner comment la VAN d'un projet change sous l'effet de la variation de certains paramètres primordiaux. L'analyse de sensibilité donne une indication de ce que peut être la sensibilité de la VAN à certains paramètres. La méthode de Monte Carlo peut être utilisée pour évaluer la sensibilité de la VAN à plusieurs paramètres en se fondant sur la probabilité d'une combinaison particulière de paramètres. Bien qu'un peu moins particulières, les simulations de Monte Carlo sont difficiles à réaliser lorsqu'il s'agit d'estimer les distributions de probabilité de certains des paramètres dont dépend la VAN. Les exemples tirés d'un projet de

centrale nucléaire montrent comment il est possible d'utiliser cette méthode et d'en interpréter les résultats.

Naturellement, privilégier l'économie du bien-être mathématique et sur la théorie de l'utilité espérée ne doit pas pour autant conduire à ignorer le fait que de nombreux autres principes peuvent s'appliquer dans l'ACA pour prendre une décision en situation d'incertitude, comme la devise « la sécurité d'abord » et le principe de précaution. Même dans ce cas, l'analyse économique peut aider à préciser ce que ces principes signifient et les arbitrages qu'ils supposent. Concernant le principe de précaution, le chapitre suivant montre que ce principe peut être compris dans le cadre de la valeur d'option.

Notes

1. Il convient de noter que l'on a utilisé ici un développement limité de Taylor d'ordre 2. Il est possible de recourir à des développements d'ordre supérieur lorsque les préférences pour des moments de la distribution plus élevés sont jugées importantes. Groom et al. (2008) exposent le raisonnement théorique et proposent une application à l'agriculture.
2. Une autre façon d'exprimer ce critère est de remarquer que ΔW^* correspond à la définition de l'équivalent-certain de la variable AN :

$$E[U(Y + AN)] - E[U(Y)] = E[U(Y + \Delta W^*)] - E[U(Y)]$$

$$\Rightarrow$$

$$E[U(Y + AN)] = E[U(Y + \Delta W^*)]$$
3. Cet exemple approfondit celui présenté au chapitre 13 de Dinwiddy et Teal (1996).
4. L'utilité est rééchelonnée en ajoutant 4 unités d'utilité dans cet exemple numérique.
5. Cet exemple est tiré de Dinwiddy et Teal, 1996, p. 230.
6. En réalité, à des fins d'illustration, on a ajouté dans chaque cas 1 000 GBP par kWh à la VAN dans cet exemple numérique afin que la VAN soit positive dans une partie de l'analyse de sensibilité. Les données brutes de PIU (2002) ne permettaient pas d'obtenir une VAN positive.
7. Staehr (2006) fournit des précisions sur l'analyse de sensibilité.
8. La distribution des paramètres est présentée à l'annexe 9.A3.

Références

- Andreoni, J. et C. Sprenger (2012), « Estimating Time Preferences from Convex Budgets », *American Economic Review*, vol. 102, n° 7, pp. 3333-3356, <http://dx.doi.org/10.1257/aer.102.7.3333>.
- Dinwiddy, C. et F. Teal (1996), *Principles of Cost Benefit Analysis for Developing Countries*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Drupp, M. et al. (2017), « Discounting Disentangled: An Expert Survey on the Components of the Long Term Social Discount Rate », à paraître in *American Economic Journal: Economic Policy* ; version document de travail : Drupp, M. et al. (2015), Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment *Working Paper*, n° 172, www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/06/Working-Paper-172-Drupp-et-al.pdf.
- Stehr, K. (2006), « Risk and Uncertainty in Cost Benefit Analysis », *Toolbox paper*, Environmental Assessment Institute, Copenhagen, www.ttu.ee/public/k/karsten-staehr/2006_Staehr_-_Risk_and_uncertainty_in_cost_benefit_analysis.pdf.
- Flyvbjerg, B. (2009), « Survival of the unfittest: Why the worst infrastructure gets built – and what we can do about it », *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 25, n° 3, pp. 344-367, <http://dx.doi.org/10.1093/oxrep/grp024>.
- Groom, B. et D.J. Maddison (2017), « Four New Estimates of the Elasticity of Marginal Utility for the UK », à paraître in *Environmental and Resource Economics* ; version document de travail : Groom et Maddison (2013), « Non-identical Quadruplets: Four New Estimates of the Elasticity of Marginal

- Utility for the UK », *Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper*, n° 141, Centre for Climate Change Economics and Policy, www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/publication/non-identical-quadruplets-four-new-estimates-of-the-elasticity-of-marginal-utility-for-the-uk-working-paper-121/.
- Groom, B. et al. (2008), « The Story of the Moment: Risk Averse Cypriot Farmers respond to Drought Management », *Applied Economics*, vol. 40, pp. 315-326, <http://dx.doi.org/10.1080/00036840600592916>.
- Groom, B. et C. Hepburn (2017), « Looking back at social discount rates: The influence of papers, presentations and personalities on policy », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 11, n° 2, 1 juillet 2017, pp. 336-356, <https://doi.org/10.1093/reep/rex015>.
- Harrison, G.W. et al. (2005), « Eliciting Risk and Time Preferences Using Field Experiments: Some Methodological Issues », in Carpenter, J.P., G.W. Harrison et J.A. List (dir. pub.), *Field Experiments in Economics*, Elsevier, Amsterdam.
- Harrison, G.W. et al. (2002), « Estimating Individual Discount Rates in Denmark: A Field Experiment », *American Economic Review*, vol. 92, n° 5, pp. 1606-1617, <http://dx.doi.org/10.1257/000282802762024674>.
- HM Treasury (2003), *The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government*, HM Treasury, Londres, www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/220541/green_book_complete.pdf.
- Holt, C.A. et S.K. Laury (2002), « Risk Aversion and Incentive Effects », *American Economic Review*, vol. 92, n° 5, pp. 1644-1655, <http://dx.doi.org/10.1257/000282802762024700>.
- Kind, J. et al. (2016), « Accounting for risk aversion, income distribution and social welfare in cost-benefit analysis for flood risk management », *WIREs Climate Change* 2017, 8:e446, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.446/epdf>.
- Pearce, D. et al. (2003), « Valuing the Future: Recent Advances in Social Discounting », *World Economics*, vol. 4, n° 2, pp. 121-141, www.world-economics-journal.com/Pages/Download.aspx?AID=141.
- PIU (2002), *The Energy Review*, Cabinet Office, Performance and Innovation Unit, Londres, www.gci.org.uk/Documents/TheEnergyReview.pdf.
- Stern, N. (2007), *The Stern Review on the Economics of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, www.cambridge.org/catalogue/catalogue.asp?isbn=9780521700801.

ANNEXE 9.A1

Primes de risque

La variation du bien-être :

$$\Delta W = E[U(Y + AN)] - E[U(Y)]$$

peut être réécrite sous la forme d'une série de Taylor :

$$\Delta W = U'(E[Y])E[AN] + \frac{1}{2}U''(E[Y])\text{VAR}(AN) + U''(E[Y])\text{VAR}(Y, AN)$$

Il est possible de convertir la variation du bien-être en unités de consommation, dans lesquelles sont exprimées AN et Y, en divisant par l'utilité marginale $U'(Y)$ pour obtenir :

$$\Delta W^* = E[AN] + \frac{1}{2} \frac{U''(E[Y])}{U'(E[Y])} \text{VAR}(AN) + \frac{U''(E[Y])}{U'(E[Y])} \text{VAR}(Y, AN) \quad [9.A1.1]$$

ce qui est équivalent à l'équation [9.8] du texte. Pour plus de détails sur cette question, voir Dinwiddy et Teal (1996) (annexe au chapitre 14).

ANNEXE 9.A2

Le multiplicateur de prime de risque

Le multiplicateur de prime de risque (MPR) est obtenu à partir du ratio du consentement à payer total (CAPT) sur les dommages espérés (DE). CAPT correspond à la différence entre le revenu en l'absence d'inondation et l'équivalent-certain $CAPT = M - C_E$, si bien que le ratio par rapport aux dommages espérés est :

$$\frac{CAPT}{DE} = \frac{M - C_E}{pD} \quad [9.A2.1]$$

L'équivalent-certain, dans le cas de préférences isoélastiques, est :

$$C_E = \left[p(M - D)^{1-\eta} + (1-p)(M)^{1-\eta} \right]^{\frac{1}{1-\eta}}$$

En divisant par M on obtient :

$$\begin{aligned} \frac{C_E}{M} &= \left[p \left(\frac{M-D}{M} \right)^{1-\eta} + (1-p) \left(\frac{M}{M} \right)^{1-\eta} \right]^{\frac{1}{1-\eta}} \\ &= \left[1 + p \left((1-z)^{1-\eta} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{1-\eta}} \end{aligned}$$

avec $z = D/M$. Les dommages espérés par unité de revenu correspondent à $E[D] = pD$, et par unité du revenu total on obtient $E[D]/M = p.z$. Ayant divisé par M le numérateur et le dénominateur des membres de l'équation [9.A2.1], on peut réécrire MPR comme dans le texte :

$$MPR = \frac{CAPT}{DE} = \frac{\left[1 + p \left((1-z)^{1-\eta} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{1-\eta}}}{p.z} \quad [9.A2.2]$$

ANNEXE 9.A3

Simulation de Monte Carlo : code stata et distribution

```
*****
*Commencer la simulation avec 1 000 itérations et taille de l'échantillon = 1000*1
*****
forvalues j=1(1)1000 {
  *créer un échantillon aléatoire j de 1 000 pour le taux d'actualisation et les coûts de
  démantèlement*
  cap drop Discount *coefficient d'actualisation*
  cap drop Decomm *taux d'actualisation*
  *poser par hypothèse que la moyenne du coefficient d'actualisation est -3.5 et son
  écart-type, 2*
  *la moyenne des coûts de démantèlement est 4.5 et leur écart-type, 0,7*
  *poser par hypothèse une distribution normale jointe avec un coefficient de
  corrélation -0.7,*
  mkbilogn Discount Decomm, r(-.7) m1(-3.5) s1(2) m2(4.5) s2(.7)
  *générer le TAUX d'actualisation*
  cap drop DRate
  gen DRate=-ln(Discount)/100
  *simuler l'analyse coût-avantages à l'aide des paramètres du taux d'actualisation et
  des coûts de démantèlement*
  forvalues i =1(1)1000 {
    tempvar DR NB DC DC2 PV
    cap drop DC2
    gen DC2 =0
    local DC= -Decomm in `i'
    *des coûts de démantèlement s'appliquent automatiquement après 46 ans*
    replace DC2=`DC' if _n>46
    cap drop NB
    *utiliser des données sur les flux nets de trésorerie à partir de la série de
    données sur les coûts et les avantages : horizon temporel 1-118 ans*
  }
}

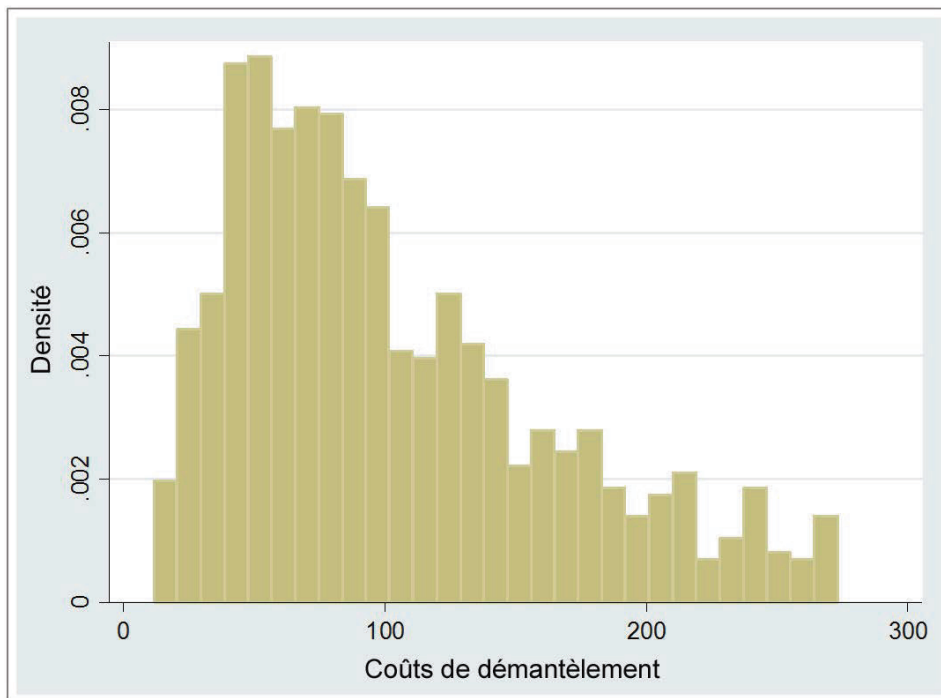
```

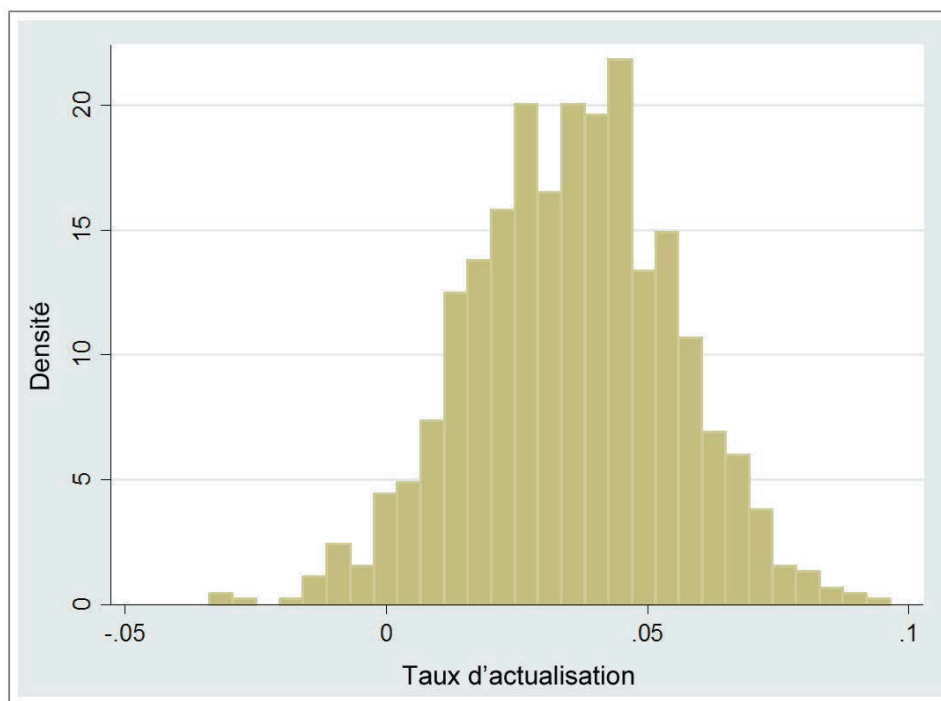
```

gen NB=netcash if _n<118
*remplacer les coûts de démantèlement par les données issues de l'échantillon aléatoire tiré plus haut*
replace NB=DC2 if _n>46&_n<118
*utiliser l'échantillon aléatoire des taux d'actualisation pour calculer la valeur actuelle*
local DR5 = DRate in `i'
replace DFactor=1/((1+`DR5')^yearnumber)
*Calculer la VA de l'AN pour chaque cas i pour chaque période*
cap drop PV1
gen PV1 = NB*DFactor if _n<118
sum PV1 if _n<118
*calculer la valeur actuelle nette dans sur l'horizon temporel et enregistrer*
replace NPVsim=r(sum)+1000 in `i'
*répéter 1 000 fois pour chaque échantillon j des paramètres*
}

*prendre la moyenne de i=1 000 VAN et enregistrer la VA*
sum NPVsim if NPVsim!=0, d
replace PVmean = r(mean) in `j'
*répéter l'opération 1 000 fois*
}

```

Graphique 9.A3.1. **Distribution des coûts de démantèlement**

Graphique 9.A3.2. **Distribution du taux d'actualisation****Note**

1. Les données sur les coûts et les avantages sont disponibles sur demande.



Extrait de :
Cost-Benefit Analysis and the Environment
Further Developments and Policy Use

Accéder à cette publication :
<https://doi.org/10.1787/9789264085169-en>

Merci de citer ce chapitre comme suit :

OCDE (2019), « Incertitudes », dans *Cost-Benefit Analysis and the Environment : Further Developments and Policy Use*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/cf1961d9-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à rights@oecd.org. Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) info@copyright.com ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) contact@cfcopies.com.