

La Finance Durable du Rapport Stern
Christian Gollier, Toulouse School of Economics

Résumé: Le rapport Stern introduit de très intéressants outils de la théorie de la finance dans l'évaluation des investissements environnementaux. A partir de cette méthode, Stern évalue l'effet du changement climatique sur le bien-être à une chute équivalente immédiate et permanente du PIB comprise entre 5 et 20%. Néanmoins, la prise en compte plus réaliste de l'attitude des ménages face au risque et au temps suggère qu'il est plus vraisemblable d'évaluer cette chute autour de 6%. Mais, pour être congruent avec la temporalité des dommages autant que pour réduire le poids du niveau du taux d'actualisation dans la mesure, il me semble plus logique de présenter ce résultat sous la forme d'une réduction permanente du taux de croissance du PIB de 0.1% par an.

Mots clés : Effet de serre, prime de risque, actualisation, développement durable.
Codes JEL : Q51, D81.

Sustainable Finance in the Stern Review
Christian Gollier, Toulouse School of Economics

Abstract: The Stern Review introduces very interesting tools from the theory of finance into the valuation of environmental investments. Stern measures the uncertain impact of climate change on intergenerational welfare as equivalent to an immediate and permanent drop in between 5% and 20% of aggregate consumption. However, a more realistic calibration of the households' attitude towards risk and time suggests that this valuation lies in the neighbourhood of the lower bound of this interval. Notice that this impact can equivalently be expressed as an immediate and permanent drop by 0.1% of the growth rate of aggregate consumption.

Keywords: Climate change, risk premium, discounting, sustainable development.
JEL Codes: Q51, D81.

Malgré les rapports successifs du GIEC, reconnaissons qu'en France, le débat public relatif aux politiques à mener pour lutter contre l'effet de serre est resté très longtemps dans le domaine de l'imprécation et de l'idéologie. Le rapport Stern constitue un tour de force dans le sens où il a placé la science économique au centre de l'analyse. Malgré un bon démarrage au milieu des années 90, les rapports successifs du GIEC se sont enfoncés dans leur refus d'une utilisation intelligente des outils classiques de l'évaluation économique, pour favoriser les analyses multicritères assez floues et le refus de la quantification probabilisée. Le génie du rapport Stern provient au contraire de la magie du chiffre, dans laquelle il est dit que, pour éliminer les conséquences de l'effet de serre, nous devrions être prêts à sacrifier une part de notre consommation mondiale, maintenant et pour toujours, qui pourrait être comprise entre 5% et 20%. Un tel message ne peut bien sûr laisser personne indifférent.

On peut critiquer les méthodes économiques qui conduisent à une telle conclusion. Je ne m'en priverai d'ailleurs pas dans ce document. Mais ce qui est certainement le plus appréciable dans ce rapport, ce sont ses qualités pédagogiques qui modifient les termes du débat, en particulier celui mené par les experts. Les opposants à une politique volontariste de lutte se

voient sommés d'exhiber les hypothèses du rapport qui ne leur conviennent pas et dont une modification pourrait réduire de beaucoup l'intensité catastrophiste de sa conclusion logique. Ce rapport a donc l'énorme avantage de structurer le débat en plus que de le nourrir. Ces critiques se sont essentiellement concentrées sur la prise en compte du temps et du risque dans l'analyse coût-bénéfice. Il reste que l'utilisation des méthodes d'évaluation les plus modernes par Stern, combinant théorie de la finance et science actuarielle, constitue une vraie percée dans le paysage du débat sur cette question.

Le rapport Stern a reçu un accueil qui pourrait être qualifié de triomphal en France, à contrepieds de l'attitude de la plupart des économistes américains. Les réunions publiques ainsi que les comités d'experts se sont multipliés à Paris pour en faire l'éloge, sans néanmoins qu'un réel débat de fond ne soit ouvert sur les hypothèses du rapport.¹ Pourtant, le rapport Stern est beaucoup plus pessimiste que les rapports scientifiques internationaux antérieurs sur la question, sur lesquels un certain consensus favorable existait en France. Par exemple, William Nordhaus a estimé un coût du changement climatique à « seulement » 3% du PIB mondial, et un groupe d'économistes autour de Dale Jorgenson a prédit un bénéfice net pour l'économie américaine de 1% du PIB pour certains scénarios.

Trois auteurs américains ont été particulièrement critiques envers l'analyse de Stern. Nordhaus (2007) considère que ce rapport doit être considéré comme un document plus politique que scientifique, puisqu'il n'a pas subi le barrage de l'évaluation scientifique, comme tout article publié dans une revue scientifique internationale. Il critique essentiellement le choix d'un « taux d'actualisation quasi nul », qui gouverne la conclusion. Mendelsohn (2007) considère que Nicholas Stern a un biais catastrophiste dans le choix de ses hypothèses en prenant systématiquement celles qui sont les moins favorables à la stratégie de l'inaction. Il en est ainsi autant dans le choix d'un taux d'actualisation trop faible, que des hypothèses démographiques où ce sont les populations les plus exposées aux effets dévastateurs du changement climatique qui feront le plus d'enfants. Il critique aussi la prise en compte d'une aversion au risque climatique qui tend à augmenter le bénéfice de la prévention. Il s'oppose à l'idée développée dans le rapport que les coûts d'abattement se réduiront rapidement à l'avenir. Finalement, Mendelsohn recommande d'optimiser plutôt que d'imposer le choix d'un objectif à 550 ppm de concentration, et conclut que « l'analyse nécessite d'être basée sur des bases scientifiques et économiques solides avant que de centaines de milliards de dollars ne soient investis dans la réduction des émissions ».

Weitzman (2007) considère que « Stern a probablement raison, mais pour de mauvaises raisons ». Lui aussi critique la justification du taux d'actualisation, mais en utilisant un argument beaucoup plus sophistiqué que Nordhaus et Mendelsohn. En effet, Weitzman critique l'hypothèse d'un taux réel de croissance de la consommation de 1.3% par an sur les 200 prochaines années, ce qu'il pense être une hypothèse moyenne pessimiste. En fait, pour Weitzman, ce taux de croissance est non seulement aléatoire, mais sa distribution de probabilité est inconnue. Comme je l'explique dans un autre article (Gollier (2007)), cela justifie un faible taux d'actualisation, comme dans le rapport Stern. Dans le jargon de Weitzman, cette incertitude alourdit les queues de la distribution de la consommation future. En résumé, Weitzman est d'accord avec Stern dans son choix d'un taux d'actualisation faible, mais pour des raisons différentes de celles de Stern.

¹ A l'exception des efforts sur ce sujet d'une part de la Chaire de « Développement Durable » de l'Ecole Polytechnique, et d'autre part de la Chaire « Finance Durable et Investissement Responsable » de l'IDEI et de l'Ecole Polytechnique.

Dans cet article, je présente ma propre évaluation scientifique de la *Stern Review*.

1. La méthode Stern : L'équivalent certain permanent de réduction de consommation

En ce qui concerne l'évaluation des impacts, ce rapport est basé sur un modèle couplé éco-climatique appelé PAGE2002 développé par Chris Hope. Ces impacts incluent la réduction de la productivité moyenne agricole par réduction de pluviosité (la hausse de la température ayant par contre un effet positif sur la photosynthèse), les pertes humaines et immobilières dues à l'augmentation des événements climatiques extrêmes, l'augmentation de la consommation d'énergie (air conditionné), le coût lié à l'augmentation induite des inégalités sociales sur la planète, et la perte d'actifs environnementaux (biodiversité, ressources halieutiques,...). Il faut bien faire attention à ce qui est dit dans ce rapport : l'effet de serre a un effet sur le bien-être intergénérationnel qui est *équivalent* à une chute immédiate et permanente de 10% du PIB mondial. Stern ne dit pas que nous devons nous attendre à subir ces dommages immédiatement. Il dit au contraire qu'il ne faut pas s'attendre à un impact important sur nos économies avant au moins 50 ans.

Stern mesure l'impact social du changement climatique par la perte immédiate et permanente de consommation par tête qui a un effet sur le bien-être intergénérationnel équivalent à celui généré par le changement climatique lui-même. Soit c_t la consommation par tête à la date t en l'absence de changement climatique. Soit x_t le dommage dû au changement climatique, exprimé en proportion de la consommation par tête. Soit δ le taux de préférence pure pour le présent, qui est fixé à 0.1% par an dans le rapport. Soit aussi T l'horizon temporel de l'analyse, qui est fixé à 193 ans dans le rapport, de manière à borner l'analyse à l'an 2200. On suppose que le bien-être des populations vivant en t , $0 < t < T$, peut se mesurer par l'espérance d'utilité de leur consommation finale, avec une fonction d'utilité u supposée croissante et concave. Le bien-être intergénérationnel peut donc se mesurer comme²

$$V = \sum_{t=1}^T e^{-\delta t} Eu((1-x_t)c_t). \quad (1)$$

Le symbole d'espérance provient du fait que c_t et x_t sont potentiellement aléatoires. On cherche la part π immédiate et permanente de la consommation par tête qui génère le même niveau de V :

$$\sum_{t=1}^T e^{-\delta t} Eu((1-\pi)c_t) = \sum_{t=1}^T e^{-\delta t} Eu((1-x_t)c_t). \quad (2)$$

Une interprétation de π est que c'est le coût immédiat et permanent que la Société serait prête à payer pour une technologie qui éliminerait avec certitude toutes les conséquences du changement climatique. D'après Stern, ce coût « équivalent certain et permanent » se situe autour de 10% du PIB.

Il est important de voir que la concavité de la fonction d'utilité exerce un double rôle dans l'évaluation économique du changement climatique dans Stern. D'une part, elle indique l'aversion au risque des ménages présents et futurs. Parce qu'elle implique une utilité marginale décroissante, l'existence d'une incertitude autour du dommage espéré réduit le

² Par simplicité, je suppose ici que la population est constante. Il est assez facile de voir que l'on peut prendre en compte une croissance de la population en modifiant la valeur de δ .

bien-être. D'autre part, elle indique une aversion aux différences de consommation entre générations. Dans une économie en croissance, elle réduit la valeur de bénéfices futurs par rapport la valeur de ces mêmes bénéfices obtenus immédiatement. En conséquence, elle augmente le taux d'actualisation.

Ces deux aspects ont donc des impacts contradictoires en ce qui concerne la valeur économique π des efforts de prévention du changement climatique. Une fonction plus concave augmente l'aversion au risque, la prime de risque et la perte équivalente certaine à chaque date. Elle a donc l'effet d'accroître le coût social π du changement climatique. En même temps, une fonction plus concave augmente notre aversion aux différences de consommation entre générations, et augmente donc le taux d'actualisation. Comme la plus grosse partie des dommages se produit dans des temps éloignés, cela réduit le coût social π du changement climatique.

Dans la suite, nous considérons la famille des fonctions d'utilité à aversion relative γ constante, c'est-à-dire :

$$u(c) = \begin{cases} \frac{c^{1-\gamma}}{1-\gamma} & \text{if } \gamma \neq 1; \\ \ln(c) & \text{if } \gamma = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Dans tous les cas, nous avons $u'(c) = c^{-\gamma}$, de telle manière que γ indique bien l'élasticité de l'utilité marginale. Stern fait l'hypothèse surprenante que $\gamma = 1$. La plupart des économistes de la décision en incertitude considèrent que cette fonction d'utilité génère une aversion au risque beaucoup trop faible par rapport à ce que l'on peut déduire des comportements effectifs des ménages, notamment dans leur choix de portefeuille ou d'assurance. Pour être plus concret sur ce point très important, posons-nous la question suivante : combien serions-nous prêts à payer pour éliminer le risque de gagner ou perdre 10% de notre richesse avec égales probabilités ? Un individu logarithmique répondra qu'il n'est prêt qu'à abandonner un demi-pour-cent de sa richesse pour éliminer un tel risque. Pour $\gamma = 4$, on obtient une réponse plus réaliste de 2% de la richesse. Pour $\gamma = 10$, on obtient 4.4%. Barsky et al. (1997) utilisent cette méthodologie à partir de données d'enquête américaine et obtiennent les résultats suivants : le degré d'aversion au risque médian est égal à 7. Cinq pourcents de la population ont une aversion relative au risque supérieure à 33, et 5 pourcents ont une aversion au risque inférieure à 1.3.

2. Effet de préférences face au risque et au temps plus réaliste

Dans cette section, je quantifie l'effet du choix de la fonction d'utilité sur les conclusions de Stern. Pour atteindre cet objectif, je calibre la croissance économique et les impacts de l'effet de serre au plus proche des hypothèses du rapport Stern.

Je suppose comme Stern que la croissance économique « hors changement climatique » est certaine et égale à 1.3% par an en valeur réelle :

$$c_t = c_0 e^{0.013 t} . \quad (4)$$

Dans la suite de cet article, nous allons considérer pour l'essentiel le scénario climatique « haut » du rapport Stern tel qu'il est décrit dans la Figure 6.5c de ce rapport et que je reproduis à la Figure 1 de cet article. Le « best estimate » de la perte de 13.8% en 2200. De plus, cette perte est très incertaine. En utilisant une méthode de Monte Carlo dans le choix des paramètres climatiques et d'impacts socio-économiques, les percentiles à 5% et 95% sont respectivement égaux à 2.9% et à 35.2% de perte de PIB mondial. Je ne dispose pas des données synthétisées dans ce graphique, mais il est évident au vu de la Figure 1 que la distribution de ces dommages est fortement asymétrique. Je modélise cela en supposant que la perte relative x_T est une variable lognormale tronquée à $\bar{x} = 60\%$:

$$f(x_T) = \begin{cases} ke^{-(\log x_T + 2.69)^2} & \text{if } 0 < x_T \leq 0.6; \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

Cette distribution est représentée à la Figure 2. Sous cette hypothèse, le dommage espéré est égal à 13.81%, tandis que les percentiles à 5% et à 95% sont respectivement égaux à 3.45% et 33.90%. Ainsi, cette calibration est très proche de la description faite dans le rapport sur l'impact du changement climatique en 2200.

Dans le Tableau 1, je décris l'impact du choix de la fonction d'utilité sur la perte p_T équivalent certain en 2200, qui se définit comme

$$(c_0 e^{g'T})^{1-\gamma} = ((1-p_T)c_T)^{1-\gamma} = E((1-x_T)c_T)^{1-\gamma}. \quad (6)$$

En d'autre terme, la perte incertaine x_T a un effet sur le bien-être en T qui est équivalente à une perte certaine p_T . Sans surprise, la perte équivalent certain est une fonction croissante de l'aversion au risque γ . Sous l'hypothèse de Stern ($\gamma=1$), la perte équivalente n'est supérieure à la perte espérée que d'un quart de pour-cent. Il est difficile d'accepter que cette prime de risque intègre objectivement le caractère incertain des impacts environnementaux en T . Cette prime de risque grimpe à 3.5% pour $\gamma=4$, et même jusqu'à 15.2% pour $\gamma=10$. Je définis aussi dans l'équation ci-dessus le taux de croissance équivalent certain g' qui conduirait au même niveau de bien-être en T en l'absence de changement climatique.

Aversion au risque γ	0	1	2	4	10
Perte équivalent certain p_T	13.81%	14.15%	15.23%	17.30%	29.13%
Croissance équivalent certain g'	1.22%	1.22%	1.21%	1.20%	1.12%

Tableau 1 : Effet de l'aversion au risque sur la perte équivalent certain en 2200 (exprimé en % du PIB), et sur le taux de croissance équivalent certain.

Par souci de simplicité autant que par nécessité étant donné l'absence de données à ma disposition sur l'intensité des pertes x_t pour $0 < t < T$, je fais maintenant l'hypothèse que

$$Eu((1-x_t)c_t) = u(c_0 e^{g't}). \quad (7)$$

En d'autres termes, je suppose que la perte équivalent certain évolue exponentiellement avec l'horizon temporel, comme le suggère la Figure 1. Dès lors, la différence entre $g=1.3\%$ et g' mesure la perte de bien-être due au changement climatique en terme de réduction permanente du taux de croissance du PIB. En neutralité face au risque, le changement climatique a un

effet sur le bien-être intergénérationnel qui n'excède pas un dixième de pour-cent du taux de croissance de la consommation. La prise en compte d'une aversion relative γ unitaire n'a pas d'effet perceptible sur ce taux de croissance équivalent certain. Même pour une aversion relative de 10, cet effet n'excède pas 2 dixièmes de pour-cent de taux de croissance annuel.

Plutôt que de communiquer sur la chute du taux de croissance d'un dixième de point par an, l'équipe de Stern utilise le concept différent de réduction équivalente de la consommation immédiate et permanente, qui est définie techniquement par π dans l'équation (2). Evidemment, il s'agit d'un exercice virtuel puisque, comme on le voit à la Figure 1, l'essentiel des dommages se produiront dans le 22^{ème} siècle. C'est d'autant plus vrai quand on raisonne en absolu plutôt qu'en relatif. Observons en effet qu'avec une croissance de 1.3% par an, le PIB par habitant sera 12 fois plus important en 2200 qu'aujourd'hui. Un dommage de 13.8% du PIB en 2200 équivaut donc à une perte de 166% du PIB actuel !

Le lien entre g' et π s'établit de la façon suivante :

$$(1-\pi)^{1-\gamma} \frac{e^{(-\delta+(1-\gamma)g)T} - 1}{-\delta+(1-\gamma)g} = \frac{e^{(-\delta+(1-\gamma)g')T} - 1}{-\delta+(1-\gamma)g'} \quad (8)$$

Dans le Tableau 2, je rapporte le résultat des calculs de π pour différentes valeurs de l'aversion au risque. On voit qu'exprimés de cette façon, ces chiffres sont beaucoup plus catastrophistes que ceux présentés au Tableau 1. Ils sont en partie dus à une illusion d'optique, la chute relative de consommation se rattachant à des niveaux absolus de consommation beaucoup plus faibles à court et moyen termes.

γ	0	1	2	4	10
π	9.19%	7.03%	4.89%	2.42%	1.55%

Tableau 2 : Effet de l'aversion au risque γ sur la réduction π immédiate et permanente de la consommation, en pour-cents de cette consommation.

Le Tableau 2 nous permet de faire une première évaluation des choix de calibration de Stern sur ses conclusions. Stern choisit une aversion relative g unitaire, ce qui conduit à une perte immédiate et permanente de la consommation égale à 7.03%. Néanmoins, on observe que pour un niveau d'aversion au risque plus raisonnable, comme $\gamma=4$, la réduction de la consommation π chute à un niveau beaucoup moins catastrophiste : $\pi=2.42\%$. Ceci signifie que l'effet actualisation domine l'effet prime de risque : une hausse du degré de concavité de u réduit beaucoup plus la valeur actualisée des dommages futurs qu'il n'augmente les dommages équivalents certains.

Le choix de Stern d'une valeur unitaire pour γ peut surprendre. En effet, Stern écrivait en 1977 que

« *From estimates of demand systems, we have found a concentration of estimates of γ around 2 with a range of roughly 0-10.* » (Stern (1977))

On peut enrichir le débat en reconnaissant que les concepts d'aversion au risque et d'aversion aux différences de consommation entre générations sont de natures différentes. En utilisant une approche à la Kreps et Porteus, on peut utiliser des γ différents pour calculer respectivement les dommages équivalents certains (Tableau 1) et les réductions immédiates et

permanentes de consommation (Tableau 2). Le Tableau 3 résume les résultats de ce travail, dans lequel j'ai utilisé $\gamma = \gamma_{risque}$ dans la formule (6) pour calculer g' , et $\gamma = \gamma_{temps}$ pour calculer π dans l'équation (8). Si je pense comme Stern (1977) que γ_{temps} doit se situer autour de 2, une aversion relative γ_{risque} de 4 me semble raisonnable. *J'en déduis que nous devrions être prêts à abandonner 5.61% de notre consommation, immédiatement et pour toujours, pour échapper au risque de changement climatique. Alternativement, nous devrions accepter d'abandonner 0.1% de taux de croissance du PIB réel, pour toujours.*

	$\gamma_{temps}=0$	$\gamma_{temps}=1$	$\gamma_{temps}=2$	$\gamma_{temps}=4$	$\gamma_{temps}=10$
$\gamma_{risque}=0$	9.19%	6.70%	4.40%	1.88%	0.65%
$\gamma_{risque}=1$	9.64%	7.03%	4.62%	1.98%	0.68%
$\gamma_{risque}=2$	10.51%	7.68%	4.89%	2.18%	0.75%
$\gamma_{risque}=4$	11.58%	8.49%	5.61%	2.42%	0.83%
$\gamma_{risque}=10$	19.87%	14.85%	10.09%	4.48%	1.55%

Tableau 3 : Effet de l'aversion au risque γ_{risque} et de l'aversion aux différences de consommation dans le temps γ_{temps} sur la réduction π immédiate et permanente de la consommation

Stern tient compte du fait que les impacts futurs sont incertains, mais il ne tient pas compte du fait que les valeurs des paramètres utilisés dans la calibration des risques sont eux-mêmes hautement hypothétiques, en tout cas pour un certain nombre d'entre eux. Par exemple, une bonne part des impacts provient de la probabilité d'occurrence d'une catastrophe économique-écologique si la hausse de température dépasse 5°C, alors que cette modélisation traduit plutôt notre ignorance de ce qui pourrait se passer au-delà de ce seuil. De plus, les chercheurs associés à ce rapport font l'hypothèse d'une relation convexe entre changement de température et impacts, avec une relation $dommage = k (\Delta T)^a$ avec $a = 1.76$. La puissance a est obtenue par l'observation des dommages subis actuellement, alors que le ΔT est faible. Il y a donc une forte incertitude sur ce coefficient, alors qu'un petit changement de a aura un effet considérable sur les dommages quand ΔT est grand. Nous sommes donc confrontés à une incertitude scientifique sur l'évaluation des risques. Les probabilités et les intervalles de confiance sont ambigus. Mais on sait que le bien-être des ménages est grandement détérioré par cette ambiguïté sur les probabilités. Les économistes et les théoriciens de la décision discutent encore sur la manière d'incorporer cette aversion à l'ambiguïté dans les évaluations, mais les juristes et les politiciens les ont devancés en imposant le principe de précaution. Le rapport Stern n'en tient pas compte.

Le rapport Stern élude aussi le problème du timing de l'effort alors que les incertitudes sur les bénéfices de ces efforts restent élevées. Tout risk manager sait bien que dans un tel environnement incertain, dans lequel attendre permet de réduire l'incertitude, il est sage de ne pas se lancer dans des actions irréversibles, et que la flexibilité est d'or. Comme la plupart des investissements permettant de réduire les émissions sont irréversibles, il est socialement désirable de mettre en œuvre un démarrage de ces investissements qui soit progressif et réactif aux nouvelles informations sur le climat. L'utilisation de la théorie des options réelles permettrait de quantifier cet effet.

3. Mon jugement sur la Stern Review

Il est incontestable que la méthodologie proposée par Stern, inspirée par 40 ans de progrès en théorie de la finance, constitue un progrès considérable par rapport aux modes d'évaluation traditionnels des économistes de l'environnement. En particulier, l'intégration de primes de risque associées aux importantes incertitudes sur les impacts du changement climatique est une excellente chose. J'émet l'espoir que cette idée se généralise pour l'évaluation des autres projets environnementaux, liés par exemple à la biodiversité ou aux OGM.

Les conclusions de Stern sont néanmoins largement contestables par le fait qu'elles sont basées sur un jeu d'hypothèses peu vraisemblables, et sur une présentation discutable des chiffres. Stern sous-estime dans une large mesure l'aversion au risque des générations futures, et dans une moindre mesure l'aversion aux différences de consommation dans le temps. Si Stern évalue l'effet du changement climatique à une chute équivalente immédiate et permanente du PIB comprise entre 5 et 20%, il est plus vraisemblable d'évaluer cette chute autour de 6%. Néanmoins, étant donné le fait que la plus grosse part des impacts se situent dans un temps lointain, il me semble plus logique de présenter ce résultat sous la forme d'une réduction permanente du taux de croissance du PIB de 0.1% par an.

Bibliographie

Arrow, K.J., et R.C. Lind, (1970), Uncertainty and the evaluation of public investment decision, *American Economic Review*, 60, 364-378.

Arrow, K.J. et A.C. Fischer, 1974, Environmental preservation, uncertainty and irreversibility, *Quarterly Journal of Economics*, 88, 312-319.

Barsky, R.B., F.T. Juster, M.S. Kimball et M. Shapiro, (1997), Preference parameters and behavioral heterogeneity: An experimental approach in the health and retirement study, *Quarterly Journal of Economics*, 537-79.

Cochrane, J., (2001), *Asset Pricing*, Princeton University Press.

Gollier, C., (2001a), Wealth inequality and asset pricing, *The Review of Economic Studies*, 68, 181-203.

Gollier, C., (2001b), *The economics of risk and time*, MIT Press, Cambridge, MA.

Gollier, C., (2002a), Discounting an uncertain future, *Journal of Public Economics*, 85, 149-166.

Gollier, C., (2002b), Time horizon and the discount rate, *Journal of Economic Theory*, 107, 463-473.

Gollier, C., (2007), The consumption-based determinants of the term structure of discount rates, *Mathematics and Financial Economics*, 1, forthcoming.

Guesnerie, R., (2004), Calcul économique et développement durable, mimeo, Paris Sciences Economiques.

Mendelsohn, R.O., (2007), A critique of the Stern Report, *Regulation*, winter 2006-2007, 42-46.

Nordhaus, W., (2007), The Stern Review of the economics of climate change, mimeo, Yale University.

Stern, N., (1977), The marginal valuation of income, in M. Artis and A. Nobay (eds), *Studies in Modern Economic Analysis*, Blackwell: Oxford.

Weitzman, M.L., (2007), The Stern Review of the economics of climate change, *Journal of Economic Literature*, forthcoming.

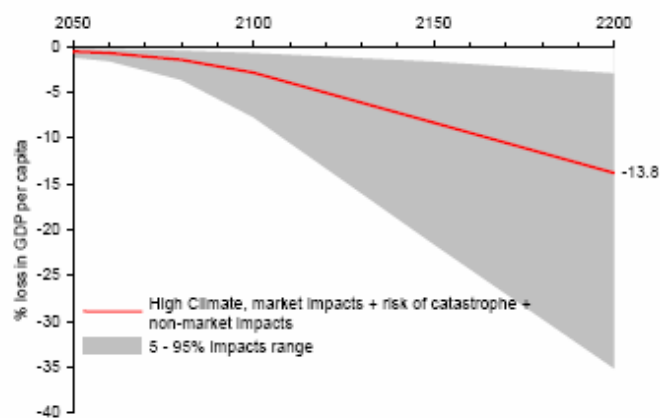


Figure 1: Impact du changement climatique sur les dommages (% de PIB mondial).
La zone grisée correspond à l'intervalle de confiance à 90%.

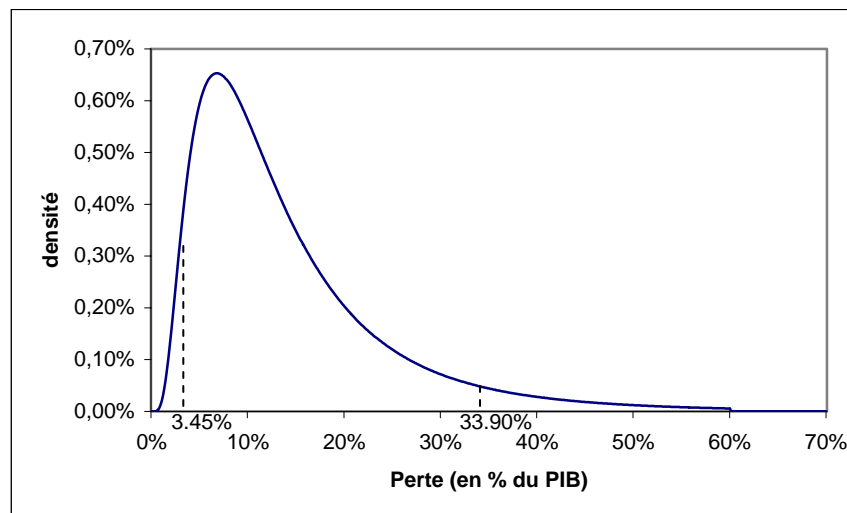


Figure 2 : Distribution du dommage en % du PIB.