

Effet de serre : vers une vérité actuarielle **Christian Gollier, Université de Toulouse**

Imaginez une intervention divine ou extra-terrestre qui apporte maintenant et à jamais un supplément de revenu pour les gouvernements de cette planète qui soit égal à 1% de leur PIB. Que devrions-nous faire de cette manne inattendue ? Avec elle, on pourrait résoudre le problème de la faim dans le monde, apporter l'eau courante pour l'ensemble de ses habitants, éliminer un certain nombre de maladies qui empoisonne les plus pauvres, ou encore investir massivement dans l'éducation et la santé de nos enfants (en particulier pour les plus pauvres d'entre eux). Nicholas Stern, un chercheur très réputé au niveau international et ancien Chief Economist à la Banque Mondiale, nous souffle plutôt d'investir dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre. En investissant 1% du PIB mondial, maintenant et à jamais, on pourrait éliminer les conséquences les plus dommageables du changement climatique. Quelles sont-elles ? Un des grands intérêts du rapport Stern est d'offrir des éléments chiffrés et probabilisés de ce qui nous attend si rien n'est fait. L'ensemble des dommages consécutifs au changement climatique, qu'ils soient humains, environnementaux ou financiers, aurait un impact sur le bien-être intergénérationnel des deux prochains siècles équivalent à une chute immédiate et permanente du PIB mondial autour de 10% (en fait de 5% à 20% selon le modèle). Ce coût inclut 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) et la perte d'actifs environnementaux (biodiversité, ressources halieutiques,...). La conclusion de Stern doit donc s'imposer à tous : il faut absolument agir massivement et immédiatement pour limiter nos émissions. Qui refuserait d'augmenter de $10\% - 1\% = 9\%$ le PIB des générations présentes et futures ?

Le rapport Stern est beaucoup plus pessimiste que les rapports scientifiques internationaux sur la question. 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. Une bonne part des divergences entre économistes sur l'évaluation des dommages provient des problèmes liés au traitement du risque et du temps dans leur modèle. Les économistes, tout comme les actuaires, savent depuis longtemps comment tenir compte de ces dimensions habituelles des évaluations coût/bénéfice. Le problème, c'est qu'ils ont l'habitude de travailler sur des horizons de quelques années (quelques décennies pour les actuaires), et sur des risques essentiellement infinitésimaux. Le rapport Stern considère quant à lui un horizon à 2 siècles, et des risques qui peuvent mettre en péril l'existence même de la vie sur terre. Etant donné ce double changement d'échelle, le fait que ce rapport offre une analyse scientifique quantifiée permettant des recommandations de politique économique constitue un vrai tour de force en soi. On peut discuter – je ne m'en priverai pas – certaines hypothèses, mais 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.

1. Dimension temporelle

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. Le rapport dit au contraire qu'il ne faut pas s'attendre à un impact important sur nos économies avant au moins 50 ans. Le « best estimate » de la perte est de 2.9% en 2100, et de 13.8% en 2200. Une question cruciale est donc de savoir combien les générations actuelles seraient prêtes à payer pour réduire ces pertes qui seront essentiellement supportées par les générations futures. Faut-il rappeler qu'un euro obtenu immédiatement n'a pas la même valeur qu'un euro obtenu plus tard, principalement à cause de l'intérêt de cet euro donnera à son bénéficiaire immédiat ? Ce simple raisonnement d'arbitrage justifie le recours à l'actualisation des coûts et des bénéfices futurs, à un taux égal au taux de rendement du capital sur la période correspondante. Néanmoins, parce qu'il est difficile de prédire le taux de rentabilité du capital sur les 2 prochains siècles, le rapport Stern utilise une méthodologie alternative, qui consiste à calculer l'effet du changement climatique sur le bien-être de chaque génération. Mais certaines générations perdront plus que d'autres, et certaines redistributions entre générations sont considérées. Il est important de rendre explicite les hypothèses économiques et éthiques sur lesquelles ces comparaisons sont faites. A ce titre, pour Stern, une politique environnementale est socialement désirable si, malgré qu'elle génère des gagnants et des perdants, elle augmente la somme des bien-être des générations futures actualisées au taux de préférences pure pour le présent de 0.1%.

L'approche de l'actualisation par le bien-être est basée sur l'hypothèse supplémentaire que les générations futures seront plus riches que nous. Dès lors, nous ne devrions pas faire de sacrifice important à faible rentabilité pour ces générations, dont le PIB par habitant sera bien supérieur au nôtre. En utilisant cet argument rétrospectivement, nous bénéficions d'un PIB par habitant approximativement 50 fois supérieur à celui des Européens vivants à l'époque napoléonienne, et il n'eut pas été très judicieux de leur demander un effort considérable pour préserver leurs descendants du XXIe siècle d'un péril de l'ordre de celui discuté ici. Si nous supposons que l'utilité marginale de la richesse est décroissante (un euro pour Bill Gates génère un supplément d'utilité plus faible qu'un euro pour l'abbé Pierre), accroître la richesse en 1806 est plus désirable en terme de bien-être qu'accroître la richesse d'une même quantité en 2006. La même valeur relative de la richesse s'applique entre 2006 et 2206 si le même niveau de croissance (2% réel par an) est anticipé pour les 200 ans à venir.

Le taux d'actualisation socialement efficace est celui dont la mise en œuvre au niveau des décisions décentralisées conduit à ne réaliser que les investissements qui augmentent le bien-être collectif. On voit que ce taux dépend de deux éléments. Le premier porte sur les anticipations de croissance de l'économie, tandis que le second dépend de la vitesse à laquelle l'utilité marginale décroît lorsque la richesse augmente. Dans le rapport Stern, il est supposé que l'économie va croître dans les deux siècles à venir à un taux réel de 1.3% par an, ce qui correspond à une multiplication par 13 du PIB par habitant à un horizon 2206 par rapport à aujourd'hui. Stern suppose aussi que l'utilité marginale est divisée par deux lorsque la richesse double. En d'autre terme, un investissement de un euro à une date t générant un flux F en t' , alors que le PIB est deux fois plus important en t' qu'en t , n'augmente le bien-être que si le rendement de l'investissement est au moins égal à 100% (c'est-à-dire si F est au moins égal à 2). Cette élasticité unitaire de l'utilité marginale au revenu correspond à une fonction d'utilité logarithmique, qui est l'hypothèse faite par Daniel Bernoulli dans son article de 1738 dans laquelle la théorie de l'espérance d'utilité est exposée pour la première fois. Avec ce jeu d'hypothèses, on peut déduire le taux d'actualisation implicitement utilisé par Nicholas Stern en reprenant la condition de Ramsey. Cette condition nous dit que le taux d'actualisation socialement efficace est égal à la somme du taux de préférence pure pour le présent et le produit de l'élasticité de l'utilité marginale par le taux de croissance de l'économie. Nous

obtenons donc $0.1\% + 1 \times 1.3\% = 1.4\%$. Le choix de cette élasticité a des conséquences très importantes sur nos préférences intertemporelles. Ainsi par exemple, il implique que nous devrions être prêts à abandonner 60% de nos richesses, immédiatement et à jamais, pour faire passer le taux de croissance du PIB de 1% à 2% par an pour les deux prochains siècles.

Je ne pense pas que beaucoup d'entre nous accepterions d'endosser une telle décision si sacrificielle à court terme pour des bénéfices très lointains. Autrement dit, les hypothèses de Stern qui l'induisent à utiliser un taux d'actualisation implicite de 1.4% par an, devraient l'induire aussi à militer à mettre en œuvre tous les projets d'investissement, collectifs ou privés, dont la rentabilité est supérieure à 1.4%. La faiblesse de ce taux est due au choix d'une élasticité de l'utilité marginale faible, et certainement beaucoup plus faible que ce que la majorité des économistes considèrent comme un niveau raisonnable. Avec un choix plus réaliste de cette élasticité autour de 3 (un doublement de la richesse réduit l'utilité marginale d'un facteur 8), on obtiendrait un taux d'actualisation socialement efficace autour de 4%. Ceci réduirait de beaucoup la mesure donnée par Stern pour le coût équivalent des dommages liés à l'effet de serre.

En investissant dans des technologies permettant de réduire nos émissions, nous redistribuons les richesses des pauvres générations présentes vers les très riches générations futures. Néanmoins, c'est un fait que nous ne réalisons pas un certain nombre d'actions qui ont pour effet de redistribuer des richesses des pays développés vers les plus pauvres, et qui ont une efficacité immédiate importante (lutte contre la malaria et le paludisme et investissement dans les systèmes éducatifs des pays pauvres par exemple). Sous l'hypothèse de Stern-Bernoulli d'élasticité-ricesse unitaire de l'utilité marginale, il serait socialement désirable d'investir 50 euros pour permettre à un individu 50 fois moins riche d'obtenir un supplément de bien-être équivalent à 1 euro. En d'autres termes, la priorité devrait être donnée à toute stratégie permettant d'améliorer le destin des individus vivant actuellement sous le seuil de pauvreté plutôt que d'investir dans la lutte contre l'effet de serre.

2. *Primes de risque*

Le rapport Stern propose un traitement intéressant de l'incertitude, qui est effectivement extrêmement considérable dans le cas de l'effet de serre. Cette incertitude porte autant sur l'impact de l'augmentation de la concentration de CO₂ sur le climat que sur l'impact sociétal et humain du changement climatique. Cette incertitude est usuellement oblitérée dans les évaluations en ne tenant compte que du « best estimate » des impacts, et en réalisant au mieux une analyse de sensibilité des résultats aux changements des valeurs des paramètres critiques du modèle. Le rapport Stern fait beaucoup mieux dans la prise en compte des risques dans l'évaluation. Comme le ferait un actuariaire, il estime la distribution de probabilités des flux futurs, et il impute des primes de risque en utilisant des modèles d'évaluation à la théorie de la finance. Ainsi, contrairement aux études antérieures, il intègre une probabilité positive à ce que la température moyenne de la terre augmente de plus de 5 degrés (voir Figure 1). Le modèle inclut aussi la possibilité d'une discontinuité du processus de production de richesse si la température moyenne excède ce seuil. Plus précisément, chaque augmentation de 1 degré au-delà de ce seuil augmente de 10% la probabilité qu'une chute permanente du PIB mondial comprise entre 5 et 20% se produise. L'incertitude sur l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes et sur l'évolution des rendements agricoles est aussi intégrée. En combinant tout cela, on obtient une distribution des impacts en-dessous et au-dessus du « best estimate » en utilisant une méthode de Monte-Carlo, et ceci aux différents horizons considérés

et en supposant l'absence d'effort de réduction des émissions (voir Figure 2). Selon le rapport Stern, cet exercice conduit à un intervalle de confiance à 90% sur le dommage exprimé en pourcents du PIB mondial bornés par 2.9% et 35.2% durant l'année 2200. Peut-on imaginer un risque plus important ?

Parce que nos descendants seront probablement aussi riscophobes que nous-mêmes, l'impact de ce risque sur le bien-être intergénérationnel est supérieur à celui dans lequel nous serions certains de subir le dommage espéré de 13.8% du PIB en 2200. Parce que l'utilité marginale de la richesse est décroissante, la perspective d'une déviation de la perte au-dessus du best estimate a un effet négatif sur le bien-être plus important que la perspective d'une déviation équivalente de la perte en-dessous du best estimate. La prime de risque est proportionnelle à l'élasticité-riche de l'utilité marginale, aussi appelée aversion relative au risque. Puisque cette élasticité est largement sous-estimée par Stern, l'effet de la pourtant considérable incertitude sur l'impact de l'effet de serre est infime. Par exemple, d'après mes calculs, la prime de risque associée à l'incertitude sur les impacts de l'année 2200 ne « coûte » que 0.6% de PIB de cette année-là, alors qu'il reste 10% de probabilité que ces impacts soient inférieurs à 2.9% ou supérieur à 35.2% ! L'utilisation d'un coefficient d'aversion au risque plus compatible avec les comportements observés sur les marchés financiers et d'assurance augmenterait cette prime de risque d'un facteur compris entre 4 et 10.

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 détériorée 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. Quelques commentaires généraux en guise de conclusion

Le rapport met l'accent sur l'importance du signal prix à envoyer dès aujourd'hui aux décideurs privés. Une taxe ou un système de marché de permis d'émission devrait être imposé au niveau de la planète dans lequel les émetteurs d'une tonne de carbone supporteraient un coût supplémentaire égal au dommage marginal actualisé équivalent certain que cette tonne de carbone génère. Ce dommage marginal est aujourd'hui évalué entre 40 et 100 euros, mais le prix observé sur le marché européen des permis tourne actuellement autour de seulement 40 euros la tonne de carbone (càd autour de 12 euros la tonne de CO₂). C'est bien, mais cela semble insuffisant, en particulier étant donné l'absence de certitude que ce prix restera à l'avenir compris dans cette fourchette. Sachant qu'un investissement décidé aujourd'hui dans une centrale au charbon, au gaz ou au fioul nous engage pour au moins 40 ans, on comprend qu'un engagement crédible de maintenir des coûts d'émission élevés est indispensable pour infléchir la structure industrielle. Non seulement aucune garantie n'existe aujourd'hui qu'un Kyoto 2 sera mis en œuvre, mais en plus il semble que les Etats organiseront la distribution initiale des permis au pro rata des émissions passées. Anticipant ce phénomène, les investisseurs actuels n'ont en fait aucune incitation à investir dans des technologies moins polluantes !

Les assureurs doivent aussi tenir compte de la manière dont leur tarification influencera l'exposition aux risques futurs. Il faut dès aujourd'hui inciter les ménages à ne pas construire leur résidence dans des sites dont on devine qu'ils seront à l'avenir plus exposés aux risques climatiques. Il faut au plus tôt annoncer que les primes d'assurance présentes et à venir seront sujettes à des variations selon le degré d'exposition au risque, de manière à faire intégrer aux futurs propriétaires les charges à long terme que leur choix de localisation impose à la collectivité.

Le mérite du rapport Stern provient de cette percée dans la qualité de l'analyse économique et actuarielle sur l'effet de serre. Alors que le débat au sein des sciences dures sur la réalité du phénomène climatique est exemplaire, le débat sur les aspects sociétaux est trop longtemps resté du domaine pamphlétaire et rhétorique autour des notions vagues de développement durable et d'équité intergénérationnelle. L'équipe de Stern apporte une méthodologie d'évaluation basée sur une théorie économique solide. Les désaccords profonds que nous connaissons sur ce qui devrait être fait pour lutter contre le changement climatique doivent être géré non plus par le mode stérile de la rhétorique qui ne convainc plus personne, mais par une discussion sérieuse sur les valeurs réalistes des paramètres du modèle. Le rapport Stern offre le canevas pour nos réflexions et nos discussions futures dans ce domaine.

+++++

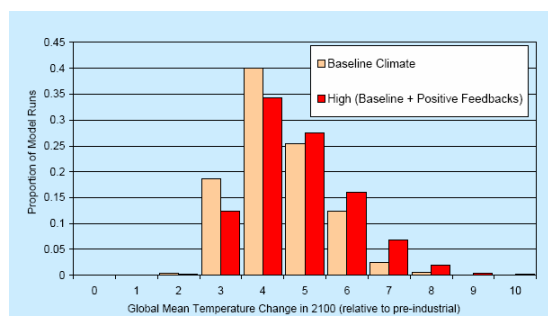


Figure 1: Distribution de probabilité de la hausse de température moyenne en 2100.

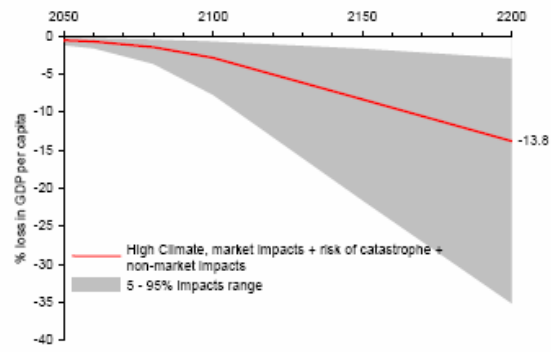


Figure 2: Impact du changement climatique sur les dommages (% de PIB mondial).
La zone grisée correspond à l'intervalle de confiance à 90%.