

Mettre un prix sur la pollution pour mieux décider

Comment intégrer un coût social du carbone aux politiques québécoises

Cahier méthodologique

Annexe 1 – Détails concernant le taux d’actualisation

A1.1 – Le taux d’actualisation appliqué à la problématique environnementale

Lorsque les coûts et les bénéfices associés à une activité économique sont répartis sur une période prolongée, la question de l’actualisation des coûts et des bénéfices devient primordiale. Mathématiquement, la méthode traditionnelle pour évaluer la valeur financière d’un projet est de calculer sa valeur actuelle nette (VAN), c’est-à-dire la différence actualisée entre les bénéfices et les coûts correspondant à chaque période t pendant la durée totale du projet, T :

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

où :

VAN est la valeur actuelle nette;

r est le taux d’actualisation;

B_t est le bénéfice au temps t ;

C_t est le coût au temps t .

Le projet est accepté si sa valeur actuelle nette est positive.

Selon Gollier (2011), le taux d’intérêt appliqué aux projets d’investissement ne peut être directement utilisé pour évaluer le CSC, car l’horizon de long terme requis pour une politique climatique dépasse les simplifications généralement appliquées aux projets financiers.

Pour déterminer un taux d’actualisation approprié dans le contexte du CSC, [l’équation de Ramsey](#) offre une base théorique. Elle établit que le taux d’actualisation social optimal, r , se calcule en ajoutant au taux de préférence pour le présent, ρ , le produit de l’élasticité de l’utilité marginale de la consommation, e , et du taux de croissance de la consommation, g .

$$r = \rho + (e * g)$$

Cette relation permet de relier de manière cohérente la prise en compte des préférences temporelles aux projections de croissance économique pour évaluer les coûts et bénéfices futurs de la réduction des émissions de carbone.

Les paramètres de l'équation de Ramsey et leurs implications

Un taux de préférence pour le présent ρ élevé signifie que les individus valorisent davantage la consommation immédiate par rapport à la consommation future. À l'inverse, un taux plus faible indique une plus grande volonté de reporter la consommation au profit de bénéfices futurs. Ce taux de préférence est couramment utilisé, non seulement dans les considérations intergénérationnelles, mais également dans diverses autres analyses économiques et financières.

Le paramètre e , représentant **l'aversion pour l'inégalité intertemporelle**, ou, **l'élasticité de l'utilité marginale de la consommation**, mesure le niveau de préoccupation des individus pour le bien-être économique des générations futures par rapport à celui des générations présentes. Dans le cadre de l'estimation du CSC, une valeur élevée de e indique une tolérance plus grande pour les disparités futures, ce qui signifie qu'il est moins prioritaire d'agir aujourd'hui, surtout si l'on prévoit que les générations futures disposeront de ressources économiques plus abondantes (le prochain paramètre). Cette préférence conduit à un taux d'actualisation plus élevé, réduisant ainsi la valeur actuelle des bénéfices environnementaux futurs et rendant les politiques d'atténuation moins attrayantes économiquement. En revanche, une valeur faible de e reflète une forte aversion pour les inégalités entre générations, ce qui suggère une préoccupation accrue pour assurer une répartition équitable des ressources et du bien-être dans le temps. Cela se traduit par un taux d'actualisation plus faible, ce qui donne plus de poids aux coûts et bénéfices environnementaux futurs et renforce la justification de politiques d'atténuation.

La croissance économique anticipée g influence également les préférences de consommation. Ceux qui prévoient une augmentation de la richesse future sont souvent moins enclins à réduire leur consommation présente pour favoriser celle des générations futures, car la croissance économique future promet de générer des revenus plus élevés (et les moyens de faire face aux défis de l'époque et aux conséquences des choix effectués aujourd'hui). Ce paramètre encourage ainsi un taux d'actualisation plus élevé dans les contextes de croissance soutenue, ce qui diminue la valeur actualisée des bénéfices climatiques futurs et peut complexifier les justifications pour des actions d'atténuation immédiates. Si l'on prévoit une croissance future plus faible, les préférences pourraient se tourner vers un déploiement accru de ressources dès aujourd'hui afin de préserver les conditions de vie des générations futures.

Principes philosophiques justifiant la considération des externalités sur le long terme

Le « voile de l'ignorance » de Rawls (*La théorie de la justice*, 1971), appliqué davantage à des enjeux contemporains, nous invite à imaginer une société dans laquelle nous serions placés de manière aléatoire, un peu comme dans le cas d'une

loterie, sans connaissance préalable de notre position sociale ou économique. Dans ce contexte, il serait rationnel de souhaiter une société plus égalitaire ou, du moins, offrant des opportunités de mobilité sociale pour tous. Si l'on applique ce concept à une démarche intergénérationnelle, il en découle un impératif de garantir que les conditions de vie futures soient au moins aussi bonnes que celles d'aujourd'hui.

Du point de vue de Hans Jonas, notre responsabilité envers les générations futures est un devoir moral nécessaire. Dans *Principe Responsabilité* (1984), l'auteur affirme que notre capacité à transformer la nature de façon irréversible doit s'accompagner d'une éthique qui tient compte des conséquences à long terme de nos activités afin de ne pas compromettre le bien-être des générations à venir. Notre allégeance ultime, selon lui, est envers l'humanité et sa continuité.

A1.2 – Sensibilité au taux d'actualisation : un enjeu crucial

Le taux d'actualisation est central parce qu'il exerce un impact cumulatif exponentiel sur les décisions prises à long terme. La figure 1 illustre bien cette sensibilité : imaginons un investissement initial de 1 million de dollars aujourd'hui qui génèrera des retours de 1 million chacun en 2050, 2075 et 2100.

- À un taux d'actualisation de 0 %, chaque dollar, qu'il soit aujourd'hui ou dans 75 ans, a la même valeur. Dans ce cas, le projet génère pour la société un bénéfice net de 2 millions de dollars ;
- Avec un taux d'actualisation de 2 %, un dollar futur perd 2 centimes de valeur par année. Ainsi, le gain de 2050 ne vaut aujourd'hui que 610 000 \$, celui de 2075 vaut seulement 372 000 \$, et celui de 2100, 226 000 \$. Cumulativement, le projet demeure rentable pour la société, avec un bénéfice net de 208 000 \$;
- À un taux de 4 %, les gains futurs se trouvent davantage réduits : le projet devient déficitaire, avec une perte nette de 431 000 \$ du point de vue de la société actuelle.

Ces variations démontrent que le choix du taux d'actualisation modifie radicalement l'évaluation des investissements à long terme, soulignant son importance pour les politiques publiques et les projets liés aux changements climatiques. À un taux de 2 %, le projet hypothétique de la figure 1 va de l'avant. À 4 %, il n'est pas accepté.

Figure 1. Exemples hypothétiques de valeur actuelle nette selon différents taux d'actualisation

Année	Flux monétaires	Taux de 0 %	Taux de 2 %	Taux de 4 %
2025	- 1 000 000 \$	- 1 000 000 \$	- 1 000 000 \$	- 1 000 000 \$
2050	+ 1 000 000 \$	+ 1 000 000 \$	+ 610 000 \$	+ 375 000 \$
2075	+ 1 000 000 \$	+ 1 000 000 \$	+ 372 000 \$	+ 141 000 \$
2100	+ 1 000 000 \$	+ 1 000 000 \$	+ 226 000 \$	+ 53 000 \$

Valeur actuelle nette	+ 2 000 000 \$	+ 2 000 000 \$	+ 208 000 \$	- 431 000 \$
------------------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------

Note : Les montants sont arrondis aux milliers de dollars

A1.3 – Paramètres retenus par le Canada

Au Canada, le taux d'actualisation social généralement retenu pour évaluer des projets à long terme était d'environ 3 %, avec un taux de préférence pour le présent ρ variant entre 0 et 0,5 %, une élasticité de l'utilité marginale de la consommation e de 1,3 % et un taux de croissance de la consommation g de 1,2 %. Toutefois, depuis décembre 2022, le gouvernement canadien recommande à ses ministères et organismes de prendre un taux d'actualisation social de 2 % lorsqu'ils estiment le CSC.

Le Canada suppose en ce sens qu'un taux d'actualisation plus faible est justifié afin de représenter de manière plus adéquate les arbitrages à long terme entre différentes périodes temporelles. Pour l'année 2025, avec des taux d'actualisation de 1,5 %, 2 % et 2,5 %, le Canada estimait le CSC à 460 \$, 271 \$ et 166 \$ respectivement, par tonne de CO₂ en dollars canadiens de 2021.

Annexe 2 – Les principaux modèles d'évaluation intégrée (MEI)

Le CSC est généralement calculé à l'aide de ce que l'on appelle des « modèles d'évaluation intégrée » (MEI). Ces modèles décrivent la trajectoire par laquelle une tonne supplémentaire d'émissions entraîne un changement dans les concentrations atmosphériques, qui à son tour entraîne des changements dans la température moyenne à la surface du globe et dans les précipitations. Ces changements entraînent ensuite des répercussions biophysiques sur l'agriculture et le niveau de la mer, et finissent par nuire à notre économie et au bien-être des êtres vivants.

Avec ces modèles, les chercheurs simulent d'abord ce que serait la trajectoire des changements climatiques en l'absence de changement de politique. Ensuite, ils bonifient le modèle pour mesurer l'impact sur les changements climatiques, puis les dommages résultant d'une tonne supplémentaire d'émissions. La contribution aux dommages est ce qui est mesuré par le CSC.

Les MEI sont essentiellement des modèles de simulations informatiques qui caractérisent des interactions et des rétroactions complexes sur une longue échelle de temps entre le système socio-économique (y compris les politiques climatiques) et le système naturel, et qui sont explicitement conçues pour informer l'élaboration des politiques climatiques. Ces modèles constituent l'épine dorsale de l'analyse des scénarios du groupe de travail III (WGIII) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) – qui se concentre sur les stratégies de réponse – depuis le 5^e rapport d'évaluation du GIEC. Par conséquent, les travaux afférents aux MEI jouent un rôle de premier plan dans la recherche et l'évaluation des politiques climatiques. Voir van Beek et al. (2020) pour un survol exhaustif.

Associer une valeur monétaire à une externalité pose maintes difficultés, notamment dans la détermination du CSC. Les [chercheurs](#) énumèrent cinq principaux défis méthodologiques :

1. L'impact futur des émissions de CO₂ est sujet à des incertitudes liées à des variables telles que le développement économique, les avancées technologiques et les tendances démographiques ;
2. La compréhension de l'impact des émissions de CO₂ sur le climat reste imparfaite ;
3. L'incertitude quant aux répercussions économiques potentielles des changements climatiques ;
4. Les conséquences des changements climatiques ne peuvent pas toujours être exprimées en termes monétaires ;
5. Le processus d'actualisation temporelle des coûts engendre des défis à la fois sur le plan technique, notamment en ce qui concerne la structure des taux d'actualisation, et sur le plan éthique, en particulier en matière d'équité entre les générations.

On peut ajouter une autre difficulté. Le coût social devrait idéalement calculer pour chaque type de GES : le dioxyde de carbone CO₂, le méthane CH₄ et le protoxyde d'azote N₂O. En effet, les gaz ont des durées de vie différentes. En outre, le coût social des émissions du CH₄ et du N₂O ignore généralement la nature non linéaire de la relation entre ces gaz et l'importance des dommages.

Depuis plus de deux décennies, **trois modèles de simulation** à code source ouvert dominant les estimations du CSC : **DICE**, **FUND** et **PAGE**, décrits ci-dessous. Ces MEI sont continuellement mis à jour pour intégrer les retours de la communauté scientifique et les avancées en économie et en sciences de la Terre.

Ils se distinguent tant par leur structure que par leur souplesse analytique. FUND et PAGE, par exemple, offrent une modularité accrue, permettant une variété d'analyses de sensibilité, tandis que DICE privilégie une approche plus simple et linéaire.

Bien que les MEI actuels reposent sur des représentations relativement simplifiées, ils offrent l'avantage de pouvoir projeter les impacts climatiques sur plusieurs siècles. Ils intègrent des projections socio-économiques, des hypothèses d'émissions, un modèle climatique physique, ainsi qu'une analyse de sensibilité sur le taux d'actualisation.

A2.1 – Le modèle DICE (Dynamic Integrated Climate-Economy)

Créé par William Nordhaus en 1992, le modèle DICE a évolué au fil des années pour arriver à sa version actuelle, DICE-2016R3. Basé sur le modèle de croissance néoclassique de Ramsey, DICE intègre un volet d'investissement climatique où les ressources sont allouées non seulement à l'accumulation de capital pour stimuler la production future, mais également à la réduction des émissions de GES pour atténuer les impacts climatiques à long terme.

Le modèle est structuré en 100 périodes de cinq ans, couvrant l'intervalle de 2015 à 2510. La population évolue selon les projections de l'ONU, et le taux d'épargne, traité comme exogène, est optimisé pour maximiser une fonction d'utilité intertemporelle utilitariste applicable aux générations et aux pays. Pour cette version, les paramètres clés incluent un taux de préférence temporelle (ρ) de 1,4 %, une élasticité de l'utilité marginale de la consommation (ϵ) de 1,45 % et un taux de croissance moyen (g) de 2,1 % par an entre 2010 et 2100, donnant un taux d'actualisation sociale de 4,4 %.

Dans son scénario de référence, DICE-2016R3 estime le CSC à 45 \$US (2018) par tonne de CO₂ pour 2020 (ce montant passerait à 61 \$, selon le DICE2023). Le modèle fournit également une analyse de sensibilité montrant des variations importantes du CSC en fonction du taux d'actualisation : celui-ci atteint 27 \$US (2018) par tonne de CO₂ à un taux de 5 %, 515 \$US (2018) à un taux de 1 %, et 104 \$US (2018) à un taux de 3 %.

A2.2 – Le modèle FUND (Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution)

Créé par Richard Tol, le modèle FUND explore les interactions stratégiques entre régions mondiales sur les politiques climatiques. La version actuelle, FUND 3.9, date de 2014. Structuré en 16 régions, le modèle fournit des résultats annuels de 1950 à 3000, en supposant que la production par habitant et la croissance démographique se stabiliseront après 2300 et resteront constantes jusqu'à l'année 3000.

FUND intègre une pondération en fonction de l'équité (*equity-weighted*), c'est-à-dire que le modèle attribue davantage de poids aux impacts économiques dans les régions plus pauvres pour mieux refléter les disparités mondiales.

Dans la spécification de base du modèle, le taux de préférence temporelle (ρ) est fixé à 1 % par an, l'élasticité de l'utilité marginale de la consommation (e) est en moyenne à 1 % et le taux de croissance moyen (g) est établi à 2 %, ce qui conduit à un taux d'actualisation social de 3 %. Selon FUND 3.9, le CSC en 2010 est estimé à 12,60 \$CA (en dollars de 2021) par tonne de CO₂.

A2.3 – Le modèle PAGE (Policy Analysis of the Greenhouse Effect)

Développé par Chris Hope dans les années 1990 et mis à jour avec PAGE-ICE (*Ice, Climate, Economics*) en 2019, le modèle PAGE est un modèle stochastique couvrant 8 régions et plus de 160 variables incertaines représentées par des distributions de probabilité. Il estime les impacts des émissions de trois GES (CO₂, méthane, oxyde nitreux) et de trois catégories de ces gaz (gaz à effets linéaires, aérosols sulfatés, et autres). Le modèle tient également compte de l'augmentation du forçage radiatif due à la réduction de l'albédo terrestre provoquée par la fonte des glaces, ainsi que du CO₂ libéré par la fonte du pergélisol.

Comme FUND, PAGE utilise une pondération en fonction de l'équité, ajustant les impacts économiques régionaux en fonction des disparités de richesse. [PAGE](#) emploie une élasticité moyenne de l'utilité marginale de 1,17 et actualise les dommages ajustés en utilisant un taux de préférence temporelle pure ρ de 1,51 %.

Malgré leurs approches différentes, ces modèles permettent de quantifier les dommages climatiques au niveau régional et intergénérationnel, contribuant ainsi aux débats sur les politiques publiques et les objectifs d'atténuation.

A3.4 – Développements récents quant à l'estimation du CSC

Il existe également diverses versions des calculs du CSC qui varient à la fois conceptuellement et en magnitude. Ces variations [dépendent du point de référence](#) utilisé pour évaluer l'impact d'une tonne métrique marginale de carbone. En effet, l'analyse peut être effectuée en fonction d'un scénario de base sans intervention climatique, d'une trajectoire qui évalue économiquement les avantages et les coûts de la réduction des émissions, ou encore d'une trajectoire basée sur une politique ou un objectif climatique spécifique, comme l'objectif de 2°C de l'Accord de Paris.

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), qui a pour mission de fournir des évaluations scientifiques régulières sur les changements climatiques, leurs conséquences, les risques et les stratégies d'atténuation et d'adaptation, ne présente pas d'estimations quantitatives du CSC dans [son rapport](#) publié en 2023 en raison du défi que représente la comparabilité pour les impacts économiques ainsi que pour d'autres éléments de l'estimation du CSC.

Le GIEC constate cependant d'importantes variations dans la littérature sur les estimations du CSC. Cette variation est notamment attribuable aux différences dans la représentation des éléments de modélisation et dans les hypothèses relatives aux intrants et aux paramètres, notamment les taux d'actualisation utilisés.

Des progrès considérables ont toutefois été réalisés ces dernières années pour mieux refléter les complexités de l'économie mondiale, du système climatique et de leurs interactions. Par exemple, des études récentes ont exploré les [dommages causés au capital naturel](#), l'influence de la [substituabilité imparfaite](#) entre les services environnementaux et les biens marchands, les implications de [l'hétérogénéité des impacts](#) des changements climatiques entre les groupes de revenus, le [potentiel d'impacts climatiques persistants sur la croissance économique](#) au lieu d'effets sur les niveaux de production économique, l'évaluation des risques de [points de basculement climatiques](#), l'évaluation de l'incertitude en cas [d'aversion pour le risque](#) et la modélisation d'une distinction entre l'aversion pour l'inégalité intertemporelle et l'aversion pour le risque dans la fonction d'utilité du bien-être social.

En général, ces études récentes ont rehaussé les estimations du CSC, mais des obstacles subsistent pour traduire ce concept en applications concrètes, selon le GIEC. [Ces défis](#) incluent la précision des paramètres spécifiés, la modélisation des mécanismes d'impact spécifiques et une représentation plus exhaustive des stratégies d'adaptation.

Annexe 3 – Critiques relevées sur le CSC et les MEI

A3.1 – Un regard critique sur le concept de CSC et de la méthodologie pour le mesurer

L'analyse coûts-avantages, pilier de l'évaluation économique, joue un rôle central dans l'analyse des politiques publiques, y compris celles relatives aux changements climatiques. Dans ce contexte spécifique, l'analyse requiert le recensement et le calcul de tous les dommages futurs estimés en valeur monétaire, sous forme de CSC, soit la valeur actualisée des coûts marginaux des émissions de CO₂. Comparer ce coût marginal au coût de réduction des émissions guide les décisions quant aux investissements et sacrifices nécessaires. Comme indiqué dans le corps du texte, si les coûts d'atténuation sont inférieurs au CSC, cela justifie leur mise en œuvre et ceci représente un bénéfice net pour la société. Cependant, ce mode de calcul est contesté par plusieurs économistes.

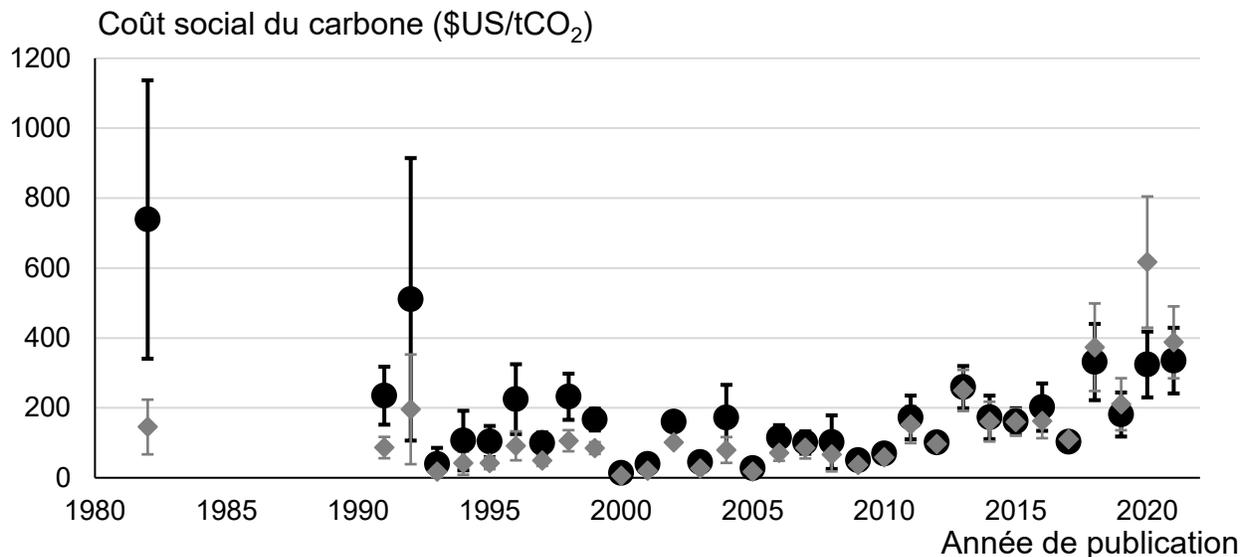
Spash (2002) introduit une distinction entre *incertitude faible* (probabilités assignables aux événements futurs) et *incertitude forte* (impossibilité d'anticiper certains événements, même de manière probabiliste). Selon lui, les méthodes actuelles reposent implicitement sur une *incertitude faible*, faute d'alternatives, ce qui pourrait entraîner une sous-estimation des risques réels, notamment ceux liés aux événements extrêmes et imprévisibles des changements climatiques. L'auteur suggère même qu'en cas d'*incertitude forte*, l'attribution de valeurs monétaires peut induire en erreur en suggérant une précision illusoire. Ce biais méthodologique est d'autant plus problématique que c'est précisément l'*incertitude forte*, et le besoin de maîtriser ses impacts qui semblent aujourd'hui alimenter les préoccupations du public concernant les changements climatiques et les réponses politiques à adopter.

Ces propos rejoignent ceux d'Ackerman et Heinzerling (2004), qui remettent en question la notion même du CSC en soulignant ses biais inhérents et en plaidant pour une approche plus complète et éthique de la politique climatique.

Richard Tol a publié plusieurs méta-analyses montrant que le CSC tend à augmenter à mesure que les connaissances sur le climat progressent (voir la bibliographie présentée à l'annexe 1). Selon lui, le CSC est systématiquement sous-estimé, ses valeurs reflétant des limites inférieures dues aux hypothèses éthiques retenues (préférence temporelle, aversion au risque et aux inégalités) et à une compréhension limitée et en évolution des changements climatiques. Les estimations varient largement en fonction des modèles, des hypothèses sur les intrants, de la gestion de l'incertitude, des méthodes d'actualisation et des ajustements pour l'inflation. Au cours des dix dernières années, les estimations du CSC sont ainsi passées de 9 à 40 \$US/tCO₂ pour un taux

d'actualisation de 3 %, et de 122 à 525 \$US/tCO₂ pour un taux de 1,5 %. Le graphique ci-dessous présente l'évolution.

Figure 2



Source : [Tol 2023](#).

Note : Les diamants gris sont tels que rapportés, les points noirs sont corrigés de l'inflation et de l'année d'émission. Les barres d'erreur correspondent à \pm l'écart-type des estimations publiées. Les estimations sont pondérées en fonction de leur qualité et les valeurs extrêmes ne sont pas considérées.

Victor (2020) examine la valeur du capital naturel, soit l'ensemble des actifs écologiques (air, eau, sol, biodiversité) qui contribuent à la production de biens et services écologiques essentiels à la vie humaine, et critique l'utilisation des évaluations monétaires de ces actifs dans la formulation des politiques publiques. Il ne remet pas tant en question leur valeur pratique pour la coordination de l'activité économique que leur importance normative pour guider les interactions entre les humains et la nature. Comme Nadal (2016), il souligne les incertitudes importantes de ces estimations, qui reposent souvent sur des « prix de déséquilibre » biaisés par les distorsions, rigidités et imperfections de l'économie réelle. Par conséquent, ils pourraient engendrer une allocation inefficace des ressources, rendant les politiques environnementales moins fiables.

De plus, Victor (2020) aborde les difficultés liées à la comparaison des valeurs monétaires du capital produit et du capital naturel en raison des différences entre les méthodes d'évaluation. Le capital produit est généralement estimé à l'aide de la méthode de l'inventaire permanent, qui ajoute les investissements annuels au stock de capital et soustrait la dépréciation. Le capital naturel, quant à lui, est évalué sur la base de la valeur actualisée des rentes de ressources projetées, qui correspondent à la différence entre les revenus de l'extraction et les coûts d'extraction. Or, cette approche

nécessite des prévisions, ce qui introduit un niveau de complexité et d'incertitude, en particulier lorsque des hypothèses sur la constance des rentes des ressources sont formulées.

Enfin, Victor (2020) rappelle que les mesures de la valeur basées sur la volonté d'accepter une compensation ne sont pas totalement exemptes de biais qui favorisent les personnes ayant des revenus plus élevés et une plus grande richesse. En effet, les personnes les plus pauvres pourraient être disposées à accepter une compensation monétaire moins importante qu'une personne plus riche pour une perte de services fournis par les écosystèmes, simplement parce qu'il est raisonnable de supposer que la même somme d'argent a relativement plus de valeur pour les moins fortunés.

Critiques au Canada

L'Institut climatique du Canada souligne que [le gouvernement canadien sous-estime considérablement le véritable CSC](#), pour plusieurs raisons, dont l'absence de prise en compte de certaines conséquences indirectes attribuables aux changements climatiques. De nombreuses études ont examiné cette question et ont mis en évidence divers éléments qui pourraient mener à une révision à la hausse du calcul du CSC.

En premier lieu, [certains impacts](#) des changements climatiques ne sont pas pleinement pris en compte dans les estimations du CSC, telles que la diminution de la productivité du travail, les incendies de forêt incontrôlés, ainsi que les impacts non monétaires, tels que les répercussions sur la santé mentale, les tensions sociales et la perte de biodiversité due aux catastrophes naturelles.

Certaines de ces conséquences climatiques sont d'ailleurs considérées comme étant des [points de rupture](#). En climatologie, un point de rupture (ou de basculement) est défini comme un seuil critique dans le système climatique de la Terre, au-delà duquel de petits changements peuvent déclencher des modifications importantes, souvent irréversibles, des conditions environnementales. Lorsqu'un point de rupture est franchi, il peut entraîner des boucles de rétroaction qui se renforcent elles-mêmes et font passer le climat à un nouvel état. On peut citer comme exemples la fonte des glaces polaires, la dégradation des récifs coralliens et les changements dans le régime des moussons, qui peuvent tous contribuer à l'accélération des changements climatiques si les seuils critiques sont dépassés.

Points de rupture : Tiré de l'anglais « *tipping points* », ces points réfèrent à des seuils présents au sein d'un système qui, une fois excédés, peuvent mener à des changements significatifs dans l'état du système, ces changements étant considérés comme irréversibles. La disparition des récifs coralliens des mers chaudes, le dépérissement de la forêt amazonienne et le dégel du pergélisol représentent des exemples de points de rupture.

Ces évènements sont à ce jour difficiles à anticiper et pratiquement impossibles à intégrer dans des modèles. Un exemple concret de cette problématique est [la fonte du pergélisol et les émissions massives de méthane qui pourraient en découler](#), soulignant ainsi la complexité et les défis associés à la modélisation non linéaire de cet aléa climatique et conséquemment à la prévision des changements climatiques.

Comme mentionné précédemment, le choix du taux d'actualisation peut également influencer considérablement les estimations, ce qui représente un biais important dans le calcul du CSC au Canada. En réponse à cette problématique, ECCC réalise une analyse de sensibilité afin de mieux comprendre comment les variations du taux d'actualisation affectent le CSC. Dans cette optique, l'Institut climatique du Canada recommande l'adoption d'un taux d'actualisation plus bas, qui prend en compte de manière plus marquée les besoins des générations futures. Cette approche, en révisant le taux d'actualisation à la baisse, entraîne une augmentation du CSC, soulignant ainsi l'importance [d'une approche intergénérationnelle, internationale et durable face aux défis du changement climatique](#).

Critiques aux États-Unis

Hahn et Ritz (2014) évaluent l'utilisation du CSC dans le cadre de la politique réglementaire des États-Unis concernant les émissions de CO₂. Leur analyse couvre 53 politiques réglementaires mises en œuvre de 2008 à 2013 afin de déterminer dans quelle mesure la prise en compte des bénéfices liés aux changements dans les émissions de CO₂ influence les résultats de ces politiques.

Leurs conclusions suggèrent que l'utilisation du CSC n'a pas eu un impact significatif sur les décisions politiques effectives aux États-Unis, même pour les politiques spécifiquement conçues pour réduire les émissions de dioxyde de carbone. Cette observation pourrait s'expliquer en partie par le choix délibéré du gouvernement de privilégier des politiques présentant des bénéfices nets positifs dans la réduction du dioxyde de carbone.

Malgré le peu d'impact quant aux choix de politiques aux États-Unis, les auteurs anticipent que le CSC pourrait jouer un rôle plus prépondérant dans les futures décisions politiques. Cette évolution pourrait survenir si le gouvernement venait à reconnaître que les avantages économiques liés aux économies de carburant ou d'énergie sont surestimés, ou si la valeur du CSC augmentait. De même, l'élargissement de la gamme d'alternatives considérées lors des analyses coûts-avantages pourrait également influencer l'importance du CSC dans les décisions politiques futures. Enfin, l'adoption d'une législation spécifiquement axée sur la réduction des émissions de CO₂ pourrait accentuer le rôle du CSC dans la conception effective des politiques publiques aux États-Unis.

En d'autres termes, lorsque l'estimation du CSC était faible, son influence sur le classement des politiques restait marginale. Toutefois, avec une valeur désormais plus élevée, son impact pourrait devenir significatif à l'avenir, et une méta-analyse permettra éventuellement de confirmer ou d'infirmer cette tendance

Dans cette perspective, Nordhaus, dès 2016, se montrait plus optimiste en affirmant que le CSC était devenu un outil clé dans l'élaboration des politiques climatiques aux États-Unis, notamment pour les réglementations sur les émissions de GES, avec des mesures présentant des avantages nets supérieurs à 1 milliard de dollars américains.

A3.2 – Évaluation critique des MEI

Selon Stern (2016), les MEI peinent souvent à saisir la complexité des risques climatiques, incluant des éléments comme le dégel du pergélisol et les émissions de méthane, ou encore les conflits potentiels dus aux déplacements de populations fuyant les régions les plus affectées (une instabilité politique croissante). De nombreux autres risques critiques, tels que les impacts à long terme sur la productivité du travail et la croissance économique, l'impact sur les pauvres et les plus vulnérables, la perte de biodiversité, l'acidification des océans et les migrations à grande échelle, sont fréquemment exclus des calculs, ce qui entraîne une sous-estimation du CSC (voir plusieurs études listées à la bibliographie de l'annexe 1, dont Stiglitz et Stern (2017) ; IPCC (2014a,b) ; Tol (2012) ; Stern (2013) ; Weitzman (2014) ; Dietz et Stern (2015)).

Plusieurs experts et institutions ont recommandé des améliorations méthodologiques pour renforcer la précision scientifique et mieux intégrer les incertitudes dans les calculs du CSC (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2017) ; Rose et al. (2014) ; Pindyck (2013)). Tol (2018) souligne toutefois que, bien qu'imparfaites, les estimations actuelles sont fondées sur des méthodes éprouvées et que les résultats convergent généralement malgré la diversité des approches.

Pindyck (2019) propose une méthode alternative basée sur des sondages auprès d'experts, leur demandant d'évaluer les probabilités d'issues économiques, notamment les scénarios extrêmes, et les réductions d'émissions nécessaires pour éviter ces scénarios. Il obtient ainsi un CSC moyen dépassant les 200 \$, bien que les valeurs varient fortement entre les experts. En éliminant les valeurs extrêmes et en se concentrant sur les experts les plus confiants, les estimations du CSC se situent entre 80 \$ et 100 \$, soit un niveau supérieur aux valeurs retenues dans les MEI gouvernementaux américains.

Pour leur part, Stern et Stiglitz (2021) critiquent les MEI pour leur incapacité à intégrer des éléments économiques de base tels que le risque, les défaillances du marché et les effets distributifs, tant au niveau intergénérationnel qu'au niveau intragénérationnel, de même que les rôles potentiels des pouvoirs publics. Ils notent que les MEI supposent, à

tort, une connaissance parfaite des paramètres par les acteurs économiques, négligeant ainsi l'incertitude profonde liée aux changements climatiques et leur impact potentiel sur le bien-être social. Ces modèles sont souvent accusés de minimiser l'ampleur des incertitudes en les simulant via des paramètres fixes, ce qui peut entraîner une sous-estimation des impacts réels du climat sur la société.

A4.3 – CSC et MEI : approches alternatives

Face aux limites de l'approche basée sur le CSC et des MEI, des modèles alternatifs ont été proposés. Au Canada, le modèle de simulation dynamique de Victor et Rosenbluth, remontant à 2007, délaisse le concept de CSC et privilégie une approche de « croissance limitée » pour les pays développés, en traitant les émissions en unités physiques utilisables dans les modèles climatiques en tant qu'intrant. Ce modèle macroécologique, dont la mise à jour s'est poursuivie jusqu'à récemment (voir à l'annexe 1 les publications de Victor et Jackson (2019) et Victor (2023)), explore une « économie stable », sans dépendance sur la croissance continue, pour atteindre des objectifs comme la réduction du taux de chômage, de la pauvreté et des émissions de GES.

Bibliographie

Ackerman, F., et Heinzerling, L. (2004). *On Knowing the Price of Everything and the Value of Nothing*. The New Press.

AEA Technology (2005). [The Social Cost of Carbon](#). UK Government.

Anthoff, D., Hepburn, C., et Tol, R. S. (2009). [Equity Weighting and the Marginal Damage Costs of Climate Change](#). *Ecological Economics*, vol. 68, no 3, p. 836-849.

Anthoff, D., Tol, R. S., et Yohe, G. W. (2009). [Risk Aversion, Time Preference, and the Social Cost of Carbon](#). *Environmental Research Letters*, vol. 4, no 2.

Arrow, KJ, et al. (2013). [How Should Benefits and Costs Be Discounted in an Intergenerational Context](#). *Resources for the Future Discussion Paper*, no 12-53.

Backman, I. (2021). [Stanford explainer: Social Cost of Carbon](#). *Stanford Science Digest*.

Balasubramaniam, A., et Voulvoulis, N. (2005). [The Appropriateness of Multicriteria Analysis in Environmental Decision-Making Problems](#). *Environmental Technology*, vol. 26, p. 951–962.

Barrage, L., et Nordhaus, W. D. (2024). [Policies, Projections, and the Social Cost of Carbon: Results from the DICE-2023 Model](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*.

Bastien-Olvera, B. A., et Moore, F. C. (2021). [Use and Non-Use Value of Nature and the Social Cost of Carbon](#). *Nature Sustainability*, vol. 4, no 2, p. 101–108.

Bhargava, R et Bhargava, M. (2017). [The Climate Crisis Disproportionately Hits the Poor. How Can We Protect Them?](#) *World Economic Forum*.

Black, S. et al. (2023). *Is the Paris Agreement Working? A Stocktake of Global Climate Mitigation*. *Fonds Monétaire International*.

Broome, J. (2024). [The Value of Life in the Social Cost of Carbon: A Critique and a Proposal](#). *Journal of Benefit-Cost Analysis*, Cambridge University Press.

Burke, M. et al. (2023). [Quantifying Climate Change Loss and Damage Consistent with a Social Cost of Greenhouse Gases](#) (no w31658). *National Bureau of Economic Research*.

California Air Resources Board (2022). [Draft 2022 Scoping Plan Update](#).

Carbon Brief. (2021). [Explainer: Nine “Tipping Points” that Could Be Triggered by Climate Change](#).

Chemnick, J. (2023). [Biden Broadens Use of Social Cost of Carbon](#). *ClimateWire*.

City of Charlottetown (s.d.). [Community Energy: Plan for a Naturally Bright Future](#).

Cleary, S. et N. Willcott (2024). [Carbon Pricing: Necessary but not Sufficient](#). *Finance Research Letters*, vol. 68.

Coase, R. H. (1960). [The Problem of Social Cost](#). The Journal of Law and Economics, vol. 56, no 4, p. 1-44.

Commission de l'écofiscalité du Canada (2019). [Comblant l'écart : scénarios concrets pour atteindre la cible canadienne en matière de GES en 2030](#).

Conseil du Trésor (2023). [Guide d'analyse coûts-avantages pour le Canada : Propositions de réglementation](#). Section 6.1.

Costanza, R. (2020). [Valuing Natural Capital and Ecosystem Services Toward the Goals of Efficiency, Fairness, and Sustainability](#). Ecosystem Services, vol. 43.

Costanza, R. et al. (2017). [Twenty Years of Ecosystem Services: How Far Have We Come and How Far Do We Still Need to Go?](#) Ecosystem Services, vol. 28, p. 1–16.

Cropper, M., et al. (2017). [Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide](#).

Crost, B., Traeger C. (2013). [Optimal Climate Policy: Uncertainty versus Monte Carlo](#).

Dennig, F., et al. (2015). [Inequality, Climate Impacts on the Future Poor, and Carbon Prices](#). Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 112, no 52.

Department of Public Health and Environment (2019). [Regulation Number 22: Colorado Greenhouse Gas Reporting and Emission Reduction Requirements](#). State of Colorado.

Diaz, D., et Moore, F. (2017). [Quantifying the Economic Risks of Climate Change](#). Nature Climate Change, vol. 7, no 11, p. 774–782.

Dietz, S., et Stern, N. (2015). [Endogenous Growth, Convexity of Damage and Climate Risk: How Nordhaus' Framework Supports Deep Cuts in Carbon Emissions](#). The Economic Journal, vol. 125, no 583, p. 574-620.

Dong, J. Tol, R. et Wang F. (2024). [Towards a Social Cost of Carbon with National Characteristics](#). Economic Letters, vol. 244.

Drupp, M. et al. (2015). [Discounting Disentangled: An Expert Survey on the Determinants of the Long-Term Social Discount Rate](#).

Drupp, M. A., et Hänsel, M. C. (2021). [Relative Prices and Climate Policy: How the Scarcity of Nonmarket Goods Drives Policy Evaluation](#). American Economic Journal: Economic Policy, vol. 13, no 1, p. 168–201.

ECCC (2016). [Technical Update to Environment and Climate Change Canada's Social Cost of Greenhouse Gas Estimates](#).

ECCC (2023). [Estimation du coût social des gaz à effet de serre – Orientation provisoire actualisée pour le gouvernement du Canada](#).

ECCC (s.d.). [Pricing Carbon Pollution](#).

Ekstrom, V. (2017). [Study finds climate change damages U.S. economy, increases inequality](#). UChicago News.

Environnement et Changement climatique Canada (2016). [Mise à jour technique des estimations du coût social des gaz à effet de serre réalisées par Environnement et Changement climatique Canada](#).

Environnement et Changement climatique Canada (2023). [Coût social des émissions de gaz à effet de serre](#).

Environnement et Changement climatique Canada (s.d.). [Pricing Carbon Pollution](#).

Environmental Protection Agency – EPA (2017). [The Social Cost of Carbon: Estimating the Benefits of Reducing Greenhouse Gas Emissions](#).

Environmental Protection Agency – EPA (2023). [Report on the Social Cost of Greenhouse Gases: Estimates Incorporating Recent Scientific Advances](#). Tableau 2.4.2.

Electric Power Research Institute – EPRI (2021). [Repairing the Social Cost of Carbon Framework: Immediate and One Year Steps for Scientifically Reliable Estimates and Use](#). EPRI.

Erickson, F. C., et al. (2021). [Equity is More Important for the Social Cost of Methane Than Climate Uncertainty](#). Nature, vol. 592, p. 564–570.

Essen, H. et al. (2020). [Handbook on the External Costs of Transport](#). version 2019 – 1.1.

Fourcade, M. (2011). [Cents and Sensibility: Economic Valuation and the Nature of “Nature”](#). American Journal of Sociology, vol. 116, no 6.

GIEC / IPCC (2018). [Global Warming of 1.5 °C. Chapter 3](#).

GIEC. (2022). [Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability](#). Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Giller, G. (2021). [The Social Cost of Carbon is Still the Best Way to Evaluate Climate Policy](#). Yale School of the Environment.

Gollier, C. (2011). [Pricing the Future: The Economics of Discounting and Sustainable Development](#).

Gollier, C. (2014). [Discounting and Growth](#). American Economic Review, vol. 104, no 5, p. 534-537.

Gössling, S., Humpe A. (2024). [The Social Cost of Carbon Falling on the Wealthy](#). Cleaner Production Letters, vol. 7.

Gouvernement du Canada (2023). [Guide d’analyse coûts-avantages pour le Canada : Propositions de réglementation](#).

Gouvernement du Québec, Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports. (2017). [Guide de l'analyse avantages-coûts des projets publics en transport routier](#).

Gouvernement du Québec (2020). [Plan pour une économie verte 2030](#).

Gouvernement du Québec (2023). [Comité consultatif sur les changements climatiques](#).

GTI (IWG). (2010, 2015, 2016). [Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866](#).

GTI (IWG). (2021). [Technical Support Document: Social Cost of Carbon, Methane, and Nitrous Oxide – Interim Estimates under Executive Order 13990](#). United States Government.

Hahn, R., Ritz, R. (2014). [Does the Social Cost of Carbon Matter? Evidence from U.S. Policy](#). Economic Studies at Brookings.

Hansen, L. P., (2022), *Confronting Uncertainty in Climate Policy*, Chicago Booth Review.

Heyes, A., D. Morgan et N. Rivers (2013). [The Use of a Social Cost of Carbon in Canadian Cost-Benefit Analysis](#).

HM Treasury (2020). [The Green Book Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation](#).

Hope, C. W. (2011). *The PAGE09 Integrated Assessment Model: A Technical Description*. University of Cambridge Judge Business School, Cambridge.

Howard, P. (2014). [Omitted Damages: What's Missing from the Social Cost of Carbon](#).

Iese, V., et al. (2021). [Impacts of COVID-19 on Agriculture and Food Systems in Pacific Island Countries \(PICs\): Evidence from Communities in Fiji and Solomon Islands](#). *Agricultural Systems*, vol. 190.

Institute for Policy Integrity (2017). [Colorado PUC Requires Utility to Use SCC in Electric Resource Plan](#).

Institute for Policy Integrity (2021). [California Department of Transportation Uses the SCC in Project-Level Benefit-Cost Analysis](#).

Institute for Policy Integrity (s.d.). [The Cost of Climate Pollution: States Using the SCC](#).

Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases (2021). [Technical Support Document: Social Cost of Carbon, Methane, and Nitrous Oxide Interim Estimates under Executive Order 13,990](#).

IPCC. (2014a). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

IPCC. (2014b). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jensen, S., Traeger, C. (2014). [Optimal Climate Change Mitigation Under Long-Term Growth Uncertainty: Stochastic Integrated Assessment and Analytic Findings](#).

Jonas, H. (1984). The Imperative of Responsibility: In Search of an Ethics for the Technological Age (Das Prinzip Verantwortung). Chicago, IL: University of Chicago Press.

Kaufman, N. et al. (2020). [A Near-Term to Net Zero Alternative to the Social Cost of Carbon for Setting Carbon Prices](#). Nature Climate Change.

Kikstra, J. S. et al. (2021). [The Social Cost of Carbon Dioxide Under Climate-Economy Feedbacks and Temperature Variability](#). Environmental Research Letters, 16(9), 094037.

Lebègue, D. (2005). [Révision du taux d'actualisation des investissements publics](#).

Lemoine, D., Traeger, C. P. (2016). [Economics of Tipping the Climate Dominoes](#). Nature Climate Change, vol. 6, p. 514-519.

Lewit, E. U.S. Tobacco Taxes: Behavioral Effects and Policy Implications. British Journal of Addiction 84 (1989): p. 1217-1234

Mardones, C. (2024). [Internalization of the Social Cost of Carbon in Each of the Countries of the World – An Economic Assessment of its Impacts](#). Energy Efficiency vol. 17, no 79.

Masson-Delmotte, et al. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2.

McNamara, K. E., et Jackson, G. (2019). [Loss and damage: A Review of the Literature and Directions for Future Research](#). Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, vol. 10, no 2.

Ministère des Transports et de la Mobilité durable (2023). [Plan d'action de développement durable 2023-2028](#). Gouvernement du Québec.

Ministère des Transports et de la Mobilité durable (2023). [Guide de l'analyse avantages-coûts des projets publics en transport routier](#). Gouvernement du Québec.

Ministère des Transports et de la Mobilité durable (2023). Guide de l'analyse avantages-coûts des projets publics en transport routier : Partie 2 (paramètres de 2019).

Minnesota Public Utilities Commission (2024). [Who We Are](#).

Molocchi, A. et Mela, G. (2024). [Social Cost of Carbon as an International Benchmark to Drive Countries' Carbon Pricing During the Transition](#). Sustainability vol. 16, no 19.

Nadal, A. (2016). [The Natural Capital Metaphor and Economic Theory](#). Real-World Economics Review, vol. 74, p. 64-84.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2017). Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.

Newell, R. G. et al. (2021). [The GDP-Temperature Relationship: Implications for Climate Change Damages](#). Journal of Environmental Economics and Management, vol. 108.

Nordhaus, W. (2017). [Revisiting the Social Cost of Carbon](#). Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 114, no 7, p. 1518-1523.

Nordhaus, W. (2018). [Projections and Uncertainties About Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies](#). American Economic Journal: Economic Policy, vol. 10, no 3, p. 333-360.

Nordhaus, W. (2019). [Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics](#). American Economic Review, vol. 109, no 6, 1991-2014.

OCDE (2019). [Analyse coûts-avantages et environnement](#). Chapitre 14 : Coût social du carbone.

Pascual, U., et al. (2012). The Economics of Valuing Ecosystem Services and Biodiversity. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations, p. 183-256.

Pavlov, A., Vaillancourt, C. (2020). [Tarification optimale du gaz carbonique et élasticités dans les transports](#). CIRANO.

Pezzey, J. C. (2019). [Why the Social Cost of Carbon Will Always Be Disputed](#). Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, vol. 10, no 1, e558.

Pierce, D. (2002). [The Social Cost of Carbon and its Policy Implications](#). Oxford University.

Pigou, A. (1932). The Economics of Welfare (4^e éd., p. 172-194, Chap. 9). MacMillan et Co. Ltd.

Pindyck, R. S. (2013). [Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us?](#) Journal of Economic Literature, vol. 51, no 3, p. 860-872.

Pindyck, R. S. (2017). [The Use and Misuse of Models for Climate Policy](#). Review of Environmental Economics and Policy, vol. 11, no 1, p. 100–114.

Pindyck, R. S. (2019). [The Social Cost of Carbon Revisited](#). Journal of Environmental Economics and Management, vol. 94, p. 140-160.

Portner, H. O. et al. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC.

Prest, B. et al. (2024). [Equity Weighting Increases the Social Cost of Carbon](#). Science vol. 385, no 6710, p. 715-717.

Rawls, J. (1971). A Theory of Justice. Cambridge, Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press.

Rennert, K. et Kingdon, C. (2019). [Social Cost of Carbon 101](#). Resources for the Future.

- Rennert, K. et al. (2022). [Comprehensive Evidence Implies a Higher Social Cost of CO₂](#). *Nature*, vol. 610, p. 687-692.
- Rose, S. (2017). [Carbon Pricing and the Social Cost of Carbon](#). Electric Power Research Institute.
- Rose, S., Turner, D., Blanford, G., Bistline, D., et Wilson, T. (2014). [Understanding the Social Cost of Carbon – A Technical Assessment](#). Electric Power Research Institute.
- Sabatier, P. A. et Mazmanian, D. (1995). A Conceptual Framework of the Implementation Process. Dans S. Z. Theodoulou et M. A. Cahn (Eds.), *Public Policy — The Essential Readings* (p. 153–173). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Samson R., Rivers, N. (2020). [Le Canada sous-estime-t-il les effets bénéfiques de la lutte contre les changements climatiques ?](#) L'institut climatique du Canada.
- Schwermer, S. (2012). [Economic Valuation of Environmental Damage – Methodological Convention 2.0 for Estimates of Environmental Costs](#). German Federal Environment Agency.
- Spash, C. (2002), *Greenhouse Economics: Values and Ethics*, London and New York, Routledge.
- State of Minnesota (s.d.). [In the Matter of the Further Investigation into Environmental and Socioeconomic Costs Under Minnesota Statutes Section 216B.2422, Subdivision 3](#).
- State of New Jersey (2020). [Clean Energy and Energy](#). Board of Public Utilities.
- State of New York, Climate Act (2024). [Climate Action Council Draft Scoping Plan](#).
- Stern, N. (2013). [The Structure of Economic Modelling of the Potential Impacts of Climate Change: Grafting Gross Underestimation of Risk onto Already Narrow Science Models](#). *Journal of Economic Literature*, vol. 51, no 3, p. 838-859.
- Stern, N. (2016). [Economics: Current Climate Models are Grossly Misleading](#). *Nature*, vol. 530, p. 407-409.
- Stern, N., et Stiglitz, J. E. (2021). *The Social Cost of Carbon, Risk, Distribution, Market Failures: An Alternative Approach*, vol. 15. National Bureau of Economic Research.
- Sterner, T., et Persson, U. M. (2008). [An Even Sterner Review: Introducing Relative Prices into the Discounting Debate](#). *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 2, no 1, p. 61–76.
- Stiglitz, J. E., et al. (2017). [Report of the High-Level Commission on Carbon Prices](#).
- Taconet, N. et al. (2021). [Social Cost of Carbon Under Stochastic Tipping Points](#). *Environmental and Resource Economics*, vol. 78, p. 709-737.
- Tol, R. S. J. (2005). [The Marginal Damage Costs of Carbon Dioxide Emissions: An Assessment of the Uncertainties](#). *Energy Policy*, vol. 33, 2064-2074.
- Tol, R. S. J. (2009). [The Economic Effects of Climate Change](#). *Journal of Economic Perspectives*, vol. 23, no 2, p. 29-51.

- Tol, R. S. J. (2012). [On the Uncertainty About the Total Economic Impact of Climate Change](#). *Environmental and Resource Economics*, vol. 53, p. 97-116.
- Tol, R. S. J. (2018). [The Economic Impacts of Climate Change](#). *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 12 no 1, p. 4-25.
- Tol, R. S. (2023a). [Social Cost of Carbon Estimates Have Increased Over Time](#). *Nature Climate Change*, p. 1-5.
- Tol, M. A., et Tol, R. S. (2023b). [Shiny Meta-Analysis of the Social Cost of Carbon](#). *Economics Software Archive*.
- UK Department for Transport (2021). [Transport Analysis Guidance: TAG Data Book](#). *Gouvernement du Royaume-Uni*.
- UK Government (2023). [The Green Book](#).
- U.S. Department of Transportation (2022). [Benefit-Cost Analysis Guidance for Discretionary Grant Programs \(Revised\)](#).
- U.S. GAO Government Accountability Office. (2014). [Regulatory Impact Analysis: Development of Social Cost of Carbon Estimates](#).
- van Beek, L. et al. (2020). [Anticipating Futures Through Models: the Rise of Integrated Assessment Modelling in the Climate Science-Policy Interface Since 1970](#). *Global Environmental Change*, vol. 65.
- van den Bergh, J. C., et Botzen, W. (2015). [Monetary Valuation of the Social Cost of CO₂ Emissions: A Critical Survey](#). *Ecological Economics*, vol. 114, p. 33-46.
- Victor, P. A., et Rosenbluth, G. (2007). [Managing Without Growth](#). *Ecological Economics*, vol. 61 no 2-3, p. 492-504.
- Victor, P. A. (2012). [Growth, Degrowth and Climate Change: A Scenario Analysis](#). *Ecological Economics*, vol. 84, p. 206-212.
- Victor, P. A., et Jackson, T. (2019). [LowGrow SCF—A stock-flow-consistent ecological macroeconomic model for Canada](#).
- Victor, P. A. (2020). [Cents and nonsense: A Critical Appraisal of the Monetary Valuation of Nature](#). *Ecosystem Services*, vol. 42.
- Victor, P. A. (2023). *Escape from Overshoot*, New Society Publishers.
- Waldhoff, S. et al. (2014). [The Marginal Damage Costs of Different Greenhouse Gases: an Application of FUND](#). *Economics*, vol. 8 no 1.
- Wall Street Journal, [Economists' Statement on Carbon Dividends – Bipartisan Agreement on How to Combat Climate Change](#). 16 janvier 2019.

Wang, J.-J. et al. (2009). [Review on Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-Making](#). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13.

Weitzman, M. L. (2012). [GHG Targets as Insurance Against Catastrophic Climate Damages](#). *Journal of Public Economic Theory*, vol. 14, no 2, p. 221–244.

Weitzman, M. L. (2014). [Fat Tails and the Social Cost of Carbon](#). *The American Economic Review*, vol. 104, no 5, p. 544-546.

Yumashev, D. (2019). PAGE-ICE IAM, v6.22 Technical Description (Version 6.22). The Pentland Centre for Sustainability in Business, Lancaster.

Zavadskas, E.K. et Turskis, Z. (2011). [Multiple Criteria Decision-Making Methods in Economics: an Overview](#). *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 17 no 2, p. 397-427.