

La juste part du Québec dans la lutte contre les changements climatiques

Ceecee Holz

Janvier 2021, version 2

© Climate Equity Reference Project 2021

Citer dans le format suivant : Holz, Ceecee (2020) *La juste part du Québec dans la lutte contre les changements climatiques*. Série de documents de travail de Climate Equity Reference Project WP006-FR. Version 2. Zenodo. [doi: 10.5281/zenodo.2595497]



Télécharger le rapport

<https://doi.org/10.5281/zenodo.2595497>

Ce rapport a été possible grâce à des contributions de la Fondation David-Suzuki, le Réseau action climat Canada, et la Fondation Minor for Major Challenges. Les opinions exprimées ici, ainsi que toute erreur ou omission sont de la seule responsabilité de l'auteur.



CLIMATE EQUITY REFERENCE
PROJECT



RÉSEAU ACTION CLIMAT Canada

— INTRODUCTION

La crise climatique est un problème qui, fondamentalement, est d'envergure mondiale. Les répercussions d'un climat en pleine évolution sont de plus en plus ressenties partout sur la planète et les émissions de gaz à effet de serre (GES) qui causent les changements climatiques et le réchauffement de la planète proviennent de tous les pays du monde et circulent librement autour du globe. Aucun pays ne peut résoudre seul la crise climatique. Les mesures prises dans d'autres pays ont un effet au moins aussi important sur les risques climatiques d'un pays donné que celles qu'il prend lui-même. Il en résulte que la résolution de la crise climatique exige un degré de collaboration internationale sans précédent. Il est difficile d'imaginer une telle collaboration sans que chacun fournisse sa juste part de l'effort mondial. Pour reprendre les termes du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), « [L]es éléments de preuve portent à penser que des résultats considérés comme équitables peuvent donner lieu à une coopération plus efficace » (GIEC 2014).

Cela ne s'applique pas uniquement aux pays, mais peut aussi être vrai pour des entités telles que des provinces, des villes, ou même des individus : des acteurs qui profitent sans contrepartie (« free-riding ») peuvent nuire à l'efficacité de la collaboration requise. Le présent rapport est axé sur la province du Québec et pose la question suivante :

« Quelle est la juste part du Québec de la lutte mondiale contre les changements climatiques au cours de la prochaine décennie? » Le rapport est axé sur l'atténuation - la réduction des émissions de GES du Québec conformément à sa juste part de l'effort mondial d'atténuation - bien que « l'action climatique » recouvre maints autres aspects très importants, y compris l'adaptation à un climat déjà en pleine évolution afin de réduire les risques présentés par les effets des changements climatiques, les initiatives telles qu'une transition équitable pour les travailleurs et travailleuses et les communautés qui subissent les répercussions des efforts de réduction des émissions ou d'adaptation aux changements climatiques, réagir aux pertes et dommages causés par les effets des changements climatiques, le soutien financier et autres dans les pays les plus pauvres.

Le gouvernement du Québec, bien qu'il s'agisse d'un État fédéré, joue depuis longtemps un rôle actif dans la politique internationale. Le Québec a été le premier État fédéré à participer à la finance internationale en 2015, un engagement qui a été renouvelé dans le budget 2019-2020, à travers son Programme de collaboration climatique internationale (PCCI). Le Québec, avec la Californie, a en outre participé à la création de la *Western Climate Initiative*, qui vise à établir un système nord-américain de plafonnement et d'échange des émissions de GES.

Le gouvernement du Québec se décrit comme un leader international en matière de lutte contre les changements climatiques. Pour contribuer à l'effort mondial de réduction des émissions de GES, le Québec a établi une série d'objectifs, à savoir 6 % en deçà des niveaux de 1990 pour 2012 (objectif atteint), 20 % en deçà des niveaux de 1990 pour 2020, et 37,5 % en deçà des niveaux de 1990 pour 2030. Le gouvernement du Québec a également signé un Protocole d'accord sur le leadership climatique infranational mondial (Le « *Under2 MoU* ») qui indique l'intention des États et des régions de contribuer à la réduction des émissions de 80 % à 95 % d'ici 2050.

Le gouvernement du Québec s'est joint à des coalitions et initiatives internationales afin de contribuer à l'effort mondial pour faire face à la crise climatique. Le Ministère de l'Environnement et lutte contre les changements climatiques signale que parmi ces coalitions et initiatives figurent la *Under 2 Coalition*, le *Network of Regional Governments for Sustainable Development* (Québec a été le premier État nord-américain à en faire partie; MRIF, 2010), et l'Alliance internationale pour combattre l'acidification des océans (MELCC 2016). Il a également créé le PCCI, un programme reconnu visant à apporter un soutien aux pays francophones les plus vulnérables (MELCC, 2019).

Tout ceci indique clairement que le Québec considère les changements climatiques comme un défi important pour l'humanité, nécessitant des mesures nationales et une collaboration internationale pour y faire face, et que le Québec est prêt à prendre ces mesures et à s'engager dans la collaboration, indépendamment de l'approche adoptée par le gouvernement fédéral. Dans le contexte de la collaboration internationale, la question se pose à savoir dans quelle mesure on devrait s'attendre à ce que chaque acteur contribue à cette collaboration. En d'autres termes : quelle est la juste part de chaque acteur? Le présent rapport a pour objet faire la lumière sur cette question en présentant les résultats de calculs du partage de

l'effort pour la province du Québec à l'aide de calculs fermement ancrés dans les meilleures données scientifiques disponibles et dans les principes éthiques acceptés par tous les pays parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

En cette période où tout se fait en fonction de la pandémie de coronavirus, la question de la solidarité et de la collaboration face à une menace très grave et des liens profonds entre les actes posés par chacun, à travers le temps et l'espace se retrouve à l'avant-plan. Nombreux sont les parallèles et les similarités structurelles entre la lutte contre l'épidémie de coronavirus et la lutte contre la crise climatique. Dans les deux cas, les sociétés doivent effectuer des choix fondamentaux pour faire face à la menace; dans les deux cas, les diverses options pour faire face sont profondément différentes. Nous pouvons choisir des réponses nationalistes et individualistes, les pays et les personnes les plus riches et puissants s'occupant d'eux-mêmes sans s'inquiéter du sort des autres, ou nous pouvons décider que la solidarité et l'investissement dans le bien commun est la meilleure et probablement la seule façon de surmonter la crise du coronavirus. C'est essentiellement le même choix qui s'offre à nous pour répondre à la crise climatique : les pays et les personnes les plus riches vont-ils continuer indéfiniment à traîner les pieds lorsque vient le temps de réduire leurs émissions, bâtissant des murs et laissant le secteur privé vendre des services d'adaptation aux plus offrants, ou vont-ils collaborer de manière équitable, préserver le climat mondial, investir dans des mesures d'adaptation accessibles au plus grand nombre et répondre aux besoins des personnes les plus vulnérables, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de leurs frontières?

Dans un article paru en mars dans le *Financial Times*, Yuval Harari (2020) écrit à propos de la pandémie de coronavirus qu'elle est « peut-être la crise la plus grave de notre génération »; un titre qui, avant, était régulièrement utilisé pour la crise climatique :

« *L'humanité doit faire un choix. Allons-nous nous engager sur la voie de la désunion ou allons-nous choisir celle de la solidarité mondiale? Si nous optons pour la désunion, cela non seulement prolongera la crise, mais se traduira probablement par des catastrophes encore pires à l'avenir. Si nous décidons de choisir la solidarité mondiale, ce sera une victoire, non seulement contre le coronavirus, mais aussi contre les épidémies et crises futures qui pourraient s'abattre sur l'humanité du 21^e siècle.* »

Toutefois, la solidarité mondiale ne peut véritablement s'épanouir que dans un milieu où règne la confiance. Cette dernière exige de comprendre que tout un chacun doit contribuer à l'effort collectif pour endiguer la crise, qu'il s'agisse de garder ses distances physiques et de porter un masque, ou de contribuer sa juste part à un effort mondial d'atténuation afin de prévenir les pires répercussions des changements climatiques.

— L'EFFORT MONDIAL D'ATTÉNUATION

Pour établir la juste part du Québec dans l'effort mondial d'atténuation, il faut d'abord définir ce dernier. L'objectif d'atténuation se retrouve dans l'Accord de Paris, qui le définit ainsi : « [Contenir] l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et [poursuivre] l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels » (CCNUCC 2015, Article 2.1.a). Bien que le Québec ne soit pas un État partie à l'Accord de Paris, le Canada lui, l'est, et cet accord, ainsi que ses objectifs, ont un solide appui politique dans la province. À la demande de la Conférence de Paris sur le climat, le GIEC a publié en 2018 un rapport spécial sur les éléments scientifiques liés à un réchauffement planétaire de 1,5 °C. Ce rapport représente les meilleurs éléments scientifiques disponibles concernant la détermination de l'effort mondial d'atténuation connexe à l'objectif de limitation du réchauffement planétaire 1,5 °C convenu dans l'Accord de Paris.

Toutefois, le rapport du GIEC rassemble un grand nombre de scénarios d'atténuation future différents produits par des scientifiques et reflètent un vaste éventail d'hypothèses diversifiées utilisées par ces chercheurs. Il se contente de résumer et de classer ces scénarios sans les juger quant à leur vraisemblance, au caractère acceptable de leurs

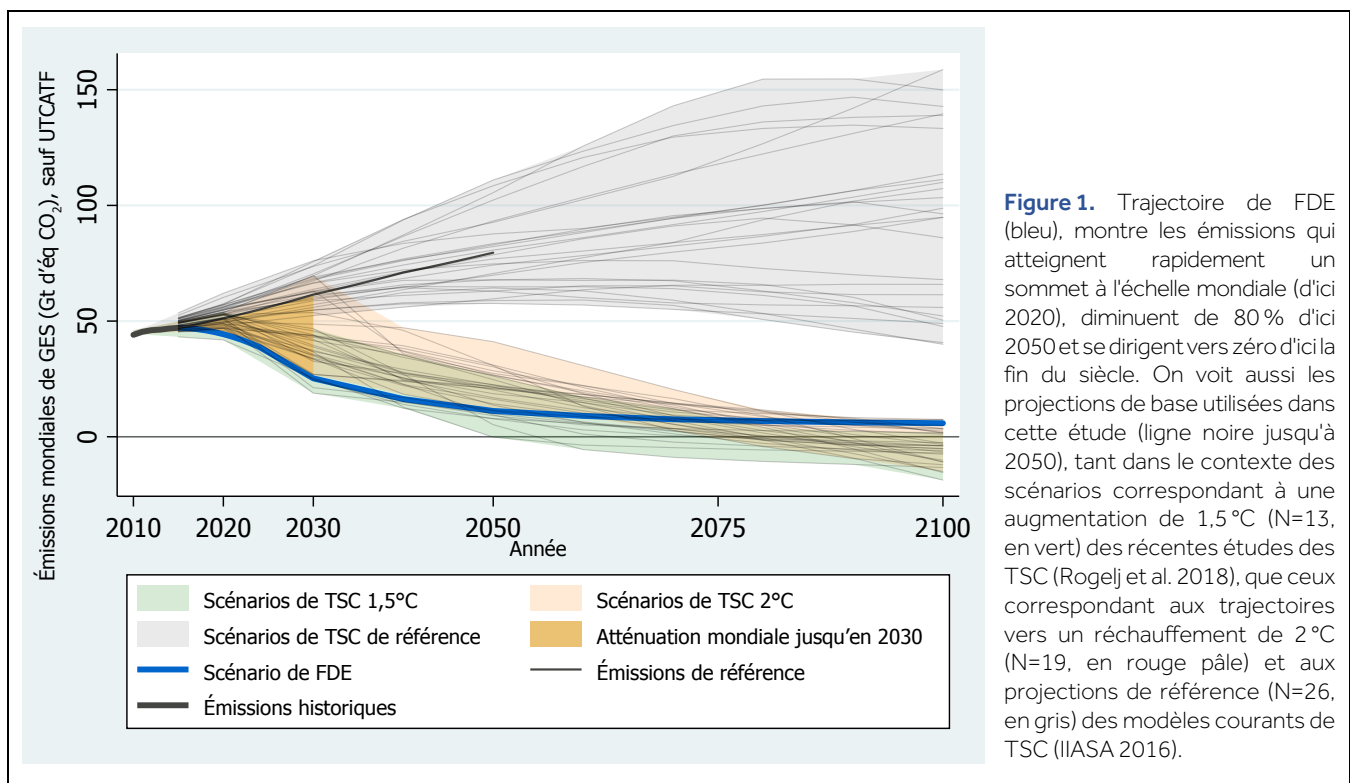
hypothèses du point de vue social, politique ou éthique, et quant à leur portée plus vaste. Ainsi, un grand nombre de scénarios fondés sur un réchauffement de 1,5 °C impliquent un « dépassement », c'est-à-dire une période pendant laquelle les températures excèdent temporairement 1,5 °C avant de redescendre à ou sous 1,5 °C. Un grand nombre des scénarios envisagent également une utilisation à grande échelle de « technologies à émissions négatives » (TEN), aussi appelées technologies d'« élimination du dioxyde de carbone » (EDC), qui pourraient ne pas être disponibles à l'échelle assumée et/ou pourraient présenter d'importants risques et effets secondaires les rendant peu souhaitables du point de vue social. (Pour obtenir de plus amples détails concernant les EDC et le dépassement, veuillez consulter l'annexe 1.)

C'est pour cette raison que le présent rapport suit l'exemple de rapports similaires consacrés à la juste part (p. ex., CSO Equity Review 2018; Kartha et al. 2018; CAN-Rac Canada 2019; Holz 2019; Christian Aid et al. 2020) et applique le principe de précaution à la détermination de l'effort mondial intégral, choisissant le scénario de « faible demande énergétique » (FDE) (Grübler et al. 2018) comme trajectoire mondiale pertinente pour l'atténuation. Le scénario de FDE évite l'utilisation des EDC, ne

prévoit aucun dépassement¹, et utilise l'atteinte universelle d'un « niveau de vie décent » et de l'accès aux services énergétiques connexes comme critère central sur lequel est fondée la conception du scénario. (Veuillez consulter l'annexe 2 pour obtenir de plus amples détails concernant le scénario FDE).

La figure 1 montre la trajectoire FDE dans le contexte d'autres trajectoires d'atténuation cohérentes vers un réchauffement de 1,5 °C (vert) et de 2 °C (rouge pâle), ainsi que les scénarios de

l'initiative des Trajectoires socio-économiques communes (TSC). Par rapport à la plupart des autres scénarios, il se caractérise par une trajectoire de réduction des émissions à court terme plus rigoureuse et une courbe plus aplatie plus tôt au cours du siècle, avec des émissions résiduelles provenant principalement de l'agriculture, jusqu'à la fin du siècle. Il importe cependant de remarquer qu'à l'instar du reste du rapport, le diagramme exclut les émissions et les retraits connexes à l'utilisation des terres, changement d'affectation des terres et



référence (gris) modélisés dans le contexte de

foresterie (UTCATF).² Si ces chiffres étaient inclus,

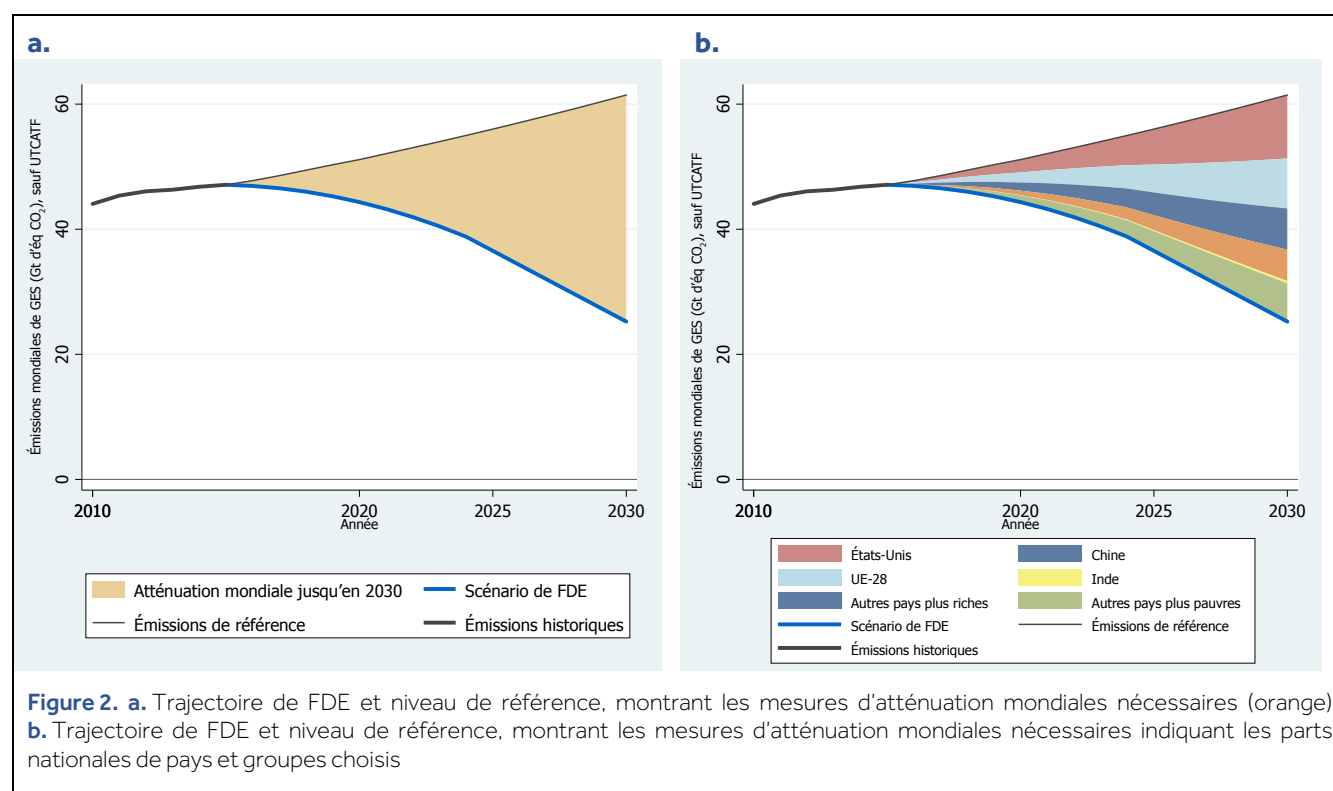
- 1 Strictement parlant, il comporte effectivement un dépassement et est par conséquent considéré comme un scénario de « faible dépassement » dans le rapport du GIEC puisque l'augmentation de la température culmine à 1,52 °C avant de redescendre en dessous de 1,5 °C. Toutefois, on peut se demander si les modèles utilisés pour estimer l'impact de réchauffement des scénarios sont suffisamment précis pour justifier une précision de l'ordre de deux décimales, ce qui suggère que le fait d'arrondir à 1,5 °C est approprié.
- 2 Les émissions liées à l'UTCATF sont exclues ici pour un certain nombre de raisons. En premier lieu, les données sur les émissions liées à l'UTCATF sont sujettes à de

considérables incertitudes des données, particulièrement au niveau national. Il n'existe aucune source faisant autorité pour les données de séries chronologiques au niveau national concernant les éliminations et les émissions liées au secteur de l'UTCATF ayant un degré de certitude suffisant pour convenir à la réalisation de calculs des justes parts mondiales. Qui plus est, et dans un domaine connexe, les pays riches, y compris le Canada, utilisent des règles de comptabilité négociées en vertu de la CCNUCC pour la comptabilité des émissions liées à l'UTCATF qui ne reflètent pas les émissions et les éliminations réelles et qui peuvent permettre aux pays de réclamer des crédits de carbone produits par le secteur de l'UTCATF alors même que de

ils seraient montrés pour compenser les émissions résiduelles de CO₂ dans la trajectoire de FDE ainsi que les émissions de CO₂ pour la trajectoire négative nette à partir des années 2050. Dans la figure 1, le triangle orange montre l'atténuation nécessaire jusqu'en 2030 entre le scénario de référence et la trajectoire d'atténuation fondée sur la FDE.

En vertu de cette trajectoire, les émissions mondiales tomberaient à environ 25 milliards de tonnes d'équivalents de dioxyde de carbone (Gt d'équivalent CO₂) en 2030. La figure 1 et la figure 2a

montrent comment l'atteinte d'un niveau d'émissions de 25 Gt d'équivalent CO₂ en 2030 pourrait être comparée aux niveaux d'émissions actuels et à un scénario de référence pour les émissions futures si aucune mesure d'atténuation n'était prise (triangle orange). Comme l'indiquent ces figures, atteindre le scénario de FDE se traduirait par une réduction des émissions mondiales de 36 Gt d'équivalent CO₂, soit plus de la moitié par rapport aux émissions de référence assumées pour cette année-là (approximativement 61,5 Gt d'équivalent CO₂).



considérables émissions ont été produites (Greenglass et al. 2010; Holz 2012, 2015). Par conséquent, les données disponibles concernant les émissions liées à l'UTCATF ne se prêtent pas à un solide cadre de calculs des justes parts mondiales.

En deuxième lieu, même avec des données et une comptabilité exactes, une fongibilité stricte entre, d'une part le carbone attribuable à l'utilisation des terres et, d'autre part le carbone fossile, pose un considérable problème en ce qu'elle assimile la portée de stocks de carbone instables, limités et polyvalents en surface à un remplacement du stock permanent et certain de carbone fossile profondément enterré. En troisième lieu, le lien extrêmement étroit entre l'utilisation des terres et autres

préoccupations connexes à la durabilité et aux droits de la personne suggère que les terres doivent être gérées au sein d'un genre de régime fondamentalement différent de celui de la CCNUCC; un régime axé notamment sur des droits des Autochtones, la biodiversité, la sécurité alimentaire, les droits de la personne et la protection des bassins hydrologiques sans quoi il court le risque de nuire gravement à ces autres objectifs.

Il importe de remarquer qu'il n'est pas ici question de suggérer que les mesures prises au sujet des émissions liées à l'utilisation des terres manquent d'importance ou ne justifient aucune évaluation fondée sur la science et l'équité, mais bien plutôt de promouvoir le fait de placer de telles mesures dans leur propre contexte holistique.

— DE L'EFFORT MONDIAL À LA JUSTE PART DU QUÉBEC

L'effort mondial pour réduire les émissions, tel qu'il est illustré par la couleur orange dans les figures 1 et 2a, peut être divisé entre tous les pays (ou entités infranationales en leur sein) en fonction de leur responsabilité (dans la survenance du problème) et leur capacité (à aider à le régler), comme le montre la figure 2b, correspondant à ce qui pourrait être considéré comme leur juste part pour la mise en œuvre de l'effort mondial d'atténuation nécessaire pour suivre avec succès la trajectoire de FDE.

Cette approche reflète les principes fondamentaux d'équité, bien établis et inscrits depuis longtemps dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Ils ont été très bien résumés par Al Gore dans une chronique dans le *New York Times* sur les changements climatiques rédigée pendant la période précédant les négociations de 2009 de Copenhague sur les changements climatiques (Gore 2007) :

« Il sera demandé aux pays de se conformer à des exigences différentes en fonction de leur part ou contribution historique au problème, et de leur capacité relative à porter le fardeau du changement. Ce précédent est bien établi en droit international et il n'existe pas d'autre moyen de le faire. »

Ici, nous appliquons les concepts de *capacité* et *responsabilité* aux points de repère concernant les émissions de GES au moyen d'une approche simple conçue et appliquée par la Civil Society Equity Review (CSER) Coalition, une coalition de plus de 200 groupes³ couvrant les hémisphères nord et sud et englobant de multiples points de vue (CSO Equity Review 2015, 2017, 2018). Dans cette approche, la capacité est fondée sur le revenu national, et la responsabilité est représentée par l'accumulation historique des émissions de GES. La coalition CSER les a définies en termes moyennement progressifs (semblable à un impôt progressif), le raisonnement étant qu'il ne serait pas équitable de traiter le millionième dollar de revenu d'une personne riche de la même manière que le premier dollar du revenu d'une personne pauvre. Alors que cette approche ne propose pas de mettre réellement en œuvre un impôt supplémentaire sur les revenus personnels, la réflexion au sujet de la capacité d'un pays ou d'une province suit une approche similaire à celle adoptée, par exemple, par le régime de l'impôt sur le revenu au Québec, à savoir que le système de l'imposition du revenu au Québec laisse un montant par personne à concurrence de 15 269 dollars libre de tout impôt tandis que les revenus les plus élevés excédant 106 555 dollars sont imposés à un taux marginal d'imposition provincial du revenu de 25,75 %⁴ (en 2019; Revenu Québec 2000). (Veuillez également consulter l'annexe 3 pour obtenir des détails

3 Figurent parmi les signataires québécois des rapports de CSER, l'Association québécoise de lutte contre la pollution atmosphérique (AQLPA) et ENvironnement JEUnesse, ainsi qu'un grand nombre d'organisations canadiennes nationales ayant une présence ou des membres au Québec telles que la Fondation David Suzuki ou Climate Action Network Canada -Réseau action climat Canada.

4 Ces chiffres ne concernent que l'impôt sur le revenu du Québec. Combinés avec les chiffres concernant l'impôt sur le revenu du Canada, le seuil en détaxe diminue pour atteindre 12 069 dollars. Par conséquent, il peut être dit du régime fédéral de l'impôt sur le revenu qu'il est moins graduel pour les revenus inférieurs car il demande aux personnes qui gagnent plus de 12 069 dollars de contribuer une part plus

importante que ne les y obligerait le code de la fiscalité du Québec. En revanche, les taux d'impôt marginal fédéraux pour les personnes ayant les revenus les plus élevés continuent à augmenter au-delà du seuil le plus élevé prévu par le code du Québec, les revenus excédant 214 368 dollars étant assujettis à un taux d'impôt marginal fédéral de 33 % (ou combinés avec l'imposition du Québec, de 58,75 %). Cela fait du système fédéral un régime plus progressif pour les revenus les plus élevés que celui prévu par le code du Québec puisque les personnes qui ont un revenu plus élevé sont tenues de contribuer une portion de plus en plus importante au titre du financement des biens publics au moyen de leurs impôts.

concernant la manière dont les concepts de capacité et de responsabilité sont définis dans l'approche du partage de l'effort utilisée ici.)

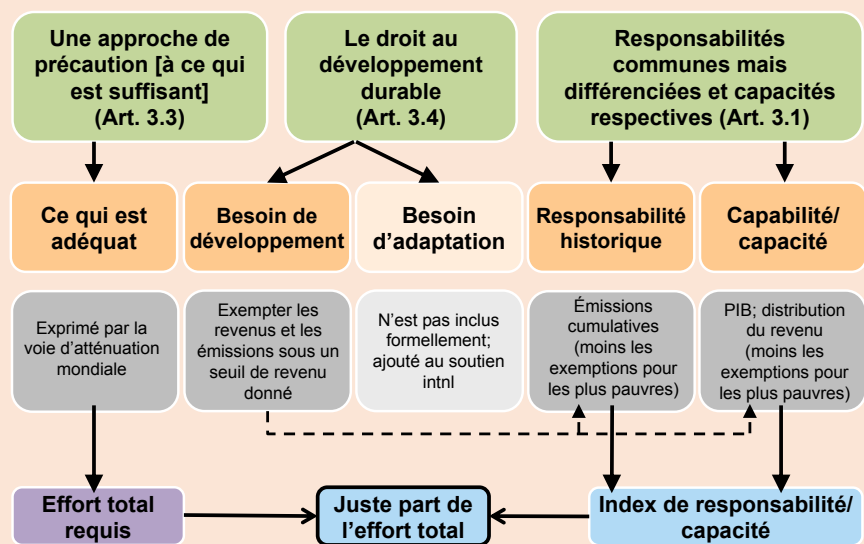
Dans l'approche adoptée par CSER, la capacité était calculée de manière modestement progressive en excluant les 20 premiers dollars américains par jour de revenu contribué au PIB de la nation par chaque personne au regard de la capacité économique de ladite nation à lutter contre les changements climatiques (« progressivité moyenne » dans les diagrammes et tableaux ci-dessous). De même, la responsabilité était calculée en excluant les

émissions de GES de la consommation correspondant à un revenu à concurrence des premiers 20 dollars par jour d'une personne. La coalition CSER calculait également une juste part relativement plus progressive lorsque le revenu excédant un seuil de 50 000 dollars américains par an par personne était considéré plus sévèrement que le revenu en dessous de ce seuil (« progressivité élevée »). Aux fins du présent rapport, un groupe supplémentaire de points de repère (« faible progressivité ») est inclus à des fins d'illustration lorsque le montant exonéré est rabaisé au simple montant de 2 500 dollars américains par personne,

Encadré : Le modèle quantitatif du cadre de référence de l'équité climatique

Les calculs de justes parts utilisés ici sont basés sur le cadre de référence de l'équité climatique (*Climate Equity Reference Framework*; CERf), un cadre de référence généralisé sur le partage de l'effort qui a évolué sur le cadre de référence *Greenhouse Development Rights* (Baer, Athanasiou, et al. 2008; Baer et al. 2009; Baer, Fieldman, et al. 2008). La figure démontre la structure générale et l'implantation du CERf. Prenant comme point de départ les principes d'équité de la Convention cadre des nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC, 1992) (en vert, indiquant l'article pertinent de la CCNUCC) – (i) une approche de précaution (ii) le droit au développement durable et (iii) les

responsabilités communes mais différenciées et capacités respectives – le CERf conceptualise ces principes via des concepts intermédiaires (en orange), notamment, pour (i) ce qui est suffisant, pour (ii) le besoin de développement et d'adaptation et pour (iii) la responsabilité historique pour les émissions et la capacité ou capacité d'implanter des solutions climatiques. Ces concepts intermédiaires sont à leur tour représentés par des indicateurs (en gris), quantifiés à travers des sources de données fiables. Spécifiquement, ce qui est suffisant est quantifié via les voies d'atténuation tirées de la base de données de scénarios du GIEC (Huppmann et al. 2018). Le besoin de développement est quantifié conjointement avec la responsabilité historique et la capacité, à travers le traitement différent des revenus et des émissions des individus à différents niveaux de revenus (et de consommation) lorsque la responsabilité nationale historique et la capacité nationale. La philosophie générale derrière cette approche est qu'il est plus approprié de prioriser les revenus sous un certain seuil (défini par l'utilisateur) pour le développement et l'éradication de la pauvreté, qui ne sont ainsi pas disponibles à être mobilisés pour des solutions climatiques. Et que, de façon similaire, les émissions de survie associées à une consommation à ce bas niveau de revenu devraient être traitées différemment que les autres émissions (Shue 1993). Ces émissions sont conséquemment exclues de la responsabilité d'une nation. Pour chacun des États du monde et pour chacune des provinces canadiennes, donc, la part totale de cette entité de la responsabilité et capacité mondiale totale est calculée (l'index de responsabilité/capacité), et utilisée pour calculer la juste part de l'entité de l'effort mondial total d'atténuation comme sa part de la capacité et la responsabilité mondiales. Plus de détails sur les sources des données utilisées pour les calculs sont disponibles (Holz et al. 2018c) et les formules du modèle quantitatif sont fournies et expliquées à l'Annexe 6. Les sources et le traitement des données de niveau provincial pour le Canada est explicité à l'annexe 5.

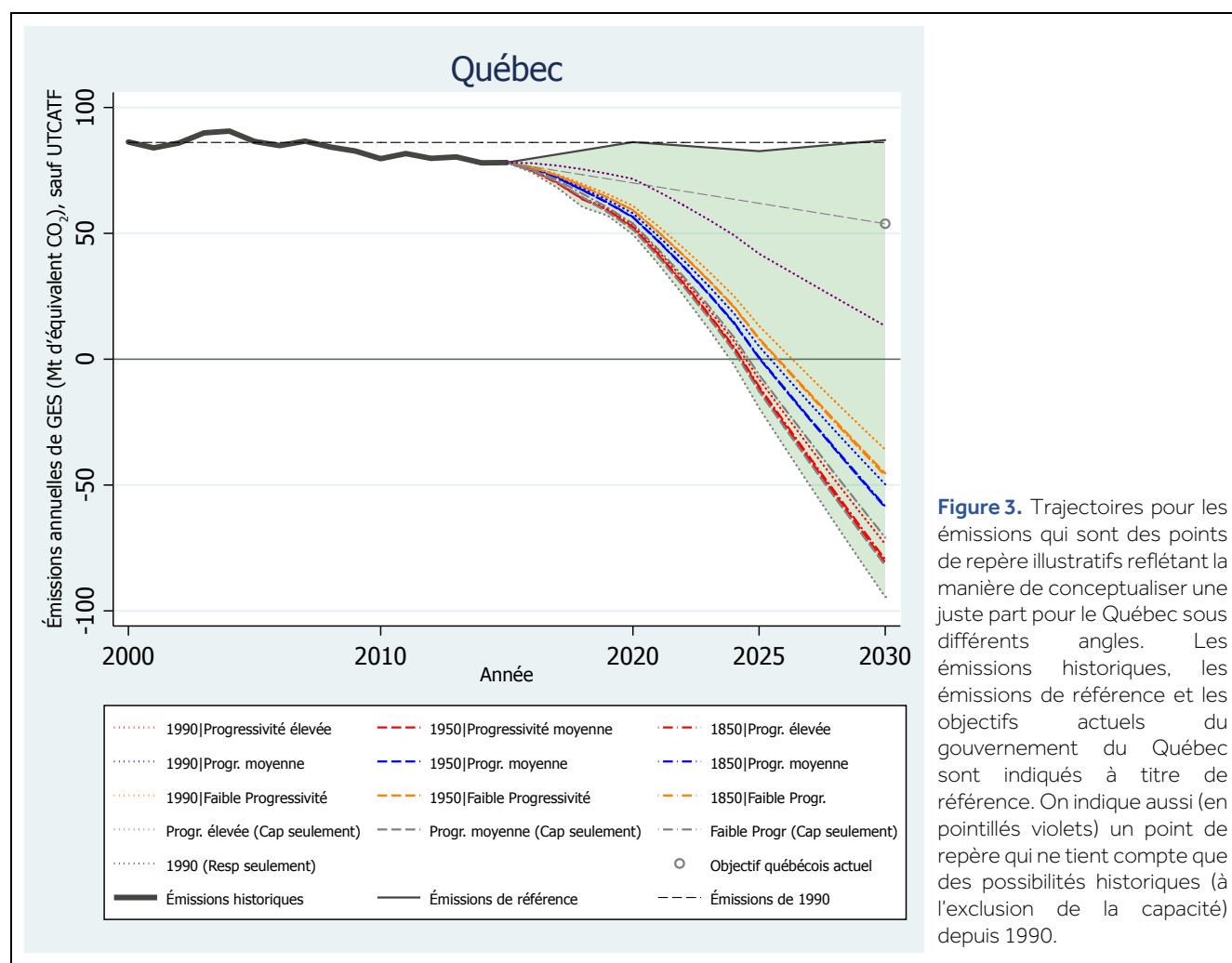


ce qui représente un seuil de subsistance ou une pauvreté considérable. CSER utilise également ce point de repère dans son approche, mais la décrit comme inéquitable aux yeux de ses organisations membres puisqu'elle transférerait la majorité du fardeau de l'action climatique des épaules des pays les plus riches du monde sur celles des pays les plus pauvres.

Les points de repère sont également différents en termes de la date à partir de laquelle ils tiennent compte des émissions passées. Ici, les dates des

résultats pour la responsabilité passée de 1850, 1950 et 1990 sont utilisées⁵. En règle générale, plus la prise en compte des émissions passées s'approche de la date contemporaine, plus les résultats deviennent favorables pour les pays plus riches, qui tendent à avoir produit des émissions depuis plus longtemps et à des taux historiquement plus élevés.

Il importe de souligner que l'approche de partage de l'effort général utilisée ici prend la personne comme unité conceptuelle de base de l'analyse, à savoir



5 Il importe de noter qu'il a été relativement difficile de se procurer des sources de données fiables à haute résolution concernant les émissions, la population et le PIB à l'échelle provinciale pour les périodes antérieures à 1990, 1981 et 1971, respectivement. Alors que de considérables efforts ont été déployés pour estimer ces données au moyen de

sources de données substitutives et autres modes d'estimation, plus on remonte loin dans le temps antérieur à 1990, plus faible est la certitude quant à la répartition par province des totaux canadiens. Veuillez consulter l'annexe 5 pour obtenir des détails concernant la provenance et l'estimation des séries de données au niveau des provinces.

qu'une personne riche ayant une grande empreinte carbone personnelle vivant dans un pays pauvre qui produit peu d'émissions en général a la même juste part qu'une personne tout aussi riche ayant une large empreinte carbone personnelle qui vit dans un pays riche. Les justes parts des pays (ou en l'occurrence des provinces) sont alors conceptualisées comme la somme des justes parts personnelles de leurs résidents. Par conséquent, les pays (ou provinces) ayant comparativement plus d'habitants avec un revenu élevé et une plus grande empreinte carbone auront chacun une juste part nationale plus conséquente que celle des pays ou provinces peuplés par un plus grand nombre de personnes plus pauvres produisant moins d'émissions.

Aux fins du présent rapport technique, qui a pour objet de faciliter les discussions entre les membres de la société civile au Québec concernant l'interprétation appropriée de ce qui constituerait des contributions équitables pour le Québec, un vaste éventail de possibles calculs des justes parts est fourni ci-dessous pour la province du Québec (figure 3 et tableau 1; veuillez consulter l'annexe 4 pour obtenir les diagrammes équivalents pour les autres provinces canadiennes).

Outre les combinaisons de dates de commencement de la responsabilité et des circonstances de la progressivité susmentionnées, trois points de repère supplémentaires sont présentés dans le tableau 1 et dans la figure 3 qui ne tiennent pas compte de la responsabilité dans la création de la crise climatique au moyen des

Québec

Approche de progressivité	Responsabilité historique début	Part de l'effort mondial %	Réductions en 2030 en deçà		
			Référence Mt d'éq CO ₂	Niveaux de 1990 Mt d'éq CO ₂	%
Points de repère tenant compte de la capacité et de la responsabilité					
Faible	1850	0,37%	133,4	132,4	153,8%
	1950	0,37%	132,5	131,5	152,7%
	1990	0,34%	123,0	122,1	141,7%
Moyene	1850	0,40%	145,5	144,6	167,9%
	1950	0,40%	146,0	145,1	168,4%
	1990	0,38%	136,8	135,8	157,7%
Élevé	1850	0,46%	166,6	165,7	192,4%
	1950	0,46%	167,8	166,9	193,8%
	1990	0,44%	160,5	159,6	185,3%
Points de repère ne tenant compte que de la capacité (excluant la responsabilité)					
Faible	as pris en compte	0,44%	157,9	157,0	182,3%
Moyene	as pris en compte	0,47%	169,0	168,1	195,2%
Élevé	as pris en compte	0,50%	181,6	180,6	209,7%

Tableau 1. Réductions des émissions en 2030 pour les points de repère illustratifs de la figure 3, comme réductions des émissions en deçà des niveaux de référence d'émission et de 1990, dépendant individuellement du degré de progressivité du traitement du revenu national (progressivité faible, moyenne ou élevée) et de l'approche utilisée pour envisager les émissions historiques (date de commencement en 1990, 1950 ou 1850, ou sans tenir compte des émissions historiques)

émissions passées de GES, et se bornent à envisager, dans diverses conceptualisations de la progressivité, la capacité des pays à agir pour régler cette crise. Une telle position pourrait être justifiée du point de vue éthique compte tenu de la tradition de philosophie morale de la justice transitionnelle, qui plaide fréquemment de s'abstenir de concrètement tenir pour responsables les instigateurs d'injustices historiques à l'égard de leurs injustices passées et met plutôt l'accent sur la reconnaissance et la responsabilité symboliques ainsi que sur l'apaisement et la mise en œuvre de changements pour garantir que les pratiques dommageables passées ne seront pas réitérées. S'agissant de partager équitablement l'effort mondial d'atténuation entre les populations de la planète, cette approche serait centrée sur la question de savoir comment elles peuvent contribuer à la solution plutôt que de savoir comment elles ont contribué au problème.

Enfin, compte tenu de l'importance politique de l'année 1990 comme année de référence pour la réduction des émissions au Québec, un point de repère illustratif également montré ne tient compte

que de la responsabilité historique pour la création de la crise climatique (c.-à-d., qu'il exclut la capacité financière de la nation à aider à régler cette crise) et ne tient compte de cette responsabilité que depuis 1990. De tels points de repère ont régulièrement été rejetés, étant considérés comme injustes pour les pays et les populations les plus pauvres (CSO Equity Review 2015). Les raisons sont doubles. D'une part, la date de 1990 est considérée comme trop récente pour constituer un point de référence équitable étant donné « le vaste volume d'émissions historiques qui ont profité à de nombreux pays pendant les décennies de développement intense en carbone effréné avant la signature de la CCNUCC ne peut être ignoré d'un point de vue moral et juridique » (CSO Equity Review 2015, p. 2). D'autre part, la prise en compte de la capacité financière importe pour veiller à ce que les populations mondiales les plus pauvres ne soient pas inutilement accablées par l'effort de règlement de la crise climatique alors qu'elles continuent à lutter pour des vies dignes, libérées de la pauvreté.

L'outil de calcul utilisé ici (Le « Climate Equity Reference Calculator », Holz et al. 2019; Kemp-Benedict et al. 2017)⁶ soutient d'autres moyens de fixer des points de repère de justes parts qui pourraient être envisagés au lieu de ceux décrits dans le présent rapport. Ainsi, l'outil peut être utilisé pour calculer des justes parts correspondant à un point de vue éthique selon lequel il est juste qu'outre l'exemption du revenu en deçà d'un seuil inférieur donné (p. ex. 20 dollars par personne par jour) du calcul de la capacité d'un pays ou d'une province à régler les changements climatiques, il serait approprié de davantage tenir compte des revenus excédant un seuil supérieur comme des sources disponibles pour régler la crise climatique, par exemple en appliquant un coefficient multiplicateur (disons x5) aux revenus supérieurs à un tel seuil (disons 100 000 dollars par personne par an).

À la lumière de ces points de repère, la responsabilité et la capacité sont calculées pour chaque pays (ou, dans le cas du Canada, pour chaque province) au fil du temps. La juste part de chaque pays ou province de l'effort mondial d'atténuation est déterminée par sa part de la responsabilité mondiale et sa capacité (une moyenne des deux étant réalisée). Pour le Québec, la part s'élève à entre 0,38 % et 0,46 % de la totalité de l'effort mondial d'atténuation (lorsque l'on exclut le groupe de points de repère « faible progressivité » qui, tel qu'expliqué ci-haut, peuvent être contestables, et les points de repère qui ne tiennent pas compte de la responsabilité historique), par rapport à la part du Québec s'élevant à seulement 0,11 % de la population mondiale. C'est approximativement entre 137 et 168 Mt d'équivalent CO₂ des 36 Gt d'équivalent CO₂ de réduction de la totalité des émissions nécessaire à l'échelle mondiale d'ici 2030, soit entre 136 et 167 Mt d'équivalent CO₂, ou entre 158 % et 194 %, en deçà des niveaux de 1990. Les résultats mis de l'avant dans la figure 3 et le tableau 1 indiquent également que bien que la portée de la juste part du Québec soit sensiblement influencée par les choix particuliers effectués lors de l'établissement de chaque point de repère, ils sont également relativement cohérents par rapport à tous les points de repère, particulièrement lorsque l'on ne considère que les six points de repère « progressivité élevée » (rouge) et « progressivité moyenne » (bleu). Cependant, et c'est crucial, il semble aussi que sans égard aux choix spécifiques quant aux modalités de la conceptualisation de la juste part du Québec, cette juste part excède largement - de 4 à 5 fois - l'objectif actuel du gouvernement provincial fixé à 37,5 % en deçà des niveaux de 1990 d'ici 2030. Cela demeure vrai même lorsque l'on regarde le point de repère illustratif « 1990 (responsabilité uniquement) » inclus dans la figure 3 à titre d'information. Même en omettant complètement la capacité des nations à répondre aux changements climatiques et en omettant complètement les émissions produites

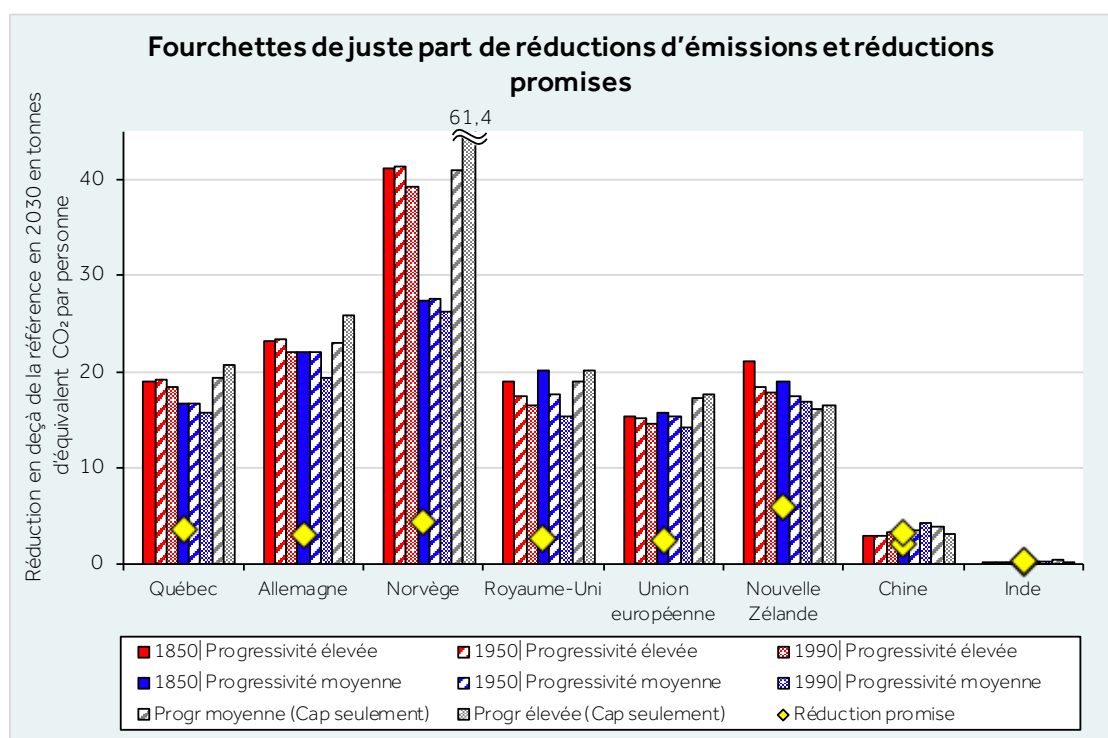
6 L'outil de calcul interactif est disponible, en anglais, au lien suivant: <https://calculator.climateequityreference.org>. Veuillez remarquer que la base de données pour l'outil utilisée pour calculer les niveaux provinciaux n'est pas

disponible dans le format standard de l'outil. Veuillez communiquer avec l'auteur pour obtenir les instructions pour utiliser l'outil de calcul de manière interactive pour explorer au niveau provincial.

avant 1990, la part du Québec de l'effort mondial serait malgré tout considérablement plus importante (nécessitant une réduction de 85 % au-delà des niveaux de 1990) que l'objectif actuel du gouvernement, bien que cela serait considéré comme injustement faible compte tenu des raisons susmentionnées pour rejeter ce point de repère comme étant inéquitable.

Conceptualiser les justes parts de manières particulières et quantifiables facilite également la

comparaison des fourchettes de justes parts et les engagements à la réduction des émissions entre les différents pays et régions. La figure 4 et le tableau qui l'accompagne montrent les fourchettes de juste part (les barres sur le graphique) pour les points de repère spécifiques indiqués à la figure 3 et dans le tableau 1 (à l'exclusion des points de repère « faible progressivité »). Le graphique et le tableau montrent en outre les objectifs de réduction des émissions pour 2030 envers lesquels les pays se sont engagés⁷. Pour pouvoir effectuer une comparaison directe



		Québec	Allemagne	Norvège	Royaume-Uni	Union européenne	Nouvelle Zélande	Chine	Inde
Fourchettes de juste part	Faible	15,7	19,5	26,2	15,3	14,2	16,1	2,9	0,03
	Élevée	20,8	25,8	61,4	20,1	17,7	21,1	4,3	0,36
Réductions promises		3,6	3,0	4,4	2,7	2,5	5,9	2,0 à 3,2	0,19 à 0,33

Figure 4 et tableau 2. Fourchettes de justes parts et d'engagements envers les réductions des émissions (toutes deux exprimées sous forme de réductions des émissions par personne en deçà d'une référence « sans effort » en 2030) pour des économies choisies.

⁷ Pour le Québec, l'objectif actuel du gouvernement est indiqué. Pour la Norvège, l'Union européenne, le Royaume-Uni, la Chine et l'Inde, les projections de réduction des émissions résultant de l'engagement envers l'atténuation en vertu de l'Accord de Paris sont montrées. Pour l'Allemagne, les réductions des émissions modélisées résultant de la ancienne cible de l'Union européenne envers l'atténuation en vertu de la CCNUCC est indiqué, parce que le détail spécifique par État-membre pour la nouvelle cible n'est pas

encore disponible (lire la note en bas de page numéro 10 dans Kartha et al. 2018 pour obtenir les détails méthodologiques). Veuillez remarquer que pour l'Inde la Chine et la Norvège, les réductions sont indiquées sous forme de fourchette, car ces pays ont communiqué une fourchette cible. Les valeurs pour tous les pays sont tirées de Climate Equity Reference Calculator (Kemp-Benedict et al. 2017), sauf pour l'Inde, dont les valeurs proviennent du rapport CSO 2018 sur l'équité (CSO Equity Review 2018).

entre les nations dont la taille de la population varie considérablement, les réductions des émissions (tant les points de repère pour la juste part que les engagements) sont montrées per capita sous forme de réduction des émissions par personne en deçà de la projection de référence d'absence d'effort en 2030.

Si l'on compare les fourchettes de justes parts des économies indiquées dans le graphique, le Québec a des justes parts similaires à celles des autres nations développées montrées. Le Royaume-Uni et l'Union européenne tendent à avoir des justes parts légèrement moins élevées (dépendant du point de repère utilisé), et l'Allemagne et la Norvège ont respectivement des justes parts sensiblement ou considérablement plus élevées. Ce n'est pas surprenant étant donné que ces pays partagent la situation du Québec en tant que pays relativement riches avec une responsabilité historique importante. La Chine et l'Inde, en revanche, ont des justes parts per capita considérablement moins élevées en raison de leur population plus pauvre et de leur empreinte carbone historique et actuelle moins importante. Il importe toutefois de remarquer que malgré la taille réduite de leur juste part, et dans le cas de l'Inde, beaucoup plus réduite que celle des économies développées, ces deux pays ont malgré tout leur propre juste part que l'on peut à bon droit s'attendre qu'elle soit mise en œuvre, à l'intérieur de leurs propres frontières et avec leurs propres ressources. Cela est dû à la capacité et à la

responsabilité croissante de leurs classes économiques moyenne et supérieure.

La figure 4 facilite aussi la comparaison entre les réductions des émissions auxquelles se sont réellement engagées ces pays. Le Royaume-Uni, l'Union européenne, la Norvège et la Nouvelle-Zélande se sont engagées envers une réduction des émissions plus élevée per capita que le Québec, et les autres pays se sont, eux, engagés envers des réductions inférieures. Toutefois, on peut soutenir que la façon la plus appropriée de comparer les engagements envers les réductions des émissions d'un pays à l'autre n'est pas de regarder les réductions des émissions absolues ou par personne, mais bien de se pencher sur la portion de la juste part d'une nation représentée par la réduction promise. S'agissant du Québec, en fonction du repère des justes parts particulier, l'objectif du gouvernement représente actuellement entre 17 % et 23 % de la juste part et les autres pays développés montrés dans le diagramme ont des résultats similaires. En revanche, les pays du Sud montrés dans le diagramme se sont engagés envers au moins la moitié de leur juste part (si l'on compare la partie la moins ambitieuse de leur fourchette d'engagement à la partie la plus exigeante de leur fourchette de justes parts), mais auraient également pu s'engager à hauteur de 110 % (Chine) ou 11 fois (Inde) leur juste part dans le cas de la partie la plus ambitieuse de leur fourchette d'engagement par rapport au point de repère des justes parts le moins exigeant.

— METTRE EN ŒUVRE LA JUSTE PART DU QUÉBEC

La juste part du Québec à l'effort mondial constitue entre 137 et 168 Mt d'équivalent CO₂ de réduction d'émission en 2030 en deçà de la référence. Cette juste part ne pourrait toutefois être, à toutes fins utiles, entreprise au sein de la province puisqu'elle excède la totalité des émissions nationales du Québec, qui sont projetées à environ 86 Mt d'équivalent CO₂ d'ici 2030. Il n'est pas surprenant que la juste part du Québec de l'atténuation

mondiale nécessaire soit supérieure à sa part actuelle des émissions mondiales. Après tout, le Québec a contribué de manière importante à la production de GES depuis largement plus d'un siècle et se place, ce qui n'est pas sans rapport, parmi les économies les plus riches du monde.

La juste part du Québec à l'effort mondial d'atténuation nécessaire en vertu de divers points

de repère est décrite dans la figure 3 comme si elle était réalisée à l'échelle nationale, ce qui exigerait que les émissions du Québec plongent pour atteindre zéro aux alentours de 2025 (en fonction de ce repère particulier) et continuent à descendre de plus en plus sous zéro par la suite. Manifestement, il serait tout à fait irréaliste pour le Québec de tenter de réaliser cette juste part uniquement au moyen de réductions nationales. Toutefois, même si le Québec devait complètement éliminer ses émissions nationales (c.-à-d., réduire ses émissions à zéro), l'effort supplémentaire exigé pour atteindre la juste part du Québec constitue *largement plus d'un tiers à presque la moitié de la juste part* du Québec d'ici 2030. Par conséquent, cette portion ne peut être laissée pour compte si le Québec souhaite être considéré comme faisant sa part dans l'effort mondial pour combattre les changements climatiques.

Le constat que l'objectif de réduction en fonction des justes parts tirées de principes éthiques excède 100% est un résultat typique de ce type de calculs pour une économie riche comme celle du Québec, avec une importante part par personne des émissions historiques.

Manifestement, il est *physiquement* impossible de mettre en œuvre cette réduction fondée sur des justes parts, dont on peut dire que l'intégralité relève de la responsabilité du Québec du point de vue *moral* à l'intérieur de ses propres limites territoriales. C'est parce que cette obligation liée à la juste part excède toute interprétation plausible du potentiel intégral d'atténuation à l'intérieur des frontières du Québec. Toutefois, pour la plupart des pays du Sud, c'est l'inverse qui s'avère : leur potentiel d'atténuation excède, souvent très largement, l'atténuation qu'on peut raisonnablement prévoir qu'ils mettent en œuvre à l'intérieur de leurs frontières. Néanmoins (et il s'agit-là de l'une des injustices fondamentales mais inévitables de la crise climatique), la plus grande partie du potentiel d'atténuation de ces pays *doit* être mis en œuvre pour pouvoir atteindre l'objectif de limitation du réchauffement à 1,5 °C. Puisqu'il ne

serait pas équitable de s'attendre à ce que ces pays mettent en œuvre ce potentiel au moyen de leurs seules ressources limitées, il est approprié que des entités riches, comme le Québec, participent à la collaboration et au soutien à l'échelle internationale pour la mise en œuvre de l'atténuation, par exemple sous forme de financement, de renforcement de la capacité ou du transfert de technologies, afin de garantir la disponibilité des ressources nécessaires pour la mise en œuvre de cette portion du potentiel d'atténuation des pays du Sud qui excède les propres obligations de ces pays en vertu de leur juste part. C'est au moyen de ce soutien international que le Québec, le Canada et d'autres pays riches peuvent s'acquitter de la portion de leur juste part de contribution excédant leur propre potentiel national d'atténuation. Dans le cas du Québec, qui n'est pas un État partie à la CCNUCC, la question pratique de savoir comment cela peut être mis en œuvre le plus efficacement possible survient. Le Québec contribue déjà directement, depuis de nombreuses années à certains des fonds mis en place en vertu de la CCNUCC qui appuient l'action climatique dans les pays du Sud (y compris le Fonds pour les pays les moins avancés et le Fonds d'adaptation). Par conséquent, la participation directe du Québec à la collaboration internationale pour la lutte contre les changements climatiques, indépendamment des initiatives du gouvernement fédéral, est déjà établie. Elle pourrait être renforcée et élargie pour inclure, par exemple, une collaboration bilatérale directe avec des pays ou des entités infranationales dans les pays du Sud.

Cependant, la question de savoir si la composante de soutien international du Québec de sa juste part est réalisée au moyen de la collaboration de la province avec des entités dans les pays du Sud, au moyen de fonds internationaux ou de contributions du Québec aux initiatives de collaboration internationale du Canada, est d'importance secondaire. Sans égard à ces « détails quant à la livraison des programmes », les contributions en question sont celles de la population québécoise et de l'économie de la province, et pour que le Québec

contribue l'intégralité de sa juste part à l'effort mondial, il doit veiller à ce que ces initiatives soient mises en œuvre à grande échelle.

Pour pouvoir déterminer quelle portion de l'objectif complet de réduction en fonction des justes parts découlant de principes éthiques devrait être mise en œuvre au moyen de mesures d'atténuation nationales et quelle portion devrait l'être par le biais de la collaboration et du soutien internationaux, il faut évaluer le potentiel national d'atténuation. Dans le meilleur des mondes, une telle estimation serait basée sur une analyse socio-techno-économique du potentiel d'atténuation dans le contexte des hypothèses les plus ambitieuses. Cependant, à l'heure actuelle, ce genre d'analyse n'est pas disponible pour le Québec, bien qu'il existe des analyses socio-économiques axées sur les approches pouvant être utilisées pour atteindre l'objectif actuel du gouvernement du Québec de 37,5 % en deçà des niveaux de 1990 d'ici 2030 (Dunsky et al. 2019). Les modèles utilisés dans ces analyses pourraient être utilisés avec des ensembles d'hypothèses considérablement différents pour établir la trajectoire d'atténuation la plus ambitieuse possible.

En attendant, en l'absence de cette analyse et de ces résultats, des chiffres illustratifs peuvent être tirés d'efforts similaires réalisés pour le Canada ou de chiffres mondiaux, connexes aux trajectoires résumées par le GIEC.

Premièrement, Climate Action Network Canada – Réseau action climat Canada (CAN-Rac) et plusieurs de ses membres ont analysé les possibles politiques et mesures d'atténuation qui devraient être mises en œuvre au Canada et les possibles répercussions de ces mesures sur les réductions des émissions. Cette analyse (CAN-Rac Canada et al. 2019) a conclu qu'il existe un potentiel suffisant d'atténuation pour réduire les émissions au Canada d'au moins 60 % en deçà des niveaux de 2005 tout

en garantissant une participation significative des Peuples autochtones, une transition juste pour les travailleurs et travailleuses et les communautés dépendants du secteur des énergies fossiles ou autres activités à forte intensité de carbone, et une amélioration de la transparence et de l'imputabilité quant à l'implantation du programme d'atténuation. Assumant que le potentiel d'atténuation du Québec équivaut, en gros, à la moyenne canadienne, les résultats de cette analyse correspondraient à des réductions d'environ 53 Mt d'équivalent CO₂, soit 60,1 %, en deçà des niveaux de 1990.

Deuxièmement, la trajectoire d'atténuation mondiale utilisée pour définir l'effort mondial d'atténuation aux fins de l'analyse des justes parts dans le présent rapport, la trajectoire de FDE, exige des réductions des émissions mondiales en 2030 de 51 % en deçà des niveaux de 2020. Appliquer cette réduction au Québec se traduit par des réductions en deçà des niveaux de 1990 de 52,7 %, soit 55,1 Mt d'équivalent CO₂. L'examen des réductions liées aux trajectoires de FDE par rapport aux scénarios de référence « sans effort »⁸ plutôt qu'au niveau d'émissions fixes de 2020, révèle une réduction de 59 % en deçà des niveaux de référence en 2030, qui, si on l'applique au Québec, se traduit par des réductions de 59,9 %, soit 46,9 Mt d'équivalent CO₂ en deçà des niveaux de 1990 d'ici 2030.

Troisièmement, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) publie régulièrement un « Rapport sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions » (UNEP 2019) qui compare les projections de référence et les réductions des émissions promises par les pays, les gouvernements infranationaux et les sociétés avec les trajectoires de réduction des émissions requises pour atteindre l'objectif de limitation du réchauffement à largement en dessous de 2 °C et celui de 1,5 °C. Selon ce rapport, les émissions en 2030 dans les scénarios prévoyant un réchauffement de 1,5 °C sont 55 % en

8 Les projections « référence sans effort » (ou simplement « référence ») qui apparaissent dans les calculs mentionnés

dans cette section sont tirées de l'outil Climate Equity Reference Calculator, sauf indication contraire.

deçà des niveaux de 2018 (et 61 % en deçà de la référence « Politiques de 2005 »), qui, si on les applique aux émissions québécoises de 2018 (ou référence), se traduisent par une réduction des émissions en 2030 s'élevant à respectivement 51,2 Mt d'équivalent CO₂ ou 55 Mt d'équivalent CO₂ en deçà des niveaux de 1990 (une réduction de 57,5 % ou 61,8 % en deçà des niveaux de 1990).

Enfin, le rapport spécial du GIEC sur le réchauffement de 1,5 °C souligne les résultats pour le groupe de « trajectoires sans ou avec faible dépassement de l'objectif de 1,5 °C » et signale que la médiane des réductions des émissions de ces trajectoires en 2030 se situe à environ 45 % en deçà des niveaux de 2010, avec des réductions des émissions pour tous les scénarios dans le troisième quartile de 2030 se situant à 60 % en deçà des niveaux de 2010 (GIEC 2018, Summary for Policy Makers, section C1). Il s'agit d'une conclusion importante. Cependant, il est fondamental de souligner que le choix de 2010 comme année de référence pour ces déclarations est largement

arbitraire et fondé sur le fait que 2010 était la dernière année pour laquelle les données sur les émissions historiques pour la plupart des scénarios (dont un grand nombre ne rendent compte des données que par décennie) étaient plus ou moins équivalentes, faisant par conséquent de 2010 le point de référence commun le plus récent pour tous les scénarios. Toutefois, lorsque l'on réfléchit à la manière d'appliquer ces chiffres mondiaux aux pays individuels, il importe de ne pas oublier que différents pays ont eu des trajectoires d'émissions considérablement différentes depuis 2010 et qu'attribuer des chiffres pour la réduction à des années de référence arbitrairement choisies dans le passé se traduit généralement par un biais au détriment des pays du Sud, dont un grand nombre continuent à ne produire que de très faibles émissions par personne malgré une trajectoire d'émissions croissante. Plus l'année de référence arbitraire dans le passé est ancienne, plus ce biais systématique à l'encontre des pays du Sud est important. Cela fait de 1990, par exemple, un choix malvenu d'année de référence pour comparer les

Source	Type	Réduction en 2030	Réduction québécoise équivalente en deçà des niveaux de 1990	
			%	Mt d'éq. CO ₂
Trajectoire de FDE	Moyenne mondiale	51% en deçà des niveaux de 2020	52,7 %	46,9
	Moyenne mondiale	59% en deçà de la référence de 2030	59,9 %	53,4
PNUE - Rapport 2019 sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions	Moyenne mondiale	55% en deçà des niveaux de 2018	57,5 %	51,2
	Moyenne mondiale	61% en deçà de la référence	61,8 %	55
GIEC - Rapport spécial sur le réchauffement de 1,5 °C (point médian des scénarios sans ou avec faible dépassement de 1,5 °C)	Moyenne mondiale	48% en deçà des niveaux de 2020	49,8 %	44,3
	Moyenne mondiale	61% en deçà de la référence de 2030	61,9 %	55,1
GIEC - Rapport spécial sur le réchauffement de 1,5 °C (troisième quartile des scénarios sans ou avec faible dépassement de 1,5 °C)	Moyenne mondiale	63% en deçà des niveaux de 2020	64,3 %	57,2
	Moyenne mondiale	81% en deçà de la référence de 2030	81,4 %	72,5
CAN-Rac Canada	Moyenne canadienne	60% en deçà des niveaux de 2005	60,1 %	53,5

Tableau 3. Équivalent illustratif des réductions d'émissions au Québec en vertu de l'application de moyennes de réductions d'émissions mondiales ou canadiennes à partir de sources choisies.

ambitions de divers pays⁹. L'Accord de Paris reconnaît cette dynamique « étant entendu que le plafonnement prendra davantage de temps pour les Parties pays en développement ». Par conséquent, il est sensé de dépasser les chiffres fournis par le rapport du GIEC et d'utiliser les données du scénario sur lesquelles sont fondées les conclusions du GIEC, en consultant la base de données du scénario du Rapport Spécial (Huppmann et al. 2018). Cette approche révèle que le point médian de 45 % en deçà des niveaux de 2010 pour les scénarios « sans ou avec faible dépassement » équivaut à 48 % en deçà des niveaux de 2020, ou 61 % en deçà des niveaux des projections de référence en 2030. Pour le troisième quartile (réduction mondiale de 60 % en deçà des niveaux de 2010 en 2030), l'équivalent est de 63 % en deçà des niveaux de 2020 ou 81 % en deçà de la référence en 2030. Là encore, appliquer ces chiffres au Québec donne des réductions de 49,8 % (44,3 Mt d'équivalent CO₂) ou 61,9 % (55,1 Mt d'équivalent CO₂) en deçà des niveaux de 1990 en 2030, respectivement pour le point médian et de 64,3 % (57,2 Mt d'équivalent CO₂) ou 81,4 % (72,5 Mt d'équivalent CO₂) en deçà des niveaux de 1990 en 2030 pour le troisième quartile.

En ce qui concerne l'application pure et simple au Québec des chiffres de la moyenne mondiale produits par la trajectoire de FDE ou les scénarios « sans ou avec faible dépassement » de la base de données du GIEC, il importe de souligner qu'il s'agit de moyennes mondiales et qu'il est généralement accepté que les pays développés devraient montrer l'exemple en réduisant leurs émissions plus tôt et de manière plus rigoureuse que les pays du Sud. Par conséquent, une région d'un pays développé telle

que le Québec devrait effectuer des réductions plus importantes que la moyenne mondiale.

Le tableau 3 résume les chiffres discutés ci-dessus. En fonction de l'année de référence, la fourchette pour les deux sources de données mondiales va de réductions de 50 % à 62 % en deçà des niveaux de 1990. Étant donné le moment et la sévérité des réductions des émissions dans les pays développés et les pays du Sud, les réductions réalisées par le Québec devraient être à tout le moins légèrement supérieures à la moyenne mondiale. Eu égard à cette considération ainsi qu'au fait que la source canadienne donne une réduction de 60 % en deçà des niveaux de 1990 pour le Québec, cette réduction de 60 % sera utilisée dans ce qui suit à des fins d'illustration.

Par conséquent, et sans oublier que la juste part du Québec a déjà été calculée et se situe entre 158 % et 194 % en deçà des niveaux de 1990, la portée de la collaboration internationale pour l'atténuation à laquelle le Québec devrait participer devrait produire des réductions des émissions dans les pays du Sud d'ici 2030 de l'ordre de 98 % à 134 % des émissions du Québec en 1990. Naturellement, ceci s'ajouterait à la mise en œuvre, par le Québec, de réductions des émissions dans la province de 60 % des niveaux de 1990 d'ici 2030.

La figure 5 montre la juste part totale du Québec en fonction de divers points de repère ainsi que la réduction nationale telle qu'elle a été discutée ci-dessus. À titre de référence, elle montre également la moyenne des six points de repère utilisés ici et les émissions du Québec en 1990.

9 Par exemple, imaginez un pays du Sud hypothétique appelé A, qui a de très faibles émissions par personne de l'ordre de 1t/personne en 2010 et a doublé ses émissions entre 2010 et 2020, parvenant à 2t/ personne. Imaginez un autre pays, qui est développé, appelé B et dont les émissions par personnes s'élèvent à 10t/personnes en 2010 et qui a réussi à les réduire de 10 % pour atteindre 9t. Pour le pays A, une réduction de 45 % en deçà des niveaux de 2010 serait une réduction de 72,5 % en deçà des niveaux actuels alors

que ces mêmes 45 % en deçà des niveaux de 2010 ne représenteraient qu'une réduction de 38,9 % en deçà des niveaux actuels pour le pays B. Parallèlement, avec ces réductions d'émissions, les émissions par personne du pays B (5,5t/personne) demeureraient considérablement plus élevées que celles du pays A (0,6t/personne) alors même que le pays A aurait réduit plus largement son pourcentage d'émissions actuelles.

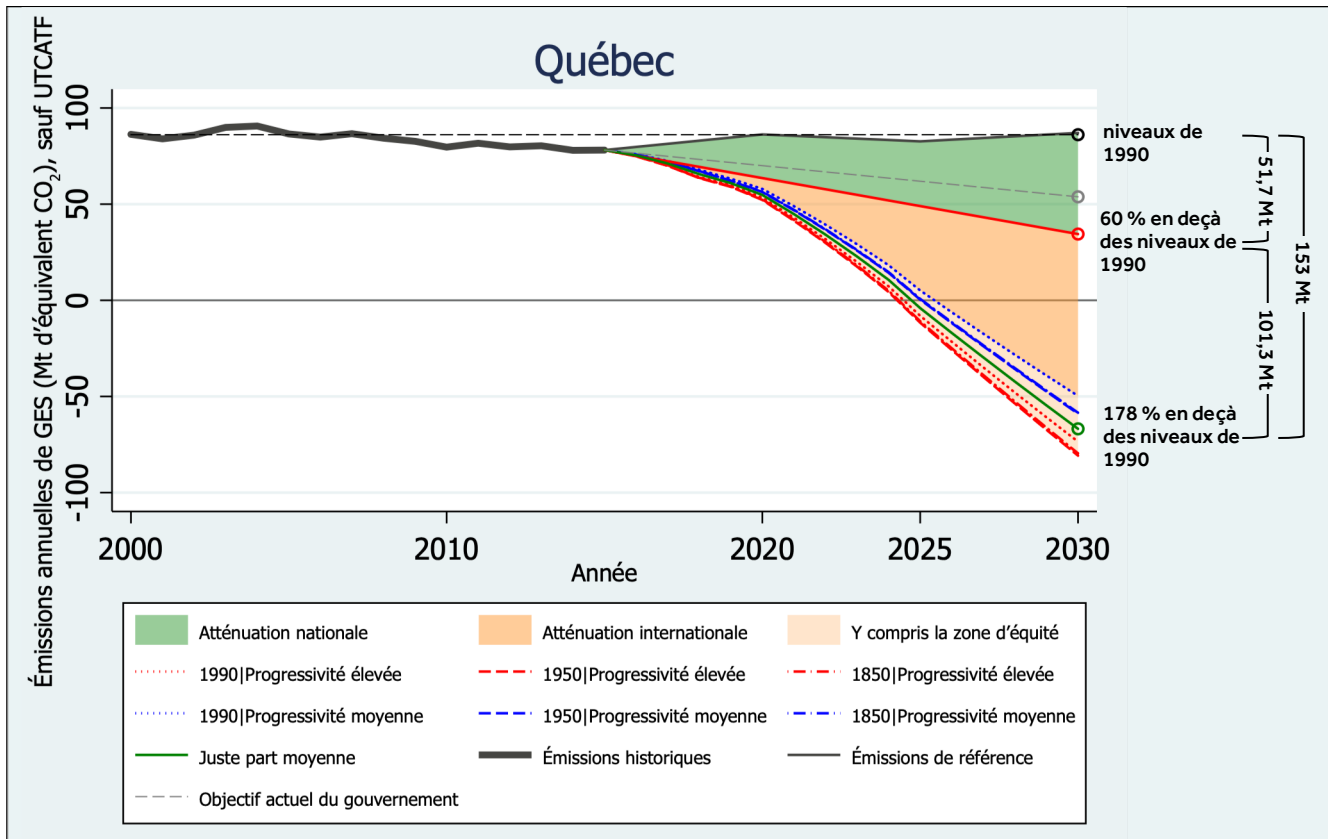


Figure 5. La juste part du Québec de l'effort mondial d'atténuation impliquée par la trajectoire mondiale de FDE, en montrant la différence entre une composante nationale d'atténuation (zone verte) et une composante de soutien international (composante orange), constituant, ensemble, la juste part totale du Québec (lignes bleues en tirets ou en pointillés) basée sur les principes éthiques de capacité, de responsabilité et de besoin. La zone orange clair reflète la « zone d'équité », le possible ajout de soutien international de l'atténuation en fonction du point de repère particulier choisi. La ligne verte montre la moyenne des six points de repère pour les justes décrits ici. La courbe grise circulaire montre l'objectif provincial actuel de 37,5 % en deçà des niveaux de 1990 et la ligne grise en tirets indique une trajectoire linéaire vers cet objectif.

RÉFÉRENCES

- Anderson, K., & Peters, G. (2016). The Trouble with Negative Emissions. *Science*.
<https://doi.org/10.1126/science.aah4567> (disponible uniquement en anglais).
- Baer, Paul; Tom Athanasiou; Sivan Kartha and Eric Kemp-Benedict (2008) *The Greenhouse Development Rights Framework. The Right to Development in a Climate Constrained World, Second Edition*. Berlin: Heinrich Böll Foundation, Christian Aid, EcoEquity and the Stockholm Environment Institute.
<http://www.ecoequity.org/docs/TheGDRsFramework.pdf> (disponible uniquement en anglais).
- Baer, Paul; Tom Athanasiou; Sivan Kartha and Eric Kemp-Benedict (2009) Greenhouse Development Rights: A Proposal for a Fair Global Climate Treaty. *Ethics, Place & Environment*.
<https://doi.org/10.1080/13668790903195495> (disponible uniquement en anglais).
- Baer, Paul; Glenn Fieldman; Tom Athanasiou and Sivan Kartha (2008) Greenhouse Development Rights: Towards an Equitable Framework for Global Climate Policy. *Cambridge Review of International Affairs*.
<https://doi.org/10.1080/09557570802453050> (disponible uniquement en anglais).
- Basavarajappa, K. G., & Ram, B. (2008). *Statistiques historiques du Canada : Section A: Population et Migration*. Ottawa : Statistique Canada. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-516-x/sectiona/4147436-fra.htm>
- Canada. (2016a). *Deuxième rapport biennal du Canada sur les changements climatiques*. Gatineau : Environnement et Changement climatique Canada. <https://unfccc.int/fr/node/198903>
- Canada. (2016b). *Canada's 2nd Biennial Report on Climate Change. Common Tabular Format*. Gatineau: Environment and Climate Change Canada. <https://unfccc.int/documents/198971> (disponible uniquement en anglais).
- Canada. (2019). *Quatrième rapport biennal du Canada sur les changements climatiques*. Gatineau : Environnement et Changement climatique Canada. <https://unfccc.int/fr/node/209928>
- CAN-Rac Canada. (2019). *Canada's Fair Share Towards Limiting Global Warming to 1.5°C. Infographic*. Ottawa : Réseau action climat Canada. <https://climateactionnetwork.ca/2019/12/02/canadas-fair-share-towards-limiting-global-warming-to-1-5c/> (disponible uniquement en anglais).
- CAN-Rac Canada, Protection environnementale du Canada, Greenpeace Canada, Équiterre, Conseil de la conservation du Nouveau-Brunswick, Fondation David Suzuki, et al. (2019). *S'engager pleinement dans le plan d'action climatique du Canada*. Ottawa : Réseau action climat Canada.
https://climateactionnetwork.ca/wp-content/uploads/2019/06/CAN-RAC_ClimatePlanExpectations_FR.pdf
- Christian Aid, ActionAid, Friends of the Earth, & War on Want. (2020). *The UK's Climate Fair Share. Infographic*. Londres : Christian Aid; ActionAid; Friends of the Earth; War on Want.
<https://www.christianaid.org.uk/resources/about-us/uks-climate-fair-share> (disponible uniquement en anglais).

- Conference Board of Canada. (2019). *Provincial Outlook Long-Term Economic Forecast: 2019*. Ottawa: The Conference Board of Canada. <https://www.conferenceboard.ca/e-library/abstract.aspx?did=10089> (disponible uniquement en anglais).
- Crozier, R. B. (2008). *Statistiques historiques du Canada: Section F : Produit national brut, stock de capital et productivité*. Ottawa : Statistique Canada. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-516-x/sectionf/4057751-fra.htm>
- CSO Equity Review. (2015). *Fair Shares: A Civil Society Equity Review of INDCs*. Manila, London, Cape Town, Washington, et al.: CSO Equity Review Coalition. civilsocietyreview.org/report (disponible uniquement en anglais).
- CSO Equity Review. (2017). *Equity and the Ambition Ratchet: Towards a Meaningful 2018 Facilitative Dialogue*. Manila, London, Cape Town, Washington, et al.: CSO Equity Review Coalition. civilsocietyreview.org/report2017 (disponible uniquement en anglais).
- CSO Equity Review. (2018). *After Paris: Inequality, Fair Shares, and the Climate Emergency*. Manila, London, Cape Town, Washington, et al.: CSO Equity Review Coalition. civilsocietyreview.org/report2018 (non traduit en français).
- Dooley, K., Christoff, P., & Nicholas, K. A. (2018). Co-Producing Climate Policy and Negative Emissions: Trade-Offs for Sustainable Land-Use. *Global Sustainability*. <https://doi.org/10.1017/sus.2018.6> (disponible uniquement en anglais).
- Dooley, K., & Kartha, S. (2018). Land-Based Negative Emissions: Risks for Climate Mitigation, and Impacts on Sustainable Development. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*. <https://doi.org/10.1007/s10784-017-9382-9> (disponible uniquement en anglais).
- Dunsky, P., Poirier, M., Vaillancourt, K., & Joly, E. (2019). *Trajectoires de Réduction d'Émissions de GES du Québec – Horizons 2030 et 2050. Rapport Final*. Québec : dunsky. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/trajec-toires-emissions-ges.pdf>
- ECCC. (2019a). *National Inventory Report 2019*. Gatineau: Environnement et Changement climatique Canada. http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/10116.php (disponible uniquement en anglais).
- ECCC. (2019b). *Projections des émissions de gaz à effet de serre et polluants atmosphériques : 2019: 2019*. Gatineau : Environnement et Changement climatique Canada. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/emissions-gaz-effet-serre/projections/2019.html>
- Gore, A. (2007, 1^{er} juillet). Moving Beyond Kyoto. *The New York Times*. New York. <https://www.nytimes.com/2007/07/01/opinion/01gore.html> (disponible uniquement en anglais)
- Greenglass, N., Funk, J., Chaum, M., & Houghton, R. A. (2010). Fixing a Flawed Approach to Forest Accounting in the Next Round of the Kyoto Protocol. *Carbon Management*. <https://doi.org/10.4155/cmt.10.23> (disponible uniquement en anglais).
- Grübler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., McCollum, D., et al. (2018). A Low Energy Demand Scenario for Meeting the 1.5°C Target and Sustainable Development Goals Without Negative

- Emission Technologies. *Nature Energy*. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6> (disponible uniquement en anglais).
- Heck, V., Gerten, D., Lucht, W., & Popp, A. (2018). Biomass-Based Negative Emissions Difficult to Reconcile with Planetary Boundaries. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0064-y> (disponible uniquement en anglais).
- Holz, C. (2012, 9 août). Creative Accounting, Not Climate Progress Behind Kent's "Progress" Report. *rabble.ca*. <http://rabble.ca/node/94660> (disponible uniquement en anglais).
- Holz, C. (2015, 25 mai). Canada's Climate Target Is a Smokescreen and Full of Loopholes. *The Conversation*. <https://theconversation.com/canadas-climate-target-is-a-smokescreen-and-full-of-loopholes-42167> (disponible uniquement en anglais).
- Holz, C. (2018). *Modelling 1.5°C-Compliant Mitigation Scenarios Without Carbon Dioxide Removal*. Berlin : Heinrich Böll Foundation. https://www.boell.de/sites/default/files/radical_realism_for_climate_justice_volume_44_8.pdf (disponible uniquement en anglais).
- Holz, C. (2019). *Deriving a Canadian Greenhouse Gas Reduction Target in Line with the Paris Agreement's 1.5°C Goal and the Findings of the IPCC Special Report on 1.5°C*. Ottawa : Climate Equity Reference Project Canada (disponible uniquement en anglais).
- Holz, C., Kartha, S., & Athanasiou, T. (2018a). Fairly Sharing 1.5 – National Fair Shares of a 1.5°C-compliant Global Mitigation Effort. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*. <https://doi.org/10.1007/s10784-017-9371-z> (disponible uniquement en anglais).
- Holz, C., Kartha, S., & Athanasiou, T. (2018b). *Climate Equity Reference Calculator Database, version 7.2.0 (Septembre 2018)*. Harvard Dataverse. <https://doi.org/10.7910/DVN/O3H22Z> (disponible uniquement en anglais).
- Holz, Ceecee; Sivan Kartha and Tom Athanasiou (2018c) CERP Core Database v7.2.0 Documentation. *Climate Equity Reference Calculator Database, version 7.2.0 (Sep 2018)*, Harvard Dataverse. <https://doi.org/10.7910/DVN/O3H22Z/FBXUWU> (disponible uniquement en anglais).
- Holz, C., Kemp-Benedict, E., Athanasiou, T., & Kartha, S. (2019). The Climate Equity Reference Calculator. *Journal of Open Source Software*. <https://doi.org/10.21105/joss.01273> (disponible uniquement en anglais).
- Holz, C., Siegel, L. S., Johnston, E., Jones, A. P., & Sterman, J. D. (2018). Ratcheting Ambition to Limit Warming to 1.5°C – Trade-Offs between Emission Reductions and Carbon Dioxide Removal. *Environmental Research Letters*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac0c1> (disponible uniquement en anglais).
- Huppmann, D., Kriegler, E., Krey, V., Riahi, K., Rogelj, J., Rose, S. K., et al. (2018). IAMC 1.5°C Scenario Explorer and Data Hosted by IIASA. Integrated Assessment Modeling Consortium & International Institute for Applied Systems Analysis. <https://doi.org/10.22022/SR15/08-2018.15429> (disponible uniquement en anglais).
- IIASA. (2016). SSP Database. Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués. <https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb> (disponible uniquement en anglais).

- GIEC. (2011). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, P. Matshoss, & K. Seyboth, Eds.). New York : Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf
- GIEC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, et al., Eds.). Cambridge : Cambridge University Press. <http://mitigation2014.org/report/final-draft> (disponible uniquement en anglais).
- GIEC. (2018). *Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. Genève : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. <http://www.ipcc.ch/report/sr15/> (disponible uniquement en anglais).
- Kartha, S., Holz, C., & Athanaisou, T. (2018). *Norway's Fair Share of Meeting the Paris Agreement*. Oslo: Kirkens Nødhjelp, Regnskogfondet, Forum for utvikling og miljø, Naturvernforbundet. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2595491> (disponible uniquement en anglais).
- Kemp-Benedict, E., Holz, C., Athanaisou, T., Kartha, S., & Baer, P. (2017). *The Climate Equity Reference Calculator*. Berkeley and Somerville: Climate Equity Reference Project (EcoEquity and Stockholm Environment Institute). <https://calculator.climateequityreference.org> (disponible uniquement en anglais).
- MELCC. (2016). Le Québec se joint à l'Alliance internationale pour combattre l'acidification des océans. Québec: Ministère de l'Environnement et lutte contre les changements climatiques. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/infuseur/communiquer.asp?no=3623>
- MELCC. (2019). Le Programme de coopération climatique internationale. Québec: Ministère de l'Environnement et lutte contre les changements climatiques. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/programmes/coop-climatique-internationale/index.htm>
- MRIF. (2010). Développement durable : le Québec se joint à un nouveau regroupement d'États fédérés. Québec: Ministère des Relations internationales et de la Francophonie. <https://www.mrif.gouv.qc.ca/FR/salle-de-presse/actualites/7835>
- Revenu Québec. (2020). Taux d'imposition pour 2019 et 2020. <https://www.revenuquebec.ca/fr/citoyens/declaration-de-revenus/produire-votre-declaration-de-revenus/taux-dimposition/>
- Rogelj, J., Luderer, G., Pietzcker, R. C., Kriegler, E., Schaeffer, M., Krey, V., & Riahi, K. (2015). Energy System Transformations for Limiting End-Of-Century Warming to Below 1.5°C. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/nclimate2572> (disponible uniquement en anglais).
- Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K. V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., et al. (2018). Scenarios Towards Limiting Global Mean Temperature Increase Below 1.5°C. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0091-3> (disponible uniquement en anglais).
- Shue, Henry (1993) Subsistence Emissions and Luxury Emissions. *Law & Policy*. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9930.1993.tb00093.x> (disponible uniquement en anglais).

- Smith, P., Davis, S. J., Creutzig, F., Fuss, S., Minx, J., Gabrielle, B., et al. (2015). Biophysical and Economic Limits to Negative CO₂ Emissions. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/nclimate2870> (disponible uniquement en anglais).
- Statistique Canada. (2008a). *Tableau A2-14 Population du Canada, par Province, dates de recensement, 1851 à 1976*. Ottawa : Statistique Canada. https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-516-x/sectiona/A2_14-fra.csv
- Statistique Canada. (2008b). *Tableau F91-102 Revenu personnel, par province, 1926 to 1976*. Ottawa : Statistique Canada. https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-516-x/sectionf/F91_102-fra.csv
- Statistique Canada. (2020a). *Table 17-10-0057-01 Population projetée, selon le scénario de projection, l'âge et le sexe, au 1^{er} juillet*. https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=1710005701&request_locale=fr
- Statistique Canada. (2020b). *Table 17-10-0005-01 Estimations de la population au 1^{er} juillet, par âge et sexe1*. https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=1710000501&request_locale=fr
- Statistique Canada. (2020c). *Table 36-10-0222-01 Produit intérieur brut, en termes de dépenses, provinciaux et territoriaux, annuel (x 1 000 000)*. https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610022201&request_locale=fr
- Statistique Canada. (2020d). *Table 11-10-0134-01 Coefficients de Gini du revenu ajusté du marché, total et après impôt*. https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=1110013401&request_locale=fr
- PNUE. (2019). *Rapport sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions 2019*. Nairobi : United Nations Environment Programme (UNEP). <https://www.unenvironment.org/fr/resources/rapport-sur-lecart-entre-les-besoins-et-les-perspectives-en-matiere-de-reduction-des> (n.d.t. il est à noter que le rapport intégral n'est pas traduit en français mais qu'un résumé analytique est disponible dans cette langue).
- CCNUCC. (1992). *Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques*. Bonn : CCNUCC. https://unfccc.int/files/cooperation_and_support/cooperation_with_international_organizations/application/pdf/convfr.pdf
- CCNUCC. (2015). *Accord de Paris*. Genève : Office des Nations Unies. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_french_.pdf

ANNEXE 1. NEGATIVE EMISSIONS TECHNOLOGIES AND OVERSHOOT

Source: Holz, C. (2018) *Modelling 1.5°C-Compliant Mitigation Scenarios Without Carbon Dioxide Removal*. Berlin: Heinrich Böll Foundation.

https://www.boell.de/sites/default/files/radical_realism_for_climate_justice_volume_44_8.pdf

“The majority of the 1.5°C-compatible emissions pathways in the climate modelling literature rely on removing large amounts of carbon dioxide (CO₂) from the atmosphere. This Carbon Dioxide Removal (or CDR) by large-scale technological means is typically focussed in the second half of the century and is typically modelled as Bioenergy combined with Carbon Capture and Storage (BECCS). BECCS means that CO₂ is removed from the atmosphere through photosynthesis of bioenergy crops, which are then used in bioenergy power plants or converted to liquid fuels, hydrogen or methane for the transport sector, while the associated emissions are partially captured and stored underground. The 1.5°C scenarios analyzed in Rogelj et al. (2015) envision cumulative removals between 450 and 1,000 GtCO₂ over the course of the century, with annual removals as high as 20 GtCO₂. Contrasting this figure with the current level of annual global emissions from fossil fuels, industry and land use change of about 31 GtCO₂ illustrates the scale.

More recently, scholars, policy-makers and civil society have increasingly questioned the feasibility of implementing CDR, especially BECCS, at this large scale, pointing to large land requirements for bioenergy crops, and the associated risks for food and water security or biodiversity, as well as technological feasibility, social and political acceptance issues, and storage permanence. In addition to BECCS, other CDR technologies have been proposed, such as biochar, soil carbon management, direct air capture (DAC), or enhanced weathering (EW). Other models include afforestation, where plantations of fast-growing trees are established on land that does not naturally support forest, in order to absorb and store CO₂ in these trees and soil.

Given the risks and uncertainties surrounding CDR, scholars have suggested to follow a precautionary approach, wherein «the mitigation agenda should proceed on the premise that [CDR] will not work at scale» (Anderson and Peters 2016). This is because embarking today on an emissions pathway that assumes successful large-scale deployment of CO₂ removal in the future leads to a breach of the carbon budget if this deployment fails to materialize: Reliance on CDR allows modelled scenarios to follow less stringent emissions pathways in the near term since later removal essentially increases the available net CO₂ emissions budget. In a recent study, we show that restricting CDR to zero requires 2030 benchmark emissions of CO₂ to be at least one third lower than in a scenario with a full complement of CDR options (22.2 vs 32.2 GtCO₂) (Holz, Siegel, et al. 2018). This indicates the importance of increasing mitigation ambition in the very near term if a precautionary approach to CDR is to be followed.

[...]

BECCS' large demand for land has been pegged at about 30–160 million hectares (Mha) per GtCO₂, depending on the type of bioenergy feedstock used (Smith et al. 2015). This means that land in the order of 600–3,200 Mha would be required to achieve the 20 GtCO₂ magnitude at the upper end of the range of annual sequestration found in the models. In contrast, current global cropland is approximately 1,500 Mha (Dooley et al. 2018), suggesting that massive-scale BECCS deployment would be in strong land-use competition with land currently used for food production, thus undermining efforts to increase food security and end hunger, or with land that is currently forest or other natural land, thus undermining protection of biodiversity and efforts to stop deforestation, itself a major contributor to climate change. Further concerns relate to the amount of water, fertilizer and energy that would be required to implement BECCS at large scales: Researchers at the Potsdam Institute for Climate Impact Research

have recently investigated whether large-scale BECCS deployment can be accomplished while taking a precautionary approach to important «planetary boundaries» (freshwater use, forest loss, biodiversity, and biogeochemical flows, e.g. fertilizer) and found that only about 0.2 GtCO₂ per year can be achieved this way, several orders of magnitude below what is typically assumed in models (Heck et al. 2018). Exceeding this amount would push at least one of these planetary boundaries (further) into the uncertainty or high-risk range.

Other proposed CDR technologies share similar concerns. For example, DAC requires large amounts of energy to enable the chemical reactions that remove the CO₂ from the atmosphere plus energy to liquify, transport and store the CO₂ once captured. EW is an approach where rock, for example olivine, is mined, ground and then spread out over large areas to facilitate its weathering which binds CO₂. These steps require large amount of energy, similar in scale to the energy requirement of DAC. The energy required for these approaches is estimated to be as much as 12.5 GJ per ton of CO₂ (Smith et al. 2015). Considering that generating 12.5 GJ of electricity with coal would emit about 3.5 tons of CO₂ (or 2.9 or 1.6 tons of CO₂ with oil and natural gas, respectively)¹⁰ highlights that these approaches are not a plausible alternative to fossil fuel phase-out. Furthermore, these CDR technologies are very costly with estimates for DAC and EW exceeding US\$ 500 per ton of net negative CO₂ (Smith et al. 2015).

Models also often include sequestration of CO₂ from forests. It is important to distinguish this sequestration from the CDR approaches outlined above, even though models, or literature discussing model results, often do not make this distinction. Broadly speaking, forest-based sequestration can occur through afforestation or through natural sequestration by forests. Because it involves establishment of tree plantations on land that would not otherwise carry forest, afforestation shares many of the issues of the CO₂ removal approaches discussed above: to sequester large amounts to CO₂, it requires large amounts of land (thus competing with food and other land uses), nutrients, and water.

In contrast, where deforestation and forest degradation are halted, forest can be restored or re-established. In that context, natural sequestration of CO₂ by these forest would occur, potentially in the magnitude of several hundred GtCO₂ over the course of the 21st century (Dooley and Kartha 2018). However, since the carbon thus stored in the biosphere is at risk of being re-emitted to the atmosphere, for example, if pests, forest fires, or human activity were to destroy these forests, it remains risky and thus a violation of the precautionary principle to rely on these processes to occur when articulating near-term mitigation ambition. This is especially true where scenarios delay the rapid phase-out of fossil fuel use, given that existing fossil fuel deposits represent a stable way of storing carbon unlike potentially volatile storage in the biosphere.

[...]

“The majority of 1.5 °C scenarios in the literature are so-called overshoot scenarios: they result in warming of more than 1.5 °C during some years of the 21st century, to return to the 1.5 °C level by 2100 the latest. Temperature overshoot carries substantial potential risks and uncertainties, for example, with regard to the irreversible crossing of tipping points, or the permanence of warming impacts: «Impacts that could be wholly or partially irreversible include species extinction, coral reef death, [permafrost melt], and loss of sea or land ice, some of which themselves lead to positive feedbacks or tipping points that current carbon cycle models do not currently take into account» (Dooley and Kartha 2018). Due to their assumed ability to remove CO₂ from the atmosphere, and thus bring temperatures back down, scenarios using large amounts of CDR often display longer overshoot periods with higher peak warming than scenarios with less (or no) CDR.”

¹⁰ Using median values of the survey of life cycle analyses of emissions of different fuel types conducted by the IPCC: 1001 gCO₂/kWh for coal, 840 gCO₂/kWh for oil, and 469 gCO₂/kWh for natural gas (IPCC 2011).

ANNEXE 2. THE LED SCENARIO

Source: CSO Equity Review (2018) *After Paris: Inequality, Fair Shares, and the Climate Emergency*, CSO Equity Review Coalition, Manila, London, Cape Town, Washington, et al., <http://civilsocietyreview.org/report2018>

"In order to place a fair-share discussion of national mitigation pledges firmly in the context of the climate challenge, it's necessary to have a proper 1.5°C scenario. Such a scenario must not only specify a path that keeps warming below 1.5°C, it must do so in a manner that is fair with respect to energy access, consumption, and other critical aspects of human well-being. To reflect such a future, we've chosen the Low Energy Demand scenario as our illustrative scenario. The LED scenario is the source of one of the four featured pathways (P1) in the IPCC's 1.5°C report. This scenario was developed at the International Institute for Applied Systems Analysis and is explicitly designed to be equitable in just these ways – by taking the universal attainment of a 'decent living standard' as one of its design criteria – but also to avoid the problem, endemic in mainstream mitigation scenario modelling, of excessive reliance on negative emissions technologies.

The Low Energy Demand (LED) scenario incorporates many current major trends in energy demand, trends that are already observable and expected to intensify, including urbanization, digitalization, the decentralization of the energy system, the shift from ownership-based to use-based consumption of services, and the emergence of a circular economy to limit material use and waste. These trends, together with other substantial increases in energy efficiency across all sectors, lead to very low energy demand projections (e.g. 42% below 2020 levels in 2050), despite population growth and a global increase in end-use energy services, including temperature-controlled housing, adequate and nutritious diets, and accessible transportation services. The point here is not to endorse all details of the LED scenario but rather to note that, in an energy system that's meant to satisfy this comparatively low overall future energy demand, it becomes much less daunting to rapidly retire fossil-fuel-based generation and transition to renewables.

Because of these features, the LED scenario can satisfy humanity's energy needs without, like many ostensible 1.5°C scenarios, assuming a heavy future reliance on negative emissions, for example through large-scale bioenergy with carbon capture and storage (BECCS), the feasibility and sustainability of which have not been proven at scale. It's ability to do so derives, in part, from the fact that the global forest sink can be enhanced significantly when there is reduced competition for land from bioenergy crops.

Compared to current (2016) global greenhouse gas emissions of about 50 gigatonnes of carbon dioxide equivalent (GtCO₂eq), the LED pathway enables very stringent reductions, eliminating half of current emissions by 2030 (these reach 25 GtCO₂eq), only about 10 GtCO₂eq in 2050, and a mere 1.5 GtCO₂eq, primarily for agriculture, in 2100. It's important to note, however, that even more could be done. The LED pathway assumes that the economies of even the developed countries continue to expand, with incomes nearly tripling by the century's end. Clearly, even deeper reductions – and a less threatened climate – could be achieved if steadily accelerating growth was not assumed."

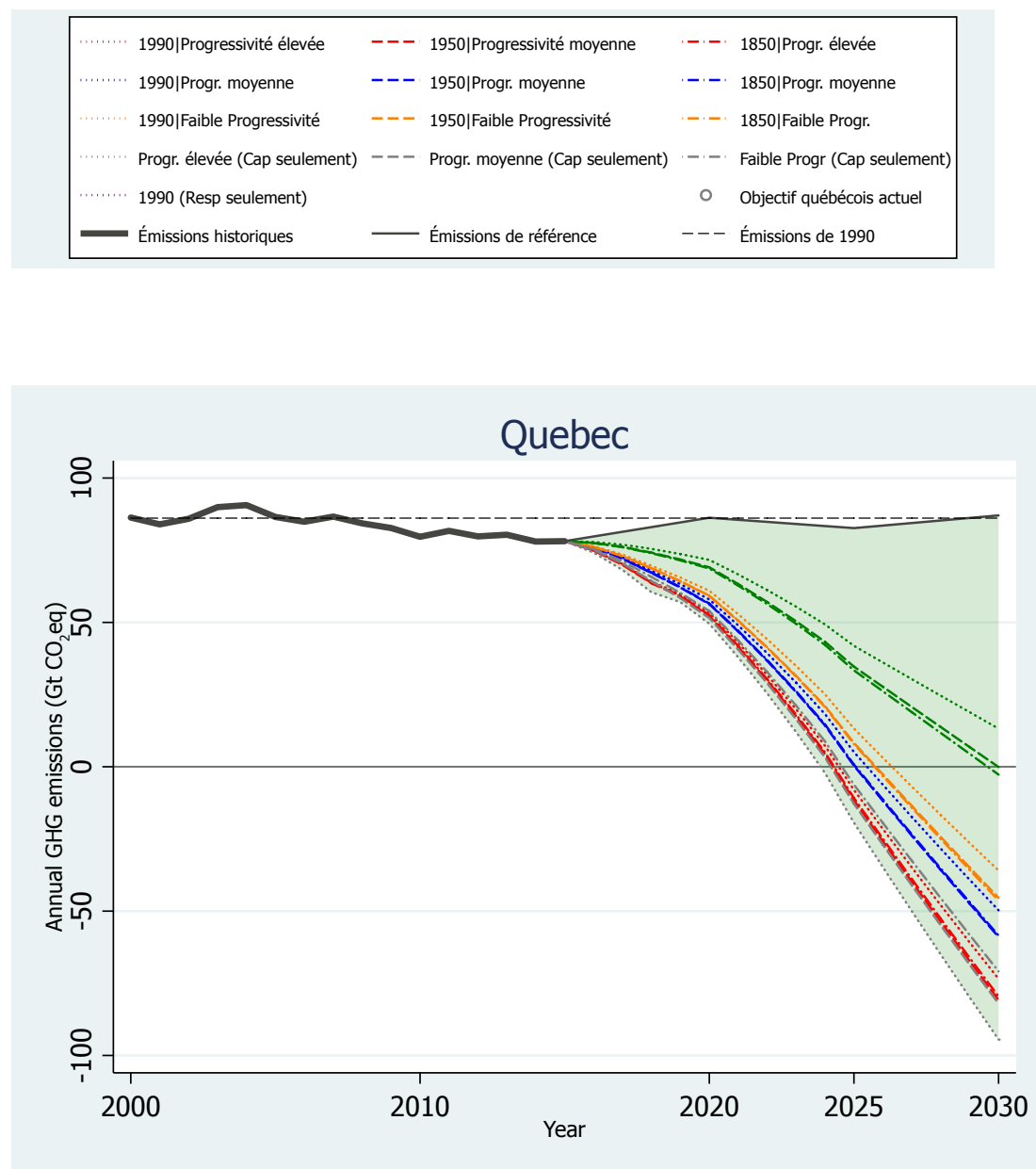
ANNEXE 3: NOTES ON THE EQUITY ANALYSIS USED HERE

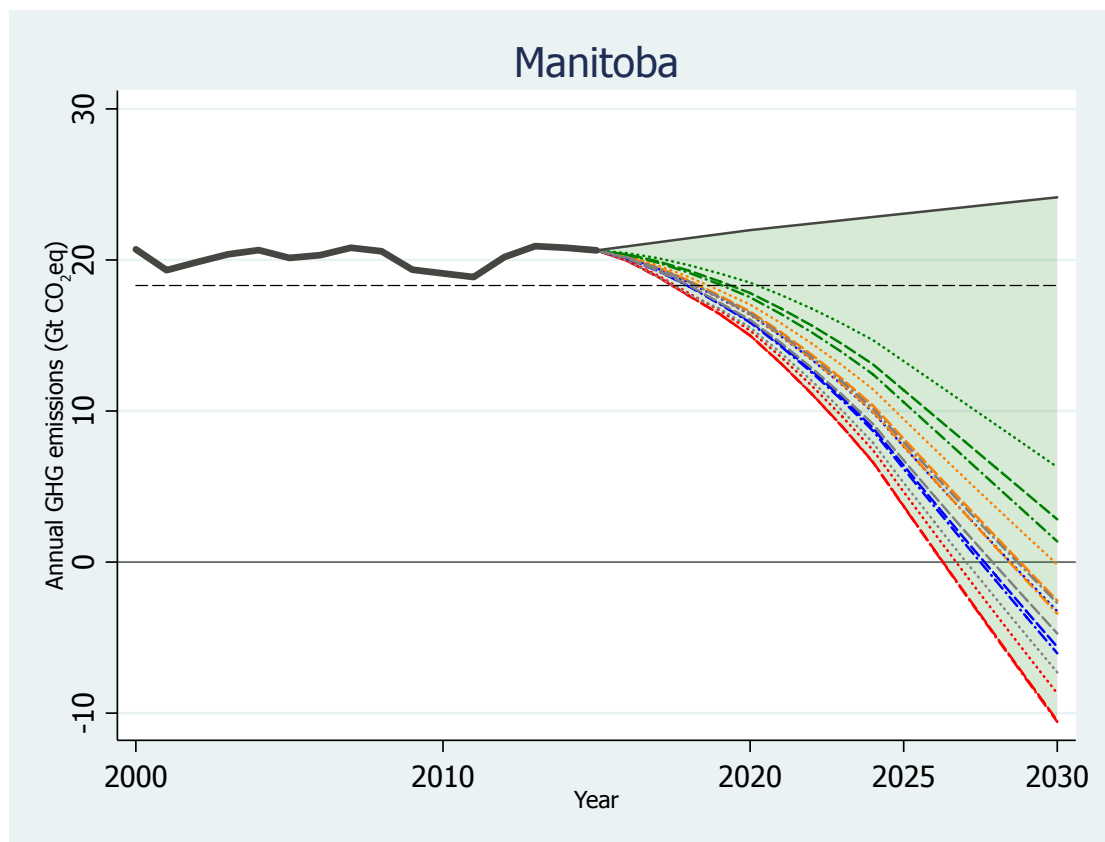
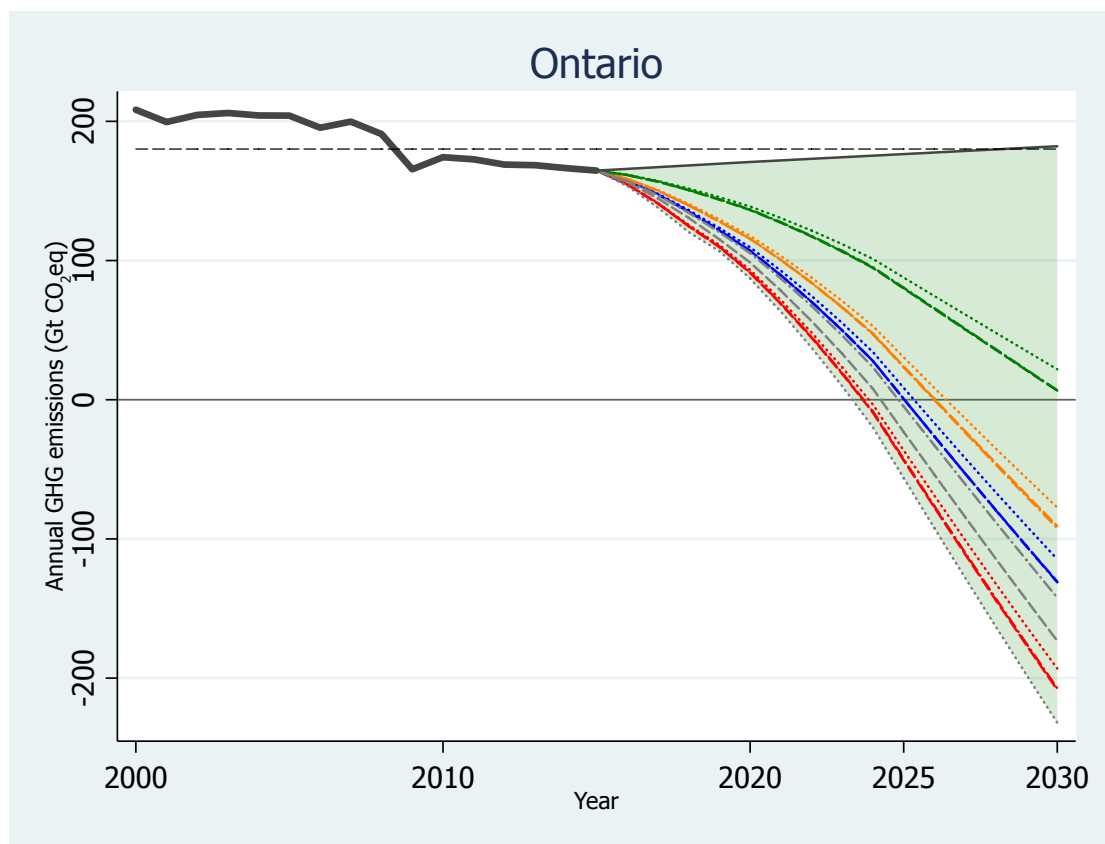
Capacity – a nation's financial ability to contribute to solving the climate problem – can be captured by a quantitative benchmark defined in a more or less progressive way, making the definition of national capacity dependent on national income distribution. This means a country's capacity is calculated in a manner that can explicitly account for the income of the wealthy more strongly than that of the poor, and can exclude the incomes of the poorest altogether.

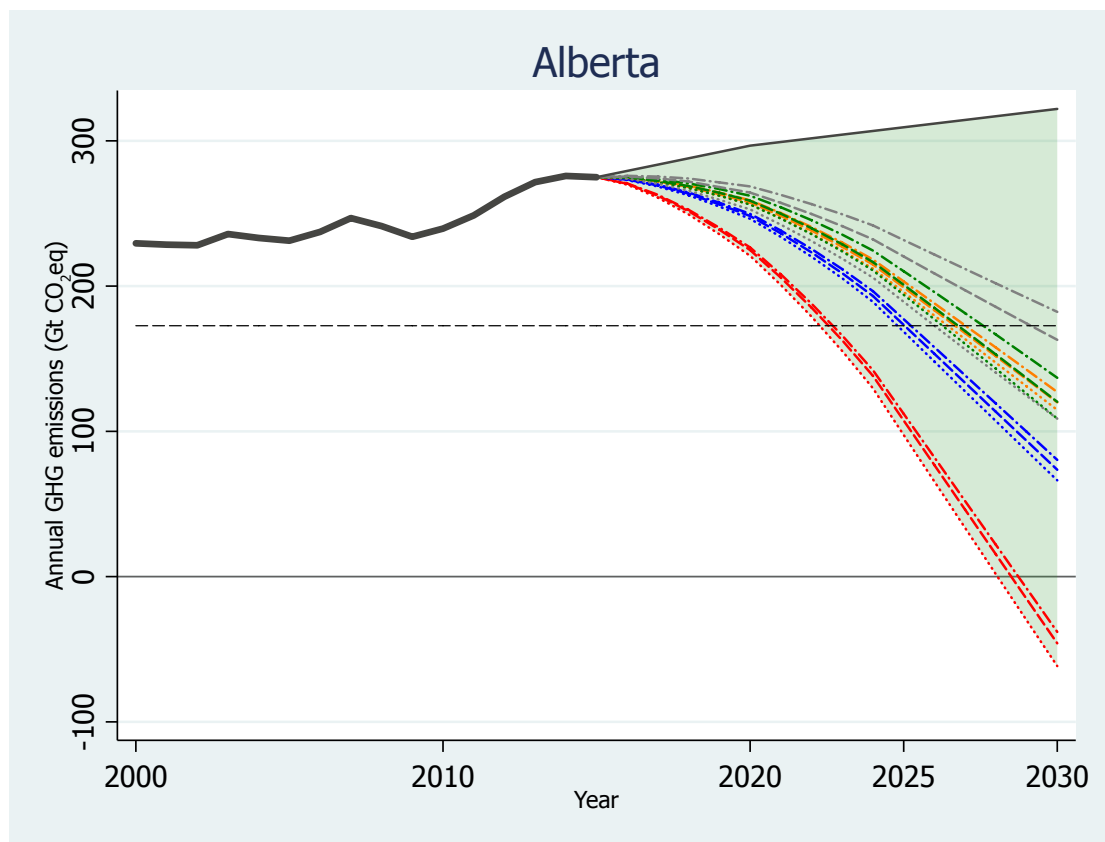
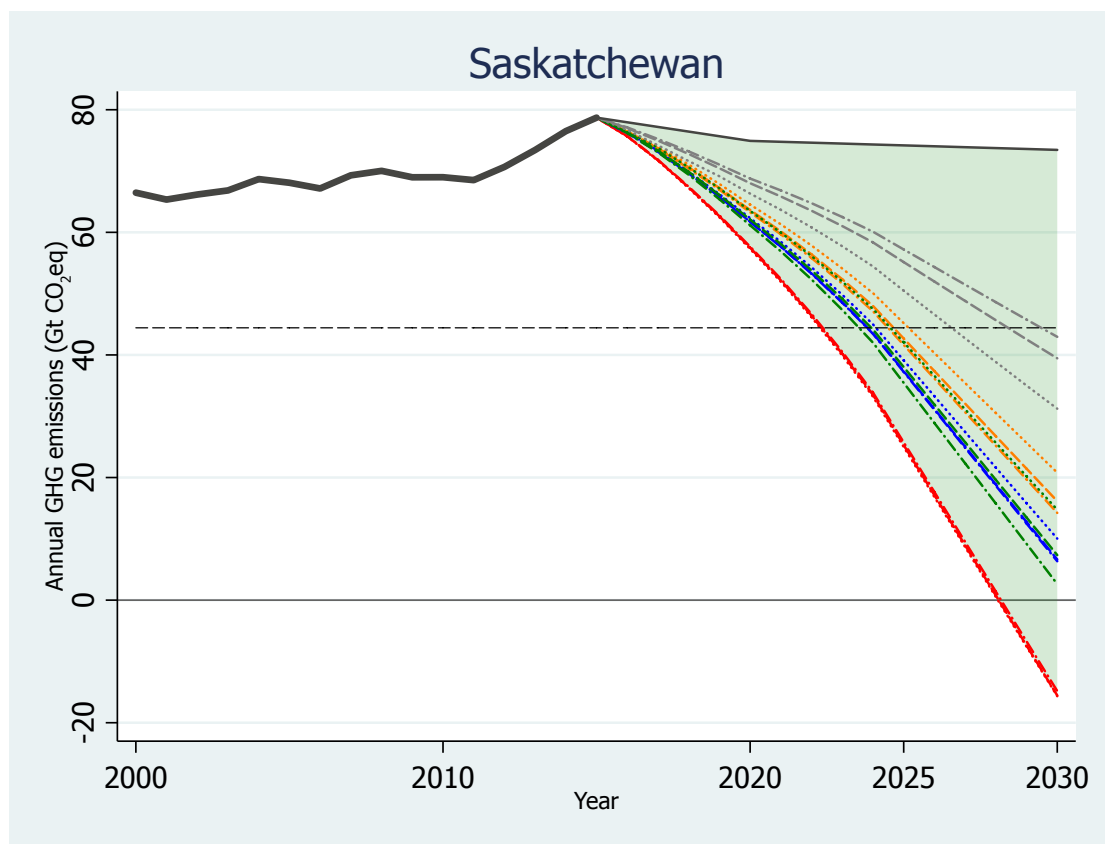
Similarly, **Responsibility** – a nation's contribution to the planetary GHG burden – can be based on cumulative GHG emissions since a range of historical start years, and can consider the emissions arising from luxury consumption more strongly than emissions from the fulfilment of basic needs, and can altogether exclude the survival emissions of the poorest. Of course, the 'right' level of progressivity, like the 'right' start year, are matters for deliberation and debate.¹¹

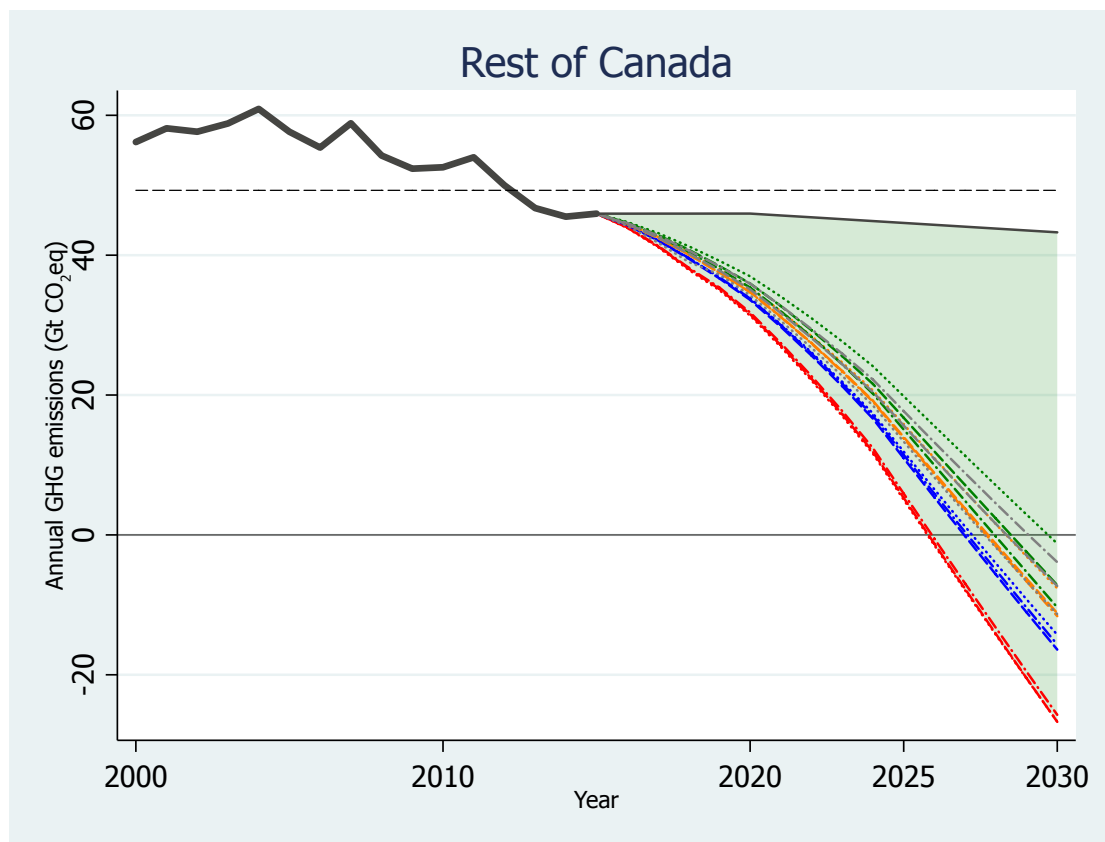
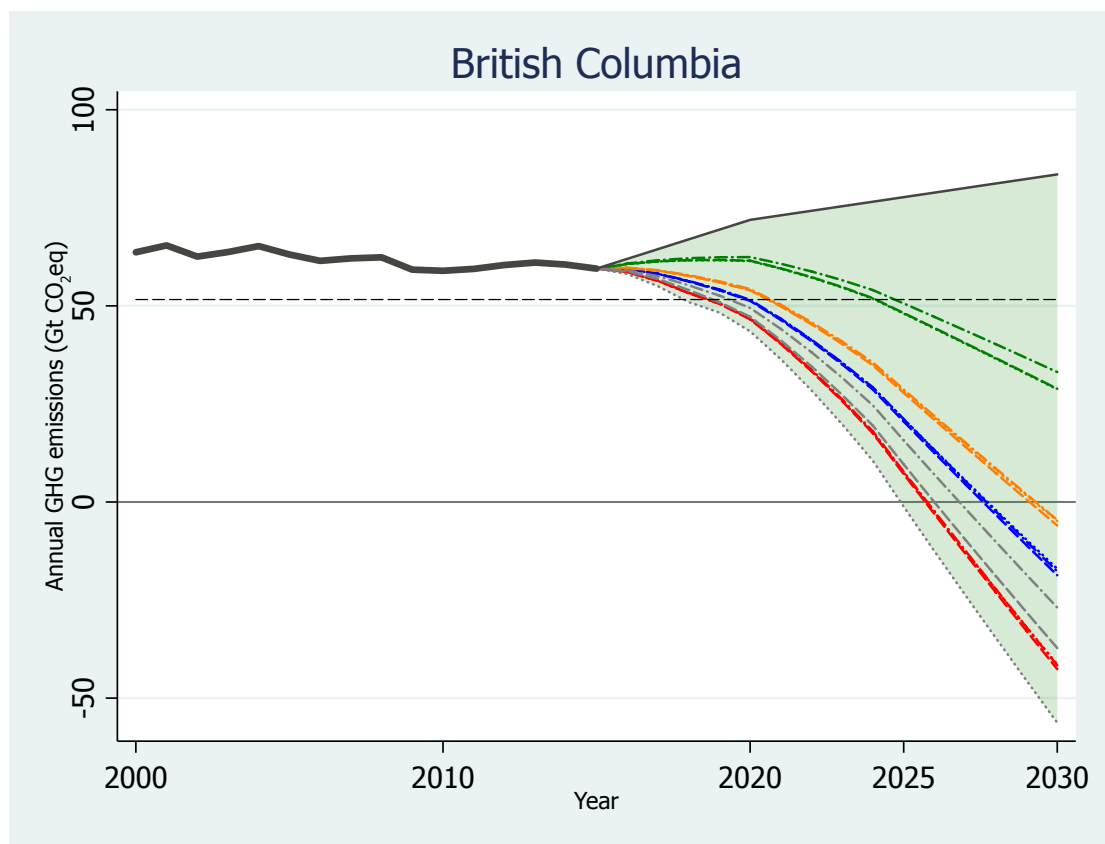
¹¹ For more details, including how progressivity is calculated and a description of the standard data sets upon which our calculations are based, see About the Climate Equity Reference Project Effort-sharing Approach: <https://climateequityreference.org/about-the-climate-equity-reference-project-effort-sharing-approach/>. For an interactive experience and a finer set of controls, see the Climate Equity Reference Calculator (<https://calculator.climateequityreference.org>). The CSER methodology is described in a peer-reviewed methodology article, which provides further details (Holz, Kartha, et al. 2018a).

ANNEXE 4: RÉSULTATS DU PARTAGE DE L'EFFORT POUR LES PROVINCES CANADIENNES SELON DIVERS PARAMÉTRISATIONS









Ontario

Approche de progressivité	Responsabilité historique début	Part de l'effort mondial %	Réductions en 2030 en deçà		
			Référence	Niveaux de 1990	
			Mt d'éq CO ₂	Mt d'éq CO ₂	%
Points de repère tenant compte de la capacité et de la responsabilité					
Faible	1850	0,76%	274,4	272,3	151,2%
	1950	0,75%	272,9	270,9	150,4%
	1990	0,72%	259,5	257,5	143,0%
Moyene	1850	0,86%	313,3	311,3	172,8%
	1950	0,86%	312,9	310,9	172,6%
	1990	0,82%	296,7	294,7	163,6%
Élevé	1850	1,07%	389,4	387,4	215,1%
	1950	1,08%	390,5	388,5	215,7%
	1990	1,03%	375,2	373,2	207,2%
Points de repère ne tenant compte que de la capacité (excluant la responsabilité)					
Faible	as pris en compte	0,89%	324,3	322,3	178,9%
Moyene	as pris en compte	0,98%	355,4	353,3	196,2%
Élevé	as pris en compte	1,14%	414,2	412,2	228,8%

Manitoba

Approche de progressivité	Responsabilité historique début	Part de l'effort mondial %	Réductions en 2030 en deçà		
			Référence	Niveaux de 1990	
			Mt d'éq CO ₂	Mt d'éq CO ₂	%
Points de repère tenant compte de la capacité et de la responsabilité					
Faible	1850	0,08%	27,6	21,7	118,6%
	1950	0,07%	26,7	20,9	113,9%
	1990	0,07%	24,3	18,5	100,9%
Moyene	1850	0,08%	30,2	24,3	133,0%
	1950	0,08%	29,8	23,9	130,7%
	1990	0,08%	27,4	21,6	117,8%
Élevé	1850	0,10%	34,7	28,9	157,8%
	1950	0,10%	34,6	28,8	157,3%
	1990	0,09%	32,8	27,0	147,5%
Points de repère ne tenant compte que de la capacité (excluant la responsabilité)					
Faible	as pris en compte	0,07%	26,9	21,0	114,8%
Moyene	as pris en compte	0,08%	28,9	23,0	125,8%
Élevé	as pris en compte	0,09%	31,4	25,6	139,8%

Saskatchewan

Approche de progressivité	Responsabilité	Part de l'effort	Réductions en 2030 en deçà		
	historique	mondial	Référence	Niveaux de 1990	
	début	%	Mt d'éq CO ₂	Mt d'éq CO ₂	%
Points de repère tenant compte de la capacité et de la responsabilité					
Faible	1850	0,16%	59,2	30,2	68,0%
	1950	0,16%	57,3	28,3	63,6%
	1990	0,15%	52,7	23,6	53,2%
Moyene	1850	0,19%	67,1	38,1	85,7%
	1950	0,18%	66,8	37,8	85,1%
	1990	0,17%	63,4	34,4	77,4%
Élevé	1850	0,24%	88,3	59,3	133,4%
	1950	0,25%	89,0	60,0	135,0%
	1990	0,25%	89,1	60,1	135,3%
Points de repère ne tenant compte que de la capacité (excluant la responsabilité)					
Faible	as pris en compte	0,08%	30,5	1,5	3,3%
Moyene	as pris en compte	0,09%	34,0	5,0	11,2%
Élevé	as pris en compte	0,12%	42,2	13,2	29,7%

Alberta

Approche de progressivité	Responsabilité historique début	Part de l'effort mondial %	Réductions en 2030 en deçà		
			Référence Mt d'éq CO ₂	Niveaux de 1990 Mt d'éq CO ₂ %	
Points de repère tenant compte de la capacité et de la responsabilité					
Faible	1850	0,54%	194,9	45,6	26,4%
	1950	0,56%	202,0	52,7	30,5%
	1990	0,57%	207,3	58,0	33,6%
Moyene	1850	0,67%	241,6	92,4	53,5%
	1950	0,69%	248,4	99,2	57,4%
	1990	0,71%	255,7	106,4	61,6%
Élevé	1850	0,99%	360,1	210,8	122,0%
	1950	1,01%	367,9	218,6	126,6%
	1990	1,06%	383,6	234,3	135,6%
Points de repère ne tenant compte que de la capacité (excluant la responsabilité)					
Faible	as pris en compte	0,39%	139,7	-9,5	-5,5%
Moyene	as pris en compte	0,44%	159,0	9,7	5,6%
Élevé	as pris en compte	0,59%	213,2	64,0	37,0%

Colombie-Britannique

Approche de progressivité	Responsabilité historique début	Part de l'effort mondial %	Réductions en 2030 en deçà		
			Référence Mt d'éq CO ₂	Niveaux de 1990 Mt d'éq CO ₂ %	
Points de repère tenant compte de la capacité et de la respnsabilité					
Faible	1850	0,24%	88,1	56,2	108,9%
	1950	0,25%	89,5	57,6	111,6%
	1990	0,24%	88,4	56,5	109,4%
Moyene	1850	0,28%	101,2	69,3	134,3%
	1950	0,28%	102,2	70,3	136,2%
	1990	0,28%	100,6	68,7	133,0%
Élevé	1850	0,35%	125,2	93,3	180,7%
	1950	0,35%	126,1	94,2	182,6%
	1990	0,34%	124,9	93,0	180,2%
Points de repère ne tenant compte que de la capacité (excluanty la responsabilité)					
Faible	as pris en compte	0,30%	110,4	78,5	152,1%
Moyene	as pris en compte	0,33%	120,8	88,9	172,2%
Élevé	as pris en compte	0,39%	139,8	107,9	209,0%

Reste du Canada

Approche de progressivité	Responsabilité historique début	Part de l'effort mondial %	Réductions en 2030 en deçà		
			Référence Mt d'éq CO ₂	Niveaux de 1990 Mt d'éq CO ₂ %	
Points de repère tenant compte de la capacité et de la respnsabilité					
Faible	1850	0,15%	54,9	60,9	123,6%
	1950	0,15%	54,5	60,5	122,7%
	1990	0,14%	50,9	56,9	115,5%
Moyene	1850	0,16%	58,9	64,9	131,8%
	1950	0,16%	59,7	65,7	133,3%
	1990	0,16%	57,5	63,6	129,0%
Élevé	1850	0,19%	69,0	75,0	152,2%
	1950	0,19%	70,0	76,0	154,3%
	1990	0,19%	70,0	76,0	154,2%
Points de repère ne tenant compte que de la capacité (excluanty la responsabilité)					
Faible	as pris en compte	0,13%	47,2	53,2	107,9%
Moyene	as pris en compte	0,14%	50,6	56,6	114,8%
Élevé	as pris en compte	0,15%	54,6	60,6	123,0%

ANNEXE 5: NOTES ON SOURCING AND ESTIMATING PROVINCE LEVEL DATA

- Dataset available from author upon request
- Primary Data source for all countries is the composite Climate Equity Reference Calculator Database ("CERP Core DB" (Holz, Kartha, et al. 2018b) available from the Harvard University Dataverse at <https://doi.org/10.7910/DVN/O3H22Z>), which in turn is based on the most authoritative and complete data sources available (for details, see database description at <https://doi.org/10.7910/DVN/O3H22Z/FBXUWU>)
- For Canadian provincial analysis, the data for Canada in the CERP Core DB was replaced with provincial-level data using high quality primary data, primarily from StatsCan and ECCC. For consistency, in some cases, the Canadian absolute totals in the CERP Core DB were retained but allocated to provinces according to the proportional shares in the Canadian primary data sources. See below for details. Projections, interpolations and extrapolations as described below.
- Population
 - o Future: 2020-2030 based on values from StatsCan table 17-10-0057-01, from the "Projection scenario LG: low-growth" (Statistics Canada 2020a). This is the StatsCan projection scenario for which the Canadian totals are most consistent with the Canadian figures of the medium growth scenario from the UN population projections, which are used in the CERP Core DB.
2020-2030 uses the CERP Core DB figures (which in turn are from UN Population projections, medium growth scenario) and applies the shares of provinces/territories of the Canadian total from StatsCan table 17-10-0057-01
 - o History: 1971-2019, uses StatsCan table 17-10-0005-01 (Statistics Canada 2020b); for consistency, applies province/territory shares of total population from StatsCan table to CERP Core DB figures
 - o Deep History: 1850-1970: uses StatsCan Table A2-14 (Population from Censuses 1851-1971) (Basavarajappa and Ram 2008; Statistics Canada 2008a) with: linear extrapolation between census years and back from 1851 to 1850; extrapolation for provinces/territories that joined Canada later, based on constant ratio to Rest of Canada population in the first year that they are included in the census. From deep history data, used province/territory shares for each year and applied it to deep history Canada population figures from CERP Core DB
- GDP
 - o History: For consistency, using GDP figures for Canadian totals from CERP Core DB from 1850 to 2015
 - o Recent history and future: 2016-2030 Canadian total percentage change based on Conference Board figures; provincial/territorial breakdown based on provincial/territorial breakdown of Canadian total in Conference Board figures (Conference Board of Canada 2019)
 - o History: 1981-2015: uses StatsCan table 36-10-0222 (Statistics Canada 2020c). For consistency, applies province/territory shares of total GDP from StatsCan table 36-10-0222 to CERP Core DB figures
 - o Deep History 1850-1980:
 - Was unable to find provincial breakdown of GDP before 1981
 - However, we do have GDP time series for the whole of Canada going back to 1850 in the CERP Core DB, thus need an appropriate algorithm to split this onto provinces:
 - from 1926-1976, was able to find "personal income" by provinces from StatsCan (Crozier 2008; Statistics Canada 2008b). These figures were used as a proxy for the split of GDP between provinces and each province's fraction of the total Canadian personal income for each year was applied to the Canadian

GDP from the CERP Core DB. (including linear extrapolation from 1976 to 1980; and linear extrapolation back to 1926 for provinces that joined Canada after 1926, using constant GDP share of provinces of the first data year after joining)

- for 1850-1925: used population figures from StatsCan table A2-14 (Statistics Canada 2008a) and assumed relative difference between provincial and Canadian average per capita personal incomes to be constant at average 1926-1930 levels across the 1850-1925 period, using the formula

$$y_{i,t} = p_{i,t} \cdot \frac{Y_t}{P_t} \cdot \frac{\sum_{j=1926}^{1930} \frac{y_{i,j}/p_{i,j}}{Y_j/P_j}}{5}$$

where $y_{i,t}$ is the provincial income for province i in year t , Y the total Canadian income in year t , and where $p_{i,t}$ is the provincial population for province i in year t , P the total Canadian population in year t . The term $\frac{y_{i,j}/p_{i,j}}{Y_j/P_j}$ captures the ratio of how much larger or smaller the average per capita income of province i ($y_{i,j}/p_{i,j}$) is relative to the average Canadian per capita income (Y_j/P_j), in year j . For extrapolating income backwards from 1926 to 1850, we use the 5 year average of that ratio over the 1926-1930 period and keep it constant, when calculating provincial incomes for any given earlier year t by multiplying the ratio with the Canadian average income for that year (Y_t/P_t) and the provincial population ($p_{i,t}$)

- Emissions

- o No LULUCF emissions/removals considered
- o No Emissions embodied in trade ("consumption emissions") implemented
- o History 1990-2015: directly taken from NIR, with provincial breakdown as provided in ECCC data mart (ECCC 2019a)
- o Projections 2016-2030: with measures scenario from BR2 2015 (Canada 2016a, 2016b), also highlighted as a sort of baseline scenario in 2019 ECCC projections paper (ECCC 2019b), situating it as "the last projection before PCF" (and PA), and contrasting it with 2019 projection from BR4 (Canada 2019). Linear Extrapolation between 2015 and 2020 and 2020 and 2030, respectively. Quebec projection overridden with values from Dunskey (Dunskey et al. 2019)
 - Table 6(a) of BR2 CRF (Canada 2016b), or table 5-3 in the text of BR2 (Canada 2016a), provides gas breakdown for Canada for 2020 and 2030, totals slightly different than numbers from 2019 projections paper
 - 2019 projection paper provides totals for Canada on annual basis
 - Table A24 in BR2 text has provincial breakdown (in MtCO₂eq)
 - Charts in Dunskey report provide 5-year intervals for Quebec reference scenario projection and breakdown of sectors (Ag and Waste serve as nonCO₂ proxy)
 - → table 5-3 of BR2 has essentially unchanged split of CO₂ vs non-CO₂ in 2020 and 2030 (79% CO₂), Chart in Dunskey report has similar figure (82%) for QC → assume CO₂ vs non CO₂ split remains constant for each province or territory from 2020 to 2030, except using QC figures from Dunskey. Converge to constant 2020 value from actual 2015 values
- o Deep History: 1850-1989
 - For CO₂, using the CO₂ intensity of GDP (kg CO₂/\$) and for non-CO₂ using per capita emissions (kg CO₂eq/cap).

Specifically, for CO₂ emissions, we use the formula

$$e_{i,t} = y_{i,t} \cdot \frac{E_t}{Y_t} \cdot \frac{\sum_{j=1990}^{1995} \frac{e_{i,j}/y_{i,j}}{E_j/Y_j}}{5}$$

where $e_{i,t}$ are the provincial CO₂ emissions for province i in year t , E the total Canadian CO₂ emissions in year t , and where $y_{i,t}$ is the provincial GDP for province i in year t , Y the total Canadian GDP in year t . The term $\frac{e_{i,j}/y_{i,j}}{E_j/Y_j}$ captures the ratio of how much the average CO₂ intensity of GDP for province i ($e_{i,j}/y_{i,j}$) is larger or smaller relative to the average Canadian CO₂ intensity of GDP (E_j/Y_j), in year j . For extrapolating CO₂ emissions backwards from 1989 to 1850, we use the 5 year average of that ratio over the 1990-1995 period¹² and keep it constant, when estimating provincial CO₂ emissions for any given earlier year t by multiplying that ratio with the Canadian average CO₂ intensity of GDP for that year (E_t/Y_t) and the provincial GDP ($y_{i,t}$). Provincial emissions are proportionally calibrated for each year so that the total across provinces matches the total for Canada from the CERP Core DB for that year.

For non-CO₂ greenhouse gas emissions, we use the formula

$$e_{i,t} = p_{i,t} \cdot \frac{E_t}{P_t} \cdot \frac{\sum_{j=1990}^{1995} \frac{e_{i,j}/p_{i,j}}{E_j/P_j}}{5}$$

where $e_{i,t}$ are the provincial non-CO₂ emissions for province i in year t , E the total Canadian non-CO₂ emissions in year t , and where $p_{i,t}$ is the provincial population for province i in year t , P the total Canadian population in year t . The term $\frac{e_{i,j}/p_{i,j}}{E_j/P_j}$ captures the ratio of how much larger or smaller the average per capita non-CO₂ emissions of province i ($e_{i,j}/p_{i,j}$) are relative to the average Canadian per capita non-CO₂ emissions (E_j/P_j), in year j . For extrapolating income backwards from 1989 to 1850, we use the 5 year average of that ratio over the 1990-1995 period and keep it constant, when estimating provincial non-CO₂ emissions for any given earlier year t by multiplying the ratio with the Canadian average per capita non-CO₂ emissions for that year (E_t/P_t) and the provincial population ($p_{i,t}$). Provincial emissions are then proportionally calibrated for each year so that the total across provinces matches the total for Canada from the CERP Core DB for that year.

- Gini Coefficients

- o 1976-2018 for provinces using Gini coefficients s for "adjusted market income" from StatsCan Table 11-10-0134-01 (Statistics Canada 2020d) (adjusted market income is the time series where the values for Canada match best the CERP Core DB)

¹² Admittedly, this is a somewhat arbitrary time span. Essentially, we are assuming the *structure* of the difference of carbon intensities of the provincial economies to be constant over time all the way back to 1850. We know this is not true, but in order to get the estimate closest to real values, we want to pick a reference period that's as far back as possible, before the most recent structural changes occurred, and we don't want to pick a single year, since carbon emissions can be quite different from year to year (think, a single cold winter requiring unusual amounts of heating), so a five year average hopefully smooths that out a bit. Either way, the strongest predictor of emissions is GDP, and we do have a decent time series for GDP or its proxies. The alternative to the approach used here (assuming relative carbon intensity to be constant for every province across time but different between provinces) would be assuming the carbon intensity to be constant across provinces in each year, but different across time.

- o For pre 1976 and post 2019 for provinces, using Canada values from CERP Core DB, constant across provinces
- o For territories, using Canada values from CERP Core DB throughout
- PPP2MER conversion rate
 - o Using Canada values from CERP Core DB throughout

Dataset limitations

Provincial breakdown limitations in primary data

- GDP only from 1981, personal income (as proxy for GDP) from 1926
- Population only from 1971
- Emissions only from 1990
- Gini Coefficients only from 1976

(though gaps in the data set were filled in with interpolated or extrapolated estimates as per the detailed descriptions above from 1850-current)

Calculations for the Climate Equity Reference Calculator (CERc)

Eric Kemp-Benedict*, Tom Athanasiou, Paul Baer, Ceecee Holz, and Sivan Kartha

November 16, 2018

Abstract

The Climate Equity Reference Project (CERP) framework allocates responsibility for greenhouse gas mitigation and adaptation based on individual responsibility for historical emissions and capacity to act. The Climate Equity Reference Calculator (CERc) is a web-based tool for exploring how specific quantitative expressions of the CERP framework affect allocations. This paper documents the calculations that the calculator implements.

Keywords: UNFCCC, climate, inequality, GHG emissions, lognormal

Contents

1	Introduction	1
1.1	Comparing Economic Output: PPP vs MER	1
1.2	Lognormal Income Distributions	1
2	Capacity and Responsibility	2
2.1	Emissions elasticities and standard integrals	2
2.2	Individual capacity and responsibility per capita	3
2.3	National capacity and responsibility	4
2.4	The Responsibility-Capacity Indicator	5
3	Baseline Emissions	6
3.1	Consumption-based baseline emissions	6
3.2	Luxury-capped baseline emissions	6
3.3	Kyoto-adjusted baseline emissions	8
4	Emissions allocations	8
4.1	Basic CERP allocations	9
4.2	Allocations using luxury-capped or Kyoto-adjusted baselines	9
4.3	Allocations under sequencing	10
4.3.1	Modification to the basic CERP algorithm	10
4.3.2	Modification to the luxury-capped baseline algorithm	11
5	Conclusion	12
A	Gini Coefficient for a Sum of Lognormals	14
A.1	Statement of the result	14
A.2	Derivation of the result	14
A.2.1	Gini coefficient in terms of the income distribution	14
A.2.2	Gini coefficient for a weighted sum of lognormal distributions	15

*Corresponding author: eric.kemp-benedict@sei.org

1 Introduction

The Climate Equity Reference Project (CERP) framework [6], which is a generalization of the earlier Greenhouse Development Rights (GDRs) framework [1] is a general framework for burden-sharing for climate change that takes both responsibility and financial capacity into account. The framework proposes a quantification of the official principles of the United Nations Framework Convention on Climate Change, which call for “the widest possible cooperation by all countries and their participation in an effective and appropriate international response, in accordance with their common but differentiated responsibilities and respective capabilities.”

The creators of the CERP framework maintain an on-line calculator in order to explore the implications of different quantitative expressions of the framework for emissions allocations.¹ This technical paper describes the calculations that are implemented in the calculator. The calculator “engine” itself is available as a program written in C; the code is open-source, and can be downloaded or browsed online.²

1.1 Comparing Economic Output: PPP vs MER

The CERP framework compares the individuals within the world’s diverse economies to each other. Any such comparison depends upon what is compared—that is, which categories in the national accounts—and on what basis—that is, the exchange rate. As a practical matter, the choice of exchange rate is limited to market exchange rates (MER) or purchasing power parities (PPP). The MER conversion factors are essentially prices for currencies, and changes in MER reflect changes in demand for currencies in international exchanges. MER values are available on an almost continuous basis. In contrast, PPP conversion factors are calculated laboriously and infrequently, using detailed data on consumption and local prices [8]. Roughly speaking, MER-converted currencies express purchasing power in international markets, while PPP-converted currencies express purchasing power within countries.

All calculations within the CERP calculator operate on gross domestic product (GDP). In this paper we use the term “income” as a shorthand for GDP per capita. The calculator uses both MER and PPP conversion factors for different purposes, as explained later in this report, and applies conversion factors at national scale. So, although purchasing power may vary significantly between sectors and sub-national regions [3], the calculator assumes that the distribution of income in PPP terms is the same as that in MER terms.

In the presentation in this report we assume that all incomes are PPP-adjusted and, where appropriate, we explicitly convert to MER-adjusted incomes using the national price level π_i , given by the ratio of MER-adjusted GDP to PPP-adjusted GDP [3], $\pi_i = \text{GDP}_{\text{MER},i} / \text{GDP}_{\text{PPP},i}$. In terms of exchange rates, this is expressed as $\pi_i = \text{PPP}_i / \text{MER}_i$.

Our use of PPP-based figures in this report follows from the historical development of the calculator code. The CERP framework, which allocates burden-sharing within an international regime, uses MER-denominated currencies in most cases. However, the calculator code, which is described in this report, was written as though all currencies were expressed in PPP terms, and converts to MER as needed. Our convention, in this report, of assuming PPP-adjusted currencies, simplifies comparison to the code.

1.2 Lognormal Income Distributions

Because the CERP framework takes the individual as the unit of analysis, those in low-income countries with high incomes, and those in high-income countries with low incomes, are assessed on the basis of their own income and corresponding emissions rather than the average income of the country in which they live. This approach requires knowledge of within-country income distributions. The availability, since the mid-1990s, of a reasonably complete international database on income distribution [4, 12] makes this calculation possible.

Following Kemp-Benedict [7] and Lopez and Servén [9], income is assumed to be distributed lognormally within countries. The lognormal distribution has two parameters, the mean income \bar{y} and the standard

¹The web interface to the calculator can be accessed at <https://calculator.climateequityreference.org/>.

²The code for the calculator engine, written in C, is licensed under the Apache License Version 2.0, a very permissive open-source license. To download or browse the code, go to <http://gdrs.sourceforge.net/>. There is also a web API interface to the online calculator. The web interface, including the API, is written in PHP. To view the PHP code, go to <https://github.com/climateequityreferenceproject/cerc-web/>.

deviation of the log of income, σ . The standard deviation of the log of income is a measure of how equally or unequally distributed income is within the country, and can be related to the well-known Gini coefficient G using the following formula,

$$\sigma = \sqrt{2}N^{-1}\left(\frac{1+G}{2}\right). \quad (1.1)$$

In this expression, N^{-1} is the inverse normal function. This equation follows from the Gini coefficient for a sum of lognormals, which is derived in Appendix A, in the special case that there is only one country.

For later convenience we transform income y into a new variable z , given by

$$z = \frac{1}{\sigma} \ln(y/\bar{y}) + \frac{\sigma}{2}. \quad (1.2)$$

In terms of z , the lognormal becomes simply a normal distribution with mean zero and standard deviation equal to one,

$$y \sim \text{Lognormal}(\bar{y}, \sigma) \Rightarrow z \sim N(0, 1). \quad (1.3)$$

2 Capacity and Responsibility

The CERP framework proposes two different income thresholds, a lower threshold y_l , called the “development threshold”, and an upper threshold y_u , called the “luxury threshold”. Income is exempt below the development threshold, while above the luxury threshold 100 per cent of income contributes to capacity. In the default implementation of the CERP framework in the calculator, 100 per cent of income above the development threshold also counts toward capacity. Optionally, between the two thresholds a rising fraction $\varphi(y)$ of each marginal increment of income contributes toward capacity, where $\varphi(y)$ increases from 0 at the lower threshold to 100 per cent at the upper threshold. The development threshold reflects purchasing power within countries at low income levels, and within the calculator is compared to PPP-adjusted incomes. In contrast, the luxury threshold applies to high-income consumption that occurs largely, although not entirely, within the global economy, and is compared to MER-adjusted incomes. Thus, the fraction of income that contributes toward capacity between the thresholds is, optionally, equal to

$$\varphi(y) = \frac{\pi_i y - \pi_i y_l}{y_u - \pi_i y_l}, \quad \pi_i y_l \leq \pi_i y \leq y_u, \quad (2.1)$$

where we have converted income, y , and the lower threshold y_l from PPP to MER terms.

The contributions to capacity at different income levels are applied like tax rates, so they distinguish between expenditure categories for each individual, rather than between low-income and high-income individuals within a country. We imagine each person (or, more likely, a household) creating a budget, ranking expenditures from least negotiable to most negotiable, and assigning each unit of income first to the least-negotiable expenditures and then increasingly to negotiable ones. At the low end of the scale, we argue that the relevant comparison is purchasing power within the country in which that person or household lives. At the upper end of the scale, the decision to use PPP or MER conversion rates is more difficult, as luxury expenditure might be on non-traded services or on traded goods. Short of calculating a weighted average of PPP and MER ratios, for which we have limited empirical justification, we are left with choosing one conversion factor or the other; for high-end consumption, comparing purchasing power in international markets appears to us the most apt.

2.1 Emissions elasticities and standard integrals

As noted above, the CERP framework proposes that income below a certain lower income threshold y_l is exempt, in that it does not contribute to an individual’s capacity to pay. Also, emissions associated with incomes below y_l are exempt, in that they do not contribute to an individual’s historical responsibility. Specifically, the calculator estimates individual emissions at income y as

$$\epsilon_i(y) = \hat{r}_i y^\gamma, \quad (2.2)$$

where $\epsilon_i(y)$ represents emissions per capita for individuals in a narrow range of incomes around y for country i , and \hat{r}_i is a country-specific constant. The elasticity γ is the same for all countries; Chakravarty et al. [2] report evidence that this assumption stands up reasonably well to empirical test, and that the data are consistent with γ between about 0.7 and 1.0. The calculations in this report therefore make repeated use of integrals like the following,

$$M_\gamma(y_c, \sigma, \bar{y}) \equiv \int_{y_c}^{\infty} dy y^\gamma f(y; \bar{y}, \sigma), \quad (2.3)$$

where $f(y; \bar{y}, \sigma)$ is the lognormal income distribution, and y_c is an income cutoff. Changing variables using Equation (1.2), the integral becomes

$$M_\gamma(y_c, \sigma, \bar{y}) = \bar{y}^\gamma e^{-\gamma\sigma^2/2} \int_{z_c(y_c)}^{\infty} dz e^{\gamma\sigma z} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2}. \quad (2.4)$$

After combining the exponents, completing the square, and shifting the endpoint of the integral, the result is

$$M_\gamma(y_c, \sigma, \bar{y}) = \bar{y}^\gamma e^{\frac{\sigma^2}{2}\gamma(\gamma-1)} [1 - N(z_c - \gamma\sigma)], \quad (2.5)$$

where $N(\cdot)$ is the cumulative normal distribution and z_c is the value of z , from Equation (1.2), corresponding to mean income \bar{y} , standard deviation of the log of income σ , and income cutoff y_c . Note that because z_c does not change if both y_c and \bar{y} are rescaled by the same factor,

$$M_\gamma(sy_c, \sigma, s\bar{y}) = s^\gamma M_\gamma(y_c, \sigma, \bar{y}). \quad (2.6)$$

2.2 Individual capacity and responsibility per capita

Capacity to pay for climate mitigation and adaptation is, in the calculator, expressed in MER terms. While this choice imperfectly reflects the baskets of goods that would ultimately correspond to emergency mitigation and adaptation investments, we argue that it is more relevant than PPP. Low-carbon technologies are often, although not always, high technologies that require specialized facilities and skills and are traded internationally, and any global fund for either mitigation or adaptation will of necessity be assessed at market exchange rates.

In the default implementation of the CERP calculator, individual capacity per capita in country i , $c_i(y)$, is given by

$$c_i(y) = \begin{cases} 0 & y < y_l \\ \pi_i(y - y_l) & y > y_l \end{cases}. \quad (2.7)$$

In this expression we have converted incomes, y , which are PPP-denominated in this report, and the PPP-denominated development threshold y_l , to MER terms using the price levels π_i . In the alternative implementation, where capacity changes according to Equation (2.1) between thresholds, we must sum (that is, integrate) capacity for any incomes between the lower and upper thresholds. Above the upper threshold, each dollar contributes fully to capacity and so individual capacity increases linearly above that level. For each small increment dw of income between the lower and upper thresholds, we apply Equation (2.1), so that

$$c_i(y) = \int_{\pi_i y_l}^{\pi_i y} dw \frac{w - \pi_i y_l}{y_u - \pi_i y_l}, \quad \pi_i y_l \leq \pi_i y \leq y_u. \quad (2.8)$$

Responsibility is based on emissions above the threshold, where individual emissions per capita vary as in Equation (2.2). In the default implementation of the CERP framework, the annual contribution to individual per capita responsibility r_i^{ann} is then given by

$$r_i^{\text{ann}}(y) = \begin{cases} 0 & y < y_l \\ \hat{r}_i(y^\gamma - y_l^\gamma) & y \geq y_l \end{cases}. \quad (2.9)$$

The coefficient \hat{r}_i in Equation (2.9) can be determined from the total national annual emissions E_i , using the relationship

$$E_i = \int_0^\infty dy \hat{r}_i y^\gamma f(y; \bar{y}_i, \sigma_i) = \hat{r}_i \bar{y}_i^\gamma e^{\frac{\sigma_i^2}{2}\gamma(\gamma-1)}. \quad (2.10)$$

From this equation it can be seen that

$$\hat{r}_i = \frac{E_i}{\bar{y}_i} e^{-\frac{\sigma_i^2}{2} \gamma(\gamma-1)}. \quad (2.11)$$

In the alternative implementation, in which responsibility and capacity vary between the development and luxury thresholds, we must sum responsibility between the lower and upper thresholds. Similarly to Equation (2.8), the contribution toward responsibility for y between y_l and y_u , is given by

$$r_i^{\text{ann}}(y) = \hat{r}_i \int_{y_l}^{y_u} dw^\gamma \frac{w - y_l}{y_u/\pi_i - y_l}, \quad y_l \leq y \leq y_u, \quad (2.12)$$

where \hat{r}_i is given by Equation (2.11).

Comparing Equations (2.8) and (2.12), it is seen that the expression for capacity is the same as that for responsibility, with $\gamma = 1$. For this reason, the expression for responsibility is more general. To simplify the later presentation of the explicit expressions for capacity and responsibility, we define some convenient functions, starting with Equation (2.12). First, we define

$$a_\gamma(y; a, b) \equiv \int_a^y dw^\gamma \frac{w - a}{b - a}. \quad (2.13)$$

This can be evaluated explicitly to give

$$a_\gamma(y; a, b) = \frac{1}{b - a} \left[\frac{\gamma}{\gamma + 1} (y^{\gamma+1} - a^{\gamma+1}) - a (y^\gamma - a^\gamma) \right]. \quad (2.14)$$

We also define

$$b_\gamma(y; b) = y^\gamma - b^\gamma. \quad (2.15)$$

In terms of the functions $a_\gamma(y; a, b)$ and $b_\gamma(y; b)$, the expression for individual capacity in the alternative implementation becomes

$$c_i(y) = P_i \begin{cases} 0 & \pi_i y < \pi_i y_l, \\ a_1(\pi_i y; \pi_i y_l, y_u) & \pi_i y_l \leq \pi_i y \leq y_u, \\ a_1(y_u; \pi_i y_l, y_u) + b_1(\pi_i y, y_u) & \pi_i y > y_u, \end{cases} \quad (2.16)$$

while the expression for individual annual responsibility becomes

$$r_i^{\text{ann}}(y) = \hat{r}_i \begin{cases} 0 & y < y_l, \\ a_\gamma(y; y_l, y_u/\pi_i) & y_l \leq y \leq y_u/\pi_i, \\ a_\gamma(y_u/\pi_i; y_l, y_u/\pi_i) + b_\gamma(y, y_u/\pi_i) & \pi_i y > y_u, \end{cases} \quad (2.17)$$

where \hat{r}_i is given by Equation (2.11).

2.3 National capacity and responsibility

National capacity C_i is given, in the default implementation of the CERP framework, by integrating per capita capacity, given by Equation (2.7), over the income distribution. Using the formula in Equation (2.5), and rearranging, this can be shown to equal

$$C_i = P_i [M_1(\pi_i y_l, \sigma_i, \pi_i \bar{y}_i) - \pi_i y_l M_0(\pi_i y_l, \sigma_i, \pi_i \bar{y}_i)], \quad (2.18)$$

where P_i is national population. National annual responsibility R_i^{ann} is found by integrating per capita annual responsibility, given by Equation (2.9), over the income distribution. The expression is closely analogous to the one in Equation (2.18),

$$R_i^{\text{ann}} = \hat{r}_i [M_\gamma(y_l, \sigma_i, \bar{y}_i) - y_l^\gamma M_0(y_l, \sigma_i, \bar{y}_i)], \quad (2.19)$$

where \hat{r}_i is given by Equation (2.11).

In any given year Y , national responsibility R_i is calculated as cumulative annual responsibility from a starting year t_{ref} . Adding a time index t to annual responsibility, this can be written

$$R_{i,Y} = \sum_{t=t_{\text{ref}}}^Y R_{i,t}^{\text{ann}}. \quad (2.20)$$

Unless introduced explicitly, subsequent formulas will suppress the time index.

In the alternative implementation of the framework, the expressions for national capacity and annual responsibility are somewhat more involved than in the default case. Also, in some cases we want to calculate the responsibility or capacity between two income levels $y_a < y_b$. The different cases are shown in Table 1. Also shown in the table are the expressions in terms of the following two functions:

$$A_\gamma(a, b) \equiv A_\gamma(a, b; y_l, y_u/\pi_i, \bar{y}_i, \sigma_i) = \int_a^b dy a_\gamma(y; y_l, y_u/\pi_i) f(y; \bar{y}_i, \sigma_i), \quad (2.21a)$$

$$B_\gamma(a, b) \equiv B_\gamma(a, b; y_u/\pi_i, \bar{y}_i, \sigma_i) = \int_a^b dy b_\gamma(y; y_u/\pi_i) f(y; \bar{y}_i, \sigma_i). \quad (2.21b)$$

Table 1: Possible relative values of y_a , y_b , y_l , and $y_u^p \equiv y_u/\pi$

	below y_l	between y_l and y_u^p	above y_u^p	expression
1.	$y_a < y_b$			0
2.	y_a	y_b		$A_\gamma(y_l, y_b)$
3.	y_a		y_b	$A_\gamma(y_l, y_u^p) + a_\gamma(y_u^p, y_l, y_u^p) (N(z_b) - N(z_u)) + B_\gamma(y_u^p, y_b)$
4.		$y_a < y_b$		$A_\gamma(y_a, y_b)$
5.		y_a	y_b	$A_\gamma(y_a, y_u^p) + a_\gamma(y_u^p, y_l, y_u^p) (N(z_b) - N(z_u)) + B_\gamma(y_u^p, y_b)$
6.			$y_a < y_b$	$B_\gamma(y_a, y_b) + a_\gamma(y_u^p, y_l, y_u^p) (N(z_b) - N(z_a))$

The expressions for $A_\gamma(a, b)$ and $B_\gamma(a, b)$ given in Equation (2.21) can be written explicitly in terms of the function $M_\gamma(y_c, \sigma, \bar{y})$ introduced in Equation (2.3). Specifically,

$$A_\gamma(a, b) = \frac{1}{y_u/\pi_i - y_l} \left[\frac{\gamma}{\gamma + 1} (M_{\gamma+1}(a) - M_{\gamma+1}(b)) - y_l (M_\gamma(a) - M_\gamma(b)) + \frac{y_l^{\gamma+1}}{\gamma + 1} (M_0(a) - M_0(b)) \right], \quad (2.22a)$$

$$B_\gamma(a, b) = (M_\gamma(a) - M_\gamma(b)) - \left(\frac{y_u}{\pi_i} \right)^\gamma (M_0(a) - M_0(b)), \quad (2.22b)$$

where we have used the shorthand $M_\gamma(a) \equiv M_\gamma(a, \sigma_i, \bar{y}_i)$. Note that, because the integral that defines $M_\gamma(y_c, \sigma, \bar{y})$ runs from y_c to infinity, it decreases with increasing y_c . So, although $b > a$, terms in a appear with a positive sign and terms in b with a negative sign.

2.4 The Responsibility-Capacity Indicator

The Responsibility-Capacity Indicator (RCI) is the key indicator for the CERP framework. It is used to allocate burden-sharing. National RCI, as implemented in the calculator, is a weighted sum of the national share of global responsibility and capacity. That is,

$$\text{RCI}_i = a \frac{R_i}{\sum_{j=1}^N R_j} + (1 - a) \frac{C_i}{\sum_{j=1}^N C_j}, \quad (2.23)$$

where N is the number of countries and a lies between zero and one. National RCIs sum to one across countries, and so national RCIs are also the national share of global total RCI. For an individual within country i , RCI per capita, $\text{rci}_i(y)$, is calculated as

$$\text{rci}_i(y) = a \frac{R_i}{\sum_{j=1}^N R_j} \left(\frac{r_i^{\text{ann}}(y)}{R_i^{\text{ann}}} \right) + (1 - a) \frac{c_i(y)}{\sum_{j=1}^N C_j}. \quad (2.24)$$

This formulation distributes cumulative responsibility amongst individuals according to the current annual allocations in any given year. This is not ideal, since in fact individuals will have their own income trajectories that diverge from the average trend, depending on the degree of income mobility within the country in which they live. However, the very limited data on income mobility is insufficient to capture this dynamic.

3 Baseline Emissions

Within the CERP calculator, and consistent with the CERP framework, baseline emissions are specified for each country as a trajectory over time, $E_i(t)$. The trajectories extend from a past date (for example, 1990 or before), through the start of the “emergency” mitigation program, into the future. Under the CERP framework, and some other effort-sharing frameworks, countries share the effort of reducing their emissions below their baselines to meet a global target emissions pathway. The CERP online calculator allocates allowed emissions to each country by subtracting a reduction obligation from its baseline in proportion to its RCI in each year.³ The baseline is therefore an important input into the CERP calculator. However, the calculator itself is indifferent to the choice of baseline, so national baselines are documented elsewhere. In this section we discuss two sub-topics that do involve the calculator: consumption-based baselines and luxury-capped baselines.⁴

3.1 Consumption-based baseline emissions

By default, the baselines in the calculator are based on productive activities within national borders. This is consistent with IPCC guidelines for emissions inventories [5] and to the “state of play” within the climate negotiations. However, there is evidence that high-income and high-emitting countries have stabilized their emissions in part by importing carbon-intensive goods from emerging economies [10]. There is no agreement on whether the importer or exporter should bear the responsibility for emissions embodied in traded goods. When the importer bears the responsibility, baseline emissions are consumption-based; when the exporter bears the responsibility, baselines are production-based. To inform the debate, the CERP calculator allows for consumption-based baseline emissions. As for baselines generally, the calculator is indifferent to the procedure for calculating national net emissions embodied in traded goods, so they are documented elsewhere.

The calculations for consumption-based baseline emissions E_i^{cons} are the same as for production-based baseline emissions E_i^{prod} . The only difference is that the baseline is corrected for net emissions embodied in exports, $\Delta E_i^{\text{exp,net}}$,

$$E_i = E_i^{\text{cons}} = E_i^{\text{prod}} - \Delta E_i^{\text{exp,net}}. \quad (3.1)$$

To facilitate comparison to production-based schemes the calculator presents results in terms of production-based baseline emissions. Because allocations are calculated as a reduction from the baseline, this correction can be accomplished either by: a) subtracting from the production-based baseline, or b) by subtracting from the consumption-based baseline and subsequently adding emissions embodied in exports to the allocation. The calculator follows the second approach.

3.2 Luxury-capped baseline emissions

Using baselines to calculate allocations takes special national circumstances into account, but also implicitly rewards inefficiency and profligate consumption; countries in which a significant part of baseline emissions could be reduced at little cost with relatively minor changes in lifestyle and expectations have an easier time under the CERP framework than do other countries. To correct for this, the CERP online calculator offers an option to cap baselines at the upper “luxury” income threshold. When calculating historical emissions, the calculator uses the full baseline or allocated emissions. However, when assigning countries’ share of the

³Importantly, the CERP allocation will generally not equal domestic emissions. In some cases allocations are substantially negative, so that it is physically untenable, and economically irrational, for countries to achieve them domestically. Rather, the CERP allocation says what part of the global emissions reduction a particular country is responsible for, whether it is achieved domestically or abroad.

⁴The calculator also constructs baselines by optionally adding emissions from non-CO₂ gases and emissions from land use, land cover change, and forestry (LULUCF) to the default fossil CO₂ emissions. However, this is a straightforward operation and is not described in this documentation.

burden of reaching the emergency pathway, it uses the lower, luxury-capped baselines, and requires that countries remove their luxury emissions as part of their commitment under the burden-sharing framework.

Luxury-capped baselines are defined in the following way. First, similar to Equation (2.17), for each time step we calculate emissions associated with incomes above the luxury threshold y_u by integrating over individual-level luxury emissions $\lambda_i(y; y_u)$,

$$\lambda_i(y; y_u) = \begin{cases} 0 & y < y_u/\pi_i \\ \frac{B_i}{\bar{y}_i^\gamma} e^{-\frac{\sigma_i^2}{2}\gamma(\gamma-1)} \left(y^\gamma - \frac{y_u^\gamma}{\pi_i^\gamma} \right) & y \geq y_u/\pi_i \end{cases}, \quad (3.2)$$

where B_i are baseline emissions. Integrated luxury emissions, $\Lambda_i(y_u)$, across all income levels, are then given by

$$\Lambda_i(y_u) = \frac{B_i}{\bar{y}_i^\gamma} e^{-\frac{\sigma_i^2}{2}\gamma(\gamma-1)} \left[M_\gamma(y_u/\pi_i, \sigma_i, \bar{y}_i) - \left(\frac{y_u}{\pi_i} \right)^\gamma M_0(y_u/\pi_i, \sigma_i, \bar{y}_i) \right]. \quad (3.3)$$

Expressed in terms of the cumulative normal distribution, using Equation (2.5), these are

$$\Lambda_i(y_u) = B_i \left[1 - N(z_{ui} - \gamma\sigma_i) - \left(\frac{y_u}{\pi_i \bar{y}_i} \right)^\gamma e^{-\frac{\sigma_i^2}{2}\gamma(\gamma-1)} (1 - N(z_{ui})) \right]. \quad (3.4)$$

The luxury-capped baseline emissions $B_i^{\text{lc}}(y_u)$ are then calculated as

$$B_i^{\text{lc}}(y_u) = B_i - \Lambda_i(y_u) = B_i \left[N(z_{ui} - \gamma\sigma_i) + \left(\frac{y_u}{\pi_i \bar{y}_i} \right)^\gamma e^{-\frac{\sigma_i^2}{2}\gamma(\gamma-1)} (1 - N(z_{ui})) \right]. \quad (3.5)$$

It is possible, especially in the early years of the emergency program, that the luxury emissions will exceed the gap between total baseline emissions and the global emergency pathway E_{EP} . One way to think of this situation is that the gradual divergence of the emergency pathway from the baseline represents an exemption of certain luxury emissions in the early years of the program. Accordingly, in this case we adjust the luxury threshold until total luxury-capped emissions equal the emergency pathway. That is, we find an adjusted threshold y_u^* that satisfies

$$\sum_{i=1}^N B_i^{\text{lc}}(y_u^*) = E_{\text{EP}}, \quad (3.6)$$

where the sum is over the N countries in the calculator database.

We numerically solve Equation (3.6) in the calculator using the Newton-Raphson root-finding method [11]. We define

$$f(y_u) \equiv \sum_{i=1}^N B_i^{\text{lc}}(y_u) - E_{\text{EP}}. \quad (3.7)$$

If $f(y_u)$ is positive with the user-defined luxury threshold, then the emergency pathway lies below the adjusted baselines, and we use the user-defined threshold. Otherwise, the user-defined threshold is too restrictive, and we adjust it until $f(y_u^*) = 0$. For the implementation of the Newton-Raphson method, we need the derivative of $f(y_u)$. The derivative follows from Equation (3.5), and is

$$f'(y_u) = \frac{1}{y_u} \sum_{i=1}^N \frac{B_i}{\sigma_i} \left\{ n(z_{ui} - \gamma\sigma_i) + \left(\frac{y_u}{\pi_i \bar{y}_i} \right)^\gamma e^{-\frac{\sigma_i^2}{2}\gamma(\gamma-1)} [\gamma\sigma_i (1 - N(z_{ui})) - n(z_{ui})] \right\}. \quad (3.8)$$

In this equation, $n(\cdot)$ is the normal probability density, which is also the derivative of the cumulative normal distribution. It is given by

$$n(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2}. \quad (3.9)$$

In deriving Equation (3.8) we also used the relation

$$\frac{dz_{ui}}{dy_u} = \frac{1}{\sigma_i y_u}. \quad (3.10)$$

The expression in Equation (3.8) can be expressed consistently by first converting mean income from PPP to MER terms; this is the approach used in the calculator code.

Given an initial value for y_u , y_{u0} , the next value y_{u1} is

$$y_{u1} = y_{u0} - \frac{f(y_{u0})}{f'(y_{u0})}. \quad (3.11)$$

The calculator iterates until the absolute value of $f(y_u)$ is below a threshold, set equal to 10^{-9} MtC/year.

3.3 Kyoto-adjusted baseline emissions

In the default version of the calculator, countries may be rewarded for missing (or rejecting) their Kyoto targets with a higher baseline. The “Kyoto-adjusted baseline” (KAB) corrects for this. A country’s KAB—as opposed to its business-as-usual (BAU) baseline—begins as the lower of its 2012 emissions or its Kyoto target, and then rises at the same annual rate of growth (as percent increase per year) as its BAU. The difference between a country’s BAU and its KAB is that country’s own responsibility. Because the Kyoto-adjusted baseline of country i , which we denote $E_i^{\text{KAB}}(t)$, increases at the same rate as BAU emissions $E_i(t)$, it is calculated simply as

$$E_i^{\text{KAB}}(t) = \frac{E_i^{\text{Kyoto}}}{E_i(t_{\text{EP}})} E_i(t), \quad (3.12)$$

where E_i^{Kyoto} is the country’s Kyoto commitment at the start of the Emergency Program, t_{EP} . It is possible, especially near the start of the emergency program, that the global total of Kyoto-adjusted baselines exceeds the emergency pathway; in that case we rescale the gaps between the Kyoto-adjusted baseline and BAU so that the total of the scaled emissions equals the emergency pathway for that year.

The calculator database contains information on the 2012 Kyoto target for each Annex I country as a fraction of the 1990 emissions, f_i^{Kyoto} , and the calculator engine computes Kyoto emissions in 2012 as

$$E_i^{\text{Kyoto}} = f_i^{\text{Kyoto}} E_i(1990). \quad (3.13)$$

The database also stores a flag saying whether the country ratified the Kyoto treaty. Countries that did not ratify the treaty (such as the United States) can be optionally added or removed from the KAB-adjusted allocation calculation.

4 Emissions allocations

Under the CERP framework, emissions are allocated to countries on the basis of their RCI, and total emissions in any year must be less than the “emergency program” emissions pathway. Although the emergency pathway does not start until a future year, for convenience the calculator defines an historical emergency program pathway that is equal to global historical emissions.

Before presenting different variants of the CERP emissions allocation algorithm, we first define some symbols and terminology. The emergency pathway is denoted by $E_{\text{EP},t}$, indexed by year t . The i th country’s baseline emissions pathway (historical followed by a business-as-usual pathway) is denoted by $B_{i,t}$, while its CERP emissions allocation is $A_{i,t}$, and its RCI is denoted $I_{i,t}$. In all variants of the allocation algorithm, there are two essential anchoring years: t_{ref} , the historical reference year from which cumulative responsibility is calculated, and t_{EP} , the start of the emergency pathway. Some variants have additional anchoring years.

An interesting complication in the CERP allocation algorithm is that, from the start of the emergency pathway, national emissions—and therefore cumulative responsibility—become dependent on the CERP allocations themselves. That is, in the expression for responsibility in Equation (2.17), prior to the start of the emergency program t_{EP} , emissions E_i are equal to baseline emissions $B_{i,t}$, while afterward they are equal to allocations $A_{i,t}$.

4.1 Basic CERP allocations

In the basic CERP allocation algorithm, national allocations are calculated as the difference between the national baseline and national share of the global emissions reduction obligation, defined as the gap between business-as-usual emissions and the emergency pathway. Shares of the global obligation are equal to RCI. Therefore,

$$A_{i,t}^{\text{basic}} = B_{i,t} - I_{i,t}^{\text{basic}} \left(\sum_{j=1}^N B_{j,t} - E_{\text{EP},t} \right). \quad (4.1)$$

where N is the number of countries. Because RCIs sum to one by virtue of their definition in Equation (2.5), the global allocation is equal to the emergency pathway:

$$\sum_{i=1}^N A_{i,t}^{\text{basic}} = \sum_{i=1}^N B_{i,t} - \left(\sum_{i=1}^N I_{i,t}^{\text{basic}} \right) \left(\sum_{j=1}^N B_{j,t} - E_{\text{EP},t} \right) = E_{\text{EP},t}. \quad (4.2)$$

All variants of the CERP algorithm take Equation (4.1) as their starting point. It contains the two essential ingredients of the CERP approach to allocating burden-sharing: the quantity to be allocated is the gap between development-as-usual emissions and an emissions path consistent with avoiding dangerous climate change; and national obligations are allocated in proportion to RCI.

4.2 Allocations using luxury-capped or Kyoto-adjusted baselines

As explained above, when using luxury-capped baselines, we explicitly calculate any “luxury” emissions $\Lambda_{i,t}$ associated with individual income above the luxury threshold, where the threshold may have been adjusted to satisfy Equation (3.6) if the total of luxury-capped baseline emissions fall below the emergency pathway. Similarly, for Kyoto-adjusted baselines we calculate the gap between the Kyoto-adjusted baseline and the BAU emissions pathway, possibly scaling the gaps to ensure that the global total of the Kyoto-adjusted baselines does not exceed the emergency pathway.

In either case we find a gap between the national baseline and an adjusted baseline, and when both are applied we calculate the maximum of the two gaps. We subtract that gap from national baselines; otherwise, allocations are calculated as in Equation (4.1),

$$A_{i,t}^{\text{lc}} = B_{i,t} - \Lambda_{i,t} - I_{i,t}^{\text{lc}} \left[\sum_{j=1}^N (B_{j,t} - \Lambda_{j,t}) - E_{\text{EP},t} \right]. \quad (4.3)$$

As with the basic allocation, by construction the global allocation is equal to the emergency pathway.

Once the luxury-capped allocation scheme is underway, allocations will begin to diverge from those of basic CERP, so it is difficult to directly compare the two schemes. However, because the allocations must add up to the same total, and national allocations are not the same, some countries will have higher allocations under the luxury-capped scheme than under the basic scheme, and some will have lower allocations.

To understand the implications of the luxury-capping algorithm, suppose that the first L countries, $L < N$, are the luxury-emitting countries responsible for all of the world’s luxury emissions, so that $\Lambda_{i,t} = 0$ for $i > L$. Then, summing over the luxury-emitting countries,

$$\sum_{j=1}^L A_{j,t}^{\text{lc}} = \sum_{j=1}^L B_{j,t} - \sum_{i=1}^L I_{i,t}^{\text{lc}} \left(\sum_{j=1}^N B_{j,t} - E_{\text{EP},t} \right) - \left(1 - \sum_{i=1}^L I_{i,t}^{\text{lc}} \right) \sum_{j=1}^L \Lambda_{j,t}, \quad (4.4)$$

where the sums over luxury emissions $\Lambda_{i,t}$ both extend only from $i = 1$ to L , because for other countries luxury emissions are assumed to be zero. The important term here is the last one. Because total global RCI sums to one, the sum of RCI over the L luxury-emitting countries must be less than (or, perhaps, equal to) one, and so the coefficient on the total luxury emissions is negative (or at least not positive). This means that the total allocation of the luxury-emitting countries is lower than it would be if their baselines were not

luxury-capped. Therefore, as a group, luxury-emitting countries must exert more effort when using luxury-capped baselines than in basic CERP, although individual countries may have lower or higher allocations. The difference between the basic and luxury-capped algorithms becomes smaller as the total RCI of the luxury-emitting countries approaches 100 percent—that is, as that set of countries accounts for more of the world’s capacity and responsibility.

4.3 Allocations under sequencing

The basic CERP implementation, as well as the luxury-capped baseline variant, assumes that all countries enter under the CERP framework at the same time; while countries differ significantly in their responsibility and capacity, the way that these factors are calculated is the same for all. However, the actual UNFCCC process may extend the country groupings defined in the annexes to the Kyoto Protocol beyond the first commitment period. The CERP sequencing allocation algorithm allows for a phased introduction of the CERP framework in which the Annex I countries act first, followed by all countries after a delay.

The sequencing algorithm requires two additional anchoring years: the sequencing base year, t_{sby} , and the end of the sequencing period, t_{send} . The algorithm assumes that the Annex I countries as a whole must reduce their total emissions by a fraction α between t_{sby} and t_{send} , with reductions amongst Annex I countries allocated in proportion to RCI. In keeping with the CERP framework, global emissions must stay below the emergency pathway; the burden of dealing with the “mitigation gap” between Annex I reductions and the reductions needed to reach the emergency pathway can be assigned either to the Annex II countries alone or to all of the Annex I countries.

4.3.1 Modification to the basic CERP algorithm

Actual climate mitigation proposals that feature initial action by Annex I countries are underspecified. To create the year-on-year pathway that the CERP calculator requires, we must specify a shape to the Annex I emissions pathway.

Within the calculator, once the emergency program starts, the sequencing algorithm has two distinct phases: a first sequencing period, when $t_{\text{EP}} < t \leq t_{\text{send}}$, and the second sequencing period, when $t > t_{\text{send}}$. During the first period, the Annex I countries reduce their total emissions in year t relative to their total baseline by an amount

$$S_t = \left(\frac{t - t_{\text{EP}}}{t_{\text{send}} - t_{\text{EP}}} \right)^\beta \left[\sum_{i \in A1} B_{i,t} - (1 - \alpha) \sum_{i \in A1} B_{i,t_{\text{sby}}} \right], \quad (4.5)$$

where the notation “ $i \in A1$ ” means a sum over all countries within Annex I. While this expression may look obscure, it has the following features:

1. When $t = t_{\text{EP}}$, the Annex I reduction is $S_{t_{\text{EP}}} = 0$.
2. At the end of the first sequencing period, total Annex I emissions are a fraction α below the sequencing base-year emissions,

$$\sum_{i \in A1} B_{i,t_{\text{EP}}} - S_{t_{\text{EP}}} = (1 - \alpha) \sum_{i \in A1} B_{i,t_{\text{sby}}}.$$

3. The formula interpolates between these two extremes, while the user-defined “smoothing” parameter β ensures that changes in emissions are not too abrupt. By default, β is set equal to two in the calculator.

This list of features reveals Equation (4.5) to be a relatively simple interpolating function that converts an emissions reduction proposal of the form “The Annex I countries will reduce their emissions by a fraction... in year... below their emissions in the year...” into an annual emissions reduction pathway.

The total Annex I reduction is allocated to Annex I countries in proportion to RCI. This gives an initial sequencing allocation of

$$\text{For } t_{\text{EP}} \leq t \leq t_{\text{send}}: A_{i,t}^{\text{seq,init}} = \begin{cases} B_{i,t} - S_t \frac{I_{i,t}}{\sum_{j \in A1} I_{j,t}} & , i \in A1 \\ B_{i,t} & , i \notin A1 \end{cases}. \quad (4.6)$$

That is, during the first sequencing period, non-Annex I countries are permitted to emit at their baseline levels, while Annex I countries reduce their emissions in proportion to their RCI.

The reductions in Equation (4.6) are insufficient to meet the emergency pathway, and so further reductions are required. The mitigation gap at time t , M_t , is given by

$$M_t = \sum_{i=1}^N A_{i,t}^{\text{seq,init}} - E_{\text{EP},t}. \quad (4.7)$$

That is, it is the difference between the initial allocations and the emergency pathway. As mentioned above, this mitigation gap might be borne by all Annex I countries, or by the Annex II countries alone. Thus, for Annex I (A1) or Annex II (A2) countries, the final allocation is given by

$$\text{For } t_{\text{EP}} \leq t \leq t_{\text{send}} \text{ and } i \in \text{An: } A_{i,t}^{\text{seq}} = A_{i,t}^{\text{seq,init}} - \frac{I_{i,t}}{\sum_{j \in \text{An}} I_{j,t}} M_t, \quad (4.8)$$

where An is either A1 or A2. For all other countries the final allocation is equal to the initial allocation.

At the end of the first sequencing period, the calculation shifts towards a variant on the basic CERP allocation scheme in Equation (4.1). However, Equation (4.1) cannot be applied directly because it would result in an abrupt increase in emissions obligation for non-Annex I countries and a sharp drop for Annex I countries. The calculator ensures a reasonably smooth transition by “freezing” reductions at the end of the first sequencing period, calculating frozen reduction $F_{i,t}$ as

$$F_i \equiv B_{i,t_{\text{send}}} - A_{i,t_{\text{send}}}^{\text{seq}}. \quad (4.9)$$

Note that for non-Annex I countries the frozen reductions are zero. During the second sequencing period (which extends indefinitely), allocations are calculated as

$$\text{For } t > t_{\text{send}}: A_{i,t}^{\text{seq}} = (B_{i,t} - F_i) - I_{i,t}^{\text{basic}} \left[\sum_{j=1}^N (B_{j,t} - F_j) - E_{\text{EP},t} \right]. \quad (4.10)$$

This is the same as the basic CERP allocation calculation except that Annex I baselines subtract the reductions at the end of the first sequencing period.

4.3.2 Modification to the luxury-capped baseline algorithm

The luxury-capped baseline algorithm is modified analogous to the basic CERP algorithm. As with the basic CERP implementation, non-Annex I countries are exempt from entering under the CERP framework until after the first sequencing period. Accordingly, luxury emissions are calculated as in Equation (3.4) for Annex I countries, but are set equal to zero for non-Annex I countries until the second sequencing period. That is,

$$\text{For } t_{\text{EP}} \leq t \leq t_{\text{send}}: \Lambda_{i,t}^{\text{seq}}(y_u) = \begin{cases} \Lambda_{i,t}(y_u) & , i \in \text{A1} \\ 0 & , i \notin \text{A1} \end{cases}, \quad (4.11)$$

where $\Lambda_{i,t}(y_u)$ is the time-varying equivalent of Equation (3.4). In the second sequencing period, luxury emissions are calculated as

$$\text{For } t > t_{\text{send}}: \Lambda_i(y_u) = (B_{i,t} - F_i) \left[1 - N(z_{ui,t} - \gamma \sigma_{i,t}) - \left(\frac{y_u}{\pi_{i,t} \bar{y}_{i,t}} \right)^\gamma e^{-\frac{\sigma_{i,t}^2}{2} \gamma(\gamma-1)} (1 - N(z_{ui,t})) \right]. \quad (4.12)$$

This is the same as in Equation (3.4) except baselines are adjusted by the “frozen” emissions carried over from the end of the first sequencing period, as defined in Equation (4.9).

In all other respects, the calculations are as for sequencing with unadjusted baseline emissions, with one difference. In the first sequencing period, baselines are adjusted by subtracting luxury emissions, as in Equation (4.3), while in the second sequencing period, baselines are adjusted by subtracting both luxury emissions and frozen emissions.

5 Conclusion

This technical paper presents the core calculations used by the Climate Equity Reference Project (CERP) online calculator (CERc). The calculations document the algorithms implemented in the CERc engine, available as an open-source C program.

References

- [1] Paul Baer, Tom Athanasiou, Sivan Kartha, and Eric Kemp-Benedict. *The Greenhouse Development Rights Framework: The right to development in a climate constrained world*. Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin, 2nd edition, 2008.
- [2] Shoibal Chakravarty, Ananth Chikkatur, Heleen de Coninck, Stephen Pacala, Robert Socolow, and Massimo Tavoni. Sharing global CO₂ emission reductions among one billion high emitters. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(29):11884–11888, July 2009.
- [3] Angus Deaton and Alan Heston. Understanding PPPs and PPP-based national accounts. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2(4):1–35, October 2010.
- [4] Klaus Deininger and Lyn Squire. A new data set measuring income inequality. *The World Bank Economic Review*, 10(3):565–591, September 1996.
- [5] Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, and Kiyoto Tanabe, editors. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan, corrected edition, 2010.
- [6] C. Holz, S. Kartha, and T. Athanasiou. Fairly sharing 1.5 - national fair shares of a 1.5°C-compliant global mitigation effort. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 18(Special Issue: Achieving 1.5°C and Climate Justice):117–134, 2018.
- [7] Eric Kemp-Benedict. Income distribution and poverty: Methods for using available data in global analysis. Technical Report 4, Stockholm Environment Institute, Boston, MA, 2001.
- [8] Irving B. Kravis, Alan W. Heston, and Robert Summers. Real GDP per capita for more than one hundred countries. *The Economic Journal*, 88(350):215–242, June 1978.
- [9] Humberto Lopez and Luis Servén. A normal relationship? poverty, growth, and inequality. Technical report, World Bank, Washington, D.C., 2006.
- [10] Glen P. Peters, Jan C. Minx, Christopher L. Weber, and Ottmar Edenhofer. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, April 2011.
- [11] William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, and Brian P. Flannery. *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2nd edition, 1992.
- [12] UNU-WIDER. World income inequality database (WIID2c). http://www.wider.unu.edu/research/Database/en_GB/wiid/, 2008.