



Mémoire de recherche

Inégalités de richesse et changement climatique : interactions, modélisations et perspectives

Loïc Giaccone
M2 EEET, Faculté d'Économie de Grenoble
Année universitaire 2021-2022

Cover Art by Alisa Singer, for the Georgetown Environmental Justice Program

UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

Faculté d'Économie de Grenoble

Master 2 Économie de l'Environnement, de l'Énergie et des Transports (EEET)

Parcours Économie de l'Énergie et Développement Durable (EEDD)

Enseignement à distance, année universitaire 2021-2022

MÉMOIRE

Inégalités de richesse et changement climatique : interactions, modélisations et perspectives

GIACCONE Loïc
Septembre 2022

Mémoire de recherche réalisé sous la direction de Sandrine Mathy, Directrice de Recherche en économie de l'environnement et de l'énergie au CNRS, responsable de l'axe énergie-environnement du laboratoire GAEL (Laboratoire d'Économie Appliquée de Grenoble)

Faculté d'Économie de Grenoble
1241, rue de résidences – Université Grenoble Alpes CS 40700 38058 GRENOBLE
CEDEX9

« ...all models are approximations. Essentially, all models are wrong, but some are useful.

However, the approximate nature of the model must always be borne in mind... »

George E.P. Box (1919-2013), statisticien britannique (Box & Draper, 1987)

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier toute l'équipe pédagogique du M2 EEET pour m'avoir accepté au sein de la promotion 2021-2022, et pour le suivi tout au long de l'année scolaire. Je remercie vivement mon encadrante, Sandrine Mathy, pour sa grande aide dans l'élaboration de ce mémoire. Je remercie également mes camarades de promotion avec qui les échanges ont été nombreux et constructifs et m'ont beaucoup aidé durant ces mois studieux.

Je remercie Céline Guivarch et Nicolas Taconet de m'avoir accordé du temps afin de répondre à mes interrogations sur ce sujet passionnant, et qu'ils connaissent à la perfection.

Je remercie fortement Gaël Giraud pour la confiance qu'il m'accorde, pour me soutenir et pour m'avoir intégré à son équipe de l'Environmental Justice Program (Georgetown University). Je remercie également mes collègues du labo, dont le soutien a été très précieux tout au long de l'année, et qui m'ont permis au travers de nombreuses discussions de mieux comprendre cette thématique complexe des inégalités et du changement climatique.

Je remercie bien sûr mes amis, ma famille et mes proches, qui m'ont fortement soutenu, quel que soit le côté de l'océan où ils étaient. Je remercie particulièrement Laura, Virginie, Paul et Alain pour leurs relectures attentives.

Je remercie enfin Jenny, directrice associée de l'EJP, pour m'avoir permis d'utiliser l'œuvre d'Alisa Singer en couverture de ce mémoire. L'œuvre entière, qu'Alisa a faite pour l'EJP, est visible sur la page d'accueil du site¹. Alisa Singer² est connue pour avoir illustré les couvertures de trois rapports du GIEC (le rapport spécial 1.5, et les récents rapports d'évaluation des groupes I et II). Alisa a souhaité illustrer, avec cette œuvre, l'injustice climatique. Les « bulles » représentent les émissions de CO₂ des pays³. Les plages colorées en jaune représentent les zones où le seuil de température létal sera atteint à la fin du siècle, dans le cas d'un scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre⁴.

¹ Visible à cette adresse : <https://environmentaljustice.georgetown.edu/>

² Son site : <https://www.alisasingerart.com/about>

³ Les données proviennent du Global Carbon Atlas, accessible à cette adresse : <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>

⁴ Travail de l'EJP en cours de publication, Martin *et al.*, 2022.

Résumé

L'évolution des inégalités économique suit une double trajectoire sur les trois dernières décennies : tandis que les inégalités entre pays, caractérisées par le revenu moyen, se réduisent avec l'essor des pays émergents, les inégalités au sein des pays, entre catégories de population, augmentent. Dans le même temps, la problématique du changement climatique est devenue de plus en plus prégnante, représentant un certain nombre de menaces et de défis d'ampleur pour les sociétés humaines. Les inégalités et le changement climatique sont intrinsèquement liés, par les inégalités de contribution aux émissions d'un côté, par les inégalités face aux conséquences de l'autre, aussi bien les impacts directs et indirects, que les politiques climatiques mises en place. Ces conséquences pourraient faire augmenter les inégalités existantes. Dans ce mémoire, nous avons effectué une revue de la littérature scientifique sur l'évolution future des inégalités économiques entre les catégories de population, de revenu et de patrimoine, au sein des pays. Nous nous sommes concentrés sur les apports quantitatifs de la macroéconomie, grâce aux résultats de modèles d'évaluation intégrée. Ils confirment ce qui était anticipé : les impacts du changement climatique ayant tendance à être régressifs, les inégalités risquent d'augmenter de manière significative. Les mesures d'atténuation pourraient également exacerber les inégalités en fonction de la distribution de leurs coûts. Des politiques climatiques adéquates de redistribution pourraient cependant limiter fortement ces conséquences, permettant également de sortir des populations de la pauvreté. Les incertitudes reposent en partie sur la trajectoire socioéconomique qui sera suivie, rappelant le rôle important des choix politiques et économiques dans l'évolution des inégalités. Les autres incertitudes se situent au niveau de la distribution des dommages climatiques et des coûts de l'atténuation, qui relèvent également en partie de choix politiques, via les mesures de réduction des émissions et d'adaptation. Il reste, cependant, une incertitude « physique » non-négligeable au niveau de l'ampleur des impacts climatiques futurs. De futurs axes de recherche sont présentés, permettant d'explorer plus en détails l'évolution possible des inégalités dans un contexte de climat qui se réchauffe.

Mots-clés

Changement climatique – inégalités – revenu – patrimoine – impacts – coûts – dommages – scénarios – modèles d'évaluation intégrée – distribution – justice climatique – macroéconomie

Abstract

The evolution of economic inequalities has followed a double trajectory over the last three decades: while inequalities between countries, characterized by national average income, have been decreasing with emerging countries development, inequalities within countries have been increasing. At the same time, the issue of climate change has become increasingly significant, posing a number of threats and challenges to human societies. Inequality and climate change are intrinsically linked, through inequalities in contribution to emissions on the one hand, and inequalities in facing consequences of both climate impacts and climate policies on the other. These consequences could increase existing inequalities. In this dissertation, we have conducted a literature review on the future of income and wealth inequalities, with a focus on within-country inequality, in the context of climate change. We focused on the quantitative contributions of macroeconomics through the results of integrated assessment models. They confirm what was anticipated: as climate change impacts tend to be regressive, inequality is likely to increase significantly. Mitigation measures could also exacerbate inequalities, depending on the distribution of their costs. However, adequate redistributive climate policies could greatly limit these consequences, also lifting people out of poverty. The uncertainties are partly based on the socio-economic trajectory that will be followed during the century, recalling the important role of political and economic choices in the evolution of inequalities. The other uncertainties lie in the distribution of damages and the costs of mitigation, which are also partly a matter of political choices, via emission reduction and adaptation measures. There remains, however, a non-negligible “physical” uncertainty on the magnitude of future climate impacts. Future research directions are presented, allowing to explore in more detail the possible evolution of inequalities in a warming climate context.

Keywords

Climate change - inequality - income - wealth - impacts - costs - damages - scenarios - integrated assessment models - distributional - climate justice - macroeconomics

Sommaire

<i>Remerciements</i>	5
Résumé	6
Liste des acronymes	10
Liste des figures et annexes	11
Introduction	13
1. Inégalités économiques et changement climatique	16
1.1 Inégalités économiques et tendances actuelles	16
1.1.1 La mesure des inégalités.....	16
1.1.2 Inégalités actuelles et évolutions passées	18
1.2 Le changement climatique et les inégalités : une interaction complexe	23
1.2.1 Les inégalités de contribution au changement climatique.....	24
1.2.2 Inégalités et impacts du changement climatique	27
1.2.3 Inégalités, justice environnementale, justice climatique	30
2. Projections climatiques et dommages économiques	33
2.1 Scénarios et projections climatiques	33
2.1.1 Scénarios, trajectoires, projections : définitions	33
2.1.2 Inégalités et scénarios passés.....	36
2.1.3 Les scénarios SSP (Shared Socio-economic Pathways).....	40
2.2 Impacts économiques et atténuation : les coûts du changement climatique	46
2.2.1 Coûts et trajectoires économiques « optimales » : modèles et méthodes.....	46
2.2.2 Estimations des coûts du changement climatique	49
3. Inégalités futures et changement climatique	53
3.1 Futurs possibles des inégalités « hors climat » : les scénarios SSP	53
3.2 Modélisations des inégalités dans un contexte de changement climatique	60
3.2.1 Inégalités entre catégories de population, au sein des pays.....	60

3.2.2 Inégalités entre les pays et changement climatique.....	65
3.3 Distribution des impacts, hétérogénéité et modèles : de nombreux défis.....	69
Conclusion	76
Bibliographie.....	80
Annexes.....	97

Liste des acronymes

- ABM : Agent-based models
- CBA : Cost-benefits analysis (analyse coûts-avantages)
- CCNUCC / UNFCCC : Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques / United Nations Framework Convention on Climate Change
- CEA : Cost-effectiveness analysis (analyse coûts-efficacité)
- CSC / SCC : Coût social du carbone / Social cost of carbon
- DICE : Dynamic Integrated model of Climate and the Economy
- ESM : Earth System Models (modèles du système Terre)
- GCM : Global circulation models (modèles de circulation générale)
- GES / GHG : Gaz à effet de serre / Greenhouse gases emissions
- GIEC / IPCC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat / Intergovernmental panel on climate change
- IAM : Integrated Assessment Models (modèles d'évaluation intégrée)
- IP : Illustrative Pathways
- IIASA : Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués / International Institute for Applied Systems Analysis
- NICE : Nested Inequalities Climate-Economy model
- OCDE / OECD : Organisation de coopération et de développement économiques / Organisation for Economic Co-operation and Development
- ODD / SDG : Objectifs de développement durable / Sustainable Development Goals
- PIB / GDP : Produit intérieur brut / Gross domestic product
- PIK : Potsdam Institute for Climate Impact Research
- RCP : Representative Concentration Pathways
- RICE : Regional Integrated model of Climate and the Economy
- RID / SPM : Résumé à l'intention des décideurs / Summary for policymakers
- SPA : Shared climate Policy Assumptions
- SSP : Shared Socioeconomic Pathways
- TFP : total factor productivity (productivité globale des facteurs)
- TS : Technical Summary (Résumé technique)
- WG : Working Group (Groupes de travail du GIEC)

Liste des figures et annexes

Figure 1 : Graphique 1 du Rapport mondial sur les inégalités, Chancel et al., 2022	19
Figure 2 : Graphique 2 du Rapport mondial sur les inégalités, Chancel et al., 2022	20
Figure 3 : « L'évolution historique des inégalités mondiales de revenus (coefficient de Theil, 1870-2010) : Inégalité globale, inégalités entre pays et inégalités à l'intérieur des pays » (Bourguignon, 2016)	21
Figure 4 : « Figure SPM.2 (continued): Regional GHG emissions, and the regional proportion of total cumulative production-based CO2 emissions from 1850 to 2019 » (IPCC, 2022d) ..	25
Figure 5 : Graphique 15 du Rapport mondial sur les inégalités, Chancel et al., 2022	26
Figure 6 : Figure provenant de l'Annexe I du rapport du groupe II du GIEC, représentant l'évolution du cadrage du risque climatique (voir IPCC, 2022b)	29
Figure 7 : Figure 1.27 du chapitre 1 du rapport du groupe I du GIEC (IPCC, 2021)	35
Figure 8 : La schématisation des narratifs des scénarios SRES (IPCC, 2000).....	38
Figure 9 : Figure 3.9 du chapitre 3 du rapport du groupe III du GIEC (IPCC, 2022g).....	42
Figure 10 : Figure 1 d'O'Neill et al., 2015.....	43
Figure 11 : Figure 1 de la Cross-Chapter Box 1.4, rapport du groupe I du GIEC, chapitre 1 (IPCC,2021).....	44
Figure 12 : Schéma simplifié du fonctionnement d'un modèle d'évaluation intégrée d'optimisation du « bien-être » (Stanton et al., 2009).....	48
Figure 13 : Extrait de la figure 1 de la Cross-Working Box « Estimating Global Economic Impacts from Climate Change », (IPCC, 2022c)	50
Figure 14 : « Global GDP (trillion 2005 USD) and income levels (thousand 2005 USD) for the five SSPs and associated average annual growth rates over a 5-year period (%/year) » (Fig. 3 de Dellink et al., 2017).....	54
Figure 15 : À gauche : « Historical trends and projections for the between-country Gini coefficient » ; À droite : « Historical trends and projections for the top-bottom decile income ratio » (Dellink et al., 2017)	55
Figure 16 : L'indice de Gini de chaque SSP au niveau global, en intégrant une distribution de revenus au sein des pays (van der Mensbrugge, 2015)	56
Figure 17 : Indices de Gini médians pour trois régions et les économies « avancées » (Rao et al., 2019).....	57

Figure 18 : Différence entre les inégalités au sein des pays avec et sans migrations, en 2100, pour le scénario SSP2, Benveniste et al., 2021	59
Figure 19 : Les scénarios climatiques déterminent l'intensité des impacts, indépendamment des émissions de gaz à effet de serre (incertitude liée à la sensibilité climatique), Hallegatte & Rozenberg, 2017.....	61
Figure 20 : Les résultats de NICE selon les trois élasticités, comparés aux résultats de RICE pour deux taux d'actualisation distincts (Dennig et al., 2015)	63
Figure 21 : Figure 1, « Evolution of the Gini index over time », chaque panneau représentant une fonction de dommage distincte, Taconet et al., 2020	66
Figure 22 : Évolutions du revenu selon les trois scénarios, « BAU » sans impacts, coopération et non-coopération, Gazzotti et al., 2021	68
Figure 23 : Exemples de représentations de l'hétérogénéité des dommages marginaux sur deux populations, avec une fonction non-linéaire (à gauche) ou deux fonctions distinctes, une pour chaque population (à droite), Hsiang et al., 2019	71
Figure 24 : « Dimensions, considérations et pertinence des inégalités dans les IAMs » (Emmerling & Tavoni, 2021).....	74
Figure 25, Annexe I : La « courbe de l'éléphant » telle que présentée dans l'article original de Lakner & Milanović, 2013	97
Figure 26, Annexe II, Distribution des émissions de gaz à effet de serre des ménages et des individus, en fonction des déciles de revenu, pour la France (Malliet, 2019).....	98
Figure 27, Annexe III, les postulats des scénarios SSP, O'Neill et al., 2017, tableau 1	98
Figure 28, Annexe IV, les postulats des scénarios SSP, O'Neill et al., 2017, tableau 2	99
Figure 29, Annexe V, les postulats des scénarios SSP, O'Neill et al., 2017, tableau 3	99
Figure 30, Annexe VI, Comparaison des émissions de CO ₂ des combustibles fossiles et de l'industrie dans les différents ensembles de scénarios, IPCC, 2016	100
Figure 31 Annexe VII, postulats sur les inégalités au sein des pays des scénarios SSP, Van der Mensbrugge 2015	100
Figure 32, Annexe VIII, postulats sur les inégalités au sein des pays des scénarios SSP, Rao et al., 2019	101
Figure 33, Annexe IX, impacts économiques du changement climatique historique, Diffenbaugh & Burke, 2019	101
Figure 34, Annexe X, différents chocs économiques dus au changement climatique, Piontek et al., 2021	102

Introduction

Le changement climatique fait partie des défis les plus importants du XXI^{ème} siècle. Le groupe II du GIEC, dédié aux impacts, à l'adaptation et à la vulnérabilité, a présenté dans son dernier rapport d'évaluation les risques considérables qui pèsent à la fois sur les sociétés humaines et les écosystèmes (IPCC, 2022a). Les nombreux phénomènes provoqués par le réchauffement du climat tels que la survenue d'événements extrêmes, l'élévation du niveau marin, la fonte des glaciers ou l'acidification des océans menacent des milliers d'espèces et de nombreuses populations. Les travaux récents ont poussé le GIEC à réévaluer à la hausse dans ce sixième rapport les niveaux de risques des cinq « motifs de préoccupation », parmi lesquels la « répartition des incidences » et les « incidences mondiales cumulées » (*ibid.*). Ces indicateurs servent à estimer le niveau de réchauffement pouvant empêcher une « perturbation anthropique dangereuse du système climatique », objectif « ultime » de la Convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC, 1992). Bien que les États se soient engagés, dans ce but, à maintenir la température « nettement en dessous de + 2°C » (CCNUCC, 2015), les trajectoires des politiques actuelles mènent, pour l'instant, vers un réchauffement d'environ + 3°C, aux conséquences potentiellement dévastatrices (IPCC, 2022a, 2022d).

Les sociétés humaines ne sont pas homogènes, loin de là : elles sont traversées par de nombreuses différences et inégalités. Ces inégalités peuvent être de statut social et économique, de race⁵, d'âge, de sexe, de genre, de handicap... Elles structurent les rapports entre les différentes catégories de population, aussi bien entre les pays, qu'en leur sein. Les inégalités constituent également un défi pour l'évolution des sociétés, leur ampleur pouvant menacer la stabilité de l'économie et la cohésion sociale (Motesharrei *et al.*, 2014, Milanović, 2019, Piketty, 2019, Giraud & Grasselli, 2021). Leur prise en compte, reposant sur des choix moraux et politiques, est reconnue les États, leur réduction faisant l'objet de l'un des Objectifs de développement durable (Nations Unies, s. d.). Au cours des dernières décennies, les inégalités économiques ont suivi des trajectoires distinctes en fonction de celles que l'on observe : les inégalités entre pays, après une augmentation progressive au cours du XX^{ème} siècle, ont commencé à diminuer à partir des années 1980, avec l'essor de la mondialisation et le

⁵ Ici, et tout au long du mémoire, au sens de populations subissant un processus de racialisation, tel que décrit et étudié en sciences humaines et sociales, voir Naudet et Galonnier, 2019.

rattrapage progressif d'une partie des pays en développement (Bourguignon, 2016, Piketty, 2019). Cependant, au cours de cette même période récente, les inégalités au sein des pays, auparavant en diminution, sont reparties à la hausse (Bourguignon, 2016, Milanović, 2019, Piketty, 2019). De plus, la crise la Covid commencée en 2020 semble avoir mis un coup d'arrêt à la baisse des inégalités entre pays et aurait exacerbé les inégalités au sein des pays, touchant plus fortement les populations les plus pauvres (Conseil économique et social des Nations Unies, 2022, Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies, 2022). Leur évolution future est ainsi soumise à de nombreuses incertitudes.

Le changement climatique est intrinsèquement lié aux inégalités. D'un côté, il est causé par des émissions qui se répartissent de manière très inégale, à la fois entre les différentes catégories de populations, et entre les régions, ce qui pose de nombreuses questions sur la répartition des responsabilités, notamment historiques (Carbon Brief, 2021b). De l'autre côté, les inégalités socioéconomiques caractérisent directement l'exposition et la vulnérabilité des populations face aux impacts des phénomènes provoqués par l'élévation des températures (IPCC, 2022a). Les populations les plus pauvres et les plus marginalisées sont les moins émettrices, et donc les moins responsables des aléas climatiques, tout en étant les plus touchées par leurs conséquences actuelles et futures. Cette situation forme une injustice criante, à l'origine du mouvement pour la justice climatique (Carbon Brief, 2021a).

Les interactions entre les différentes catégories de population et le changement climatique sont étudiées depuis de nombreuses années. Il est établi que, sans mesures fortes d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre afin de limiter les impacts, et sans mesures d'adaptation adéquates, les inégalités existantes risquent d'être exacerbées (IPCC, 2022a). Cependant, les travaux quantitatifs sur l'évolution des inégalités en lien avec le changement climatique sont relativement récents et épars, en particulier en ce qui concerne les inégalités économiques entre catégories de population. L'idée de ce mémoire est venue du souhait d'explorer les questionnements suivants, afin de faire une synthèse des résultats de cette littérature : comment ces inégalités, de revenu et de patrimoine, vont-elles évoluer dans un contexte de réchauffement climatique global ? Les impacts du changement climatique sont-ils suffisamment significatifs pour être distingués des évolutions sociétales qui déterminent l'évolution des inégalités ? Ces impacts pourraient-ils remettre en question les tendances globales d'évolution des inégalités ? Quid des politiques climatiques d'atténuation des émissions, et d'adaptation ? Le présent travail a donc pour but de tenter d'apporter des réponses

à ces questions à partir d'une revue de la littérature scientifique. Nous étudierons les interactions entre les inégalités économiques, de revenu et de patrimoine, au sein des pays et au niveau mondial, et le changement climatique, c'est-à-dire aussi bien les impacts, que les politiques mises en place. Nous nous concentrons sur les travaux de modélisation qui permettent d'obtenir des résultats quantitatifs, essentiellement à échelle macroéconomique. En plus de tenter de répondre aux questionnements précédents, nous étudierons les différentes méthodologies utilisées pour modéliser ces interactions, ainsi que leurs limites. Nous tenterons d'identifier d'éventuels axes de recherche futurs, en vue de l'élaboration d'un projet de thèse sur la modélisation des inégalités dans un contexte de changement climatique.

Le plan du mémoire consiste à resserrer progressivement le cadrage sur les problématiques présentées précédemment. Dans un premier temps, nous définirons les types d'inégalités sur lesquelles nous nous concentrons, et nous établirons un état des lieux de la situation actuelle des inégalités de revenu et de patrimoine, ainsi que des tendances à l'œuvre dans leur évolution. Nous détaillerons ensuite les différentes interactions entre le changement climatique et les inégalités : inégalités de contribution, inégalités face aux impacts, inégalités lors de la mise en œuvre de politiques climatiques, etc. La deuxième partie présentera les différents outils qui permettent de se projeter dans l'avenir : nous étudierons les scénarios climatiques et la façon dont ils intègrent les inégalités, puis nous ferons la synthèse des connaissances actuelles sur les coûts du changement climatique, aussi bien pour l'atténuation des émissions que les impacts, et les différentes méthodes pour les estimer. Ces éléments sont nécessaires pour comprendre et analyser les travaux qui tentent d'explorer l'avenir des inégalités en lien avec le changement climatique : ce sera l'objet de la troisième partie, qui tentera de présenter des réponses aux questionnements de la problématique. Nous y étudierons comment les inégalités peuvent être modélisées, l'influence de celles-ci sur les trajectoires d'atténuation et politiques climatiques, et les rétroactions éventuelles des conséquences du changement climatique. Avant de conclure, nous présenterons les principales incertitudes et les axes de recherche potentiels pour approfondir nos connaissances sur l'évolution des inégalités et leurs liens avec le changement climatique.

1. Inégalités économiques et changement climatique

Afin d'étudier la dynamique d'évolution future des inégalités économiques entre différentes catégories de population dans un contexte de changement climatique global, il est nécessaire de connaître la situation de départ avec un état des lieux de ces inégalités traversant les régions et populations, ainsi que leurs évolutions passées, et les tendances actuellement à l'œuvre. Nous reviendrons d'abord sur les types d'inégalités que nous étudierons dans ce mémoire et les différentes méthodes pour les mesurer, avant de présenter leur progression à différentes échelles. Nous préciserons ensuite les interactions complexes entre le changement climatique et les inégalités.

1.1 Inégalités économiques et tendances actuelles

1.1.1 La mesure des inégalités

Nous allons revenir dans cette première section sur les différentes façons de mesurer les inégalités : ce sera nécessaire pour interpréter et comparer les travaux de recherche. Tout d'abord, les inégalités au sein des sociétés sont de natures très différentes. Il y a des inégalités de sexe, de genre, de classe sociale, d'origine ethnique, d'âge et de handicap. De plus, ces différentes formes d'inégalités ne sont pas indépendantes les unes des autres, mais interagissent entre elles. En sciences humaines et sociales, l'étude de ces interactions et leurs effets sur les différentes populations est l'objet de l'approche intersectionnelle (Lépinard & Mazouz, 2021). Dans ce mémoire, nous nous concentrons sur les inégalités économiques entre catégories de population, et précisément sur les inégalités de revenu (« income ») et les inégalités de richesse (« wealth »), également appelée inégalité de patrimoine. Elles sont calculées à partir de statistiques, pour un endroit donné : pays, régions regroupant plusieurs pays, ou encore au niveau mondial. Le revenu peut être considéré comme un « flux » monétaire, généralement annualisé, tandis que la richesse, ou patrimoine, représentent le « stock », ce qui est possédé à un instant t . Le revenu se divise entre la part qui est consommée par l'individu ou le ménage qui le reçoit d'un côté, et celle qui va alimenter le patrimoine de l'autre, que l'on appelle l'épargne. L'étude des deux, du revenu et du patrimoine, permet d'avoir une vision plus complète des conditions de vie des ménages : par exemple, à même niveau de revenus, un ménage qui est propriétaire de son logement aura plus de pouvoir d'achat qu'un ménage qui est locataire.

Il y a de nombreuses manières de mesurer et de représenter les inégalités économiques. Dans tous les cas, aucune d'entre elles n'est neutre : « mesurer les inégalités, c'est évaluer le degré d'injustice d'une distribution du point de vue de la justice distributive » (Gajdos, 2001). Tout d'abord, il est nécessaire d'établir ou d'observer, dans les données que l'on utilise, ce qui est intégré au calcul du revenu. On considère les salaires, les revenus d'activité des entrepreneurs indépendants, les indemnités (chômage, maladie, etc.), les pensions des retraites et les revenus du capital. Le revenu dit « primaire » est celui déclaré aux impôts, tandis que le revenu « disponible » est celui qui reste après l'ajout des prestations sociales non imposables éventuellement perçues, et la soustraction des impôts payés à l'administration. Cette question de la prise en compte, ou non, du paiement des taxes et impôts – c'est-à-dire, si l'on observe des inégalités mesurées en revenu primaire ou en revenu disponible – est importante dans l'évaluation des inégalités, puisqu'elle peut aussi bien ignorer ou prendre en compte certaines mesures de redistribution en place dans un pays, tout en présentant différents résultats pour une même population. Du côté de la richesse, sont intégrés au calcul les propriétés foncières, les actifs financiers, les parts des entreprises, les biens de luxes, etc. Le patrimoine peut être calculé de manière « brute » (cumul des possessions) ou « nette » (cumul des possessions auquel on soustrait les dettes et emprunts). C'est généralement un patrimoine net qui est utilisé pour calculer les inégalités de patrimoine, permettant de comparer plus justement les situations de différents ménages : le patrimoine brut de deux ménages possédant un logement de prix similaire peut sembler proche, mais si l'un des deux a terminé de le payer tandis que le second doit rembourser un emprunt pendant plusieurs dizaines d'années, leur patrimoines nets sont bel et bien différents.

Pour mesurer les inégalités de revenu ou de patrimoine et leurs évolutions, de nombreux outils existent, dont le but est de donner une représentation de la distribution des revenus au sein de la population observée (Observatoire des inégalités, 2021). La première méthode consiste à mesurer la part de l'ensemble des revenus reçue par une partie de la population : par exemple, on calcule quel pourcentage de revenu est perçu par les 1 % ou les 10 % les plus aisés, ou par les 50% les plus pauvres. Un autre outil est le rapport interdécile, que l'on obtient en divisant le revenu du décile le plus riche par celui du décile le plus pauvre. Il permet cependant d'observer uniquement des variations relatives des inégalités, et non des évolutions absolues : si les déciles observés voient leurs revenus augmenter d'un même pourcentage, l'inégalité calculée de cette manière, soit le rapport entre les deux déciles, reste identique.

Cependant, l'écart absolu entre les deux niveaux de revenus a augmenté, car les plus riches ont perçu une augmentation de revenu plus forte que les plus pauvres. Un autre outil de mesure, complémentaire, permet de pallier cela : l'écart interdécile, qui compare en valeur absolue les revenus entre le décile le plus riche et le décile le plus pauvre. L'outil le plus connu, le plus utilisé pour les statistiques nationales et dans les articles de recherche que nous présenterons dans la troisième partie du mémoire, est le coefficient de Gini, du nom de son inventeur, le statisticien italien Corrado Gini (1884 - 1965). Également appelé indice de Gini, il compare la répartition des revenus de la population étudiée – à partir d'une courbe de Lorenz – avec une situation de stricte égalité. Si l'indice s'approche de zéro, on est près de l'égalité parfaite ; à l'inverse, avec un indice de valeur 1, l'inégalité est à son maximum : un seul individu perçoit tout le revenu. Un peu moins connu, le ratio de Palma rapporte la part des 10 % les plus riches à celle des 40 % les plus pauvres⁶.

Il est à noter que chacun de ces outils de mesure des inégalités a des avantages et des inconvénients, et qu'aucun d'entre eux ne permet d'obtenir un tableau complet des inégalités qui traversent une population (Observatoire des inégalités, 2021). Les comparaisons entre les déciles du « haut » et du « bas » de la répartition des revenus ignorent l'évolution des catégories intermédiaires. À l'inverse, certains indices comme le coefficient de Gini sont plus sensibles à leur évolution, mais peuvent masquer des changements concentrés sur les extrémités de la distribution des revenus tels qu'une stagnation des classes les plus pauvres ou une augmentation forte des catégories les plus riches. Également, comme mentionné précédemment, les indices qui mesurent des inégalités relatives ne permettent pas d'appréhender l'écart absolu de revenu qui augmente lorsque toutes les catégories de population voient leurs revenus augmenter du même pourcentage. Ainsi, « le choix de l'indicateur (absolu ou relatif) dépend en définitive de considérations normatives. » (Navarro, 2022).

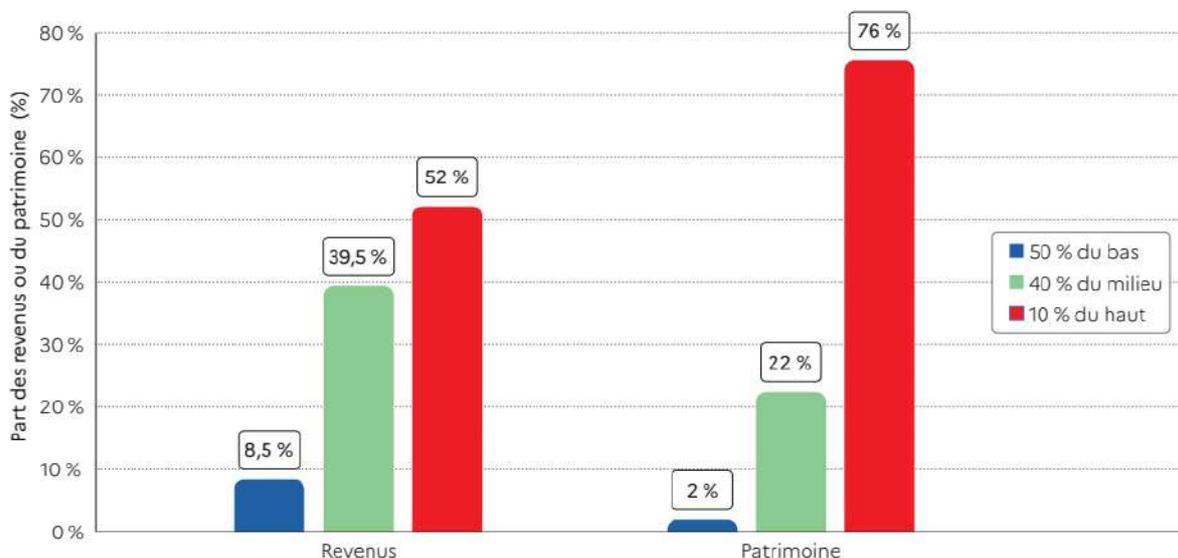
1.1.2 Inégalités actuelles et évolutions passées

Le Rapport sur les inégalités mondiales (Chancel *et al.*, 2022) permet d'avoir une vision récente et globale des inégalités économiques actuelles. Dans ce rapport, elles sont calculées

⁶ Il existe d'autres indices, plus complexes et moins utilisés, que nous ne détaillerons pas ici : indice de Hoover (part du revenu qui devrait être redistribuée pour atteindre l'égalité parfaite), indice de Theil (proche de celui de Gini, permettant une décomposition plus fine), indice d'Atkinson (intégrant la notion d'aversion à l'inégalité).

pour les inégalités de revenu avant le prélèvement des impôts, et après réception des pensions de retraites et indemnités de chômage. Les inégalités de richesse sont calculées « nettes de dettes ». Les inégalités au niveau mondial entre les différentes catégories de population sont élevées (figure ci-dessous) : le rapport estime que les 10 % les plus riches perçoivent 52 % du revenu, alors que les 50 % les plus pauvres se partagent 8% de celui-ci. Les inégalités de patrimoine sont encore plus prononcées : la moitié la plus pauvre de l’humanité ne possédant que 2% du patrimoine, tandis que les 10 % les plus riches en possèdent 76 %.

Graphique 1. Inégalités de revenus et de patrimoine dans le monde, 2021



Interprétation : Les 50 % des revenus les plus bas capturent 8 % des revenus totaux mesurés à la Parité du Pouvoir d'Achat (PPA). 50 % de la population mondiale détient 2 % du patrimoine (à la Parité du Pouvoir d'Achat). Les 10 % des individus les plus aisés détiennent 76 % du patrimoine personnel total et capturent 52 % des revenus totaux en 2021. Les individus détenant le plus de patrimoine ne sont pas nécessairement les individus disposant des plus grands revenus. Les revenus sont mesurés après opération des systèmes de pension et d'allocations de chômage, et avant les taxes et les transferts. **Sources et séries :** wir2022.wid.world/methodology.

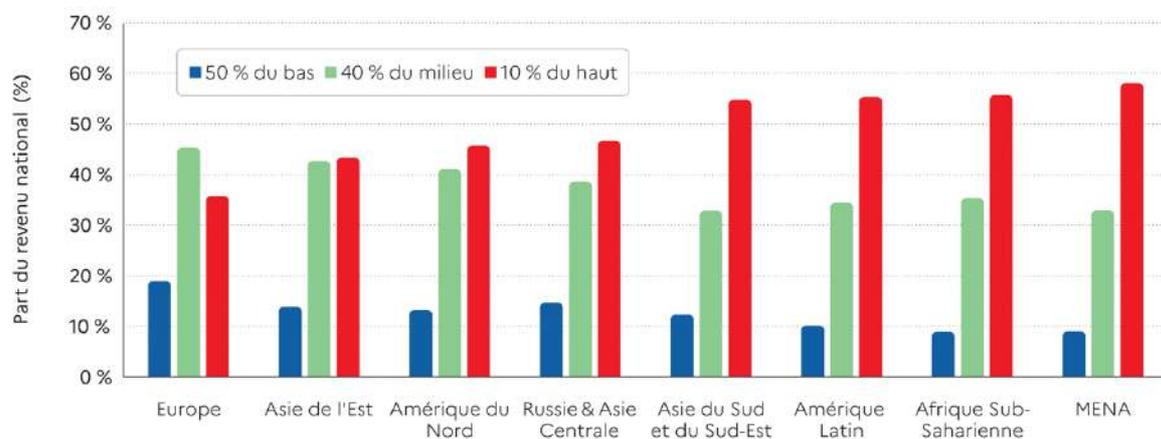
Figure 1 : Graphique 1 du Rapport mondial sur les inégalités, Chancel et al., 2022

Le rapport présente également les inégalités de revenu et de patrimoine au sein de différentes régions. Lorsque l’on observe les différentes parts de revenu des 10 % les plus riches et celles des 50 % les plus pauvres (figure ci-dessous), l’Europe apparaît comme la région la plus égalitaire (le décile le plus élevé perçoit 36 % du revenu), tandis que la région regroupant le Moyen-Orient et l’Afrique du Nord est la plus inégalitaire (les 10 % les plus riches perçoivent là-bas 56 % du revenu)⁷. Comme mentionné précédemment, les inégalités de

⁷ Il est à noter que, lorsque l’on observe les inégalités de revenu disponible, c’est-à-dire après prélèvements des impôts et redistribution, celles-ci sont nettement diminuées dans les « économies avancées », tandis que l’effet est moindre dans les « économies émergentes » (UNDP, 2019).

patrimoine sont encore plus prononcées, et c'est cette fois l'Amérique latine qui est la plus inégalitaire, le décile le plus riche possédant 77% du patrimoine.

Graphique 2. La moitié la plus pauvre est laissée pour compte : part de revenu perçue par les 50 % du bas, les 40 % du milieu et les 10 % du haut dans les différentes régions du monde, 2021



Interprétation : En Amérique Latine, les 10 % les plus aisés capturent 55 % du revenu national, contre 36 % en Europe. Les revenus sont mesurés après opération des systèmes de pension et d'allocations de chômage, et avant les taxes et les transferts. **Sources et séries :** [wir2022.wid.world/methodology](https://www.wid.world/methodology).

Figure 2 : Graphique 2 du Rapport mondial sur les inégalités, Chancel *et al.*, 2022

Avant d'aborder l'évolution des inégalités au cours des dernières décennies, il est important de distinguer ici deux formes d'inégalités : les inégalités entre pays ou régions, et les inégalités au sein de ces pays ou régions. Lorsque l'on étudie les inégalités entre pays ou régions, on compare généralement des revenus nationaux moyens, ce qui ne nous informe pas sur la façon dont ces revenus sont distribués au sein de ces entités, et donc, de l'évolution éventuelle des inégalités en leur sein. Au cours du XX^{ème} siècle et en ce début de XXI^{ème} siècle, ces deux formes d'inégalités n'ont pas toujours évolué dans la même direction. Les inégalités entre pays ont augmenté durant la majeure partie du XX^{ème} siècle, avec un développement économique fort de ceux qui ont progressivement formé ce que l'on appelle désormais « l'Occident », les pays du « Nord global » (ou économique), ou encore les pays « développés » (Bourguignon, 2016, Piketty, 2019, Chancel *et al.*, 2022). Un retournement s'est opéré à partir des années 1980-1990, avec la mise en place de la mondialisation et l'essor des pays dits « en développement » (ou du « Sud »), en particulier certains pays d'Asie et d'Amérique latine. Bien évidemment, ces deux ensembles de pays ne sont pas des blocs homogènes, et les évolutions ont été contrastées en leur sein. Les inégalités entre les catégories de population au sein des pays ont suivi une trajectoire un peu différente : après une

augmentation progressive au cours du XIX^{ème} siècle -, celles-ci ont commencé à baisser au début du XX^{ème} siècle, notamment dans les pays occidentaux (Piketty, 2019). Cela s'est accentué après la fin de la Seconde guerre mondiale, avec la mise en place d'États-providence et la taxation des plus hauts revenus (*ibid.*). Cette tendance s'est inversée à partir des années 1980-1990, où les inégalités au sein des pays sont reparties à la hausse, avec des disparités en fonction des régions et pays. Le Rapport sur les inégalités mondiales cible explicitement les « programmes de dérégulation et de libéralisation » mis en place durant cette période comme responsables de cette inversion (Chancel *et al.*, 2022).

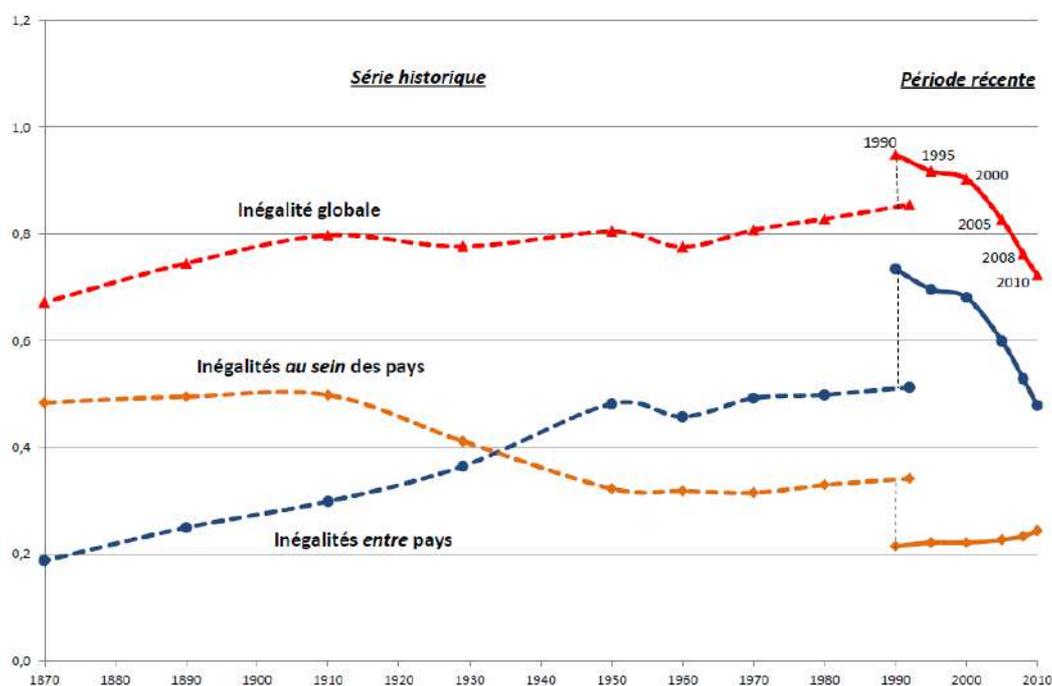


Figure 3 : « L'évolution historique des inégalités mondiales de revenus (coefficient de Theil, 1870-2010) : Inégalité globale, inégalités entre pays et inégalités à l'intérieur des pays » (Bourguignon, 2016)

L'économiste Branko Milanović a étudié l'évolution des inégalités durant cette période « récente » de mondialisation : le résultat est ce qu'on appelle la « courbe de l'éléphant », représentant l'évolution des revenus par centile de population sur la période 1988-2008 au niveau mondial (Lakner & Milanović, 2013, Milanović, 2019, voir l'annexe I). On y observe une évolution faible du revenu des 10 % les plus pauvres, puis une évolution forte des catégories suivantes (le « dos » de l'éléphant), jusqu'au 60^{ème} percentile environ. Il s'ensuit une évolution bien plus modérée du revenu des catégories situées entre le 60^{ème} et le 80^{ème} percentile (le « cou » de l'éléphant). La courbe remonte ensuite de plus en plus fortement jusqu'au percentiles les plus riches (la « trompe »). L'économiste montre ainsi que l'inversion

de tendance observée depuis l'essor de la mondialisation masque des disparités importantes : les classes moyennes des pays en développement ont pu voir leur revenu augmenter significativement (le « dos » de l'éléphant), en particulier en Chine et dans une moindre mesure en Inde, tandis que le revenu des classes moyennes et populaires des pays développés connaissait une relative stagnation (le creux du « cou ») et que les classes les plus riches continuaient de s'enrichir (la « trompe »). L'enrichissement du top 10 % mondial, et particulièrement du top 1 % ou même 0,1 %, est encore plus marquant si l'on observe les évolutions de revenus et patrimoines en valeurs absolues. Les populations les plus pauvres, en particulier en Afrique subsaharienne, n'ont pas vraiment profité de la mondialisation.

La réduction des inégalités « au sein des pays et entre les pays » est l'objet de l'Objectif de développement durable (ODD) n°10. La première cible de l'objectif concerne les inégalités de revenu au niveau national : « D'ici à 2030, faire en sorte, au moyen d'améliorations progressives, que les revenus des 40 pour cent les plus pauvres de la population augmentent plus rapidement que le revenu moyen national, et ce de manière durable » (Nations Unies, s.d.). Le suivi de cet indicateur, soit la variation du revenu des 40 % les plus pauvres devant être supérieure à la variation nationale moyenne, montrait que, pour la période pré-Covid, cet objectif était atteint pour environ la moitié des 120 pays dans lesquels les données étaient disponibles, notamment en Asie de l'Est, Asie du Sud-Est, Amérique du Nord et en Europe (UNSD, 2022). Cependant, il n'était pas atteint pour une part plus élevée de pays en Asie Centrale, Asie du Sud et en Afrique subsaharienne. Il y a une forte inquiétude concernant les impacts de la crise de la Covid, qui pourraient avoir renversé la tendance dans les pays où l'objectif de l'indicateur était auparavant atteint, les impacts de la pandémie affectant particulièrement les populations les plus pauvres et les plus vulnérables (Conseil économique et social des Nations Unies, 2022). Il en est de même pour les inégalités de revenu entre pays, la tendance à la baisse s'étant ralentie sur la période récente 2013-2017, et s'est inversée suite à la crise de la Covid (Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies, 2022).

Le monde actuel est donc plutôt inégalitaire. En fonction des inégalités observées, notamment entre pays ou au sein des pays, elles ont évolué au fil du temps de manière distincte, dans des directions parfois différentes. Bien que l'on observe des disparités selon les régions, il est possible de noter des tendances globales : après plusieurs décennies de baisse des inégalités au sein des pays mais d'augmentation des inégalités entre pays, les années 1980-

1990 ont marqué un tournant important pour ces tendances. Les inégalités entre pays se réduisent depuis plusieurs décennies en raison de l'essor économique des pays émergents, en particulier grâce au poids conséquent de la Chine et, plus récemment, de l'Inde. Les inégalités au sein des pays, elles, suivent une tendance inverse sur cette période, en augmentation. Il ne faut pas oublier qu'une évolution relative stable des inégalités signifie que l'écart absolu entre pauvres et riches, que ce soit entre pays ou en leur sein, s'accroît tout de même. En fonction de l'indicateur utilisé et de la façon de présenter les données, la vision de l'évolution des inégalités change (Hickel, 2019). Les différents scénarios concernant l'évolution future des inégalités seront présentés dans les parties 2 et 3.

1.2 Le changement climatique et les inégalités : une interaction complexe

Nous avons précédemment présenté les inégalités économiques qui traversent les sociétés humaines, et dont nous souhaitons étudier l'évolution future dans un monde au climat qui se réchauffe. Dans cette section, nous allons présenter les liens intrinsèques, et complexes, entre les inégalités et le changement climatique. Cela nécessitera de revenir sur différentes formes d'inégalités, et non pas seulement sur celles de revenu et de patrimoine. Nous observerons en premier lieu les inégalités de contribution au changement climatique. Dans un second temps, nous présenterons la façon dont les inégalités socioéconomiques sont à l'origine des différences de vulnérabilité et d'exposition face au risque climatique. Enfin, nous étudierons d'autres formes d'inégalités liées au changement climatique (inégalités de décision, inégalités face aux effets des politiques climatiques d'atténuation et d'adaptation) et reviendrons sur le concept de justice climatique. Ces éléments et notions sont nécessaires pour pouvoir comprendre et analyser la dynamique d'évolution des inégalités qui sera l'objet des deux parties suivantes. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a pour rôle d'évaluer les connaissances scientifiques sur le changement climatique. Nous nous appuierons donc sur ses travaux, en particulier les récents rapports d'évaluation des trois groupes de travail dans le cadre du sixième cycle d'évaluation. Les glossaires du groupe II du GIEC, dédié aux impacts, à l'adaptation et à la vulnérabilité, et du groupe III, dédié à l'atténuation du changement climatique, donnent la définition suivante pour l'inégalité (IPCC, 2022i) : « Uneven opportunities and social positions, and processes of discrimination within a group or society, based on gender, class, ethnicity, age, and (dis)ability, often produced by uneven development. Income inequality refers to gaps between highest and lowest income

earners within a country and between countries »⁸. Ces glossaires donnent également une courte définition de l'égalité, qui mérite d'être soulignée : « A principle that ascribes equal worth to all human beings, including equal opportunities, rights, and obligations, irrespective of origins ».

1.2.1 Les inégalités de contribution au changement climatique

Les gaz à effet de serre responsables du réchauffement du climat ne sont pas émis de manière homogène et uniforme par les sociétés humaines : les inégalités de contribution aux émissions sont élevées. Certains gaz à effet de serre comme le CO₂ ayant une durée de vie dans l'atmosphère très longue, il est nécessaire d'observer le cumul historique de leurs émissions pour pouvoir représenter les différences entre pays ou régions, ce qui n'est pas sans difficultés méthodologiques (Carbon Brief, 2021b). Les dernières estimations, intégrant les émissions de CO₂ liées aux usages des sols, montrent la responsabilité élevée de l'Amérique du Nord et de l'Europe, pour respectivement 23 % et 16 % des émissions de CO₂ historiques (IPCC, 2022d). Les différences de cumul historique des émissions, fortement liées aux différences de développement, ont été au cœur des débats lors de la mise en place de la gouvernance climatique, à partir des années 1990 (Aykut & Dahan, 2015). Ces discussions ont mené à l'inscription du concept des « responsabilités communes mais différenciées » dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, adoptée en 1992, principe qui a été réaffirmé dans différentes sections de l'Accord de Paris (CCNUCC, 1992, 2015).

Il est difficile d'établir des données d'émissions par personne en cumul historique pour des raisons de choix méthodologiques d'allocation de celles-ci (Carbon Brief, 2021b). La plupart des données représentant les émissions par personne sur une région ou un pays donné le sont ainsi pour une année précise. Cela donne une « photographie » de la répartition des émissions à un instant t , sans tenir compte des éventuelles différences de cumul historique. Pour pallier cela, le Résumé à l'intention des décideurs (RID) du rapport d'évaluation du groupe III du GIEC a choisi d'illustrer les deux types de représentations avec les figures ci-dessous (IPCC, 2022d). À gauche, il s'agit du cumul historique des émissions de CO₂ par régions, à droite, les émissions moyennes de gaz à effet de serre par personne pour ces mêmes

⁸ Nous avons choisi de ne pas traduire les citations originales et de les reproduire en anglais pour éviter toute mauvaise traduction.

régions, ainsi que leurs populations, pour l'année 2019 (la partie bleue représente les émissions de CO₂ d'origine fossile et industrielle, la partie jaune les émissions nettes de CO₂ dues aux usages des sols, la partie grise les autres gaz à effet de serre) :

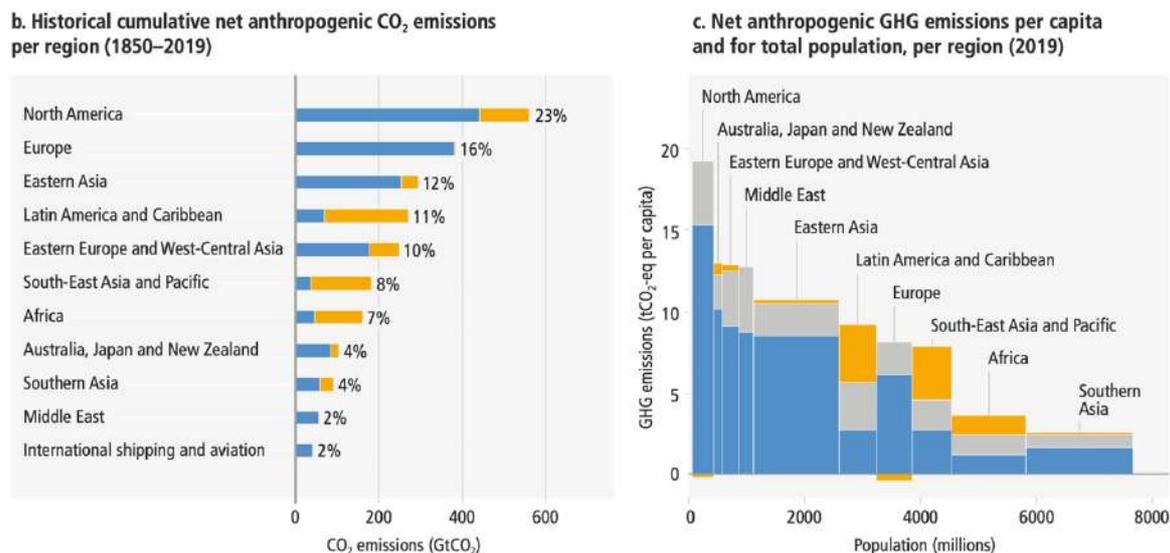
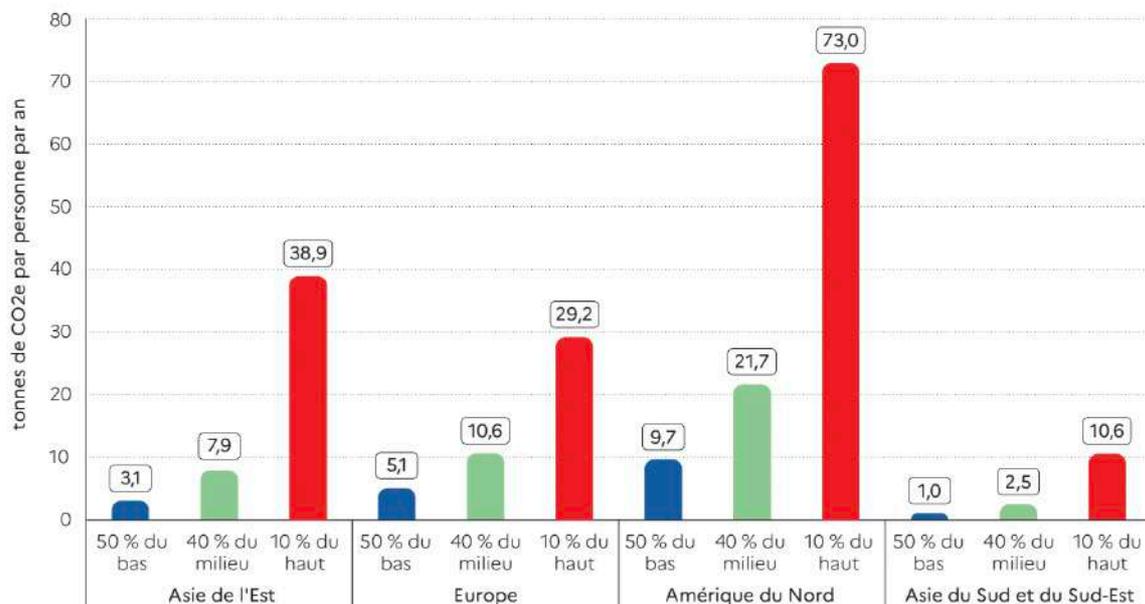


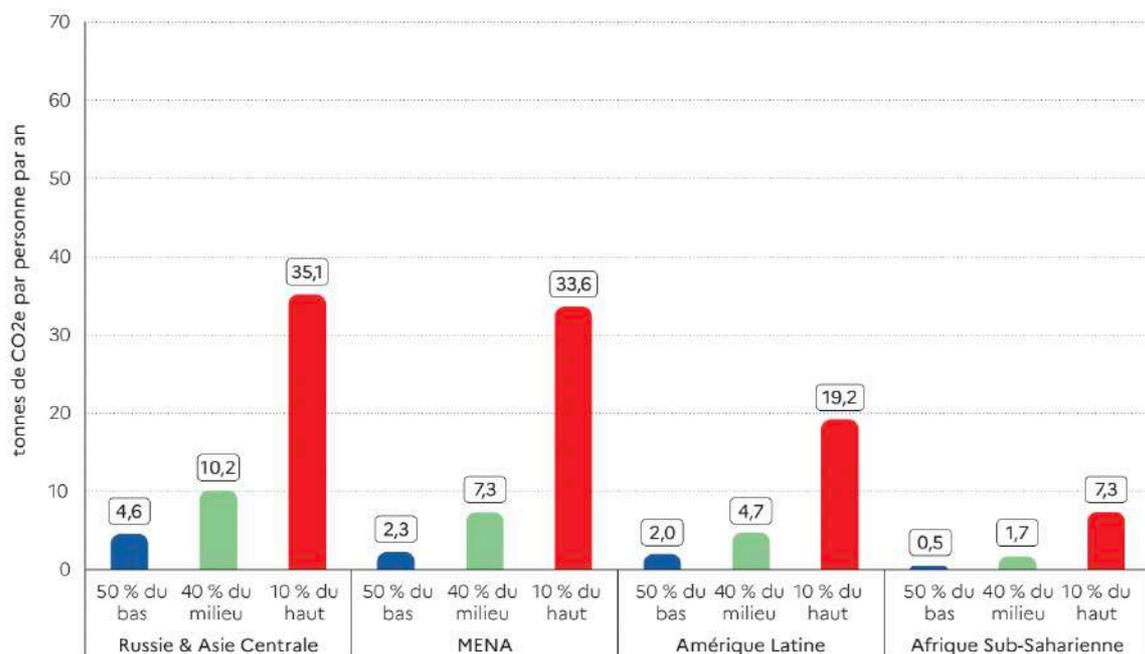
Figure 4 : « Figure SPM.2 (continued): Regional GHG emissions, and the regional proportion of total cumulative production-based CO₂ emissions from 1850 to 2019 » (IPCC, 2022d)

On constate clairement les différences d'émissions moyennes par personne entre les régions, tout en visualisant les responsabilités passées, par exemple dans le cas de l'Europe dont les émissions par habitant sont en baisse mais qui conserve toujours une responsabilité historique importante, en raison de son développement industriel précoce. Le Résumé à l'intention des décideurs met en avant explicitement les inégalités de contribution actuelles : le top 10 % des individus les plus émetteurs contribue entre 36 % et 45 % des émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation, tandis que les 50 % les moins émetteurs contribuent autour de 13 % à 15 %. Ces données sont cohérentes avec celles présentées dans le Rapport sur les inégalités mondiales (Chancel *et al.*, 2022). Ce rapport montre également que les inégalités de contribution ne se retrouvent pas seulement entre les régions, mais également en leur sein, comme le montre la figure suivante (*ibid.*).

Graphique 15. Émissions par tête dans différentes régions du monde, 2019



Interprétation : L'empreinte carbone individuelle inclut les émissions domestiques, les investissements publics et privés aussi bien que les imports et exports de carbone intégrés dans les biens et services échangés avec le reste du monde. Les estimations sont basées sur une combinaison systématique de données fiscales, d'enquêtes sur les ménages et de tableaux d'entrée-sortie. Les émissions sont divisées également entre les membres d'un même ménage. **Sources et séries :** wir2022.wid.world/methodology et Chancel (2021).



Interprétation : L'empreinte carbone individuelle inclut les émissions domestiques, les investissements publics et privés aussi bien que les imports et exports de carbone intégrés dans les biens et services échangés avec le reste du monde. Les estimations sont basées sur une combinaison systématique de données fiscales, d'enquêtes sur les ménages et de tableaux d'entrée-sortie. Les émissions sont divisées également entre les membres d'un même ménage. **Sources et séries :** wir2022.wid.world/methodology et Chancel (2021).

Figure 5 : Graphique 15 du Rapport mondial sur les inégalités, Chancel et al., 2022

Il est à noter que le Rapport sur les inégalités mondiales, tout comme les sources utilisées dans le rapport du GIEC, reposent sur une méthodologie qui extrapole les émissions à partir d'études sur la consommation des ménages, en utilisant une même valeur d'élasticité des émissions pour tous les niveaux de revenu. Ainsi, ces deux rapports ne distinguent pas le « top 10 % des émetteurs » et le « top 10 % des plus riches », utilisant simultanément et sans distinction les deux formulations pour décrire les données précédentes. Il serait cependant nécessaire de nuancer cela : comme le montre Antonin Pottier, l'élasticité entre le revenu et les émissions, et entre la consommation et les émissions, varie selon le niveau de vie, avec une tendance à la baisse du « contenu carbone » par euro dépensé (Pottier, 2022). Dans une étude détaillée sur les empreintes carbone des français, le même chercheur a montré que les émissions peuvent varier fortement au sein d'un même décile de revenu, au point que les émissions des ménages les moins émetteurs du plus haut décile peuvent être inférieures aux émissions des ménages les plus émetteurs du premier décile (Pottier *et al.*, 2020). Ainsi, en pratique, le « top 10 % des émetteurs » n'est pas nécessairement la même chose que le « top 10 % des revenus »⁹.

Avant tout, ces inégalités de contribution sont des conséquences des inégalités socioéconomiques existantes et non des conséquences du changement climatique : elles sont justement à l'origine du changement climatique, et révèlent l'aspect hautement politique du problème (Aykut & Dahan, 2015, Comby, 2015). Liées aux revenus et aux patrimoines, ces inégalités remettent ainsi en question l'organisation actuelle des sociétés, qui les a provoquées. Elles posent des questions d'équité et de justice, nous y reviendrons plus loin. Il est nécessaire de connaître ces différences et leurs origines lors de la mise en place de politiques climatiques, en particulier pour la mise en place d'une « transition juste ».

1.2.2 Inégalités et impacts du changement climatique

Le groupe II du GIEC, dédié aux impacts, à l'adaptation et à la vulnérabilité, a présenté dans le cinquième rapport d'évaluation un cadre d'analyse du *risque climatique*¹⁰ (IPCC, 2014). Le glossaire du rapport donnait la définition suivante pour cette notion de risque climatique : « conséquences éventuelles quand quelque chose ayant une valeur pour l'être humain (les êtres humains eux-mêmes également) est en jeu et qu'il pèse une incertitude sur

⁹ Cela est bien visible sur la figure en annexe II, provenant de Malliet, 2020.

¹⁰ L'utilisation de l'italique dans ce paragraphe signifie que ces mots et expressions ont des définitions précises établies par les auteurs des rapports d'évaluation du GIEC, et présentées dans les glossaires des rapports.

ces conséquences ». Le risque climatique peut donc aussi bien concerner des écosystèmes, des populations ou encore des infrastructures. Il est caractérisé par la conjonction entre trois facteurs : la probabilité de survenue d'*aléas climatiques* (modifiée par le changement climatique), l'*exposition* de l'enjeu étudié à ces aléas, et la *vulnérabilité* de cet enjeu à ceux-ci. La lutte contre le changement climatique, pour laquelle se sont engagés les États signataires de la CCNUCC¹¹, consiste alors à réduire ce risque au travers de deux axes principaux désormais bien connus et complémentaires : l'*atténuation* des émissions de gaz à effet de serre qui limite la probabilité future de survenue des aléas climatiques, et l'*adaptation*, dont le but est de limiter l'exposition et la vulnérabilité des enjeux aux aléas actuels et futurs.

Déjà, à l'époque de la publication de ce rapport (2014), une grande quantité de travaux de recherche étudiant les déterminants de l'exposition et la vulnérabilité des populations avaient été publiés (IPCC, 2014). Le Résumé à l'intention des décideurs décrit l'influence claire des inégalités : « Les différences de vulnérabilité et d'exposition résultent de facteurs de stress non climatiques et d'inégalités multidimensionnelles souvent causés par un développement inégal [...]. Les populations qui sont marginalisées sur le plan social, économique, culturel, politique, institutionnel ou autrement sont particulièrement vulnérables au changement climatique ainsi qu'à certaines stratégies d'adaptation et d'atténuation [...]. Cette vulnérabilité accrue est rarement attribuable à une cause unique ; elle est plutôt due à l'interaction de processus sociaux qui provoque l'inégalité du statut socio-économique et des revenus ainsi que du degré d'exposition. Ces processus sociaux incluent par exemple la discrimination fondée sur le sexe, la classe sociale, l'ethnie, l'âge et l'état physique » (IPCC, 2014). Il y a donc un lien direct entre les différentes formes de discriminations et d'inégalités, et la propension à subir des dommages dus au changement climatique : les populations les plus marginalisées sont souvent les plus exposées aux impacts, et elles y sont plus vulnérables. On note également qu'une potentielle vulnérabilité à certaines politiques climatiques mises en place est déjà anticipée, nous y reviendrons dans la section suivante.

¹¹ Précisément, « l'objectif ultime » de la Convention-cadre est de « stabiliser [...] les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique » (CCNUCC, 1992). L'interprétation de ce qui caractérise une « perturbation anthropique dangereuse » a été au cœur des débats précédant la signature de l'Accord de Paris en vue de définir l'objectif de température à viser (Aykut&Dahan, 2015), et les rapports d'évaluation du GIEC, notamment le récent rapport du groupe II, continuent d'informer les Parties de la Convention des risques encourus via les « Reasons for Concern » (IPCC, 2022a).

Le sixième rapport d'évaluation du groupe II, publié en avril 2022, présente de nombreux impacts climatiques d'ores et déjà observés, causés par les événements extrêmes – vagues de chaleur, pluies intenses, sécheresses et risque d'incendies – et les « événements à évolution lente » : augmentation des températures moyennes, désertification, perte de biodiversité, dégradation des terres et forêts, recul des glaciers et impacts associés, acidification des océans, élévation du niveau de la mer et salinisation (IPCC, 2022a). Le rapport confirme le rôle fondamental des inégalités et des caractéristiques socioéconomiques des populations dans leur vulnérabilité face à ces impacts climatiques : « Vulnerability is higher in locations with poverty, governance challenges and limited access to basic services and resources, violent conflict and high levels of climate-sensitive livelihoods (e.g., smallholder farmers, pastoralists, fishing communities) [...] Vulnerability at different spatial levels is exacerbated by inequity and marginalization linked to gender, ethnicity, low income or combinations thereof (high confidence), especially for many Indigenous Peoples and local communities (high confidence). » (*ibid.*). De même, pour l'exposition : « Future exposure to climatic hazards is also increasing globally due to socioeconomic development trends including migration, growing inequality and urbanization (high confidence). » (*ibid.*).

Risk in IPCC assessment through time

(a) The AR5 risk graphic



(b) AR6 additions: response risk and complexity



Figure A1.1 | Risk in IPCC assessments.

(a) An explicit risk framing emerged in the IPCC SREX (IPCC, 2012) and WGII AR5 (IPCC, 2014).

(b) In the current AR6 assessment, the role of responses in modulating the determinants of risk is a new emphasis (the 'wings' of the hazard, vulnerability and exposure 'propellers' represent the ways in which responses modulate each of these risk determinants [Figure 1.5])

Figure 6 : Figure provenant de l'Annexe I du rapport du groupe II du GIEC, représentant l'évolution du cadrage du risque climatique (voir IPCC, 2022b)

Le rapport indique que la réduction des inégalités « sociales » et « structurelles » et les approches inclusives augmentent la faisabilité et l'efficacité de l'adaptation au changement climatique. Elles favorisent ainsi la mise en place d'un « développement résilient au changement climatique », c'est-à-dire la mise en place de mesures d'atténuation et d'adaptation qui « soutiennent un développement durable pour tous » (IPCC, 2022a). Le cadre du risque climatique a évolué pour prendre en compte les interactions entre plusieurs et différents risques (pouvant mener de l'un à l'autre, ou s'additionner), ainsi que les mesures et politiques climatiques mises en œuvre qui peuvent avoir un impact sur les populations et écosystèmes (*ibid.*).

La relation entre les inégalités et les impacts climatiques est donc à double sens : les inégalités déterminent la propension des populations à subir des dommages via l'augmentation de leur vulnérabilité et leur exposition aux aléas climatiques. Dans l'autre sens, sans mesures d'atténuation et d'adaptation suffisantes et adéquates, les phénomènes provoqués par le changement climatique risquent d'exacerber les inégalités existantes.

1.2.3 Inégalités, justice environnementale, justice climatique

Nous avons précédemment présenté la façon dont les inégalités socioéconomiques déterminent, en moyenne, les inégalités d'émissions de gaz à effet de serre, c'est-à-dire, de contribution au réchauffement des températures et aux impacts associés. Nous avons également observé comment ces mêmes inégalités contribuent à déterminer l'ampleur des dommages subis par les populations lorsqu'elles sont touchées par des aléas climatiques. Dans cette section, nous allons compléter ce tour d'horizon des liens et interactions entre les inégalités et les enjeux environnementaux, et présenter les concepts de justice environnementale et de justice climatique qui en découlent.

Il existe d'autres formes d'inégalités dites « environnementales » (Pye *et al.*, 2008, Notre Affaire à Tous, 2020) : tout d'abord, les inégalités d'accès à la nature ou à un environnement sain, et leurs opposées, les inégalités d'exposition aux pollutions, déchets et à un environnement détérioré. Le mécanisme est similaire à celui que nous avons présenté dans la section précédente, concernant les déterminants de la vulnérabilité et l'exposition aux impacts climatiques. Ces inégalités sont liées à des variables socioéconomiques ainsi qu'ethno-raciales : de nombreux travaux ont montré les liens entre la localisation de communautés

marginalisées et racisées et les milieux pollués ou exploités (industries, mines, etc.), notamment aux Etats-Unis (Deldrève, 2020). La lutte contre ces inégalités et discriminations – on parle aussi de racisme environnemental – est l’objet du mouvement pour la justice environnementale (« Environmental Justice », *ibid.*).

Il existe également des inégalités d’accès à la décision : en raison de leurs statuts socioéconomiques et du mode de gouvernance des sociétés dont ils font partie, des individus ou groupes sociaux peuvent être limités dans leurs capacités d’action politique, notamment en ce qui concerne l’élaboration et la mise en œuvre de politiques environnementales (Guivarch & Taconet, 2020). Enfin, nous l’avons rapidement abordé dans la partie précédente, les inégalités existantes peuvent être exacerbées par les politiques environnementales, en fonction de leurs caractéristiques (*ibid.*, Pye *et al.*, 2008). L’un des exemples les plus connus est celui de la taxe carbone pour l’atténuation des émissions de gaz à effet de serre, dont les effets peuvent être régressifs¹² si aucun mécanisme de soutien ou de redistribution des revenus n’est mis en place (Soergel *et al.*, 2021, IPCC, 2022d). Les mesures d’adaptation, si elles ne tiennent pas compte des inégalités socioéconomiques, peuvent également favoriser certaines catégories de population, ou contribuer à la discrimination de certaines, menant à une augmentation des inégalités existantes : on parle alors de maladaptation (IPCC, 2022a).

Si l’on prend du recul sur ces différentes formes d’inégalités – de contribution, d’exposition et de vulnérabilité aux impacts, de décision et vis-à-vis des politiques climatiques –, il en ressort plusieurs injustices criantes : les populations les plus exposées et les plus vulnérables sont les moins émettrices de gaz à effet de serre, et donc les moins responsables des impacts climatiques actuels et futurs. Elles sont et seront pourtant les plus touchées, tout en étant celles qui ont le moins de pouvoir d’action et de décision. Cette situation est à l’origine du concept de « justice climatique », un sujet déjà ancien dans la sphère militante et en plein essor dans la recherche scientifique (Carbon Brief, 2021a, Tsayem Demaze & Philippe, 2022). Le Résumé à l’intention des décideurs du groupe II du GIEC a détaillé cette notion dans son sixième rapport d’évaluation : « The term climate justice, while used in different ways in different contexts by different communities, generally includes three principles: *distributive justice* which refers to the allocation of burdens and benefits among individuals, nations and

¹² En particulier, dans les pays développés, en raison du poids supérieur des dépenses énergétiques en proportion du revenu pour les ménages les plus pauvres (Wang *et al.*, 2016).

generations; *procedural justice* which refers to who decides and participates in decision-making; and *recognition* which entails basic respect and robust engagement with and fair consideration of diverse cultures and perspectives » (IPCC, 2022a). En réponse au besoin de mettre en place des politiques climatiques qui n'exacerbent pas les inégalités existantes a émergé le concept de *transition juste*, mentionné dans le préambule de l'Accord de Paris, dont les principes et pratiques assurent que personne n'est laissé pour compte au cours de la décarbonation des sociétés (CCNUCC, 2015, IPCC, 2022d). Les travaux de recherche récents montrent que la prise en compte des inégalités, des questions d'équité et de justice permet une meilleure efficacité et acceptabilité des politiques climatiques d'atténuation et d'adaptation (IPCC, 2022a, 2022d).

Nous avons présenté dans cette première partie un état des lieux des inégalités économiques actuelles, de revenu et de patrimoine, entre catégories de population, ainsi que de leurs évolutions récentes. Nous avons ensuite observé comment les inégalités, dans un sens plus large, interagissent avec le changement climatique. Les inégalités socioéconomiques déterminent ainsi à la fois les différences de contribution au réchauffement du climat via les émissions de gaz à effet de serre, et les différences d'exposition et de vulnérabilité aux impacts provoqués par ce réchauffement. La littérature scientifique montre clairement que, sans mesures d'atténuation forte des émissions pour freiner voire stopper l'élévation de température, et sans mesures d'adaptation adéquates pour limiter les impacts actuels et futurs, les inégalités existantes pourraient être exacerbées. En fonction de leurs caractéristiques, il y a un risque significatif que les politiques climatiques mises en place touchent plus fortement certaines populations que d'autres, pouvant également mener à une augmentation des inégalités. Dans la suite du mémoire, nous allons étudier comment les trajectoires futures possibles des inégalités économiques pourraient évoluer avec le changement climatique. Pour cela, nous étudierons dans la partie suivante comment sont élaborées les projections climatiques, et comment les dommages économiques dus au changement climatique sont estimés.

2. Projections climatiques et dommages économiques

Dans la première partie, nous avons analysé la situation de départ en termes d'inégalités de revenu et de patrimoine, ainsi que les interactions nombreuses et complexes entre les inégalités et le changement climatique. Nous allons désormais présenter les éléments et outils nécessaires pour étudier comment les inégalités de richesse vont évoluer dans le futur, en lien avec le changement climatique. Les modélisations des inégalités futures, que nous étudierons dans la troisième partie, utilisent des scénarios socioéconomiques et des projections climatiques, ainsi que des méthodes permettant de représenter les dommages économiques dus au changement climatique. Nous détaillerons ces éléments dans cette seconde partie, en commençant par les scénarios climatiques et leur intégration des inégalités, avant de faire une synthèse des dernières connaissances sur les impacts économiques du changement climatique, et les différentes méthodologies qui permettent de les estimer.

2.1 Scénarios et projections climatiques

2.1.1 Scénarios, trajectoires, projections : définitions

Avant de présenter les différents scénarios permettant d'appréhender les futurs possibles, il convient de revenir sur l'intérêt de ces projections, la façon dont elles sont faites, et les limites de l'exercice. En effet, les travaux tentant de simuler l'évolution future des inégalités utilisent des scénarios dont il est important de connaître les postulats afin de pouvoir interpréter les résultats des modèles. Durant l'introduction d'un webinaire spécialisé, l'un des chercheurs les plus réputés sur ces questions, Brian C. O'Neill¹³, a rappelé les objectifs des projections que l'on retrouve dans une majeure partie de la recherche scientifique et des rapports du GIEC (ICONICS, 2021) : celles-ci permettent d'anticiper les futurs possibles des sociétés humaines, tout en identifiant l'ampleur des risques et défis que va leur poser le changement climatique, ainsi que les différentes réponses possibles pour y faire face.

Les projections sont définies par le GIEC comme des « évolutions futures possibles d'une grandeur ou d'un ensemble de grandeurs » reposant sur des ensembles d'hypothèses « qui peuvent ou non se réaliser » (IPCC, 2018). Elles sont établies avec des modèles pour

¹³ Directeur du Joint Global Change Research Institute.

lesquels on utilise des scénarios comme données d'entrée. La définition de « scénario » est la suivante : « Description vraisemblable de l'avenir, fondée sur un ensemble cohérent et intrinsèquement homogène d'hypothèses concernant les principales forces motrices (rythme de l'évolution technologique, prix, etc.) et les relations en jeu » (*ibid.*). Le GIEC ajoute une précision importante, trop souvent méconnue ou incomprise : les scénarios ne sont « ni des prédictions, ni des prévisions », et leur but est de « mieux cerner les conséquences de différentes évolutions ou actions ». Les scénarios et projections servent donc à étudier « ce qu'il se passerait si... » et non à prévoir « ce qu'il va se passer ». Ils permettent également d'étudier les trajectoires possibles en vue d'atteindre un objectif donné, par exemple de température ou de réduction des émissions.

Les scénarios sont créés à partir de « descriptifs » (« narratives » ou « storyline » en anglais), c'est-à-dire « les caractéristiques fondamentales du scénario, les relations entre les principales forces motrices en jeu et la dynamique de leur évolution » (IPCC, 2018). Pour établir des projections climatiques, il est nécessaire d'établir une première catégorie de scénarios, les scénarios socioéconomiques, qui décrivent des évolutions possibles des sociétés en termes de population, d'évolution économique, d'usages des sols, de développement technologique, etc. (il s'agit ici d'un travail lié au groupe III du GIEC, voir la figure ci-dessous). Ces scénarios sont ensuite utilisés dans des modèles d'évaluation intégrée, qui permettent d'obtenir des trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre distinctes correspondant à ces différentes évolutions sociétales. Ces trajectoires forment des scénarios d'émissions qui servent ensuite, grâce à des modèles climatiques, à simuler la réaction du climat à ces différents futurs possibles (il s'agit ici du travail du groupe I). Les résultats sont des changements physiques : élévation de la température, modification des régimes de précipitations, de fréquence des événements extrêmes, etc. Ces données climatiques obtenues sont alors utilisées par une autre communauté scientifique pour étudier les impacts sur les sociétés et écosystèmes, grâce à des modèles « IAV » (« Impacts, Adaptation, Vulnerability » – c'est, cette fois, le travail du groupe II). Ce processus est schématisé dans la figure page suivante, provenant du chapitre 1 du sixième rapport d'évaluation du groupe 1 du GIEC (IPCC, 2021) :

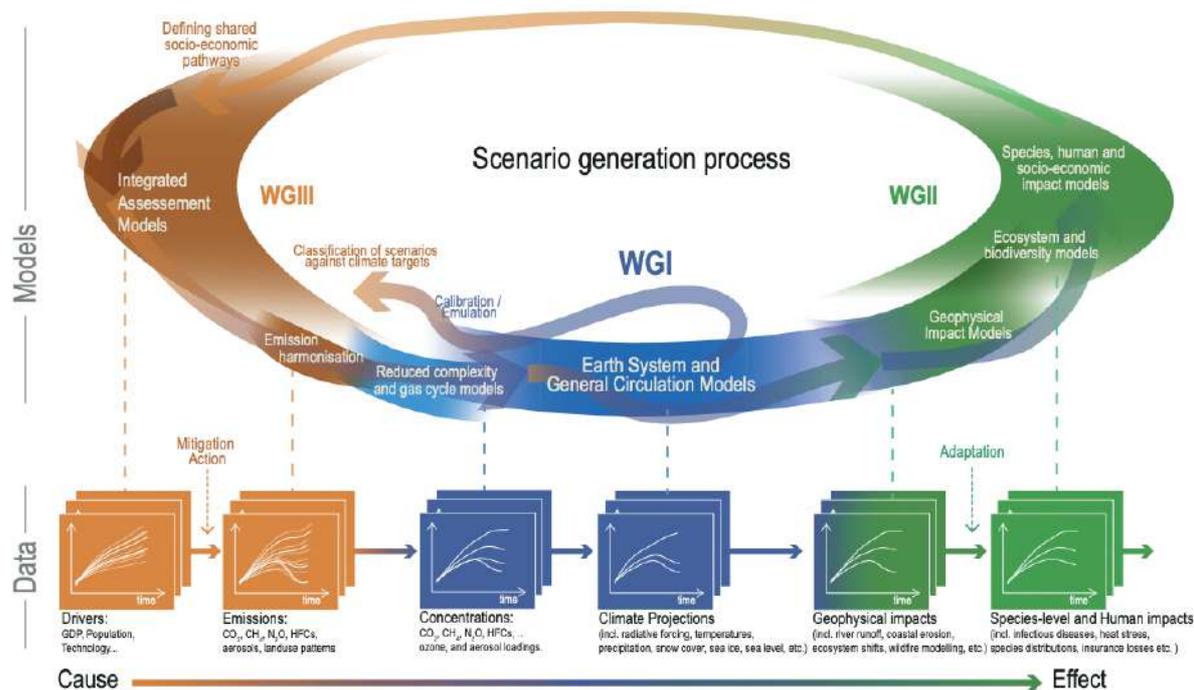


Figure 1.27 | A simplified illustration of the scenario generation process, involving the scientific communities represented in the three IPCC Working Groups. The circular set of arrows at the top indicates the main set of models and workflows used in the scenario generation process, with the lower level indicating the datasets.

Figure 7 : Figure 1.27 du chapitre 1 du rapport du groupe I du GIEC (IPCC, 2021)

Il y a donc nécessité de distinguer deux choses : les scénarios socioéconomiques, qui présentent des caractéristiques possibles des sociétés futures, des scénarios d'émissions (ou de concentrations) de gaz à effet de serre, qui sont la « traduction » des premiers scénarios en changements atmosphériques, et permettent d'établir grâce aux modèles climatiques les évolutions futures du climat en fonction des évolutions sociétales. Ce sont des communautés scientifiques différentes, utilisant des modèles différents, qui élaborent ces différents scénarios et projections. Également, il y a deux grandes catégories de scénarios d'émissions : tout d'abord les scénarios dits « de base » ou « de référence » (« baseline scenarios », parfois encore appelés « business-as-usual scenarios »), qui représentent des trajectoires où « aucune politique ou mesure d'atténuation ne sera mise en place en plus de celles qui sont déjà en vigueur et/ou celles qui sont inscrites dans la loi ou dont on a planifié l'adoption » (IPCC, 2018). Leur but est de pouvoir présenter la situation qui risquerait d'advenir, ou qui aurait pu advenir, sans action politique, ou sans action politique supplémentaire, ce qui permet de comparer leurs projections à celles de scénarios d'atténuation : ces derniers, comme leur nom l'indique, présentent différents niveaux de mise en œuvre de politiques et mesures d'atténuation des émissions (*ibid.*). Le même principe peut être utilisé pour analyser des politiques d'adaptation, en comparant les impacts sur les populations et écosystèmes avec des

mesures en place, par rapport à une trajectoire « de référence », sans mesures (O'Neill *et al.*, 2020).

Pour chaque rapport d'évaluation du GIEC, des centaines de scénarios d'émissions de gaz à effet de serre sont créés par les différents groupes de scientifiques travaillant avec les modèles d'évaluation intégrée, à partir de nombreux postulats et hypothèses. Afin de synthétiser leurs résultats et pouvoir les interpréter, les chercheurs les rassemblent en fonction de leurs caractéristiques mutuelles ou de leurs projections, on parle alors de *trajectoires* (« pathways »), par exemple les trajectoires qui limitent le réchauffement planétaire à +1,5 °C sans dépassement du seuil¹⁴. Les auteurs des rapports du GIEC établissent également des trajectoires d'émissions « illustratives »¹⁵ (« illustrative pathways ») qui permettent de représenter ces centaines de scénarios en une poignée de trajectoires représentatives. Cela permet de préparer un ensemble réduit de scénarios d'émissions pour les modélisateurs du climat : comme leurs modèles sont très complexes, il est long et cher de les faire tourner, et cela ne peut être fait avec les centaines de scénarios d'émissions existants.

2.1.2 Inégalités et scénarios passés

Les projections climatiques sont donc nécessairement établies à partir de scénarios socioéconomiques, afin de fournir des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et aérosols pertinents aux modélisateurs du climat, c'est-à-dire qui correspondent à des évolutions sociétales possibles, voire crédibles. Ces scénarios socioéconomiques reposent sur des postulats, implicites ou explicites, quantitatifs ou qualitatifs, concernant l'évolution des sociétés : démographie, développement technologique, gouvernance, éducation, etc. En particulier, le développement économique en fait partie, généralement sous forme de projections d'évolution du PIB pour des régions données, voire par pays. Il est intéressant de revenir sur les scénarios élaborés pour les précédents rapports d'évaluation du GIEC, afin d'observer l'évolution des inégalités économiques dans leur élaboration et utilisation. Le premier rapport, publié en 1990, présentait quatre scénarios d'émissions pour lesquels les taux de croissance économique et la croissance de la population étaient les mêmes, les différences

¹⁴ Trajectoires généralement associées à un niveau de probabilité (« likelihood ») de respecter ledit seuil, par exemple >50 %, une manière d'intégrer l'incertitude due à la sensibilité climatique.

¹⁵ C'est, par exemple, le cas des scénarios P1-P4 dans le Rapport Spécial 1.5, ou bien des scénarios IP et IMP dans le rapport du groupe III de 2022 ; les scénarios RCP utilisés dans le cinquième rapport d'évaluation du GIEC avaient également été créés de cette manière.

entre leurs trajectoires d'émissions – et donc, ensuite, de réchauffement global – se situaient essentiellement au niveau du mix énergétique, en raison de différents postulats sur l'évolution des prix des modes de production d'énergie (IPCC, 1992). Dans ces premiers scénarios, une distinction était faite entre pays développés et pays en développement au niveau du taux de croissance économique : établis à partir de projections de la Banque mondiale, ils étaient pendant plusieurs décennies de 2-3 % pour les premiers, et 3-5 % pour les seconds, qui comprenaient les pays d'Europe de l'Est, avant un ralentissement progressif pour l'ensemble des pays (*ibid.*). Cela induit une réduction progressive des inégalités entre pays, avec ce que les rapports appelaient une « convergence ». Cependant, les postulats d'évolution des émissions des deux ensemble de pays posaient la question du partage de la responsabilité pour la réduction de celles-ci, dans un contexte de développement très inégal, et cette réduction des inégalités mondiales entre pays restait assez limitée (Parikh, 1992). Les coûts et bénéfices économiques potentiels du changement climatique pour chaque scénario n'étaient pas évalués. Le second rapport d'évaluation du GIEC, publié en 1995, utilisait de nouveaux scénarios : les six scénarios IS92 étaient tous des scénarios « de référence », sans politiques climatiques supplémentaires (IPCC, 1992). Ils variaient cette fois-ci entre eux, non seulement dans leurs mix énergétiques, mais aussi dans les postulats d'évolution de la population et de la croissance économique (IPCC, 1995).

Un nouvel ensemble de scénarios a été développé entre 1996 et 2000, en vue d'être utilisé pour le troisième rapport d'évaluation du GIEC, publié en 2001 (IPCC, 2000). Ces scénarios, appelés SRES¹⁶, étaient bien plus complets que les précédents, et élaborés de manière différentes. Les chercheurs ont d'abord établi quatre narratifs représentant quatre trajectoires distinctes d'évolution des sociétés, indépendamment de toute question climatique. Chacun de ces narratifs présentait des caractéristiques différentes de développement économique, démographique, social, technologique et environnemental. Le premier d'entre eux, A1, décrivait une croissance économique « très rapide », une « convergence entre régions » et un fort développement technologique. Ce développement, de type « mondialisation », pouvait cependant s'appuyer sur les combustibles fossiles dans l'un des sous-scénarios (A1FI), d'autres sources d'énergie (A1T) ou un équilibre entre les deux (A1B) dans deux autres sous-scénarios, ce qui donne ensuite des résultats bien distincts pour les émissions de gaz à effet de serre de chacun. Le second narratif, A2, présentait un monde

¹⁶ Du nom du rapport spécial dans lequel ils ont été publiés, Special Report on Emissions Scenarios (IPCC, 2000).

opposé, plus hétérogène, avec des dynamiques différentes selon les régions, et centré sur « l'autosuffisance et la préservation des identités locales ». La famille de scénarios B1 reposait sur une croissance économique forte et une convergence entre les régions, avec, cependant, un développement différent de A1, plus axé sur les technologies propres, l'efficacité dans l'utilisation des ressources et la protection de l'environnement. Enfin, le narratif B2 décrivait un monde proche de celui de B1, mais plus hétérogène et régionalisé. Les deux grands axes de distinctions entre les quatre catégories de narratifs étaient ainsi global/régional et développement économique/environnement, comme on peut le voir dans le schéma ci-dessous, provenant du rapport (IPCC, 2000) :

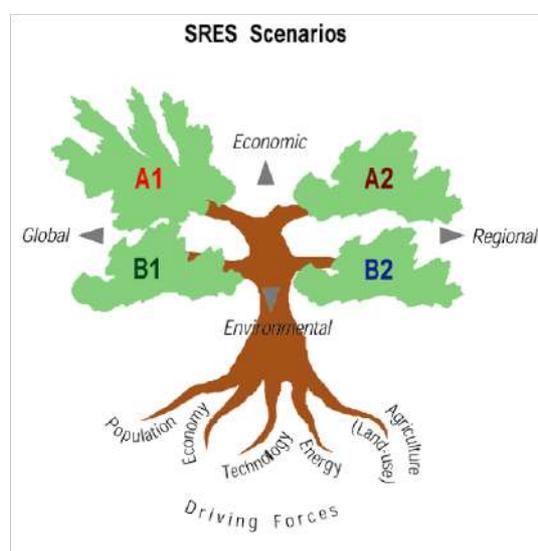


Figure 8 : La schématisation des narratifs des scénarios SRES (IPCC, 2000)

Aucun de ces scénarios n'impliquait de mise en œuvre de politique climatique, ils étaient en quelque sorte tous des scénarios « business-as-usual », mais avec des orientations différentes prises par les sociétés. Le GIEC précisait bien qu'il n'y avait pas un scénario plus « plausible » ou « crédible » qu'un autre, et se refusait à leur associer une quelconque probabilité¹⁷. Il s'agissait d'ailleurs des derniers scénarios élaborés par le GIEC lui-même : c'est la communauté scientifique qui a établi les scénarios ultérieurs, le GIEC ne faisant qu'évaluer et synthétiser leurs résultats. Les scénarios SRES présentent tous une convergence économique entre les pays en développement d'un côté, et les pays développés et les

¹⁷ Ce sujet complexe de la « probabilité » des scénarios fait encore débat aujourd'hui (voir notamment la Box 3.3 du rapport du groupe III) bien que la « faisabilité » soit, elle, caractérisée de plus en plus précisément (dans ce même chapitre, IPCC, 2022g).

« économies en transition¹⁸ » de l'autre, avec une baisse du ratio de revenu par habitant entre les deux ensembles de pays. Cette baisse ne mène cependant pas à l'égalité en 2100, et est plus forte pour certains scénarios (A1 et B1, avec des ratios entre 1,5 et 1,8, qui sont le résultat de postulats explicites de réduction des écarts existants) que pour d'autres (3,0 pour B2 et 4,2 pour A2). Aux postulats explicites concernant les différents développements économiques des régions, correspondaient donc des postulats implicites sur l'évolution des inégalités entre pays, ou plutôt entre ensemble de pays.

Les scénarios SRES ont également été utilisés pour le quatrième rapport d'évaluation du GIEC, publié en 2007. Les scénarios RCP (« Representative Concentration Pathways ») sont probablement les scénarios les plus connus à l'heure actuelle, car ils étaient utilisés dans le cinquième rapport d'évaluation du GIEC, publié en 2014. Ils ont été élaborés dans l'attente de la finition du cadre complet des scénarios SSP, afin de permettre aux modélisateurs du climat d'obtenir des projections climatiques pour le rapport (Moss *et al.*, 2010, van Vuuren *et al.*, 2011). Bien qu'ils aient été créés à partir de postulats socioéconomiques, ceux-ci ne sont plus considérés aujourd'hui, et il faut voir ces scénarios comme « seulement » des trajectoires stylisées d'émissions de gaz à effet de serre et aérosols (IPCC, 2021). Ils étaient constitués de quatre trajectoires représentatives des principales trajectoires possibles estimées à l'époque, avec deux scénarios sans politiques climatiques (RCP8.5 et RCP6.0, les chiffres représentant le forçage radiatif en W/m² atteint en 2100), un scénario d'atténuation (RCP2.6) et un scénario intermédiaire (RCP4.5). La principale « nouveauté » de cet ensemble était l'ajout d'un scénario explicite d'atténuation, le RCP2.6, qui permettait de maintenir le réchauffement autour de +2 °C. Des « extensions » des scénarios à l'horizon 2500 avaient également été faites dans le but de simuler les changements climatiques potentiels à long terme.

Ce retour en arrière a permis d'observer comment les postulats des scénarios socioéconomiques déterminent de manière assez implicite, via les postulats généralement exogènes de développement économiques distincts entre les régions, l'évolution des inégalités. Nous remercions Céline Guivarch et Nicolas Taconet de nous avoir aiguillé dans cette voie. Ces choix, effectués par les modélisateurs travaillant sur les modèles d'évaluation intégrée, sont faits à partir de projections économiques provenant d'autres entités, comme la Banque

¹⁸ Terme utilisé à l'époque pour les pays de l'ancien bloc soviétique faisant partie de l'Annexe I de la CCNUCC, l'expression complète étant « Pays en transition vers une économie de marché » dans l'annexe de la convention (CCNUCC, 1992).

mondiale ou l'OCDE. L'évolution des inégalités va devenir un postulat clairement explicité avec l'arrivée des scénarios SSP, que nous développons dans la section suivante.

2.1.3 Les scénarios SSP (Shared Socio-economic Pathways)

L'élaboration des projections climatiques est un travail long et fastidieux, demandant, comme nous l'avons vu, la collaboration de plusieurs communautés scientifiques. Les scénarios SRES étaient devenus « obsolètes » après la publication du quatrième rapport d'évaluation du GIEC, en 2007 : il fallait les mettre à jour en raison d'évolutions sociétales récentes, notamment la croissance forte de certains pays émergents, et les projections démographiques de long terme revues à la baisse. Il manquait des projections de trajectoires d'atténuation des émissions, et l'intégration de la problématique de l'adaptation. La modélisation climatique évoluait également avec des modèles de plus en plus puissants, nécessitant des scénarios de plus en plus développés en termes de forçages (gaz à effet de serre, aérosols, changements des usages des terres, etc.). Un nouvel ensemble de scénarios était donc nécessaire en vue du cinquième rapport d'évaluation du GIEC, prévu pour 2013-2014. Les nouveaux scénarios socioéconomiques, intitulés SSP (pour « Shared Socio-economic Pathways »), n'ont cependant pas pu être prêts à temps, ce qui a obligé les chercheurs à utiliser seulement quatre scénarios « représentatifs », les RCP (voir section précédente), pour ce cinquième rapport.

Les scénarios SSP ont été finalisés et publiés en 2016-2017, et ont ainsi pu être utilisés pour les projections climatiques du sixième rapport d'évaluation du GIEC, publié en 2021-2022. Leur but est de représenter une plage d'incertitude pertinente des évolutions futures possibles des sociétés, pour la période 2015-2100¹⁹ (O'Neill *et al.*, 2017). Ils sont en quelque sorte les descendants des scénarios SRES : au nombre de cinq, ce sont également des scénarios socioéconomiques, reposant sur des narratifs distincts que nous détaillerons ci-dessous. Ces narratifs présentent des mondes « sans climat », c'est-à-dire sans politiques climatiques, et sans impacts climatiques – nous y reviendrons. Ils sont constitués de postulats quantitatifs de croissance économique, d'évolution démographique et d'urbanisation, ainsi que de nombreux

¹⁹ Nous parlons ici des variables socioéconomiques des scénarios SSP. Les concentrations de gaz à effet de serre des scénarios sélectionnés pour le CMIP6 ont été prolongées jusqu'à 2500 par Meinshausen *et al.*, 2020, afin de simuler les évolutions de long terme du climat (cela a finalement été fait jusqu'en 2300 pour des raisons de temps et de coût des simulations, voir IPCC, 2021).

postulats qualitatifs concernant le développement humain, le développement technologique, les institutions, ou encore le rapport à l'environnement (voir les tableaux en annexes III-V, provenant d'O'Neill *et al.*, 2017). En particulier, et c'est nouveau par rapport aux précédentes générations de scénarios, ils possèdent des postulats qualitatifs d'inégalités, d'équité, d'égalité de genre, de cohésion sociale et de « participation sociétale ». Ces postulats peuvent être différents selon trois groupements distincts de pays, en fonction de leur revenu (*ibid.*).

Nous allons présenter ces cinq narratifs, en nous concentrant pour chacun sur les postulats concernant les inégalités. Le paragraphe suivant repose essentiellement sur le travail de O'Neill *et al.*, 2017, ainsi que sur les articles de recherche dédiés à chaque SSP. Le premier narratif, le SSP1, décrit un monde qui évolue progressivement vers un développement que l'on peut qualifier de durable, notamment via une collaboration forte des différentes institutions internationales et des États, avec un fort accent sur le bien-être, l'éducation et l'utilisation efficiente des ressources. Les inégalités se réduisent entre pays et au sein des pays (van Vuuren *et al.*, 2017). Le SSP3 est à l'opposé : intitulé « rivalités régionales », il décrit un monde où les États et leurs populations se recentrent sur eux-mêmes, avec une résurgence des nationalismes et des gouvernements autoritaires, des institutions mondiales fragilisées, un développement économique lent, et une consommation élevée des ressources (Fujimori *et al.*, 2017). Les inégalités entre pays restent élevées, et les inégalités au sein des pays persistent voire augmentent au fil du temps, en particulier dans les pays en développement. Le SSP4, dénommé « inégalités, un monde divisé », présente une évolution un peu différente, avec des inégalités en augmentation à la fois entre pays et au sein des pays, entre les catégories de population (Calvin *et al.*, 2017). Ce type de scénario était auparavant peu représenté dans la littérature. Les causes de l'augmentation des inégalités dans ce narratif (qui induirait un renversement des tendances observées dans certaines régions et au niveau global, présentées dans la partie 1) sont multiples : développement technologique qui remplace certains emplois peu qualifiés, rendement du capital élevé, investissements éducatifs très inégaux, faible pouvoir d'action politique des classes les plus pauvres, etc. Ce scénario peut presque être qualifié de dystopique : « Over time, a gap widens between an internationally-connected society that is well educated and contributes to knowledge- and capital-intensive sectors of the global economy, and a fragmented collection of lower-income, poorly educated societies that work in a labor

intensive, lowtech economy » (O'Neill *et al.*, 2017)²⁰. Le SSP5 décrit un monde à forte croissance économique avec une poursuite de la mondialisation, ce qui induit une convergence avec la réduction des inégalités, aussi bien entre pays qu'en leur sein. Cependant, ce développement rapide repose essentiellement sur l'utilisation des combustibles fossiles, menant à de fortes émissions (Kriegler *et al.*, 2015). Enfin, le SSP2, intitulé « Middle of the road », est un scénario que l'on peut qualifier « d'intermédiaire » par rapport aux autres scénarios, correspondant à un prolongement des tendances historiques de long terme (Fricko *et al.*, 2017). Dans ce scénario, la croissance des revenus et le développement économiques des différents pays sont inégaux, sans pour autant atteindre les niveaux d'inégalités des SSP3 et SSP4. Les variables quantitatives des différents SSP sont représentées dans la figure ci-dessous (IPCC, 2022g) :

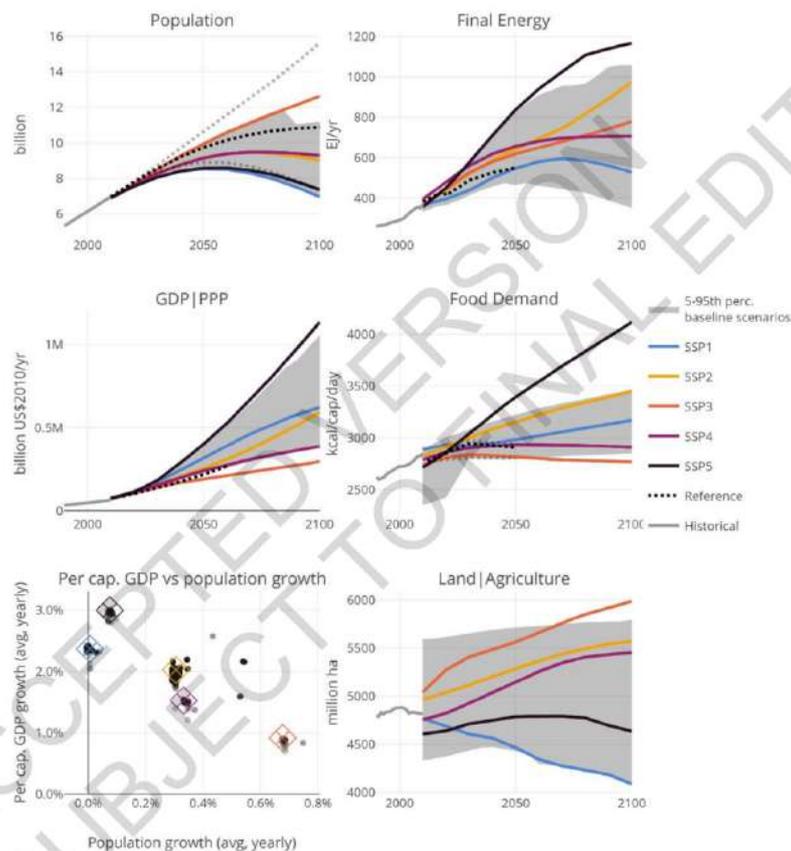


Figure 3.9 Trends in key scenarios characteristics and driving forces as included in the SSP scenarios (showing 5-95th percentiles of the reference scenarios as included in the database in grey shading). Reference (dotted lines) refers to UN low, medium and high population scenario (UN 2019), OECD Long-term economic growth scenario (OECD 2021), the scenarios from IEA's World Energy Outlook (IEA 2019), and the scenarios in the FAO assessment (FAO 2018)

Figure 9 : Figure 3.9 du chapitre 3 du rapport du groupe III du GIEC (IPCC, 2022g)

²⁰ Il est à noter que ce scénario envisage tout de même une poursuite du développement de la classe moyenne mondiale, essentiellement due au développement de l'Asie de l'Est (O'Neill *et al.*, 2017).

Nous avons donc cinq trajectoires sociétales bien distinctes pour le XXI^{ème} siècle. Comme nous le mentionnons précédemment, il s’agit ici de trajectoires qui, intentionnellement, ne tiennent pas compte du changement climatique, c’est-à-dire sans politiques climatiques ou impacts climatiques (O’Neill *et al.*, 2020). Comme pour les scénarios précédents, IS92 et SRES, les cinq scénarios SSP présentent des émissions de gaz à effet de serre « de référence », simulées grâce aux modèles d’évaluation intégrée²¹. À la différence des premiers, il est possible d’associer les scénarios SSP avec des « Shared climate Policy Assumptions » (SPA), c’est-à-dire des politiques climatiques (Kriegler *et al.*, 2014). En utilisant les modèles d’évaluation intégrée, il est alors possible de combiner une trajectoire socioéconomique donnée (un SSP) avec un objectif climatique précis, généralement sous la forme d’un forçage radiatif à atteindre en 2100. Le modèle permet d’obtenir un scénario d’émissions de gaz à effet de serre et d’aérosols (un RCP), qui pourra être utilisé ensuite pour simuler l’évolution du climat grâce à un modèle climatique. C’est ce qu’on appelle la « matrice SSP-SPA-RCP ». Pour chaque scénario socioéconomique, on peut explorer différentes combinaisons de politiques climatiques, ce qui permet de limiter plus ou moins fortement les émissions, et donc le réchauffement. Comme les scénarios SSP représentent des sociétés différentes, les défis pour l’atténuation des émissions et l’adaptation aux impacts du changement climatique ne sont pas les mêmes : il est plus facile de limiter les émissions dans le SSP1 que dans le SSP5 ; il est également plus facile de s’adapter dans le SSP1 que dans le SSP3. Ces différences sont représentées dans la figure suivante, tirée d’O’Neill *et al.*, 2015 :

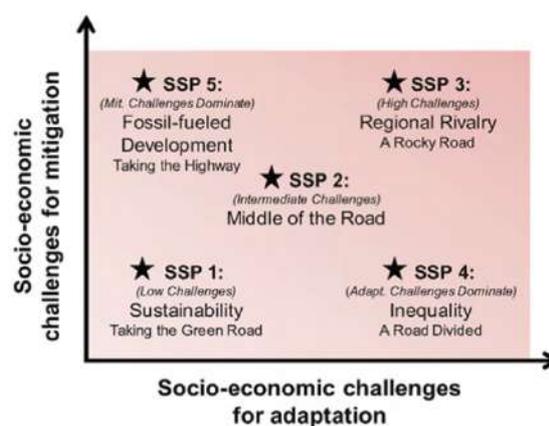


Fig. 1. Five shared socioeconomic pathways (SSPs) representing different combinations of challenges to mitigation and to adaptation. Based on Fig. 1 from O’Neill *et al.* (2014), but with the addition of specific SSPs.

Figure 10 : Figure 1 d’O’Neill *et al.*, 2015

²¹ Voir la figure en annexe VI pour une comparaison des émissions de référence des SSP avec les émissions des ensembles de scénarios précédents.

Grâce aux modèles d'évaluation intégrée, il est possible de comparer les trajectoires pour un même scénario SSP en fonction du niveau d'atténuation des émissions souhaité, ou bien de comparer les différences entre les SSP pour un même niveau d'atténuation des émissions. Ces différences peuvent être observées au niveau des usages des sols, des mix énergétiques, des coûts, etc. : ce sont ces informations cruciales, évaluées et synthétisées par le GIEC, qui permettent d'orienter les décisions politiques pour mettre en place des stratégies d'atténuation et d'adaptation. Comme les combinaisons sont nombreuses, les chercheurs ont sélectionné neuf scénarios d'émissions représentatifs des différents futurs climatiques possibles, afin de simuler l'évolution du climat et les impacts associés (O'Neill , 2016, Meinshausen *et al.*, 2020, IPCC, 2021) :

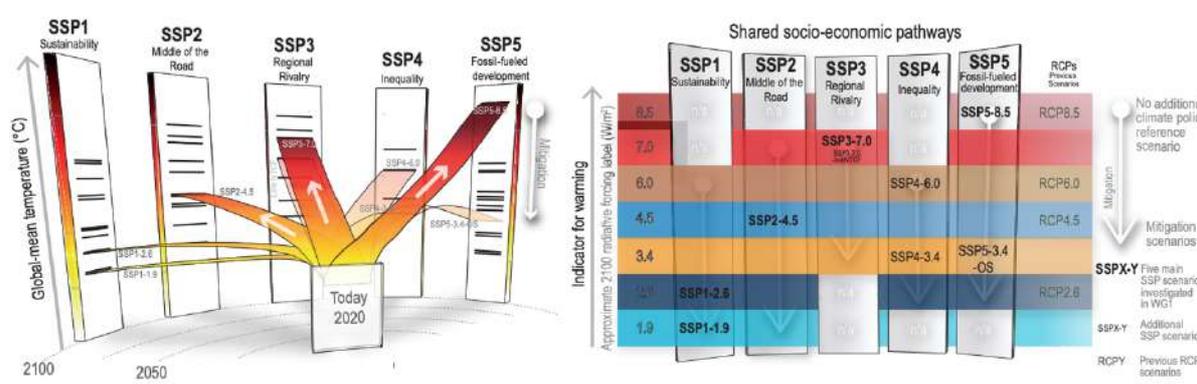


Figure 11 : Figure 1 de la Cross-Chapter Box 1.4, rapport du groupe I du GIEC, chapitre 1 (IPCC,2021)

Un scénario d'émissions est dénommé par la catégorie de scénario SSP à laquelle il appartient (les colonnes, sur les deux figures ci-dessus), suivie du niveau de forçage radiatif qu'il atteint en 2100 (les lignes, par exemple, SSP1-1.9). Sur la figure de droite, le haut des flèches blanches en filigrane représente le niveau de forçage radiatif atteint pour chaque SSP « de référence », sans politiques d'atténuation des émissions : il y a ainsi cinq trajectoires théoriques « business-as-usual », avec des niveaux de réchauffement différents. Les cases grises « n/a » indiquent que les modèles d'évaluation intégrée n'ont pas réussi à simuler des scénarios pour ces niveaux de forçage radiatif associés à un SSP donné : par exemple, cela signifie qu'il serait difficile d'atteindre les émissions nécessaires pour un forçage radiatif de 8.5 W/m² dans un monde de type SSP1 ; à l'inverse, il semblerait que la poursuite d'une trajectoire de type SSP3 rende très difficile l'atténuation des émissions et donc l'atteinte de

niveaux de forçages radiatifs de 1.9 W/m² ou 2.6 W/m² (qui correspondent, grosso-modo, aux niveaux de l'Accord de Paris, +1,5 °C et +2 °C).

Les scénarios SSP forment ainsi un cadre d'analyse des projections climatiques assez complexe, mais surtout très complet. Avec les anciens scénarios RCP, nous n'avions pas d'idée précise du type de société qui se trouvait « derrière » les trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre. Ce n'est désormais plus le cas, derrière chaque combinaison SSPx-y, il y a une trajectoire socioéconomique donnée, associée (ou non, en cas de scénario « de référence ») à des politiques climatiques, permettant d'obtenir des trajectoires précises de nombreuses grandeurs (d'émissions de gaz à effet de serre bien sûr, mais aussi de développement économique, énergétique, d'usages des sols, d'urbanisation, de démographie, etc.), ainsi que des notions des défis posés en terme d'atténuation et d'adaptation. Au niveau des inégalités économiques, entre pays ou au sein de ceux-ci, ce canevas de scénarios permet d'étudier une large variété de futurs possibles, des plus convergents au plus inégalitaires.

Nous avons vu comment il était possible de passer des scénarios socioéconomiques « sans climat » à des scénarios intégrant des politiques climatiques. Cependant, ces scénarios et trajectoires sont toujours sans impacts climatiques. Il est désormais intéressant, et c'est là, la problématique de ce mémoire, d'observer ce qu'il se passe lorsque l'on ajoute les conséquences des phénomènes causés par le réchauffement du climat : est-ce que cela peut modifier de manière significative l'évolution des inégalités postulée dans les différents scénarios ? Aussi, les politiques climatiques peuvent-elles avoir une influence ? Pour cela, nous devons d'abord revenir sur la modélisation des impacts économiques du changement climatique, ce qui sera l'objet de la section suivante. L'analyse de l'évolution des inégalités sera l'objet de la troisième partie.

Nous tenons à préciser : bien que le but des scénarios SSP soit de couvrir au mieux l'incertitude sociétale, ils ne peuvent couvrir l'intégralité des futurs possibles. Le GIEC prend soin de le préciser dans chacun des derniers rapports d'évaluation, avec la mention suivante : « IPCC is neutral with regard to the assumptions underlying the scenarios in the literature assessed in this report, which do not cover all possible futures. Additional scenarios may be developed » (IPCC, 2021, 2022a, 2022d). Cette mention, ainsi que des travaux récents étudiant les interactions entre la communauté scientifique développant les modèles d'évaluation intégrée et la gouvernance climatique (van Beek *et al.*, 2022), rappellent ainsi que l'horizon

des possibles représenté par les scénarios n'est ni exhaustif, ni neutre : « Our analysis highlights that IAMs are not neutral 'map-makers' but are powerful in shaping the imagined corridor of climate mitigation [...]. As such, IAM pathways may not be policy-prescriptive in a strict sense, but they are certainly policy-shaping to a degree beyond policy relevance. » (*ibid.*). Cela confirme les influences mutuelles entre la recherche et les politiques climatiques, notamment via la définition des objectifs climatiques, exposées par Aykut & Dahan (2015). Il est également important de noter que le rapport du groupe III publié en avril 2022 présente de nouveaux scénarios d'atténuation des émissions, établis à partir d'une base de données de plusieurs milliers de scénarios (IPCC, 2022d). Ces scénarios « illustratifs » (« Illustrative Pathways ») se concentrent sur les trajectoires d'atténuation, afin de présenter les différentes possibilités d'atteindre les objectifs climatiques. Ils reposent essentiellement sur les scénarios SSP pour leurs postulats socioéconomiques, en particulier le SSP2. Le rapport précise à leur sujet : « They do not explore issues around income distribution or environmental justice, but assume implicitly that *where* and *how* action occurs can be separated from who pays, in ways to adequately address such issues. They are essentially pathways of technological evolution and demand shifts reflecting broad global trends in social choice. » (IPCC, 2022f). Cette dernière phrase signifie que, pour la plupart de ces scénarios, et ce pour des raisons aussi bien techniques que de choix subjectifs de la part des modélisateurs, la façon dont les mesures d'atténuation sont intégrées dans les modélisations n'est pas faite selon un but explicite de réduction des inégalités, ou encore de partage de l'effort (« burden sharing ») entre les différentes régions²².

2.2 Impacts économiques et atténuation : les coûts du changement climatique

2.2.1 Coûts et trajectoires économiques « optimales » : modèles et méthodes

Nous continuons les circonvolutions autour du sujet des inégalités : elles sont nécessaires, car les principes et outils présentés dans cette section et la suivante sont ceux utilisés dans les publications étudiant l'évolution des inégalités en lien avec le changement climatique, que nous analyserons dans la troisième partie. Nous allons ici revenir sur les

²² Cette question est, hélas, encore peu reconnue. Voir cette intervention du chercheur Glen Peters sur les conséquences de ces choix pour les différences de trajectoires de réduction des émissions en fonction des régions : https://twitter.com/Peters_Glen/status/1556940810259775489

méthodes utilisées pour estimer les coûts du changement climatique, qui permettent d'évaluer ou obtenir des trajectoires économiquement « optimales », c'est-à-dire limitant ces coûts au maximum.

Le chapitre 1 du rapport du groupe III du GIEC présente ce que l'on appelle les approches agrégées (« aggregate approaches »). Leur but est d'estimer les conséquences économiques du changement climatique et présenter des trajectoires où le « bien-être social » (« welfare ») est optimisé, grâce à l'utilisation de modèles d'évaluation intégrée (IPCC, 2022f). Il y a deux approches principales, la première s'appelle l'analyse coûts-efficacité (« cost-effectiveness analysis », CEA). Elle consiste à évaluer les coûts de différentes mesures, politiques et technologies d'atténuation en fonction de leurs capacités à réduire les émissions, pour présenter la trajectoire la plus efficace et la moins chère dans le but d'atteindre un objectif donné. La seconde approche est l'analyse coûts-avantages (« cost-benefit analysis », CBA). Il s'agit d'un outil classique en économie, qui, comme son nom l'indique, fait une « estimation monétaire de l'ensemble des effets positifs et négatifs d'une action donnée » (IPCC, 2018). En changement climatique, cela consiste à comparer les coûts de l'atténuation des émissions au fil du temps, de les comparer aux dommages économiques dus au changement climatique, et d'en déduire une trajectoire « optimale » de réduction des émissions (et donc, de réchauffement).

Le changement climatique et les trajectoires associées de politiques climatiques relèvent du long terme, de l'ordre de plusieurs décennies. Cela nécessite de prendre en compte « l'évolution de la valeur », c'est-à-dire d'estimer la valeur présente d'une valeur future. On appelle cela l'actualisation. C'est un paramètre (le taux d'actualisation, « discounting rate ») qui est intégré dans les modèles d'optimisation (IPCC, WG3e). Plus le taux d'actualisation est élevé, plus il donne d'importance à la valeur présente par rapport à la valeur future. Bien que censé représenter une certaine rationalité économique, le choix de cette valeur fait intervenir avant tout des considérations éthiques (*ibid.*). Dans les trajectoires climatiques, cela a une importance fondamentale : en fonction du choix de ce paramètre, les dommages économiques futurs estimés – devenant généralement importants à moyen-long terme – peuvent sembler aussi bien très élevés, que – relativement – faibles. De même, le coût de l'atténuation des émissions, qui a lieu plutôt dans le court-moyen terme, peut sembler très important si le taux d'actualisation choisi est élevé. Ainsi, plus que leurs structures et agencements, c'est la paramétrisation de ces modèles qui influe le plus sur leurs résultats. Le choix du taux

d'actualisation a fait l'objet de nombreux débats au cours de deux dernières décennies (Stern, 2007, IPCC, 2022f).

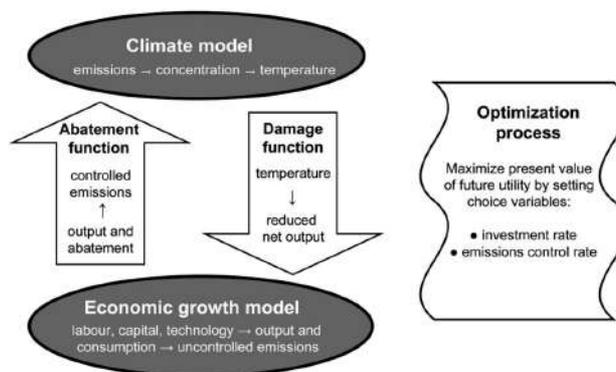


FIGURE 1 Schematic representation of a welfare optimizing IAM

Figure 12 : Schéma simplifié du fonctionnement d'un modèle d'évaluation intégrée d'optimisation du « bien-être » (Stanton et al., 2009)

Nous ne reviendrons pas ici sur le détail de l'établissement de ce taux, ni sur ces débats, et renvoyons les lecteurs intéressés vers l'Annexe III du rapport du groupe 3 du GIEC (IPCC, 2022e). Ce qui est à retenir, c'est que les nombreux travaux récents, évalués dans ce même rapport, soutiennent plutôt l'utilisation d'un taux d'actualisation considéré comme « bas », à hauteur de 2-3 %. Cela a une influence significative sur les trajectoires projetées par les modèles, que ce soit pour des analyses coût-efficacité ou des analyses coût-avantages : une atténuation forte et rapide est alors favorisée, afin de maximiser le bien-être social. Ces trajectoires dépendent également des différents coûts des mesures d'atténuation, de la « fonction de dommages » qui représente les impacts économiques du changement climatique, et de l'incertitude sur la sensibilité climatique. Ces modèles et méthodes permettent également d'établir la trajectoire du « coût social du carbone » (« social cost of carbon »), défini comme étant la « valeur actuelle nette de l'ensemble des dommages liés au climat (exprimé par une valeur positive) causés par l'émission d'une tonne de carbone supplémentaire, sous forme de dioxyde de carbone (CO₂), en tenant compte de la trajectoire mondiale des émissions au fil du temps » (IPCC, 2018). Cette valeur, qui évolue donc au fil du temps, est utilisée par les gouvernements pour évaluer les investissements et politiques climatiques.

Nous allons tout de même préciser plusieurs notions sur le taux d'actualisation, pertinentes pour l'étude des inégalités : en effet, en fonction de la manière dont l'optimisation du bien-être est faite par les modèles, et en raison de la façon dont ce taux est établi, certains

facteurs peuvent avoir une influence (IPCC, 2022e). Comme l'équation qui le définit comporte l'évolution de la consommation des ménages, si les inégalités augmentent au fil du temps, cela aura tendance à limiter la croissance de cette consommation, contribuant à réduire le taux (Stern, 2007). Également, si les incertitudes deviennent de plus en plus élevées au fil du temps, et c'est le cas avec le changement climatique, cela pousse également à adopter un taux d'actualisation réduit (*ibid.*, Weitzman, 2011). Enfin, si l'on souhaite étudier l'évolution du bien-être de différentes catégories de ménages, il est pertinent d'attribuer un taux d'actualisation distinct pour chaque catégorie. Le rapport Stern mentionnait ainsi : « if the consumption of one group is rising but another is falling, then the discount rate would be positive for the former but negative for the latter » (Stern, 2007). Nicholas Stern résumait de cette manière la question, profondément éthique, du choix du taux d'actualisation : « If the ethical judgement were that future generations count very little regardless of their consumption level then investments with mainly long-run pay-offs would not be favoured. In other words, if you care little about future generations you will care little about climate change » (*ibid.*).

2.2.2 Estimations des coûts du changement climatique

Les travaux tentant d'évaluer le coût des impacts du changement climatique sont nombreux et divers aussi bien dans leurs méthodologies, que leurs résultats. Le GIEC a, heureusement pour nous, présenté une évaluation de ceux-ci dans le chapitre 16 du rapport du groupe II (IPCC, 2022c). Le paragraphe suivant repose sur cet encadré, intitulé « Estimating Global Economic Impacts from Climate Change », présentant les méthodes utilisées et les incertitudes associées pour ces différentes évaluations. Ces travaux tentent de calculer les impacts des phénomènes dus au changement climatique sur les différents secteurs de l'économie, y compris pour des domaines « non marchandables » mais ayant tout de même une valeur : agriculture, énergie, productivité du travail, santé humaine, écosystèmes, etc. Il y a plusieurs méthodes pour établir les dommages économiques dus au changement climatique, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients. La modélisation de processus biophysiques permet de simuler le coût de phénomènes naturels, il est cependant difficile de calibrer ces modèles, et ils représentent difficilement les éventuelles propagations des impacts dans l'économie. Les modèles structurels permettent de représenter les impacts sur les composantes classiques de l'économie, et leur diffusion entre celles-ci : production, consommation des ménages, investissement, marchés, secteurs, régions, etc. Ils reposent généralement sur un cadre d'équilibre général. Les méthodes statistiques, ou économétriques, étudient les impacts

économiques de manière agrégée, ou bien sur un secteur donné, à partir de données climatiques et météorologiques historiques. Comme leur nom l'indique, les approches hybrides combinent plusieurs de ces méthodes. Chaque évaluation, en plus d'utiliser une ou plusieurs de ces méthodes, se concentre sur un périmètre distinct : période, secteurs, régions, types d'impacts, projections socioéconomiques, etc. Cela rend compliquées les comparaisons entre les résultats, qui diffèrent largement d'une étude à l'autre. Les incertitudes sont généralement importantes. Ainsi, les critiques des méthodes d'estimation globales sont presque aussi nombreuses que lesdites estimations, tout comme les défis pour de futurs travaux. Il reste possible de tirer des conclusions générales relativement robustes : les dommages économiques augmentent avec le réchauffement, et ce, de manière non-linéaire. De plus, les estimations des travaux les plus récents présentent des variations plus importantes et des valeurs plus élevées que dans l'évaluation précédente. La figure ci-dessous illustre l'encadré et présente ces différentes estimations de pertes de PIB en fonction de l'élévation de température, pour les différents types de méthodes :

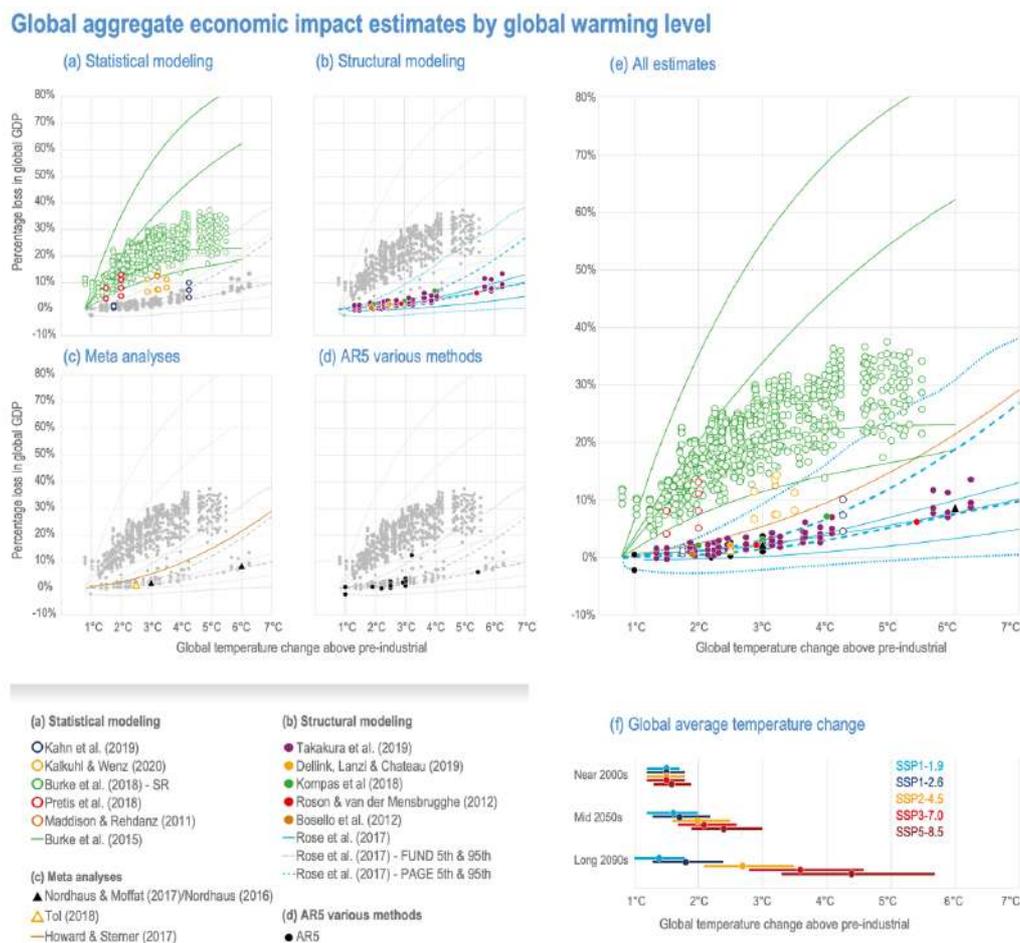


Figure 13 : Extrait de la figure 1 de la Cross-Working Box « Estimating Global Economic Impacts from Climate Change », (IPCC, 2022c)

Les incertitudes sont ainsi très grandes, et les nombreuses différences entre les méthodologies empêchent le GIEC de présenter des estimations robustes et quantitatives pour les impacts économiques globaux. L'encadré précise également que les dommages économiques peuvent varier grandement entre les régions, en fonction de la méthodologie et des modèles utilisés ainsi que des postulats socioéconomiques. Certaines régions pourraient même avoir un résultat net positif pour des niveaux de réchauffement peu élevés. Il est à noter que les dommages économiques exprimés en termes de PIB sous-représentent les impacts sur les ménages et pays les plus pauvres. Également, les dommages économiques sont parfois présentés sous forme d'impact sur le taux de croissance économique du PIB.

Le groupe III du GIEC a utilisé ces estimations pour évaluer les bénéfices économiques des impacts évités grâce à l'atténuation des émissions et les comparer aux coûts de ladite atténuation. Ces bénéfices, auxquels s'ajoutent les coûts d'adaptation évités, augmentent avec la mise en œuvre de mesures fortes d'atténuation. Les modèles d'évaluation intégrée estiment que le coût de l'atténuation pour limiter le réchauffement à +2 °C en 2100 est inférieur aux bénéfices liés à la réduction du réchauffement, sauf si les dommages économiques du changement climatique se situent dans la partie basse des estimations et que les dommages futurs sont actualisés avec un taux élevé (IPCC, 2022d). Le Résumé Technique indique que les trajectoires limitant le réchauffement à +2 °C induisent des coûts importants à court terme, mais apportent des bénéfices économiques à long terme et limitent rapidement le coût des impacts climatiques (IPCC, 2022h). Les différents postulats sur le taux d'actualisation ne changent pas cette conclusion générale, confirmant la pertinence – au sens de l'optimisation économique – de l'objectif de température décidé lors de la signature de l'Accord de Paris (Glanemann *et al.*, 2020, Hansël *et al.*, 2020). Ces postulats influent cependant sur la trajectoire d'atténuation à suivre pour respecter cet engagement : des taux bas favorisent une atténuation plus « précoce », limitent la dépendance à l'élimination du dioxyde de carbone (« Carbon dioxide removal », CDR) et le risque de dépassement du seuil de température (IPCC, 2022h).

Pour résumer, bien qu'il y ait des incertitudes élevées, les impacts économiques du changement climatique peuvent devenir conséquents, y compris à partir de niveaux de réchauffement « peu élevés », dès +2 °C. Cela rend l'action climatique, via l'atténuation, pertinente d'un point de vue économique, et dans une mesure plus importante que dans les évaluations antérieures. De plus, les dernières études publiées confirment que les impacts

économiques sont probablement plus élevés que ce qui était auparavant estimé, en raison de la diffusion des impacts dans l'économie (Bastien-Olvera *et al.*, 2022), de la prise en compte des événements extrêmes (Pitman *et al.*, 2022), ou encore la possibilité de déclenchement de points de bascule (Lemoine & Traeger, 2016, Dietz *et al.*, 2021, Taconet *et al.*, 2021), autant de phénomènes qui ont pour conséquence de modifier les trajectoires « optimales » des modèles coûts-avantages. Ces résultats sont cohérents avec des expériences telles que celle de Woillez *et al.*, 2020, qui étudiaient les conséquences économiques d'une baisse de la température pour deux fonctions de dommages « classiques ». Les estimations du coût social du carbone ont ainsi été revues à la hausse (Rennert *et al.*, 2022). Il est également à noter que de nombreux modèles d'évaluation intégrée utilisent des modules climatiques simplifiés qui simulent un délai entre les émissions de CO₂ et l'élévation de température, ou omettent les rétroactions du cycle du carbone (Allen, 2016, Dietz *et al.*, 2021). En utilisant des trajectoires correspondant aux résultats des modèles climatiques plus complexes et représentant mieux le système climatique (« Earth System Models » ou « Global Circulation Models »), cela aurait pour conséquence d'augmenter le prix du carbone et la nécessité de mesures d'atténuation fortes et rapides (*ibid.*).

3. Inégalités futures et changement climatique

Nous avons désormais une vision de la situation de départ avec les inégalités économiques actuelles et leurs tendances, développées dans la partie 1 du mémoire. Dans la partie 2, nous avons présenté les principes et outils des projections climatiques, de manière à pouvoir les interpréter, puis nous avons détaillé les méthodes d'estimation des dommages économiques dus au changement climatique. Dans cette troisième et dernière partie, nous allons utiliser l'ensemble de ces éléments pour étudier les évolutions possibles des inégalités au cours du XXI^{ème} siècle. La première section présentera les travaux qui projettent l'évolution des inégalités sans changement climatique, établissant des scénarios dits « de référence ». La seconde section synthétisera les résultats des travaux ayant modélisé l'évolution des inégalités lorsqu'on ajoute les conséquences du changement climatique, à la fois des impacts et des mesures d'atténuation. Enfin, la troisième section reviendra sur les enjeux et incertitudes de ces modélisations, en explorant des axes de recherches futurs.

3.1 Futurs possibles des inégalités « hors climat » : les scénarios SSP

Nous avons présenté les scénarios SSP dans la section 2.1.3. Ceux-ci permettent d'explorer, indépendamment du changement climatique, différentes orientations futures des sociétés et, notamment, l'évolution des inégalités. Nous allons observer plus en détails ces différentes évolutions, sans climat donc, dans la section suivante. Ces éléments sont indispensables pour l'étude des inégalités en lien avec le changement climatique, afin d'avoir des scénarios « de référence » permettant d'étudier les conséquences des impacts et des politiques climatiques.

Comme nous le mentionnions précédemment, chaque SSP est caractérisé par des évolutions quantitatives distinctes en termes de PIB, de population et d'urbanisation. Ces données ne sont pas globales, mais agrégées à partir de projections effectuées à différentes échelles. Pour le PIB, les projections des différents SSP ont été établies à des niveaux nationaux et régionaux grâce aux travaux de trois équipes, de l'OCDE (Dellink *et al.*, 2017), de l'IIASA (Cuaresma, 2017) et du PIK (Leimbach *et al.*, 2017), en suivant les narratifs établis par O'Neill

et al. (2017)²³. Pour rappel, comme nous pouvons l’observer dans la figure de la section 2.1.3 présentant les caractéristiques quantitatives des SSP, ainsi que dans la figure ci-dessous provenant de Dellink *et al.* (2017), la croissance économique globale est forte dans le SSP5, tandis qu’elle est limitée – mais bien présente – dans le SSP3, légèrement plus élevée dans le SSP4, et entre ces deux opposés pour les SSP1 et SSP2.

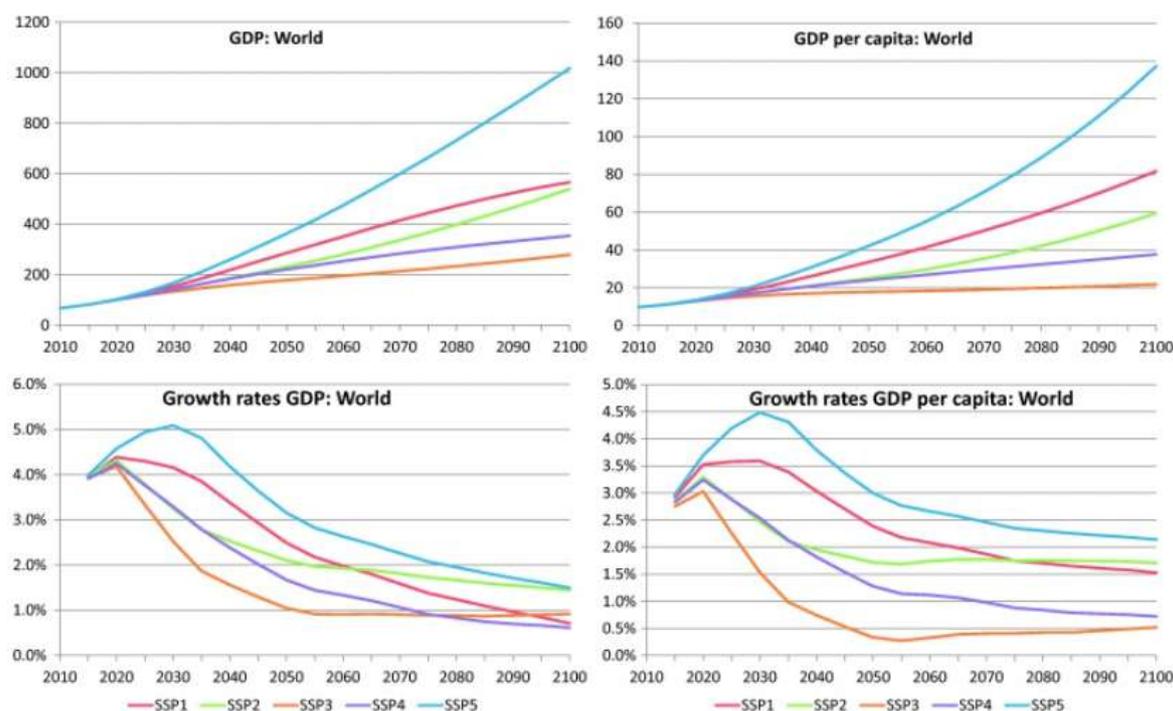


Figure 14 : « Global GDP (trillion 2005 USD) and income levels (thousand 2005 USD) for the five SSPs and associated average annual growth rates over a 5-year period (%/year) » (Fig. 3 de Dellink *et al.*, 2017)

L’étude des inégalités permet d’observer comment cette richesse globale projetée se partage entre les différentes régions au fil du temps. Les données concernant l’évolution des PIB nationaux et régionaux permettent de quantifier l’évolution des inégalités entre pays ou régions, une fois ramenée à la population. C’est ce que présentent Dellink *et al.* (2017), dans la figure page suivante²⁴, à gauche sous forme de coefficient de Gini, à droite avec un rapport dynamique entre le décile des pays les plus riches et le décile des pays les plus pauvres :

²³ Une mise-à-jour des narratifs et postulats des scénarios SSP est d’ailleurs en cours d’élaboration, notamment pour intégrer les effets de la crise de la Covid sur les projections de court et moyen terme, c’était l’objet de certains ateliers du Scenarios Forum 2022 : <https://scenariosforum.org/>

²⁴ Pour les pays dont les données étaient disponibles, c’est-à-dire 126 au total.

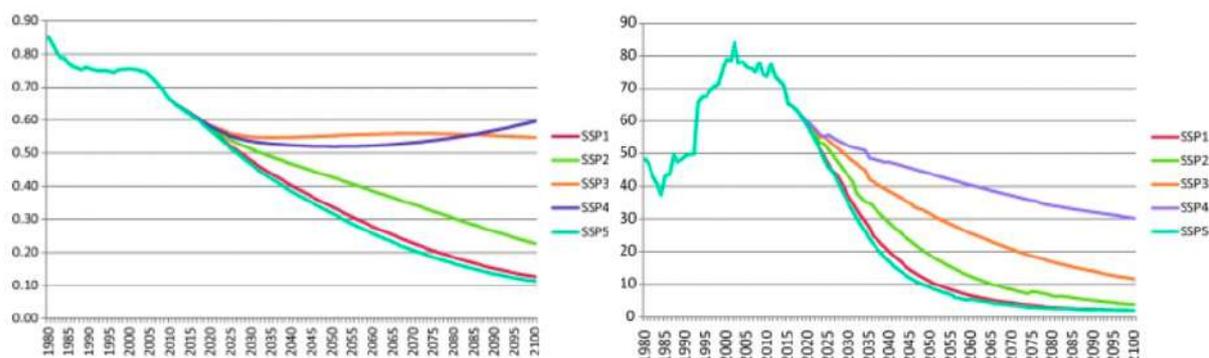


Figure 15 : À gauche : « Historical trends and projections for the between-country Gini coefficient » ; À droite : « Historical trends and projections for the top-bottom decile income ratio » (Dellink *et al.*, 2017)

On observe ainsi les trajectoires des inégalités décrites par les narratifs des différents SSP. Les SSP1 et SSP5 marquent une convergence forte, avec le rattrapage des pays en développement. Celle-ci est plus limitée dans le SSP2. Dans le SSP3, la croissance économique est faible en raison d'une « démondialisation » et les inégalités demeurent à un niveau proche de l'actuel, tandis que dans le SSP4, elles se réduisent pendant plusieurs décennies avec un rattrapage de certaines économies émergentes, puis repartent à la hausse car une partie des pays « les moins avancés » ne parviennent pas à rattraper les autres régions. Nous rappelons qu'il s'agit ici d'inégalités entre pays : dans ce scénario SSP4, il est à noter qu'il y a aussi une augmentation des inégalités au sein des pays, nous y revenons plus loin. Les auteurs de l'article mettent en garde concernant le fait que les projections économiques – qui ne sont pas des prédictions, rappellent-ils – pourraient s'avérer optimistes, ne prenant pas en compte d'éventuels phénomènes : « The projections ignore other barriers to growth, that have historically played a large role in inequality between countries, such as lack of transport and energy infrastructures, war, natural disasters, discovery of valuable resources, and lack of good governance structures. [...] the model is neither capable of predicting unexpected large booms nor the temporary or permanent collapse of the economy » (Dellink *et al.*, 2017).

Ces données ne permettent donc pas d'évaluer ce qu'il se passe pour les inégalités au sein des pays. C'est ce que Van der Mensbrugge (2015) a souhaité explorer. Pour cela, il a utilisé ces projections de PIB des SSP, ainsi que des données sur la distribution actuelle des revenus provenant de la Banque mondiale (pour les pays en développement) et de l'OCDE (pour les pays développés). À partir des narratifs de chaque SSP concernant les inégalités (postulats qualitatifs sur leur évolution, à la baisse, à la hausse ou bien en stagnation, en fonction des régions, voir l'annexe VII) et des projections démographiques associées à chacun

(KC & Lutz, 2017), il a projeté l'évolution des inégalités en tenant compte de la distribution des revenus au sein des pays :

Fig. 6: Global Gini trends including assumptions of within-country distribution

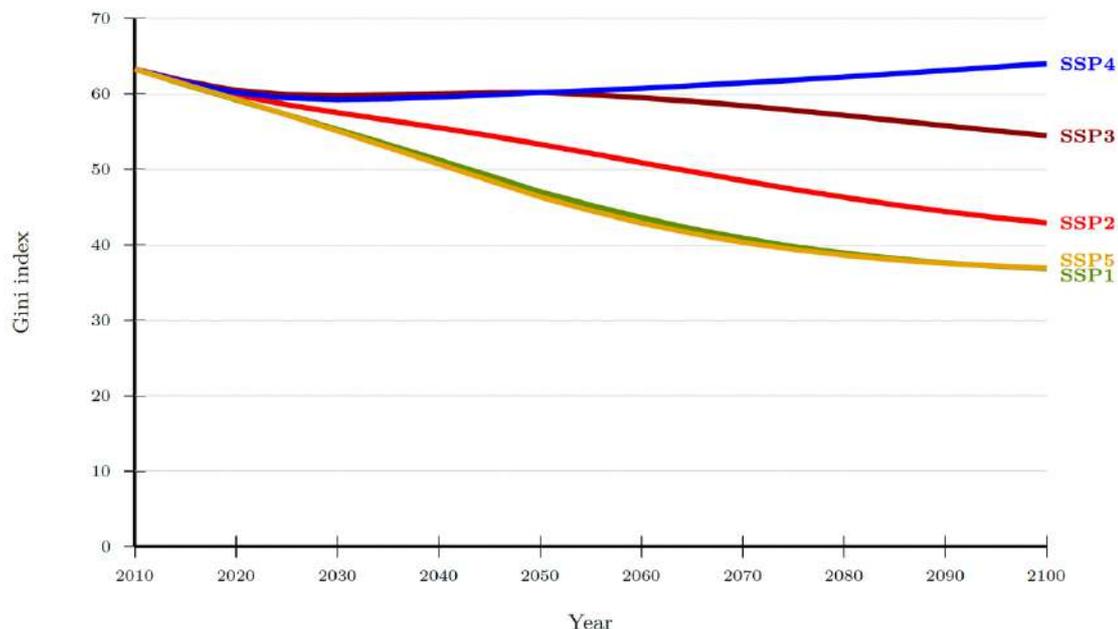


Figure 16 : L'indice de Gini de chaque SSP au niveau global, en intégrant une distribution de revenus au sein des pays (van der Mensbrugge, 2015)

Le résultat principal de van der Mensbrugge réside dans la différence avec les projections de l'indice de Gini que l'on pouvait observer dans la figure précédente de Dellink *et al.* (2017) : la prise en compte de la distribution des revenus au sein des pays limite l'effet de réduction des inégalités entre pays que l'on pouvait observer précédemment. Dans le SSP4, les inégalités se stabilisent assez rapidement, avant de repartir lentement à la hausse. Dans le SSP3, elles finissent par s'abaisser, en raison de la stagnation des pays à hauts revenus. Il est intéressant de voir que les courbes des SSP1 et SSP5 se superposent : cela permet de rappeler que les inégalités sont des rapports, et peuvent masquer des mondes très différents. Par exemple, dans le SSP5, bien que l'évolution démographique soit relativement similaire à celle du SSP1, le PIB mondial en 2100 est proche du double de celui-ci. Mais la répartition de la richesse produite entre régions et catégories de population suit une trajectoire presque identique, avec le rattrapage important des pays en développement.

Rao *et al.* (2019) ont également effectué un travail de projection des inégalités de revenu au sein des pays, avec cette fois-ci plus de détails, dans le but de tester la cohérence des

postulats des SSP. Ils ont utilisé le modèle d'un article ayant étudié les déterminants de l'évolution des inégalités au cours des trois dernières décennies, 1980-2010 : les facteurs retenus sont la « productivité globale des facteurs » (total factor productivity, TFP, qui représente dans ce modèle l'évolution technologique), le niveau d'éducation et les dépenses publiques sociales (Rao *et al.*, 2016). Une fois ajustés à chaque narratif, ils permettent de projeter les évolutions des inégalités de revenu pour chaque SSP (voir les postulats détaillés dans l'annexe VIII). Les résultats présentent les évolutions possibles des inégalités de revenu pour certains pays, et au sein des régions. Il est intéressant d'observer que les trajectoires globales représentées par un indice de Gini agrégé peuvent masquer des distinctions importantes en fonction des régions :

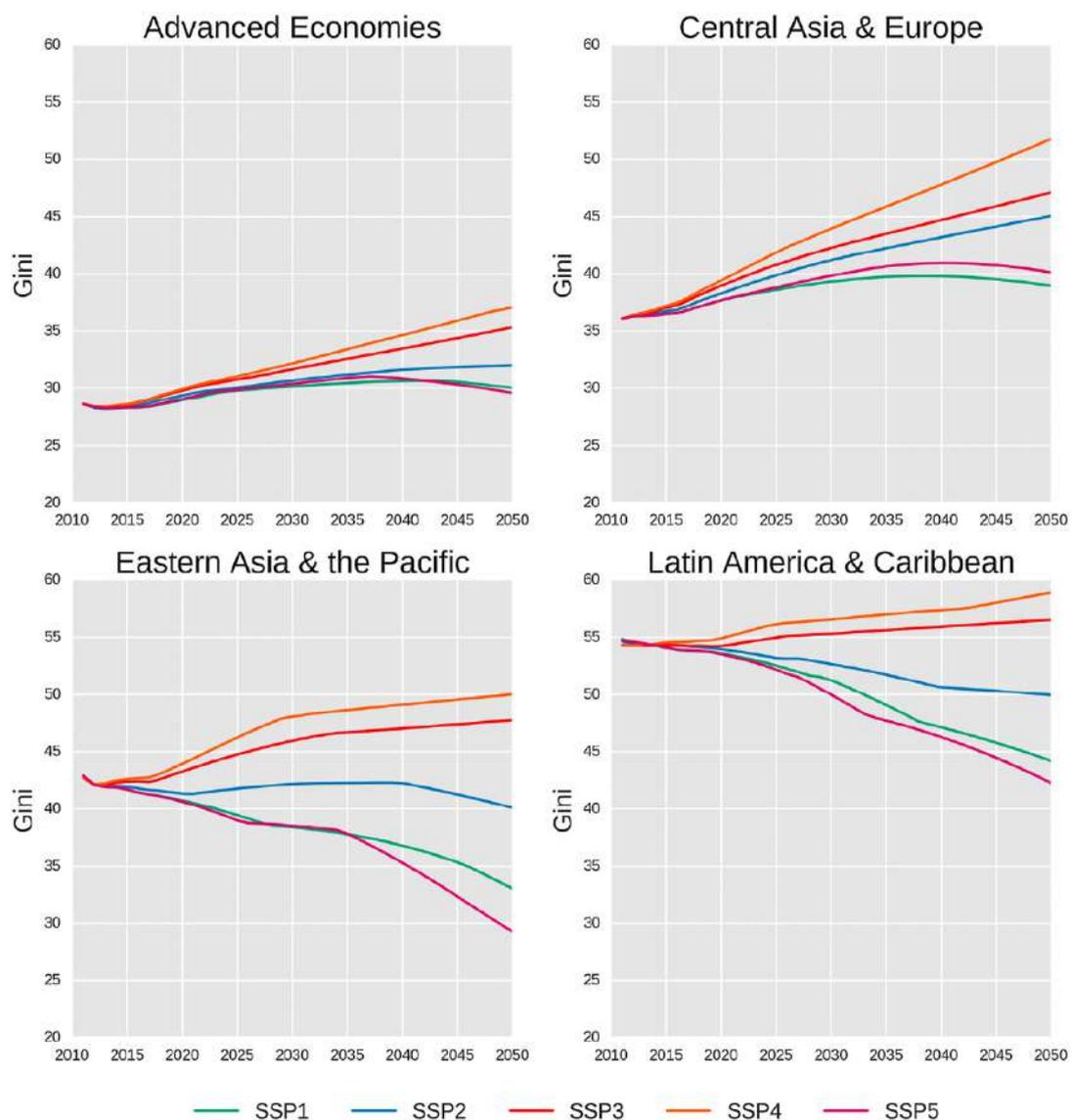


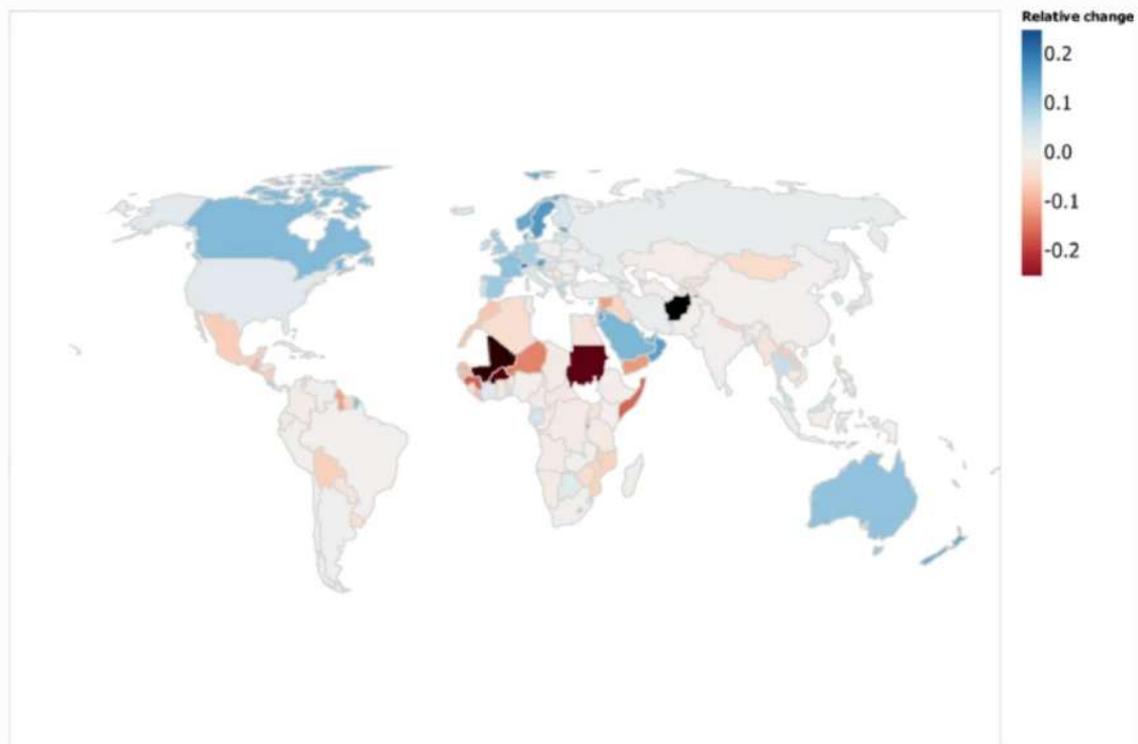
Fig. 4. Regional median Gini trends for SSPs.

Figure 17 : Indices de Gini médians pour trois régions et les économies « avancées » (Rao *et al.*, 2019)

Les auteurs n'ont pas souhaité aller au-delà de 2050, estimant les incertitudes trop élevées. Parmi les limitations de leur modèle, le manque d'intégration des politiques de redistribution, ainsi que des hauts revenus, sont identifiés comme des axes de recherche futurs. Ils mentionnent notamment le fait que, lorsque l'on représente les évolutions des inégalités de revenu au sein des pays, les évolutions sont moins « optimistes » que pour les inégalités entre les pays. En particulier, ils comparent le SSP2 (considéré comme le plus représentatif des tendances actuelles, IPCC, 2022g) au SSP1 et indiquent, à propos de la divergence émergente entre les deux scénarios : « A shift to a more equitable world [vers le SSP1] will require a significant shift in social policies and increased public spending on human capital, including health and education, in order to counter historical structural inequality-increasing trends [qui dirigent plutôt vers le SSP2] ».

Un travail impressionnant traitant de l'évolution future des inégalités dans les scénarios SSP est celui de Benveniste *et al.*, 2021. L'équipe de chercheurs ne se concentre pas directement sur les inégalités elles-mêmes, mais sur les migrations, en comparant leurs effets sur les transferts de revenus. Ils ont utilisé, pour cela, les scénarios SSP, qui intègrent en plus des autres postulats socioéconomiques des postulats explicites et implicites sur les migrations. Leurs résultats montrent que les migrations augmentent la richesse globale, et tendent à réduire les inégalités de revenu entre les pays et au sein des pays de destination, mais ne réduisent pas forcément les inégalités au sein des pays de départ, voire, dans certains cas, les augmentent. Ces résultats sont valables pour les cinq scénarios SSP, avec des variations tout de même significatives entre eux : dans le scénario SSP4 notamment, les inégalités persistantes donnent un rôle important aux migrations et aux transferts économiques associés, modifiant de manière plus visible la trajectoire des inégalités que pour les autres SSP. Les chercheurs ont utilisé la méthode de projection des inégalités de Rao *et al.* (2019) pour représenter les inégalités au sein des pays, avec et sans migrations. Le résultat montre que l'effet des migrations sur ces inégalités est dépendant à la fois du pays observé et du scénario SSP choisi, en raison des transferts économiques associés et du niveau « d'asymétrie économique » entre les pays de départ et les pays d'arrivée. La figure, page suivante, montre cela dans le cas du SSP2 en 2100, les pays en bleu voyant leurs inégalités réduire, les pays en rouge, augmenter, lorsque des migrations ont lieu :

Fig. 5



Within-country Gini coefficient. Country-specific relative changes without vs with migration for SSP2 ("Middle of the Road") by the end of the century. Countries in shades of blue present an increase in Gini without migration, thus a decrease in inequality with migration; countries in shades of red present an increase in inequality with migration. Missing data for the following countries: Barbados, Brunei Darussalam, Djibouti, Eritrea, Libya, Mauritania, Papua New Guinea, Uzbekistan

Figure 18 : Différence entre les inégalités au sein des pays avec et sans migrations, en 2100, pour le scénario SSP2, Benveniste et al., 2021

Nous avons pu observer dans cette section que, sans changement climatique, l'horizon des possibles en termes d'inégalités est relativement large, à la fois entre les pays et en leur sein. L'avenir peut aussi bien aller vers une convergence des économies et une réduction des inégalités entre catégories de population, que vers un monde de plus en plus inégal et presque dystopique. Il nous semble important de rappeler que ces évolutions possibles n'ont rien de « naturel » et n'adviennent pas par hasard, mais sont le résultat de choix politiques et économiques, actuels et futurs, des sociétés. Également, comme mentionné dès la première partie du mémoire, il est toujours important de distinguer les inégalités de revenu entre pays et les inégalités au sein des pays, qui n'évoluent pas forcément dans la même direction, ou de la même manière. Les représentations agrégées à des niveaux continentaux, voire au niveau mondial, sont susceptibles de masquer des différences importantes à des échelles plus

resserrées. Les différents travaux présentés dans cette section étudiaient des projections sans changement climatique²⁵. Elles sont importantes à connaître car elles servent de scénarios « de référence » pour ensuite étudier les influences mutuelles entre le changement climatique et ces trajectoires. Nous allons désormais observer ce qu’il se passe pour les inégalités de revenu lorsque l’on intègre la question climatique, c’est-à-dire les impacts du changement climatique et les politiques climatiques.

3.2 Modélisations des inégalités dans un contexte de changement climatique

3.2.1 Inégalités entre catégories de population, au sein des pays

Nous allons, dans cette section, présenter les résultats de plusieurs travaux ayant étudié l’évolution des inégalités en lien avec le changement climatique. Nous commencerons avec le passé : deux chercheurs ont exploré l’influence du changement climatique sur la trajectoire des inégalités au cours des cinquante dernières années (Diffenbaugh & Burke, 2019). D’après eux, le changement climatique a d’ores et déjà suffisamment touché l’économie des pays les plus pauvres pour atténuer la tendance globale à la réduction des inégalités mondiales entre pays, et contribuer à l’augmentation des inégalités entre classes de revenu (voir la figure en annexe IX). L’actualité récente semble confirmer ces résultats : la Banque africaine de développement estime que le continent subit une baisse de 5 % à 15 % de son PIB par habitant en raison des impacts du changement climatique (Reuters, 2022).

L’un des travaux les plus cités sur la question de l’évolution des inégalités et de la pauvreté en raison du changement climatique est celui de Hallegatte & Rozenberg (2017). Il s’agit d’une des premières estimations quantifiées des conséquences des aléas climatiques sur les ménages, en particulier les plus pauvres. Les études précédentes portaient d’approches « top-down », à partir d’estimations agrégées au niveau national et de fonctions de dommage

²⁵ Il est d’ailleurs important de noter, en lien avec l’étude précédente et des travaux antérieurs de la même chercheuse (Benveniste *et al.*, 2020, voir aussi Niva *et al.*, 2021), que les migrations peuvent être considérées comme des mesures d’adaptation au changement climatique : « Migration, when voluntary, safe and orderly, allows reduction of risks to climatic and non-climatic stressors » (IPCC, 2022a). Cela dépend des contextes politiques, notamment de gestion des frontières (Benveniste *et al.*, 2020), ainsi que des capacités des populations à émigrer, les plus pauvres pouvant rester « piégées » dans des zones où elles subiront de plein fouet les impacts climatiques (Benveniste *et al.*, 2022).

« globales ». Les deux chercheurs expliquent que cela permet difficilement d’appréhender ce qu’il se passe au niveau des populations marginalisées, notamment car elles ne représentent malheureusement qu’une infime portion du revenu national : « Poor people represent an extremely small share of national income—for instance the income of the poorest 20% of the households in Panama represent only 3% of GDP—so the impacts of climate change on poor people may have almost no impact on national income. One can imagine a scenario where only the poorest are affected by climate change: in that case, GDP would barely change, but poverty may increase nevertheless ». Les auteurs ont utilisé une approche « bottom-up », à partir d’enquêtes détaillées sur les modes de vie et la consommation des ménages, pour obtenir la distribution des revenus dans 92 pays. Ils ont utilisé deux scénarios SSP (SSP4 – intitulé « pauvreté » – et SSP5 – « prospérité » –) pour projeter l’évolution socioéconomique, et deux scénarios climatiques pour simuler les aléas à l’horizon 2030 (variation de la sensibilité climatique et non des émissions). Ces aléas étaient « traduits » en impacts climatiques sur les ménages via cinq « canaux » : les impacts sur l’agriculture (touchant les revenus des ménages vivant du travail agricole), sur les prix des denrées alimentaires (touchant plus fortement les ménages les plus pauvres), les événements extrêmes (provoquant des pertes de revenus), la productivité du travail (idem) et, enfin, sur la santé (coût des traitements et jours de travail perdus). Les résultats montrent le nombre de personnes supplémentaires dans l’extrême pauvreté en 2030, en fonction du scénario socioéconomique et du scénario climatique :

Figure 1: Number of additional people in extreme poverty in 2030 because of climate change, in the four scenarios.

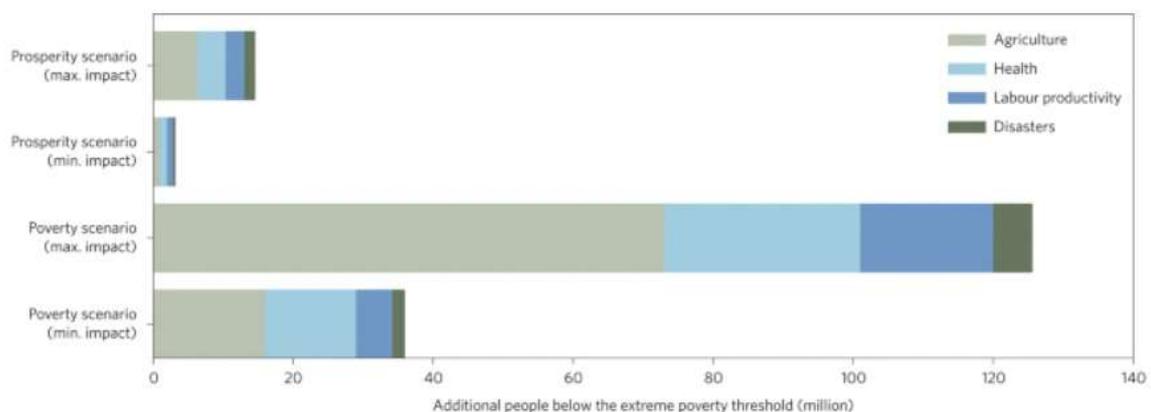


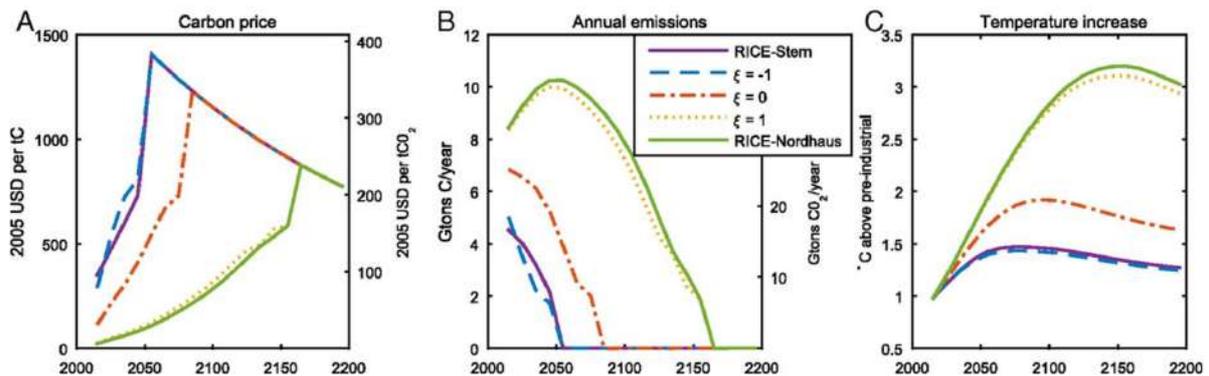
Figure 19 : Les scénarios climatiques déterminent l’intensité des impacts, indépendamment des émissions de gaz à effet de serre (incertitude liée à la sensibilité climatique), Hallegatte & Rozenberg, 2017

Avec ces paramètres, on constate l'importance des conséquences du changement climatique sur les plus pauvres, en particulier via l'agriculture et les prix des denrées alimentaires. L'article était seulement une première étape, montrant que les approches agrégées masquent une hétérogénéité importante entre les catégories de population, et qu'une meilleure représentation des ménages les plus vulnérables réévalue à la hausse les dommages économiques dus aux impacts climatiques. Les auteurs mentionnent de nombreux axes de recherche possibles : étude des effets des mesures d'atténuation pour limiter l'augmentation de la pauvreté, meilleures représentations dans les modèles de la diffusion des impacts climatiques ainsi que des caractéristiques des ménages et de leur évolution, nouvelles enquêtes pour recueillir des données, etc.

Le travail que nous avons identifié comme étant l'un des plus pertinents et reconnus sur les inégalités et le changement climatique est celui de Dennig *et al.*, 2015. Cette équipe de chercheurs a voulu étudier l'influence des inégalités, c'est-à-dire de la distribution des revenus au sein des populations, sur les trajectoires dites « optimales » d'atténuation des émissions obtenues avec un modèle d'évaluation intégrée de type coûts-avantages. Ils ont, pour cela, utilisé une base du modèle RICE, qui est la version régionalisée du célèbre modèle DICE. Au sein de chacune des douze régions de ce modèle, la population a été divisée en quintiles de revenu à partir de données de la Banque mondiale. Dans ce nouveau modèle, intitulé NICE – pour « Nested Inequalities Climate-Economy model » –, la fonction de dommage réduit la consommation de chaque segment selon une élasticité donnée par rapport à leur revenu. Les chercheurs peuvent ainsi observer différentes répartitions des dommages climatiques sur les différentes catégories de population, selon trois calibrations distinctes : « Elasticities of 1, 0, and -1 correspond to damage being proportional, independent, and inversely proportional to income. To illustrate, consider a population of two equally large income groups A and B, with A earning USD 4,000, and B USD 40,000 a year²⁶. If this “economy” suffers 5% damage, they jointly lose USD 2,200. If $\xi=1$, A loses 200 and B loses 2,000. If $\xi=0$, both A and B lose 1,100. If $\xi=-1$, A loses 2,000 and B loses 200. B goes from losing 5% to 2.75% to 0.5%, whereas A goes from losing 5% to 27.5% to 50%. The value of ξ affects only the distribution, and not the total amount of damage ». Cet exemple illustre bien l'importance de la répartition des dommages au sein d'une population, et l'influence potentielle sur la trajectoire des inégalités.

²⁶ Les auteurs précisent ici, pour illustrer leur exemple : « The ratio between the bottom and the top quintiles' income in China is approximately 1:10 ».

Les auteurs mentionnent le fait que cette élasticité est probablement inférieure à 1 en pratique (ce que des travaux ultérieurs confirment, voir Hsiang *et al.*, 2019, dans la section suivante), et même, potentiellement négative pour certains impacts. Voici les résultats du modèle NICE – paramétré avec les valeurs de Nordhaus pour la préférence ξ temporelle et l’aversion à l’inégalité – pour les trois élasticités, ainsi que les trajectoires de RICE, sans inégalités donc, pour deux postulats distincts de taux d’actualisation (Stern – bas –, et Nordhaus – haut –) :



The three panels plot model outcomes in NICE for different values of the income elasticity of damage: $\xi = 1, 0,$ and -1 . Also shown are the optimal policies in our implementation of RICE for the (different) specific assumptions about discounting endorsed by Nordhaus vs. Stern. RICE-Nordhaus and $\xi = 1$ are similar, as are RICE-Stern and $\xi = -1$. (A) Optimal policy (carbon price trajectories). The descending line eventually joined by all price trajectories is the assumed trajectory of the maximum of the regional backstop prices. (B) The total emission rates for these policies. (C) The corresponding atmospheric temperatures.

Figure 20 : Les résultats de NICE selon les trois élasticités, comparés aux résultats de RICE pour deux taux d’actualisation distincts (Dennig *et al.*, 2015)

On distingue clairement le résultat principal des chercheurs : la distribution des dommages climatiques a une influence significative, du même ordre de grandeur que le choix du taux d’actualisation (différence entre les trajectoires RICE-Stern et RICE-Nordhaus ici), sur les trajectoires « optimales » d’atténuation des émissions, en raison de la forte perte de « bien-être social » des catégories les plus pauvres lorsque la distribution est régressive ($\xi=0$), voire très régressive ($\xi=-1$), ce qui induit alors un prix du carbone bien plus élevé et une atténuation des émissions beaucoup plus précoce. Les auteurs indiquent que leur approche est similaire à celle de Weitzman (2011) concernant la distribution des dommages, excepté qu’il s’agit cette fois d’une distribution au sein des populations, intragénérationnelle. Ce travail permet de mettre en avant l’effet du changement climatique sur les plus pauvres, à la différence des projections agrégées à des niveaux globaux ou régionaux. Les auteurs montrent également que la consommation de ce groupe pourrait réduire dans ce que certains modèles considèrent

pourtant comme une trajectoire « optimale » (RICE-Nordhaus notamment). Leur conclusion est claire : « This finding shows why ignoring inequality within regions may be unacceptable from the perspective of both justice and sustainability, if one understands justice as requiring that (current) benefits to the affluent should not stem from activities that harm the (future) poor, and sustainability as requiring that future generations be able to sustain their predecessors' level of living standards, not only on average but also in the most disadvantaged groups ».

La même équipe de chercheurs a ensuite publié une analyse de sensibilité du modèle, afin d'étudier quels sont les facteurs les plus importants influençant la modification des trajectoires « optimales » (Budolfson *et al.*, 2017). Ils en concluent que l'un des paramètres du taux d'actualisation, l'aversion à l'inégalité, influence la trajectoire dans une direction ou dans une autre en fonction des paramètres de distribution des impacts et des coûts de l'atténuation, et du taux de préférence temporelle choisi. Également, cette distribution des impacts et des coûts de l'atténuation au sein des population a une influence plus significative sur les trajectoires « optimales » que les différentes fonctions de dommages. Plus récemment, ces mêmes chercheurs ont utilisé le modèle NICE pour explorer les effets de politiques de redistribution progressive d'une taxe carbone sur la pauvreté et les inégalités, dans le cas d'un scénario limitant le réchauffement à +2 °C (Budolfson *et al.*, 2021). Au modèle original comprenant douze régions divisées en quintiles de population selon leur revenu, les auteurs ont ajouté la possibilité de redistribuer les revenus de la taxe carbone dans chaque région, d'un montant égal pour chaque personne. En fonction du montant de taxe payé à l'origine (qui, seul, forme le scénario d'atténuation sans redistribution) par chaque segment de population, certains reçoivent plus et sont alors bénéficiaires nets. Le résultat, donné pour le quintile le plus pauvre de chaque région, est clair : en l'absence de redistribution des revenus de la taxe carbone, les plus pauvres voient leur consommation baisser par rapport au scénario sans politiques climatiques. Dans le scénario avec redistribution, à l'inverse, cette consommation est même plus élevée que dans le scénario sans politiques climatiques pendant plusieurs décennies, avant de diminuer progressivement en raison de la baisse des revenus provenant de la taxe carbone : c'est l'effet de la « courbe de Laffer du carbone », due à la diminution progressive de ces revenus au fur et à mesure que les sociétés se décarbonent, après avoir passé un pic. C'est un effet important dans un modèle qui optimise le « bien-être social » : cela pour conséquence de mener à une trajectoire d'atténuation plus forte dans le court terme (afin de limiter les dommages dus au réchauffement futur et de générer des revenus) mais qui « traîne » à décarboner pleinement l'économie, afin de continuer de redistribuer lesdits revenus. À

l'inverse, le scénario sans redistribution projette une atténuation plus modérée dans le court terme afin de limiter les impacts des coûts de l'atténuation, mais atteint par conséquent plus rapidement la décarbonation complète. Ces résultats – robustes avec différentes fonctions de dommages – remettent en question l'idée d'un difficile mais nécessaire arbitrage entre les coûts de l'atténuation aujourd'hui, qui pèseraient notamment sur les plus pauvres, et les bénéfices futurs : le « bien-être social » au cours du temps est plus élevé dans le scénario avec redistribution que celui sans, mais il est aussi plus élevé que celui du scénario sans politiques climatiques. Il s'agirait donc d'une mesure « sans regrets », permettant de diminuer les inégalités et réduire la pauvreté, tout en limitant le réchauffement du climat. Il est également à noter les résultats d'Anthoff & Emmerling (2019) qui, à partir de deux modèles d'évaluation intégrée de type coûts-avantages (FUND et RICE), montrent que l'intégration des inégalités sous la forme de distribution des revenus et dommages climatiques modifie l'évaluation du coût social du carbone : il est alors plus élevé dans les pays riches, et moins élevé dans les pays pauvres.

3.2.2 Inégalités entre les pays et changement climatique

Nous avons souhaité, dans ce mémoire, nous concentrer sur les inégalités entre catégories de population. Nous avons cependant précédemment vu qu'il était indispensable d'observer les inégalités entre pays, et au sein des pays, pour avoir une vision pertinente de la situation et de son évolution. Dans cette section, nous allons présenter deux études qui ont exploré l'évolution des inégalités entre les pays en lien avec le changement climatique.

Le travail de Taconet *et al.* (2020) fait partie de l'un des plus aboutis sur la question des impacts du changement climatique et des inégalités. Ce sont les inégalités entre pays qui ont été étudiées ici, en tenant compte des différentes trajectoires socioéconomiques possibles via l'utilisation des SSP, des coûts de l'atténuation – et leur répartition –, ainsi que des dommages économiques dus au changement climatique – et leur distribution –. Les chercheurs montrent que les déterminants principaux de la trajectoire future des inégalités entre les pays sont les postulats socioéconomiques et le niveau des dommages climatiques (et leur régressivité), les premiers étant prédominants à court et moyen terme, les seconds à long terme. Sous certains postulats, le poids des impacts climatiques sur les pays les plus pauvres pourrait renverser la tendance à la baisse des inégalités. Les auteurs décrivent « l'ambiguïté » de l'effet des coûts de l'atténuation sur la trajectoire des inégalités entre pays : d'une part, ces coûts ont tendance à

être régressifs, demandant une proportion plus élevée de leur revenu aux pays les plus pauvres, ce qui peut être limité par la mise en place de transferts internationaux financiers et technologiques. D'autre part, l'atténuation globale des émissions limite les dommages futurs causés par les aléas climatiques, qui touchent plus fortement ces mêmes pays. L'évolution des inégalités dépend alors de la façon dont les efforts d'atténuation sont répartis, et de l'ampleur et la distribution des dommages climatiques. Les auteurs ont représenté ces derniers de différentes manières dans leur étude, avec différentes fonctions de dommages provenant de modèles d'évaluation intégrée, et d'études économétriques (qui ont tendance à prévoir des impacts plus forts dans les pays pauvres).

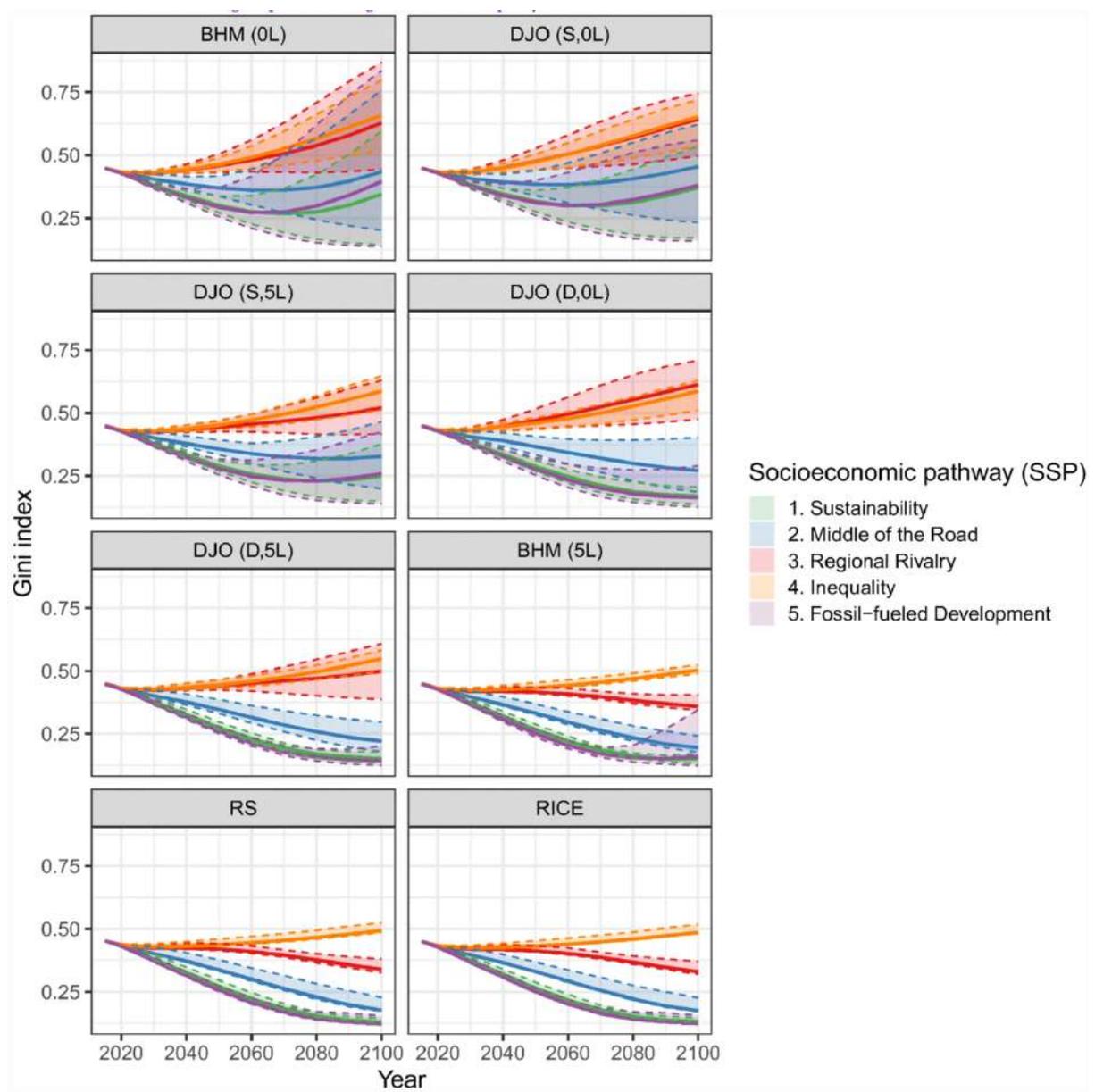
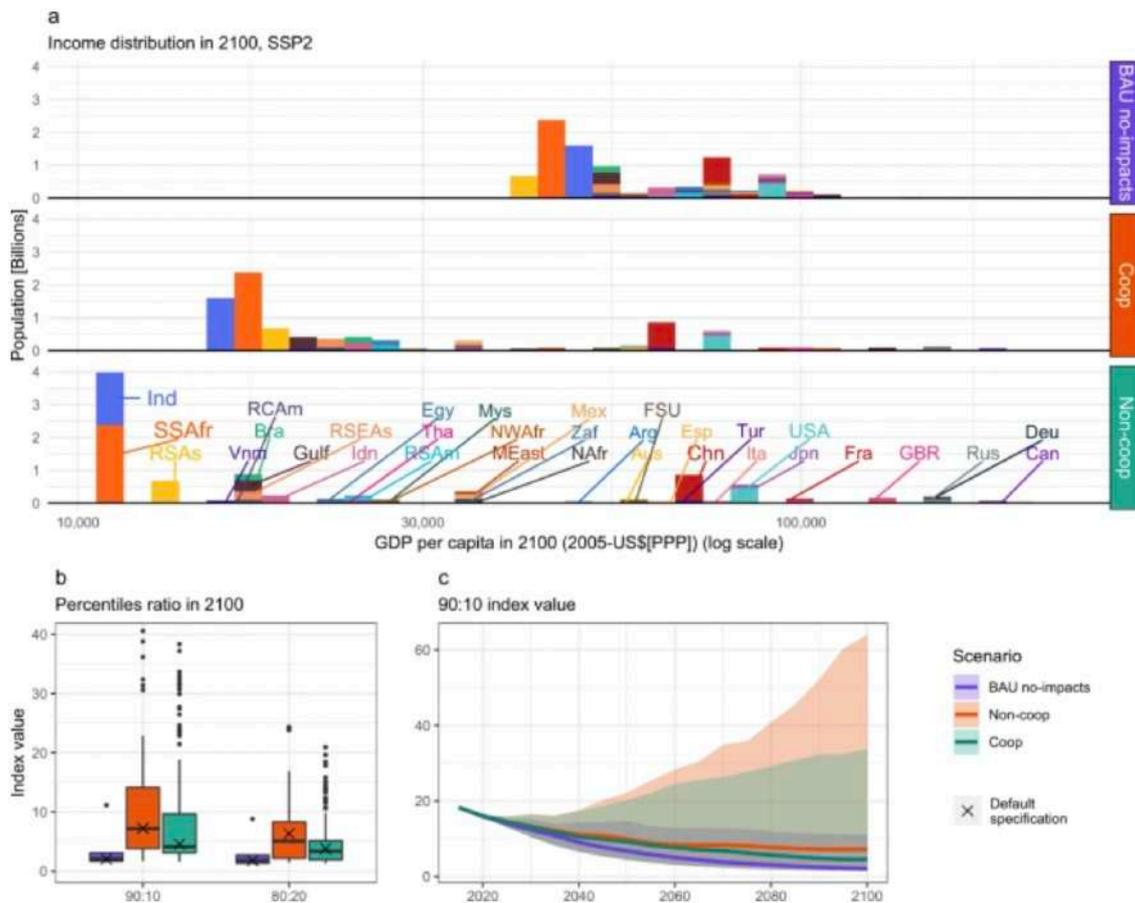


Figure 21 : Figure 1, « Evolution of the Gini index over time », chaque panneau représentant une fonction de dommage distincte, Taconet et al., 2020

La figure ci-dessus montre l'évolution projetée des inégalités entre pays en fonction de différentes fonctions de dommages climatiques, les six premières (économétriques) étant plus régressives que les deux dernières. Ainsi, même dans des scénarios socioéconomiques « optimistes », les impacts climatiques pourraient renverser la tendance baissière des inégalités. En résumé de ce travail, l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre a un rôle important dans l'évolution future des inégalités en limitant les impacts climatiques futurs, à condition qu'elle ne soit pas mise en place d'une manière qui pénalise fortement les pays les plus pauvres. Au-delà des incertitudes inhérentes aux modèles d'évaluation intégrée (coûts de l'atténuation, coûts des dommages), il y a également des incertitudes aux conséquences opposées : d'un côté, l'adaptation pourrait limiter les impacts du changement climatique ; de l'autre, les impacts du changement climatique pourraient s'avérer plus importants que prévus, par exemple avec le franchissement de points de bascule (Kemp *et al.*, 2022, Armstrong McKay *et al.*, 2022).

Gazzotti *et al.* (2021) présentent un modèle coûts-avantages avec 50 pays et des dommages économiques calibrés pour chacun d'entre eux. Les chercheurs ont simulé les résultats pour les différents SSP, avec trois paramètres (ou scénarios) : l'un sans dommages climatiques ni atténuation, les deux autres avec atténuation, mais avec ou sans coopération entre les pays. Leur but est de comparer l'influence du comportement des pays sur la trajectoire de réduction des émissions avec un modèle qui optimise le « bien-être social ». Le résultat est clair : la coopération permet d'atteindre une réduction des émissions bien plus importante. Cependant, le résultat qui nous intéresse concerne les inégalités de revenu entre les populations des différents pays (et non en leur sein) : même dans la trajectoire « optimale » avec coopération entre les pays pour l'atténuation, ces inégalités persistent, en raison du caractère régressif des dommages climatiques tels que calibrés dans le modèle, touchant plus fortement les pays pauvres, avec une baisse conséquente de leur PIB.

Fig. 4: Income distribution and inequality indexes.



a GDP per-capita, net of costs and impacts, population-weighted distribution in 2100 under our default specification. **b** 90:10 and 80:20 inequality index (percentile-ratios over population-weighted distributions), in 2100, of all scenarios. Year 2020 values are 15.9 (90:10 ratio) and 3.2 (80:20 ratio). **c** 90:10 index evolution over time among all scenarios (The scenarios based on the SSP2 pathway are shown as solid lines).

Figure 22 : Évolutions du revenu selon les trois scénarios, « BAU » sans impacts, coopération et non-coopération, Gazzotti et al., 2021

Sur la figure ci-dessus, on observe l'évolution de la distribution des revenus dans les différents pays en fonction des trois scénarios, le « business-as-usual » sans impacts climatiques, le scénario d'atténuation avec coopération entre les pays (environ + 2°C), puis celui d'atténuation sans coopération (environ + 3°C). Les inégalités suivent ainsi une tendance à la baisse (panel c, avec des incertitudes importantes cependant), mais restent plus élevées dans les scénarios d'atténuation intégrant les dommages climatiques que dans le scénario sans, en particulier lorsqu'il n'y a pas de coopération entre les pays. Les tests de sensibilité en fonction du scénario socioéconomique (SSP), du taux d'actualisation ou de la fonction de dommage montrent que ce résultat est robuste. Ainsi, dans une trajectoire suivant le SSP1, les

inégalités se réduisent (de 79% pour le ratio 90/10), mais moins que s'il n'y avait pas d'impacts climatiques (réduction de 90% en ce cas).

L'ensemble de ces travaux, sur les inégalités au sein des pays et entre les pays, montre que le changement climatique peut influencer de manière significative la trajectoire des inégalités. C'est même, comme l'ont montré Diffenbaugh & Burke (2019), déjà le cas, avec un ralentissement du « rattrapage » des pays les plus pauvres. Dans l'avenir, cela dépendra de la façon dont les impacts du changement climatiques sont « distribués » entre les catégories de population. Plus ils seront forts – ce qui dépend à la fois de la trajectoire des émissions et de la sensibilité climatique –, et plus ils seront régressifs – ce qui dépend surtout de critères socioéconomiques –, plus les inégalités risquent d'augmenter, aussi bien entre les pays qu'en leur sein. Les différents travaux présentent aussi les impacts potentiels des mesures d'atténuation, également en fonction de la distribution de leurs coûts entre les différentes catégories de population. Il est intéressant et important d'observer que, comme le montrent Dennig *et al.* (2015) et Budolfson *et al.* (2021), l'intégration de la distribution des revenus dans un modèle coûts-avantages, associée à la distribution des dommages et la possibilité d'une redistribution des revenus de la taxe carbone, modifient de manière significative la trajectoire dite « optimale » de maximisation du « bien-être social », avec un besoin d'atténuation forte et précoce dans le but de limiter les impacts sur les catégories de population les plus pauvres. Il n'y a donc pas nécessairement d'arbitrage à effectuer entre une réduction des inégalités et de la pauvreté aujourd'hui, et une réduction dans le futur à long terme. De plus, en lien avec ce que nous avons étudié dans la section 3.1, il ne faut pas oublier que l'évolution des inégalités n'a rien d'inéluctable : elle sera le résultat de nombreux choix de société, politiques et économiques. Le changement climatique vient compliquer cela en ajoutant une pression supplémentaire, mais les travaux précédemment présentés montrent que, de la même façon, des politiques climatiques adéquates d'atténuation et d'adaptation peuvent permettre de limiter les conséquences négatives pour les populations les plus défavorisées.

3.3 Distribution des impacts, hétérogénéité et modèles : de nombreux défis

Le principal problème de la modélisation des inégalités est la construction des modèles, qui, habituellement et pour la plupart, n'intègrent qu'un seul agent « représentatif » de

l'ensemble des ménages. Cet aspect, problématique pour l'analyse des impacts du changement climatique sur les différentes catégories de population, a été identifié depuis maintenant plusieurs années (van Ruijven *et al.*, 2015, Rao *et al.*, 2017, Piontek *et al.*, 2021). Van Ruijven *et al.*, 2015, présentent trois méthodes principales pour désagréger les catégories de ménages dans les modèles d'équilibre général utilisés dans la recherche sur le changement climatique. Ces trois méthodes, qui peuvent être combinées, sont les suivantes : multiplier le nombre de ménages dans le modèle avec différentes caractéristiques pour chacun ; coupler un modèle macroéconomique avec un modèle microéconomique simulant différents ménages ; modéliser directement la distribution du revenu entre les différentes catégories de population.

Dans leur état des lieux publié en 2017, Rao *et al.* faisaient un constat similaire sur le manque de représentation de la distribution du revenu dans les modèles utilisés dans la recherche climat et, par conséquent, sur la différenciation des impacts climatiques. Lorsque de telles distributions sont prises en compte, elles sont généralement fixées sur le moment présent et assumées constantes dans le temps. D'après les auteurs, pour prendre pleinement en compte les effets du changement climatique sur la distribution des revenus, impacts comme politiques mises en place, celle-ci doit être intégrée dans les modèles avec la consommation des ménages, ainsi que les déterminants de leurs évolutions potentielles. Cet article revient sur le rôle fondamental du fonctionnement de l'économie et des choix des gouvernements dans la détermination des inégalités : « the role of government in shaping future inequality and in formulating responses to climate change is so dominant that models need to move towards incorporating policy mechanisms ». Ainsi, l'évolution « seule », hors climat, des inégalités, ne doit pas être oubliée : comme nous le mentionnons précédemment, elle n'est pas « naturelle », mais est le résultat de dynamiques sociétales aux déterminants politiques, économiques, éthiques et moraux. De plus, sans même prendre en compte le changement climatique, les inégalités peuvent avoir un rôle dans l'évolution de la croissance, voire, la déstabilisation de l'économie (Motesharrei *et al.*, 2014, Calvin *et al.*, 2017, García-Peñalosa, 2017, Giraud & Grasseli, 2021).

En 2019, Hsiang *et al.* ont effectué une revue de littérature sur la distribution des dommages environnementaux, aussi bien entre les secteurs de l'économie, qu'entre les catégories de population. Une section était dédiée au changement climatique, et décrit la complexité de la prise en compte de l'hétérogénéité des populations dans le design de politiques climatiques, en raison de l'effet de cette hétérogénéité sur les dommages climatiques : « In

general, if marginal damages are heterogeneous, then the benefits of an environmental policy will not be uniform across individuals. This is because some individuals will benefit (or be harmed) more or less from incremental changes in environmental conditions. In particular, if marginal damages are positively correlated with income levels, then policies that reduce exposure uniformly across a population will have regressive benefits because wealthier populations benefit more from the policy. If the correlation between marginal damages and income is negative, then such a policy would likely have progressive benefits. » (Hsiang *et al.*, 2019). Ainsi, la représentation de la répartition des impacts au sein des populations est fondamentale, que ce soit sous la forme de différentes fonctions de dommages ajustées pour chaque catégorie de population, ou d'un coefficient comme dans le modèle NICE (Dennig *et al.* 2015).

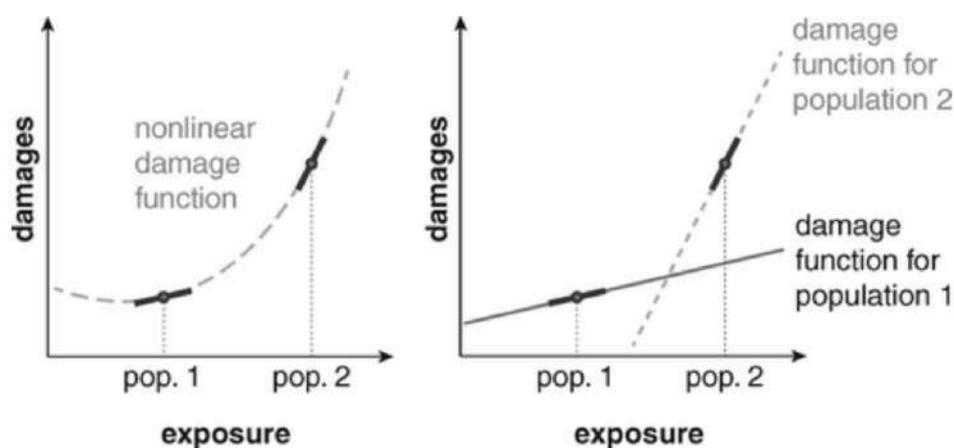


Figure 1. Heterogeneity in marginal damages result from nonlinear damage functions or differing vulnerability.

Figure 23 : Exemples de représentations de l'hétérogénéité des dommages marginaux sur deux populations, avec une fonction non-linéaire (à gauche) ou deux fonctions distinctes, une pour chaque population (à droite), Hsiang et al., 2019

L'article met en avant la difficulté d'intégrer les mesures d'adaptation dans les fonctions de dommage, induisant une incertitude importante sur le niveau de dommages futurs subis par les populations. Si des mesures d'adaptation pertinentes et adéquates sont mises en place, les dommages climatiques devraient être inférieurs à ceux qui surviendraient dans une

situation « de référence »²⁷. L'article nuance également une idée assez répandue, selon laquelle les aléas climatiques seraient plus forts et plus importants dans les régions où les populations sont les plus pauvres : en résumé, tout dépend de l'échéance et du type de phénomènes observés. Cependant, les auteurs sont clairs dans la section suivante : les populations les plus précaires, en raison de leur statut socioéconomique leur conférant une vulnérabilité élevée, subiront les coûts les plus élevés. Cela est dû, notamment, aux réponses non-linéaires d'un certain nombre d'impacts énumérés par les chercheurs, qu'il nous semble important de rappeler²⁸ : effet de l'élévation de température sur les rendements agricoles, mortalité, demande en énergie, instabilité sociale, crimes contre les biens, migrations permanentes, santé mentale, transformation du capital humain, revenus. L'article précise l'importance de ces phénomènes pour l'évaluation des inégalités : « An important implication of nonlinear damage functions is that they can still generate distributional impacts that increase or decrease inequality even when they are identical across rich and poor subpopulations. One way this can occur is if the baseline climate of rich and poor populations differs systematically, such that the two groups are located at different positions on the damage function [par exemple, les deux populations sur le graphique de gauche dans la figure précédente] and thus have different marginal damages from climate ». Les auteurs citent alors Hsiang *et al.* (2017), dont les résultats montrent les effets de ces non-linéarités des fonctions de dommage dans le cas des États-Unis : les populations des États du Sud, plus pauvres en moyenne, seront plus fortement touchées par les impacts du changement climatique, exacerbant les inégalités préexistantes. Hsiang *et al.* (2019) concluent sur l'importance de définir l'origine des différences de dommages économiques marginaux pour définir des politiques climatiques efficaces.

Piontek *et al.*, 2021 ont publié une perspective sur la traduction d'impacts « biophysiques » du changement climatique en impacts économiques, avec une section dédiée aux inégalités. Les auteurs identifient d'abord trois approches principales utilisées en modélisation pour représenter les impacts du changement climatique sur l'économie : l'évaluation des impacts économiques directs (« bottom-up assessment »), les impacts économiques finaux avec rétroactions sectorielles (« bottom-up and top-down assessments »),

²⁷ O'Neill *et al.*, 2020, mettent d'ailleurs en avant le besoin de plus de scénarios « de référence », notamment au niveau des trajectoires des impacts, afin d'évaluer les politiques d'adaptation et pas seulement d'atténuation des émissions.

²⁸ Nous reconnaissons, pour des raisons de longueur, avoir limité la taille et le niveau de détail des sections du mémoire décrivant les nombreux impacts du changement climatique. Nous renvoyons les lecteurs vers le rapport d'évaluation du groupe II pour une synthèse à jour de ceux-ci (IPCC, 2022a).

et, enfin, les fonctions de dommages agrégées. Ces dommages peuvent être représentés en pourcentages de pertes annuelles du PIB, ou en pourcentages de modification du taux de croissance économique projeté. Ils peuvent prendre plusieurs formes, aux conséquences distinctes sur les trajectoires, qui sont à l'origine d'une partie des incertitudes dans les projections des dommages économiques : chocs ponctuels, effets transitoires, ou encore effets de long terme (voir la figure en annexe X). L'article précise ensuite le manque de travaux étudiant la répartition des dommages entre les catégories de population (entre producteurs et consommateurs, entre riches et pauvres, entre ruraux et urbains) et déplore, comme d'autres articles cités précédemment, l'utilisation d'un seul ménage « représentatif » dans la plupart des modèles d'évaluation intégrée. Lorsque l'on désagrège les ménages, une distribution régressive des impacts, associée à un postulat de réduction de l'utilité marginale, mène à une diminution du « bien-être social » global. La distribution des dommages entre les différents pays étant également régressive, les impacts climatiques devraient effectivement mener à une augmentation des inégalités entre ceux-ci.

Enfin, Emmerling & Tavoni, 2021 ont présenté dans un commentaire l'une des évaluations les plus récentes de l'état de l'art de la représentation des inégalités dans les modèles d'évaluation intégrée. Ils distinguent deux types principaux de modèles : les plus complexes (« detailed-process models »), qui décrivent précisément les secteurs de l'énergie, des usages des terres, les systèmes industriels, etc., et ceux, généralement plus simples, qui effectuent des analyses coûts-avantages (« benefit-cost models »). Déplorant également le fait que la population soit représentée la plupart du temps par un seul agent « représentatif », les auteurs décrivent l'importance de l'intégration de l'hétérogénéité des populations dans les modèles pour l'évaluation de trois éléments : les politiques climatiques, les impacts, et le bien-être social. Ils présentent dans la figure page suivante l'état actuel de l'intégration des inégalités dans les modèles d'évaluation intégrée :

Variable	Gender	Age	Education	Settlement	Income	Family size	Health	Race	Religion
Scenarios quantified	SSPs, Ext. SSPs	SSPs	SSPs	SSPs	Ext. SSPs (Gini)	-	-	-	-
Endogenization in IAMs so far	-	low	-	-	medium	-	low	-	-
Relevance ... general	***	***	***	**	***	**	**	**	*
... for climate policies	**	*	**	**	***	**		*	?
... for climate impacts	**	***	**	***	**	*	***	**	?

Figure 24 : « Dimensions, considérations et pertinence des inégalités dans les IAMs » (Emmerling & Tavoni, 2021)

La figure permet d’avoir une vision des différentes dimensions des inégalités et du travail nécessaire pour les intégrer dans les scénarios et modèles. Les deux chercheurs mentionnent plusieurs axes de recherche à développer : une meilleure intégration des inégalités, en particulier celles qu’ils qualifient de « qualitatives » (genre, âge, origine ethnique, santé, handicap, religion, etc.) ; le besoin de créer des scénarios « de référence » pour l’évolution des inégalités, afin d’étudier les effets éventuels de politiques climatiques ; l’endogénéisation des inégalités, c’est-à-dire des dynamiques d’échanges et interactions entre catégories de population afin d’aller plus loin que de simples postulats d’évolution de la distribution des revenus ; enfin, des couplages entre différentes catégories de modèles (« agent-based models » et IAMs notamment).

Les différents travaux étudiant les méthodologies des modèles existants et les axes de recherche potentiels que nous avons présenté dans cette section sont cohérents, marquant le besoin de développer plus de modèles avec des décompositions des populations, afin d’étudier les impacts des aléas climatiques et des politiques climatiques. Cela peut être fait au niveau national, comme l’ont fait Huang *et al.* (2020) pour étudier les effets de la décarbonation en Chine. Le GIEC confirmait les défauts des approches agrégées dans le chapitre 1 du rapport du groupe III, indiquant qu’il ne peut y avoir de fonction de « bien-être social » unique et objective, tandis que les dommages climatiques doivent être différenciés en fonction des régions et des populations (IPCC, 2022f). Les auteurs de cette section soulèvent la question de la possibilité, voire, de la pertinence, de proposer une estimation globale des dommages. Ils présentent cependant un résultat robuste qui ressort des travaux les plus récents : les

modélisations coûts-avantages calibrées à partir d'impacts actuels observés présentent des trajectoires d'atténuation plus fortes que celles présentées auparavant comme « optimales » : « Overall the combination of improved damage functions with the wider consensus on low discount rates (as well as lower mitigation costs due to innovation) has increasingly yielded 'optimal' results from benefit-cost studies in line with the range established in the Paris Agreement » (*ibid.*).

Nous concluons cette section en donnant la parole à Nicholas Stern, qui avait d'ores et déjà identifié dans son fameux rapport publié en 2007, certains des défis précédemment cités, et les questionnements éthiques et moraux associés : « The standard welfare-economics framework has a single criterion, and implicitly, a single governmental decision-maker. It can be useful in providing a benchmark for what a 'good' global policy would look like. But the global nature of climate change implies that the simple economic theory with one jurisdiction, one decision-maker, and one social welfare function cannot be taken literally. Instead, it is necessary to model how different players or countries will interact [...] and to ask ethical questions about how people in one country or region should react to the impacts of their actions on those in another. This raises questions of how the welfare of people with very different standards of living should be assessed and combined in forming judgements on policy » (Stern, 2007).

Conclusion

L'objectif de ce mémoire était d'explorer ce que la littérature scientifique présente sur les liens entre inégalités économiques et changement climatique, en privilégiant les approches macroéconomiques via des modèles d'évaluation intégrée permettant d'obtenir des résultats quantitatifs. La première partie présentait les différentes méthodes de mesure des inégalités, suivies d'un état des lieux des inégalités actuelles. Nous avons distingué les inégalités de revenu et de patrimoine au sein des pays, des inégalités entre pays, qui agrègent les populations en un seul indicateur de revenu moyen. Ces deux approches sont complémentaires et peuvent difficilement être séparées : en effet, les inégalités entre pays peuvent se réduire, avec un rattrapage des pays les plus pauvres, tandis que, dans le même temps, les inégalités au sein des pays augmentent. C'est ce qu'il se passe sur la période récente, depuis le tournant des années 1980 et l'essor de la mondialisation. La crise de la Covid a cependant ralenti la convergence auparavant observée – qui était d'ailleurs essentiellement tirée par certains pays –, et poussé des millions de personnes dans la pauvreté. Les enjeux pour l'évolution future des inégalités, tout comme les incertitudes, sont ainsi particulièrement importants.

Nous avons également présenté les nombreuses et complexes interactions entre les inégalités et le changement climatique. Les inégalités d'émissions, importantes aussi bien entre pays qu'entre catégories de population et directement liées au développement économique, décrivent des responsabilités que le droit international qualifie de manière euphémique de « communes mais différenciées ». Les inégalités socioéconomiques déterminent l'exposition et la vulnérabilité des populations aux aléas climatiques présents et futurs, les populations les plus marginalisées subissant les coûts – économiques mais aussi humains, sociaux, culturels, etc. – les plus élevés. Ces inégalités définissent également les éventuels impacts sur les populations des politiques climatiques mises en place, aussi bien dans l'atténuation des émissions qu'en adaptation au changement climatique. Il est indispensable de connaître ces différentes interactions pour comprendre les dynamiques à l'œuvre dans l'évolution future des inégalités. Cela permet de construire des politiques climatiques efficaces : le GIEC a montré que les politiques « inclusives » et prenant en compte les questions de justice sociale ont de meilleures chances de succès lors de leur implémentation (IPCC, 2022a, 2022d). Les conclusions indiquent avec un degré de confiance élevé que, sans de telles mesures

d'atténuation et d'adaptation adéquates, le changement climatique risque d'exacerber les inégalités.

Dans la deuxième partie, nous avons décrit les principes des projections climatiques, en revenant sur les définitions précises de ce que sont les scénarios, leur élaboration, les modèles utilisés et les rôles des différentes communautés scientifiques. Nous avons retracé l'histoire de l'intégration, implicite d'abord, puis explicite aujourd'hui, des inégalités dans les postulats des scénarios. Nous avons pris le temps de détailler le fonctionnement de la matrice des scénarios SSP-RCP, complexe mais qui permet d'étudier précisément l'évolution des inégalités. Nous avons ensuite décrit le fonctionnement des modèles d'évaluation intégrée de type coûts-avantages, qui permettent de projeter des trajectoires dites « optimales », dans lesquelles le « bien-être social » est maximisé avec un équilibre entre le coût de l'atténuation des émissions et les dommages climatiques. Nous avons également présenté une synthèse des dernières connaissances scientifiques sur les estimations des dommages économiques et les différentes méthodologies. Les conclusions des travaux les plus récents, évalués et synthétisés par le GIEC, sont claires : même en tenant compte des incertitudes, importantes, les coûts de l'atténuation des émissions sont inférieurs aux coûts des dommages climatiques pour les trajectoires limitant le réchauffement à + 2°C.

Ces deux premières parties nous ont permis d'entrer, enfin, dans le vif du sujet dans la troisième partie. Nous avons commencé par explorer les projections futures des inégalités dans un monde « sans climat », ce qui permet d'obtenir des trajectoires « de référence » : en fonction des choix des sociétés et de l'évolution de leur organisation, les inégalités peuvent poursuivre leur baisse progressive, avec une convergence des revenus par habitant entre pays, ou, à l'inverse, repartir à la hausse. La convergence peut avoir lieu aussi bien dans un monde poursuivant une trajectoire de type « développement durable », que dans un monde qui croît fortement, mais en consommant des combustibles fossiles, ce qui provoquera de forts défis pour l'atténuation et les impacts futurs. Le renversement de la tendance, avec des inégalités qui repartent à la hausse, peut avoir lieu si les pays se referment sur eux-mêmes, misant sur l'autonomie, ou bien si le développement économique et le pouvoir politique sont accaparés par une élite. Ces futurs forment ainsi différentes trajectoires possibles, qui interagissent avec le changement climatique : dans certaines trajectoires, notamment les deux précédemment décrites avec des rivalités régionales ou des inégalités fortes, l'atténuation des émissions et l'adaptation aux impacts seront plus difficiles à mettre en place. Les travaux quantitatifs que

nous avons étudiés ensuite confirment le rôle important des inégalités au sein des pays : aussi bien les travaux « bottom-up » que les modèles globaux montrent que les impacts du changement climatique seront forts sur les populations les plus marginalisées, et exacerberont les inégalités si aucune mesure n'est prise. Ce résultat vaut également pour les inégalités entre pays, dont la tendance à la baisse pourrait se renverser au cours du siècle. Les modèles d'évaluation intégrée montrent que les trajectoires maximisant le « bien-être social » sont modifiées par l'intégration des inégalités entre catégories de population, nécessitant une atténuation des émissions plus précoce et plus forte. Les incertitudes sur l'avenir des inégalités se situent à deux niveaux, à la fois distincts et qui s'influencent mutuellement : l'évolution des sociétés d'une part, que l'on peut étudier via les différents scénarios SSP, et les conséquences du changement climatique d'autre part. Concernant ces dernières, les incertitudes se situent au niveau des coûts, à la fois des mesures d'atténuation et des dommages économiques, mais aussi au niveau des caractéristiques des politiques climatiques mises en place, des politiques régressives pouvant mener à une hausse des inégalités. Il y a également une incertitude significative sur l'ampleur des impacts climatiques futurs, due à l'incertitude sur la sensibilité du climat.

Dans une dernière section, nous avons exploré les méthodologies et les axes de recherche potentiels afin de continuer d'explorer les inégalités entre catégories de population. Au niveau des modèles d'évaluation intégrée, il semble important d'aller vers plus d'hétérogénéité dans la représentation des ménages, en intégrant dans la mesure du possible d'autres formes d'inégalités. Cela peut se faire via des modèles utilisant des données provenant d'enquêtes, dans une approche « bottom-up », ou bien dans des modèles plus globaux comme les modèles coûts-avantages, en poursuivant le travail entrepris avec NICE. Il serait également intéressant de faire des « descentes d'échelle » pour observer plus précisément ce qu'il se passe pour les inégalités d'un pays ou d'une région donnée. La matrice de scénarios SSP-RCP offre un cadre très complet pour poursuivre l'étude des interactions entre climat et inégalités. Des trajectoires alternatives d'évolution des inégalités peuvent cependant être créées²⁹, notamment dans le but de tester les effets de différentes politiques climatiques. À ce sujet, un autre axe

²⁹ Nous pensons notamment aux travaux sur les « modes de vie décents » (Millward-Hopkins *et al.*, 2020, Millward-Hopkins, 2022) ainsi que les scénarios « low demand energy » (Grubler *et al.*, 2018, IPCC, 2022d), voire de décroissance (Keyßer & Lenzen, 2021) qui apportent aussi bien des résultats que des questionnements très pertinents sur les inégalités de consommation d'énergie et leurs liens avec les trajectoires d'atténuation et de réduction de la pauvreté. Nous n'avons pu développer plus ce sujet, qui mérite largement un mémoire à part entière.

pertinent est l'endogénéisation des inégalités au sein des modèles, afin de simuler des évolutions dynamiques des interactions entre les classes de population. C'est la voie que nous avons poursuivie dans un travail en cours avec Hugo Martin et Gaël Giraud, qui forme la base d'un projet de thèse donnant suite à ce mémoire. Nous avons effectué un couplage entre un modèle avec deux classes sociales – des travailleurs et des investisseurs, provenant de Giraud & Grasselli, 2021 – et un modèle de climat, sur le modèle de Bovari *et al.*, 2018. Les premiers résultats nous indiquent que, sans mesures d'atténuation adaptées en termes de répartition, la classe des investisseurs fait reposer le coût des dommages climatiques et les éventuels coûts de l'atténuation sur la classe des travailleurs.

Pour terminer, voici une touche plus personnelle sur ce que ce travail nous a apporté. Tout d'abord, nous étions loin d'imaginer que la littérature scientifique sur le sujet, finalement assez précis des inégalités économiques et du changement climatique, était si vaste. Il a été difficile de ne pas se noyer dans certains thèmes, notamment celui des estimations des dommages économiques du changement climatique, ainsi que les débats autour du taux d'actualisation – débats par ailleurs aujourd'hui relativement tranchés (IPCC, 2022d). De plus, notre vision des résultats potentiels en amont de la recherche était assez simple : nous pensions confirmer que le changement climatique allait augmenter les inégalités, ou au moins freiner leur tendance à la baisse pour les inégalités entre pays. C'est bel et bien le cas, cependant, un certain nombre de travaux nous ont fait découvrir deux axes auxquels nous ne nous attendions pas, et qui nous semblent désormais tout aussi importants. Le premier concerne l'influence des inégalités dans la définition des trajectoires « optimales » d'atténuation, et la complexité de la construction de politiques climatiques qui, au minimum, n'augmentent pas les inégalités, et qui, si possible, les réduisent. Nous accordions beaucoup d'importance auparavant au choix des fonctions de dommage, et ces recherches nous ont permis de comprendre qu'il ne s'agissait que d'un déterminant parmi plusieurs autres, tout aussi importants. Le second axe est l'étude des inégalités « hors climat » qui, à elles seules, peuvent perturber des économies et avoir des conséquences dévastatrices pour les populations, comme dans le cas d'un scénario « dystopique » de type SSP4, qui pourrait tout-à-fait survenir sans changement climatique. Plusieurs travaux nous ont rappelé qu'il n'y avait aucune fatalité dans l'évolution future des inégalités, celle-ci relevant essentiellement des choix sociétaux : dans la définition de leur trajectoire globale et dans la définition des politiques climatiques mises en place. Seule une part de l'incertitude, due à la sévérité de la réponse climatique, ne repose pas sur les actions humaines.

Bibliographie

Articles de recherche :

- Allen, M. R. (2016). Drivers of peak warming in a consumption-maximizing world. *Nature Climate Change*, 6(7), 684-686. <https://doi.org/10.1038/nclimate2977>
- Anthoff, D., & Emmerling, J. (2019). Inequality and the Social Cost of Carbon. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 6(2), 243-273. <https://doi.org/10.1086/701900>
- Armstrong McKay, D. I., Staal, A., Abrams, J. F., Winkelmann, R., Sakschewski, B., Loriani, S., Fetzer, I., Cornell, S. E., Rockström, J., & Lenton, T. M. (2022). Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science*, 377(6611), eabn7950. <https://doi.org/10.1126/science.abn7950>
- Bastien-Olvera, B. A., Granella, F., & Moore, F. C. (2022). Persistent effect of temperature on GDP identified from lower frequency temperature variability. *Environmental Research Letters*, 17(8), 084038. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac82c2>
- Benveniste, H., Oppenheimer, M., & Fleurbaey, M. (2020). Effect of border policy on exposure and vulnerability to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(43), 26692-26702. <https://doi.org/10.1073/pnas.2007597117>
- Benveniste, H., Cuaresma, J. C., Gidden, M., & Muttarak, R. (2021). Tracing international migration in projections of income and inequality across the Shared Socioeconomic Pathways. *Climatic Change*, 166(3), 39. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03133-w>
- Benveniste, H., Oppenheimer, M., & Fleurbaey, M. (2022). Climate change increases resource-constrained international immobility. *Nature Climate Change*, 12(7), 634-641. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01401-w>

- Bovari, E., Giraud, G., & Mc Isaac, F. (2018). Coping With Collapse : A Stock-Flow Consistent Monetary Macrodynamics of Global Warming. *Ecological Economics*, 147, 383-398. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.01.034>
- Budolfson, M., Dennig, F., Errickson, F., Feindt, S., Ferranna, M., Fleurbaey, M., Klenert, D., Kornek, U., Kuruc, K., Méjean, A., Peng, W., Scovronick, N., Spears, D., Wagner, F., & Zuber, S. (2021). Climate action with revenue recycling has benefits for poverty, inequality and well-being. *Nature Climate Change*, 1-6. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01217-0>
- Budolfson, M., Dennig, F., Fleurbaey, M., Siebert, A., & Socolow, R. H. (2017a). The comparative importance for optimal climate policy of discounting, inequalities and catastrophes. *Climatic Change*, 145(3), 481-494. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2094-x>
- Budolfson, M., Dennig, F., Fleurbaey, M., Siebert, A., & Socolow, R. H. (2017b). The comparative importance for optimal climate policy of discounting, inequalities and catastrophes. *Climatic Change*, 145(3), 481-494. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2094-x>
- Calvin, K., Bond-Lamberty, B., Clarke, L., Edmonds, J., Eom, J., Hartin, C., Kim, S., Kyle, P., Link, R., Moss, R., McJeon, H., Patel, P., Smith, S., Waldhoff, S., & Wise, M. (2017a). The SSP4 : A world of deepening inequality. *Global Environmental Change*, 42, 284-296. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.010>
- Calvin, K., Bond-Lamberty, B., Clarke, L., Edmonds, J., Eom, J., Hartin, C., Kim, S., Kyle, P., Link, R., Moss, R., McJeon, H., Patel, P., Smith, S., Waldhoff, S., & Wise, M. (2017b). The SSP4 : A world of deepening inequality. *Global Environmental Change*, 42, 284-296. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.010>
- Crespo Cuaresma, J. (2017). Income projections for climate change research : A framework based on human capital dynamics. *Global Environmental Change*, 42, 226-236. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.02.012>

- Deldrève, V. (2020). La fabrique des inégalités environnementales en France. Approches sociologiques qualitatives. *Revue de l'OFCE*, 165(1), 117-144.
<https://doi.org/10.3917/reof.165.0117>
- Dellink, R., Chateau, J., Lanzi, E., & Magné, B. (2017). Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environmental Change*, 42, 200-214. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.06.004>
- Dennig, F., Budolfson, M. B., Fleurbaey, M., Siebert, A., & Socolow, R. H. (2015). Inequality, climate impacts on the future poor, and carbon prices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(52), 15827-15832.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1513967112>
- Dietz, S., Rising, J., Stoerk, T., & Wagner, G. (2021). *Economic impacts of tipping points in the climate system* | PNAS. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2103081118>
- Dietz, S., van der Ploeg, F., Rezai, A., & Venmans, F. (2021). Are Economists Getting Climate Dynamics Right and Does It Matter? *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 8(5), 895-921.
<https://doi.org/10.1086/713977>
- Diffenbaugh, N. S., & Burke, M. (2019). Global warming has increased global economic inequality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(20), 9808-9813.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1816020116>
- Emmerling, J., & Tavoni, M. (2021). Representing inequalities in integrated assessment modeling of climate change. *One Earth*, 4(2), 177-180.
<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.01.013>
- Fricko, O., Havlik, P., Rogelj, J., Klimont, Z., Gusti, M., Johnson, N., Kolp, P., Strubegger, M., Valin, H., Amann, M., Ermolieva, T., Forsell, N., Herrero, M., Heyes, C., Kindermann, G., Krey, V., McCollum, D. L., Obersteiner, M., Pachauri, S., ... Riahi, K. (2017). The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2 : A

middle-of-the-road scenario for the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 251-267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.004>

Fujimori, S., Hasegawa, T., Masui, T., Takahashi, K., Herran, D. S., Dai, H., Hijioka, Y., & Kainuma, M. (2017). SSP3 : AIM implementation of Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environmental Change*, 42, 268-283. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.009>

Gajdos, T. (2001). Les fondements axiomatiques de la mesure des inégalités. *Revue d'économie politique*, 111(5), 683-719. <https://doi.org/10.3917/redp.115.0683>

García-Peñalosa, C. (2017). Les inégalités dans les modèles macroéconomiques. *Revue de l'OFCE*, 153(4), 105-131. <https://doi.org/10.3917/reof.153.0105>

Gazzotti, P., Emmerling, J., Marangoni, G., Castelletti, A., Wijst, K.-I. van der, Hof, A., & Tavoni, M. (2021). Persistent inequality in economically optimal climate policies. *Nature Communications*, 12(1), 3421. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23613-y>

Giraud, G., & Grasselli, M. (2021). Household debt : The missing link between inequality and secular stagnation. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 183, 901-927. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2019.03.002>

Glanemann, N., Willner, S. N., & Levermann, A. (2020). Paris Climate Agreement passes the cost-benefit test. *Nature Communications*, 11(1), 110. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13961-1>

Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., McCollum, D. L., Rao, N. D., Riahi, K., Rogelj, J., De Stercke, S., Cullen, J., Frank, S., Fricko, O., Guo, F., Gidden, M., Havlík, P., Huppmann, D., Kiesewetter, G., Rafaj, P., ... Valin, H. (2018). A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nature Energy*, 3(6), 515-527. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6>

- Guivarch, C., & Taconet, N. (2020). Inégalités mondiales et changement climatique. *Revue de l'OFCE*, 165(1), 35-70. <https://doi.org/10.3917/reof.165.0035>
- Hallegatte, S., & Rozenberg, J. (2017). Climate change through a poverty lens. *Nature Climate Change*, 7(4), 250-256. <https://doi.org/10.1038/nclimate3253>
- Hänsel, M. C., Drupp, M. A., Johansson, D. J. A., Nesje, F., Azar, C., Freeman, M. C., Groom, B., & Sterner, T. (2020). Climate economics support for the UN climate targets. *Nature Climate Change*, 10(8), 781-789. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0833-x>
- Hsiang, S., Kopp, R., Jina, A., Rising, J., Delgado, M., Mohan, S., Rasmussen, D. J., Muir-Wood, R., Wilson, P., Oppenheimer, M., Larsen, K., & Houser, T. (2017). Estimating economic damage from climate change in the United States. *Science*, 356(6345), 1362-1369. <https://doi.org/10.1126/science.aal4369>
- Hsiang, S., Oliva, P., & Walker, R. (2019). The Distribution of Environmental Damages. *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(1), 83-103. <https://doi.org/10.1093/reep/rey024>
- Huang, H., Roland-Holst, D., Wang, C., & Cai, W. (2020a). China's income gap and inequality under clean energy transformation : A CGE model assessment. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119626. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119626>
- Huang, H., Roland-Holst, D., Wang, C., & Cai, W. (2020b). China's income gap and inequality under clean energy transformation : A CGE model assessment. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119626. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119626>
- Kc, S., & Lutz, W. (2017). The human core of the shared socioeconomic pathways : Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100. *Global Environmental Change*, 42, 181-192. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004>

- Kemp, L., Xu, C., Depledge, J., Ebi, K. L., Gibbins, G., Kohler, T. A., Rockström, J., Scheffer, M., Schellnhuber, H. J., Steffen, W., & Lenton, T. M. (2022). Climate Endgame : Exploring catastrophic climate change scenarios. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(34), e2108146119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2108146119>
- Keyßer, L. T., & Lenzen, M. (2021). 1.5 °C degrowth scenarios suggest the need for new mitigation pathways. *Nature Communications*, 12(1), 2676. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22884-9>
- Kriegler, E., Bauer, N., Popp, A., Humpenöder, F., Leimbach, M., Strefler, J., Baumstark, L., Bodirsky, B. L., Hilaire, J., Klein, D., Mouratiadou, I., Weindl, I., Bertram, C., Dietrich, J.-P., Luderer, G., Pehl, M., Pietzcker, R., Piontek, F., Lotze-Campen, H., ... Edenhofer, O. (2017). Fossil-fueled development (SSP5) : An energy and resource intensive scenario for the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 297-315. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.015>
- Kriegler, E., Edmonds, J., Hallegatte, S., Ebi, K. L., Kram, T., Riahi, K., Winkler, H., & van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research : The concept of shared climate policy assumptions. *Climatic Change*, 122(3), 401-414. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0971-5>
- Leimbach, M., Kriegler, E., Roming, N., & Schwanitz, J. (2017). Future growth patterns of world regions – A GDP scenario approach. *Global Environmental Change*, 42, 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.02.005>
- Lemoine, D., & Traeger, C. P. (2016). Economics of tipping the climate dominoes. *Nature Climate Change*, 6(5), 514-519. <https://doi.org/10.1038/nclimate2902>
- Malliet, P. (2020). L'empreinte carbone des ménages français et les effets redistributifs d'une fiscalité carbone aux frontières. *OFCE Policy brief 62*. <https://www.ofce.sciences-po.fr/pdf-articles/actu/carbonevf.jpg.pdf>

- Martin *et al.* (2022). Hugo A. Martin, Timothée Nicolas, Aurélien Quiquet, Sylvie Charbit, Gaël Giraud, “Global Risk of Deadly Heat and How to Reduce it: a Stock-Flow Consistent Approach”, to be published
- Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, J. G., Daniel, J. S., John, A., Krummel, P. B., Luderer, G., Meinshausen, N., Montzka, S. A., Rayner, P. J., Reimann, S., ... Wang, R. H. J. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13(8), 3571-3605. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
- Millward-Hopkins, J. (2022). Inequality can double the energy required to secure universal decent living. *Nature Communications*, 13(1), 5028. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32729-8>
- Millward-Hopkins, J., Steinberger, J. K., Rao, N. D., & Oswald, Y. (2020). Providing decent living with minimum energy : A global scenario. *Global Environmental Change*, 65, 102168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102168>
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Motesharrei, S., Rivas, J., & Kalnay, E. (2014). Human and nature dynamics (HANDY) : Modeling inequality and use of resources in the collapse or sustainability of societies. *Ecological Economics*, 101, 90-102. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.014>
- Niva, V., Kallio, M., Muttarak, R., Taka, M., Varis, O., & Kummu, M. (2021). Global migration is driven by the complex interplay between environmental and social

factors. *Environmental Research Letters*, 16(11), 114019.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac2e86>

O'Neill, B. C., Carter, T. R., Ebi, K., Harrison, P. A., Kemp-Benedict, E., Kok, K., Kriegler, E., Preston, B. L., Riahi, K., Sillmann, J., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D., Carlisle, D., Conde, C., Fuglestvedt, J., Green, C., Hasegawa, T., Leininger, J., Monteith, S., & Pichs-Madruga, R. (2020). Achievements and needs for the climate change scenario framework. *Nature Climate Change*, 10(12), 1074-1084.

<https://doi.org/10.1038/s41558-020-00952-0>

O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., & Solecki, W. (2017). The roads ahead : Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180.

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482.

<https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>

Parikh, J. K. (1992). IPCC strategies unfair to the South. *Nature*, 360(6404), 507-508.

<https://doi.org/10.1038/360507a0>

Piontek, F., Drouet, L., Emmerling, J., Kompas, T., Méjean, A., Otto, C., Rising, J., Soergel, B., Taconet, N., & Tavoni, M. (2021). Integrated perspective on translating biophysical to economic impacts of climate change. *Nature Climate Change*, 11(7), 563-572.

<https://doi.org/10.1038/s41558-021-01065-y>

Pitman, A. J., Fiedler, T., Ranger, N., Jakob, C., Ridder, N., Perkins-Kirkpatrick, S., Wood, N., & Abramowitz, G. (2022). Acute climate risks in the financial system : Examining the utility of climate model projections. *Environmental Research: Climate*, 1(2), 025002.

<https://doi.org/10.1088/2752-5295/ac856f>

- Pottier, A. (2022). Expenditure elasticity and income elasticity of GHG emissions : A survey of literature on household carbon footprint. *Ecological Economics*, 192, 107251. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107251>
- Pottier, A., Combet, E., Cayla, J.-M., Lauretis, S. de, & Nadaud, F. (2020). Qui émet du CO₂ ? Panorama critique des inégalités écologiques en France. *Revue de l'OFCE*, 169(5), 73-132.
- Rao, N. D., Sauer, P., Gidden, M., & Riahi, K. (2019). Income inequality projections for the Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). *Futures*, 105, 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.07.001>
- Rao, N. D., van Ruijven, B. J., Riahi, K., & Bosetti, V. (2017). Improving poverty and inequality modelling in climate research. *Nature Climate Change*, 7(12), 857-862. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0004-x>
- Rao, N., Sauer, P., & Pachauri, S. (2016). Explaining Income Inequality in Countries : An Integrated Approach. *Explaining Income Inequality in Countries: An Integrated Approach*.
- Rennert, K., Errickson, F., Prest, B. C., Rennels, L., Newell, R. G., Pizer, W., Kingdon, C., Wingenroth, J., Cooke, R., Parthum, B., Smith, D., Cromar, K., Diaz, D., Moore, F. C., Müller, U. K., Plevin, R. J., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Sheets, H., ... Anthoff, D. (2022). Comprehensive Evidence Implies a Higher Social Cost of CO₂. *Nature*, 1-3. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9>
- Semieniuk, G., & Yakovenko, V. M. (2020). Historical evolution of global inequality in carbon emissions and footprints versus redistributive scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121420. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121420>
- Soergel, B., Kriegler, E., Bodirsky, B. L., Bauer, N., Leimbach, M., & Popp, A. (2021). Combining ambitious climate policies with efforts to eradicate poverty. *Nature Communications*, 12(1), 2342. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22315-9>

- Stanton, E. A., Ackerman, F., & Kartha, S. (2009). Inside the integrated assessment models : Four issues in climate economics. *Climate and Development*, 1(2), 166-184.
<https://doi.org/10.3763/cdev.2009.0015>
- Taconet, N., Guivarch, C., & Pottier, A. (2021). Social Cost of Carbon Under Stochastic Tipping Points. *Environmental and Resource Economics*, 78(4), 709-737.
<https://doi.org/10.1007/s10640-021-00549-x>
- Taconet, N., Méjean, A., & Guivarch, C. (2020). Influence of climate change impacts and mitigation costs on inequality between countries. *Climatic Change*, 160(1), 15-34.
<https://doi.org/10.1007/s10584-019-02637-w>
- Tsayem Demaze, M., & Philippe, C. (2022). Repères et caractéristiques épistémiques de la justice climatique. *Natures Sciences Sociétés*, 30(1), 14-30.
<https://doi.org/10.1051/nss/2022016>
- van Beek, L., Oomen, J., Hajer, M., Pelzer, P., & van Vuuren, D. (2022). Navigating the political : An analysis of political calibration of integrated assessment modelling in light of the 1.5 °C goal. *Environmental Science & Policy*, 133, 193-202.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.03.024>
- van Ruijven, B. J., O'Neill, B. C., & Chateau, J. (2015). Methods for including income distribution in global CGE models for long-term climate change research. *Energy Economics*, 51, 530-543. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.08.017>
- van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways : An overview. *Climatic Change*, 109(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- van Vuuren, D. P., Stehfest, E., Gernaat, D. E. H. J., Doelman, J. C., van den Berg, M., Harmsen, M., de Boer, H. S., Bouwman, L. F., Daioglou, V., Edelenbosch, O. Y.,

Girod, B., Kram, T., Lassaletta, L., Lucas, P. L., van Meijl, H., Müller, C., van Ruijven, B. J., van der Sluis, S., & Tabeau, A. (2017). Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm. *Global Environmental Change*, 42, 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.008>

Wang, Q., Hubacek, K., Feng, K., Wei, Y.-M., & Liang, Q.-M. (2016). Distributional effects of carbon taxation. *Applied Energy*, 184, 1123-1131. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.083>

Weitzman, M. L. (2011). Fat-Tailed Uncertainty in the Economics of Catastrophic Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy*, 5(2), 275-292. <https://doi.org/10.1093/reep/rer006>

Woillez, M.-N., Giraud, G., & Godin, A. (2020). Economic impacts of a glacial period : A thought experiment to assess the disconnect between econometrics and climate sciences. *Earth System Dynamics*, 11(4), 1073-1087. <https://doi.org/10.5194/esd-11-1073-2020>

Articles de colloques :

Mensbrugghe, D. van der. (2015). Shared Socio-economic pathways and global income distribution. *Presented at the 18th Annual Conference on Global Economic Analysis, Melbourne, Australia.* http://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=4790

Articles de médias :

Carbon Brief. (2021a). *In-depth Q&A: What is 'climate justice' ? - Carbon Brief.* <https://www.carbonbrief.org/in-depth-qa-what-is-climate-justice/>

Carbon Brief. (2021b, octobre 5). Analysis : Which countries are historically responsible for climate change? *Carbon Brief.* <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change/>

Naudet, J., & Galonnier, J. (2019). Polémiques et controverses autour de la question raciale. *La Vie des idées*. <https://laviedesidees.fr/Polemiques-et-controverses-autour-de-la-question-raciale.html>

Reuters. (2022, septembre 13). Africa losing up to 15% of GDP growth to climate change, African Development Bank says. *Reuters*.
<https://www.reuters.com/world/africa/africa-losing-up-15-gdp-growth-climate-change-afdb-2022-09-13/>

Rapports :

Chancel *et al.* (2022). Chancel, L., Piketty, T., Saez, E., Zucman, G. *et al.* World Inequality Report 2022, World Inequality Lab wir2022.wid.world

Conseil économique et social des Nations Unies. (2022). *Point sur les objectifs de développement durable—Rapport du Secrétaire général* (p. 30).
<https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2022/secretary-general-sdg-report-2022--FR.pdf>

Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies. (2022). *Rapport sur les objectifs de développement durable 2022* (p. 68).
https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022_French.pdf

Lakner, C., & Milanovic, B. (2013). *Global Income Distribution : From the Fall of the Berlin Wall to the Great Recession*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-6719>

Notre Affaire à Tous. (2020). *Un Climat d'inégalités—Les impacts inégaux du dérèglement climatique en France*. <https://notreaffaireatous.org/actions/le-rapport-un-climat-dinegalites/>

- Pye, S., Meyer-Ohlendorf, N., Leipprand, A., Lucas, K., & Salmons, R. (2008). *Addressing the social dimensions of environmental policy. A study on the linkages between environmental and social sustainability in Europe* (p. 50). European Commission. Statistics Division of the United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNSD). (2022). *The Sustainable Development Goals Extended Report 2022* (p. 13). https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/extended-report/Extended-Report_Goal-10.pdf
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change—The Stern Review* (p. 712). Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/us/academic/subjects/earth-and-environmental-science/climatology-and-climate-change/economics-climate-change-stern-review?format=PB>
- United Nations Development Programme. (2019). *Human Development Report 2019 : Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century [EN/AR] - World | ReliefWeb*. <https://reliefweb.int/report/world/human-development-report-2019-beyond-income-beyond-averages-beyond-today-inequalities>

Rapports du GIEC :

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1995). *Seconde évaluation du GIEC Changement de climat 1995*. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/2nd-assessment-fr.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions_scenarios-1.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs*. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M.

Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White]. Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse), 34 pages (publié en anglais, en arabe, en chinois, en espagnol, en français et en russe).

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2016: *Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Scenarios* [Riahi, K., J.C. Minx, V. Barros, M. Bustamante, T. Carter, O. Edenhofer, C. Field, E. Kriegler, J.-F. Lamarque, K. Mach, R. Mathur, B. O'Neill, R. Pichs-Madruga, G.-K. Plattner, D. Qin, Y. Sokona, T. Stocker, T. Zhou, J. Antle, N. Arnell, J. Edmonds, S. Emori, P. Friedlingstein, J. Fuglestvedt, F. Joos, H. Lotze-Campen, X. Lu, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, M. Prather, B. Preston, N. Rao, J. Rogelj, J. Rozenberg, P.R. Shukla, J. Skea, C. Tebaldi, D. van Vuuren (eds.)]. IPCC Working Group III Technical Support Unit, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany, pp. 57

Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). *GIEC, 2018: Annexe I: Glossaire* [Matthews, J.B.R. (éd.)]. Dans: *Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté* [Publié sous la direction de V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor et T. Waterfield]. Sous presse.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Chen, D., M. Rojas, B.H. Samset, K. Cobb, A. Diongue Niang, P. Edwards, S. Emori, S.H. Faria, E. Hawkins, P. Hope, P. Huybrechts, M. Meinshausen, S.K. Mustafa, G.-K. Plattner, and A.-M. Tréguier, 2021: *Framing, Context, and Methods*. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O.

Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 147–286, doi:10.1017/9781009157896.003.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022a). *Climate Change 2022 Impacts, Adaptation and Vulnerability Summary for Policymakers*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844
https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022b). *Climate Change 2022 Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 1 Point of Departure and Key Concepts* (p. 78).
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter01.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022c). *Climate Change 2022 Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 16 : Key risks across sectors and regions*.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter16.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022d). *Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change— Summary for Policymakers*.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022e). *Mitigation of Climate Change : Annex III: Scenarios and Modelling Methods*.
https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_Annex-III.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022f). *Mitigation of Climate Change. Chapter 1 : Introduction and Framing*.

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter_01.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022g). *Mitigation of Climate Change. Chapter 3. Mitigation Pathways Compatible with Long-Term 2 Goals.*

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter_03.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022h). *Mitigation of Climate Change : Technical Summary.*

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_TS.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022i). *Mitigation of Climate Change—Annex I: Glossary* (p. 51). https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_Annex-I.pdf

Textes juridiques :

Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. (1992). *Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques.* Nations Unies.

<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convfr.pdf>

Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. (2015). *Accord de*

Paris. Nations Unies. https://unfccc.int/sites/default/files/french_paris_agreement.pdf

Livres :

Aykut, S., & Dahan, A. (2015). *Gouverner le climat ? Vingt ans de négociations internationales.* Presses de Sciences Po.

Box, G. E. P., & Draper, N. R. (1987). *Empirical model-building and response surfaces* (p. xiv, 669). John Wiley & Sons.

Comby, J. B. (2015). *La Question climatique. Genèse et dépolitisation d'un problème public*. Raisons d'Agir.

Lépinard, E., & Mazouz, S. (2021). *Pour l'intersectionnalité*. Anamosa.

Milanovic, B. (2019). *Inégalités mondiales. Le destin des classes moyennes, les ultra-riches et l'égalité des chances*. La Découverte.

Piketty, T. (2019). *Capital et idéologie*. Seuil.

Autres (billets de blog, pages web, webinaires) :

Bourguignon, F. (2016, juin 20). L'évolution des inégalités mondiales de 1870 à 2010. *SES ENS Lyon*. <https://ses.ens-lyon.fr/ressources/stats-a-la-une/levolution-des-inegalites-mondiales-de-1870-a-2010>

Hickel, J. (2019). Global inequality : Do we really live in a one-hump world? *Jason Hickel*. <https://www.jasonhickel.org/blog/2019/3/17/two-hump-world>

ICONICS, & O'Neill, B. (Réalisateur). (2021). *ICONICS - Inaugural webinar—Tutorial 1—SSP/RCP framework—22 February 2021*. <https://www.youtube.com/watch?v=Dy6MRDHytKM>

Nations Unies. (s.d.). *Objectif de Développement Durable—Réduire les inégalités*. Développement durable. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/inequality/>

Navarro, M. (2022, janvier 24). Comment mesurer les inégalités économiques ? *SES ENS Lyon*. <https://ses.ens-lyon.fr/articles/comment-mesurer-les-inegalites-economiques>

Observatoire des inégalités. (2021, avril). Notes de l'Observatoire—N° 6—Comment mesurer les inégalités de revenus ? *Observatoire des inégalités*. <https://www.inegalites.fr/Notes-de-l-Observatoire-No-6-Comment-mesurer-les-inegalites-de-revenus>

Annexes

Figure 25, Annexe I : La « courbe de l'éléphant » telle que présentée dans l'article original de Lakner & Milanović, 2013

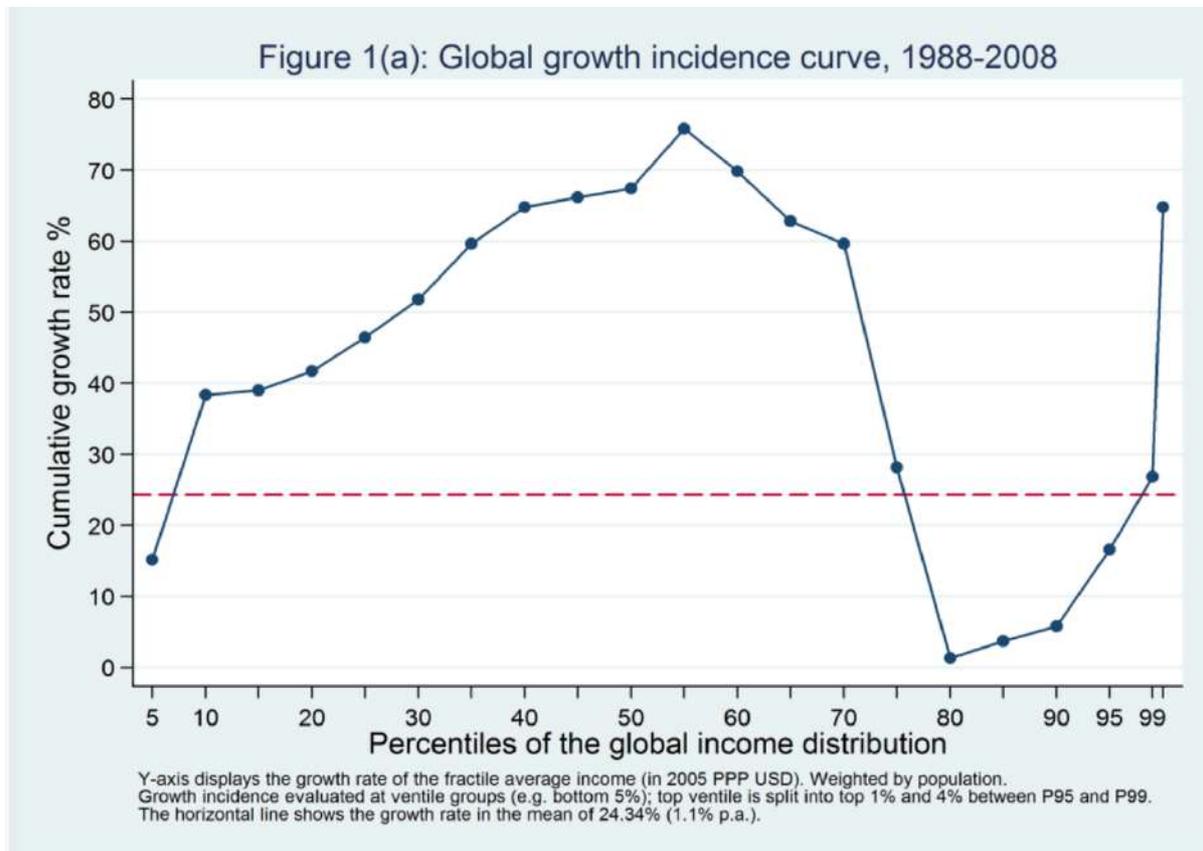
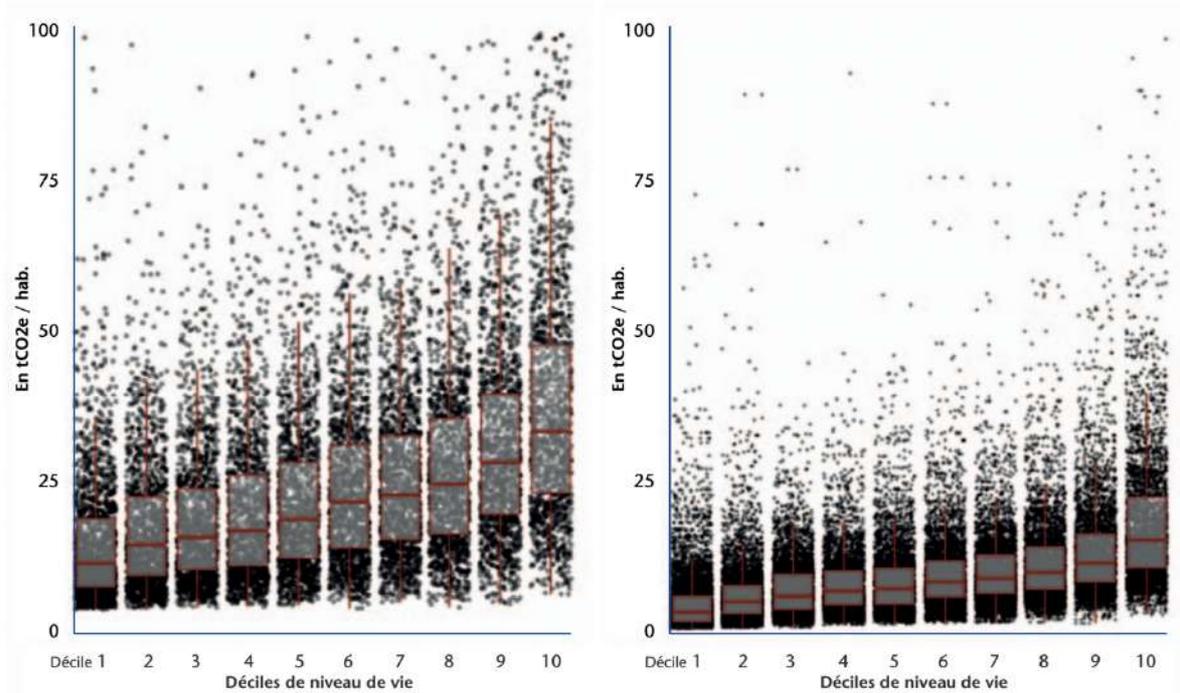


Figure 26, Annexe II, Distribution des émissions de gaz à effet de serre des ménages et des individus, en fonction des déciles de revenu, pour la France (Malliet, 2019)

Graphique 4. Distribution des émissions de GES par ménage (gauche) et individu (droite) en fonction de leur décile de niveau de vie



Sources : EXIOBASE, SDES-CGDD, Budget des Familles, calculs des auteurs.

Figure 27, Annexe III, les postulats des scénarios SSP, O'Neill et al., 2017, tableau 1

Table 1

Summary of assumptions regarding demographic and human development elements of SSPs. See KC and Lutz (2014) for the definitions of country fertility groupings for demographic elements. Country groupings referred to in table entries for human development are based on the World Bank definition of low-income (LIC), medium-income (MIC) and high-income (HIC) countries.

SSP element	SSP1			SSP2			SSP3			SSP4			SSP5		
	High fert.	Low fert.	Rich-OECD	High fert.	Low fert.	Rich-OECD	High fert.	Low fert.	Rich-OECD	High fert.	Low fert.	Rich-OECD	High fert.	Low fert.	Rich-OECD
	<i>Country fertility groupings for demographic elements</i>														
Demographics															
<i>Population</i>															
Growth	Relatively low			Medium			High			Relatively high			Low		
Fertility	Low	Low	Med	Medium			High	High	Low	High	Low	Low	Low	Low	High
Mortality	Low			Medium			High			High			Med		
Migration	Medium			Medium						Medium			High		
<i>Urbanization</i>															
Level	High			Medium			Low			High			High		
Type	Well managed			Continuation of historical patterns			Poorly managed			Mixed across and within cities			High		
	Better mgmt. over time, some sprawl														
Human development															
Education	High			Medium			Low			V.low/uneq.			Low/uneq.		
Health investments	High			Medium			Low			Unequal within regions, lower in LICs, medium in HICs			Med/uneq.		
Access to health facilities, water, sanitation	High			Medium			Low			Unequal within regions, lower in LICs, medium in HICs			High		
Gender equality	High			Medium			Low			Unequal within regions, lower in LICs, medium in HICs			High		
Equity	High			Medium			Low			Medium			High		
Social cohesion	High			Medium			Low			Low, stratified			High		
Societal participation	High			Medium			Low			Low			High		

Figure 28, Annexe IV, les postulats des scénarios SSP, O'Neill et al., 2017, tableau 2

Table 2

Summary of assumptions regarding Economy & Lifestyle and Policies & Institutions elements of SSPs. Country groupings referred to in table entries are based on the World Bank definition of low-income (LIC), medium-income (MIC) and high-income (HIC) countries.

SSP element	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
Economy & lifestyle					
Growth (per capita)	High in LICs, MICs; medium in HICs	Medium, uneven	Slow	Low in LICs, medium in other countries	High
Inequality	Reduced across and within countries	Uneven moderate reductions across and within countries	High, especially across countries	High, especially within countries	Strongly reduced, especially across countries
International trade	Moderate	Moderate	Strongly constrained	Moderate	High, with regional specialization in production
Globalization	Connected markets, regional production	Semi-open globalized economy	De-globalizing, regional security	Globally connected elites	Strongly globalized, increasingly connected
Consumption & Diet	Low growth in material consumption, low-meat diets, first in HICs	Material-intensive consumption, medium meat consumption	Material-intensive consumption	Elites: high consumption lifestyles; Rest: low consumption, low mobility	Materialism, status consumption, tourism, mobility, meat-rich diets
Policies & institutions					
International Cooperation	Effective	Relatively weak	Weak, uneven	Effective for globally connected economy, not for vulnerable populations	Effective in pursuit of development goals, more limited for envt. goals
Environmental Policy	Improved management of local and global issues; tighter regulation of pollutants	Concern for local pollutants but only moderate success in implementation	Low priority for environmental issues	Focus on local environment in MICs, HICs; little attention to vulnerable areas or global issues	Focus on local environment with obvious benefits to well-being, little concern with global problems
Policy orientation	Toward sustainable development	Weak focus on sustainability	Oriented toward security	Toward the benefit of the political and business elite	Toward development, free markets, human capital
Institutions	Effective at national and international levels	Uneven, modest effectiveness	Weak global institutions/ natl. govts. dominate societal decision-making	Effective for political and business elite, not for rest of society	Increasingly effective, oriented toward fostering competitive markets

Figure 29, Annexe V, les postulats des scénarios SSP, O'Neill et al., 2017, tableau 3

Table 3

Summary of assumptions regarding Technology and Environment & Natural Resources elements of SSPs. Country groupings referred to in table entries are based on the World Bank definition of low-income (LIC), medium-income (MIC) and high-income (HIC) countries.

SSP element	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
Technology					
Development	Rapid	Medium, uneven	Slow	Rapid in high-tech economies and sectors; slow in others	Rapid
Transfer	Rapid	Slow	Slow	Little transfer within countries to poorer populations	Rapid
Energy tech change	Directed away from fossil fuels, toward efficiency and renewables	Some investment in renewables but continued reliance on fossil fuels	Slow tech change, directed toward domestic energy sources	Diversified investments including efficiency and low-carbon sources	Directed toward fossil fuels; alternative sources not actively pursued
Carbon intensity	Low	Medium	High in regions with large domestic fossil fuel resources	Low/medium	High
Energy intensity	Low	Uneven, higher in LICs	High	Low/medium	High
Environment & natural resources					
Fossil constraints	Preferences shift away from fossil fuels	No reluctance to use unconventional resources	Unconventional resources for domestic supply	Anticipation of constraints drives up prices with high volatility	None
Environment	Improving conditions over time	Continued degradation	Serious degradation	Highly managed and improved near high/middle-income living areas, degraded otherwise	Highly engineered approaches, successful management of local issues
Land Use	Strong regulations to avoid environmental tradeoffs	Medium regulations lead to slow decline in the rate of deforestation	Hardly any regulation; continued deforestation due to competition over land and rapid expansion of agriculture	Highly regulated in MICs, HICs; largely unmanaged in LICs leading to tropical deforestation	Medium regulations lead to slow decline in the rate of deforestation
Agriculture	Improvements in ag productivity; rapid diffusion of best practices	Medium pace of tech change in ag sector; entry barriers to ag markets reduced slowly	Low technology development, restricted trade	Ag productivity high for large scale industrial farming, low for small-scale farming	Highly managed, resource-intensive; rapid increase in productivity

Figure 30, Annexe VI, Comparaison des émissions de CO₂ des combustibles fossiles et de l'industrie dans les différents ensembles de scénarios, IPCC, 2016

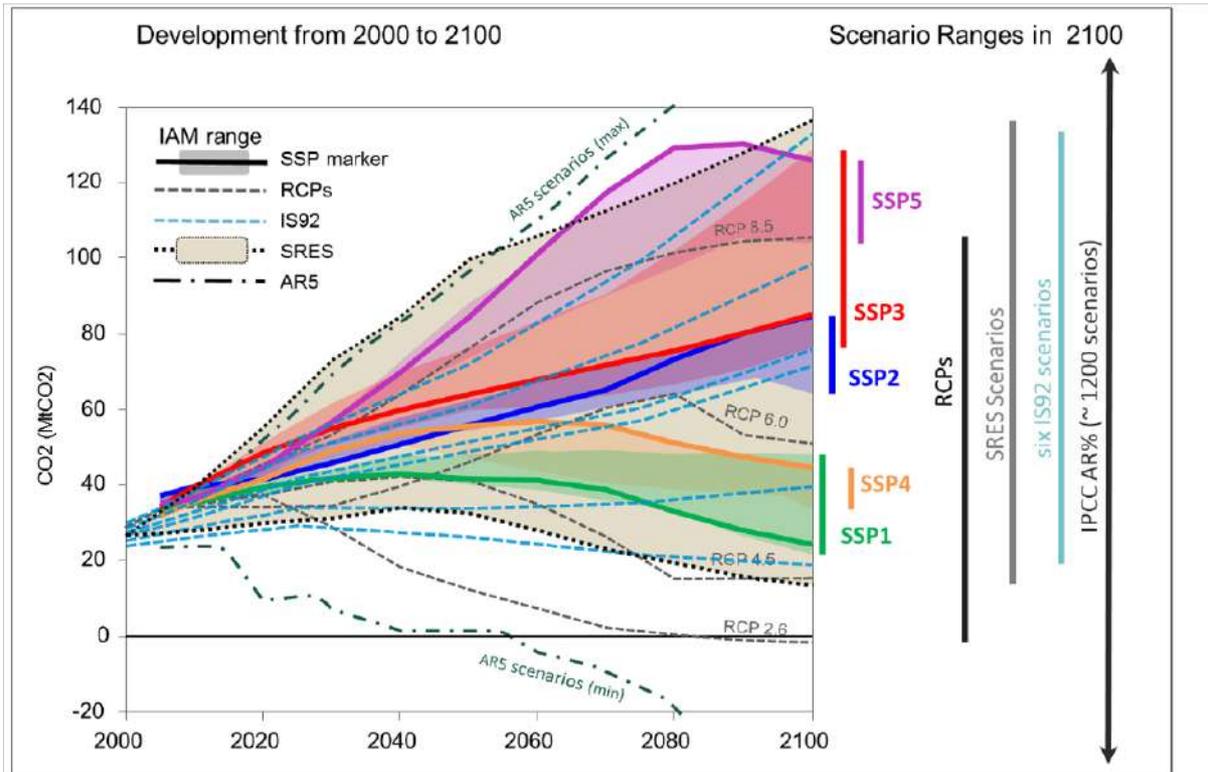


Figure 3 - Comparison of CO₂ emissions from fossil fuels and industry across preliminary SSP baseline scenarios and other scenario sets assessed by the IPCC (RCPs, SRES, IS92, and full range of AR5 WGIII scenarios). Note that the results of the SSPs shown here are preliminary and reflect the status of the SSP IAM scenarios presented at the Expert Meeting. Source: Riahi, van Vuuren et al. (2016)

Figure 31 Annexe VII, postulats sur les inégalités au sein des pays des scénarios SSP, Van der Mensbrugge 2015

Tab. 5: Within-country assumptions on changes in income inequality

Region	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
Low-income	↗	→	↘	↘	↗
Lower middle-income	↗	→	↘	↘	↗
Upper middle-income	↗	→	↘	→	↗
High-income	↗	→	↘	→	→

Note: A rising arrow indicates improving equality, i.e. Gini declines.

Figure 32, Annexe VIII, postulats sur les inégalités au sein des pays des scénarios SSP, Rao et al., 2019

Table 1

Summary of the representation of income inequality and its key drivers in the SSP narratives.

Variable	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
Inequality between advanced and developing countries	Low	Med	High	Med-Hi	Low
Inequality within countries	Low	Med	Med-Hi	High	Low
<i>Drivers (Inequality within countries)</i>					
TFP Frontier	Med	Med	Low	Med	High
TFP Convergence(+)	High	Med	Low	Low-Med	High
Education(-)	High	Med	Low	Hi Tert; Low Prim/Sec	High
Social Policy(+/-)	High	Med	Low	Low	High
Labor Income Share (-)	-	-	-	-	-
Non-resource Trade (+/-)	-	-	-	-	-

Sources: Income inequality from O'Neill et al. (2014), education from Samir and Lutz (2014), TFP from Dellink et al. (2015), social policy by authors. (+/-) indicates direction of influence of driver on income inequality in the predecessor model.

Figure 33, Annexe IX, impacts économiques du changement climatique historique, Diffenbaugh & Burke, 2019

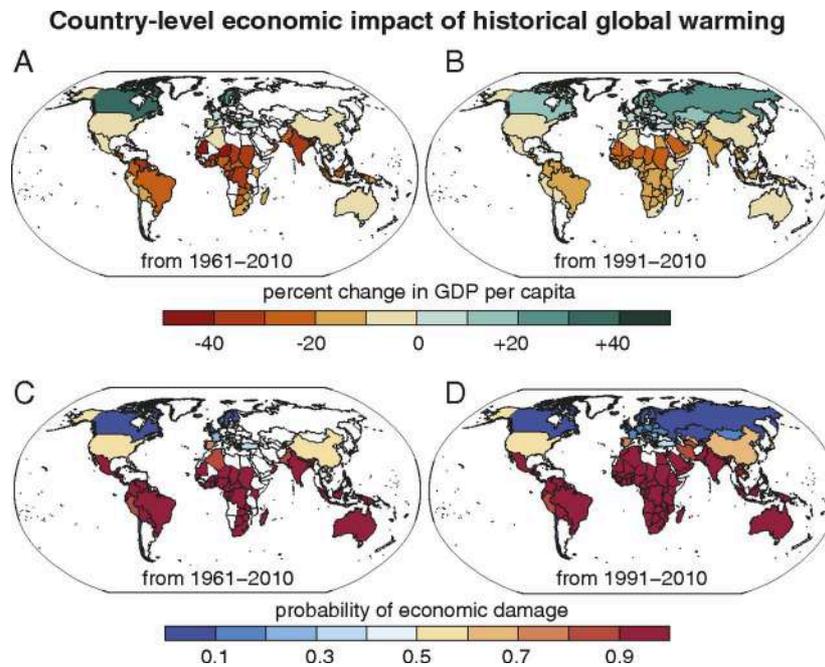


Fig. 3: Level and growth effects.

From: [Integrated perspective on translating biophysical to economic impacts of climate change](#)

