

VII / La dette climatique en Europe

Paul Malliet et Xavier Timbeau

Le réchauffement climatique est généralement perçu par les économistes comme un problème de gestion optimale des ressources naturelles limitées bien que les climatologues le dépeignent plutôt comme une urgence absolue à modifier nos modes de vie pour éviter un désastre de grande ampleur. Malgré les nombreux engagements pris jusqu'à présent, que ce soit par la communauté internationale ou de manière unilatérale par des pays, le chemin qu'il reste à parcourir est considérable que les pays ne consacrent suffisamment de ressources politiques et économiques pour répondre de manière satisfaisante à cette menace.

La 25^e conférence des parties (COP25) qui a été inaugurée le 2 Décembre à Madrid, en Espagne, fait partie intégrante du dispositif diplomatique destiné à faire émerger des accords effectifs et opérants. C'est également une occasion supplémentaire de réaliser que certains pays demeurent réticents à restructurer fondamentalement leur production et consommation énergétique. Plus précisément, il semblerait que cela se confonde de plus en plus avec un forum où les différents pays du globe vont pouvoir s'affronter quant à leur responsabilité historique dans le dérèglement climatique ou quant aux moyens d'action respectifs à mettre en œuvre.

Dans ce contexte, il est plus urgent que jamais de délimiter clairement les responsabilités de chaque pays ainsi que leurs contributions respectives à la réduction d'émissions en valeur absolue afin de tenir les engagements pris lors des Accords de Paris. Pour y parvenir, nous proposons dans le travail qui suit une approche visant à estimer les dettes climatiques au niveau

national et supranational. Ces évaluations sont centrées sur la question des émissions et laissent de côté d'autres aspects centraux de la question environnementale. Nous ne traitons pas ainsi de perte de biodiversité, de pollution atmosphérique ou encore du risque futur associé au stockage des déchets nucléaires.

Définition générale

Les dernières décennies ont vu se développer de nombreux travaux scientifiques étayant le fait que le réchauffement climatique est directement relié aux émissions cumulées de dioxyde de carbone (Allen *et al.*, 2009; Matthews *et al.*, 2009; Raupach *et al.*, 2011). Cette relation entre augmentation de la température et émissions carbonées justifie l'utilisation de la notion de « budget carbone », à même d'éclairer les décideurs publics lors de la définition de politiques environnementales. Le budget carbone est défini comme la quantité cumulée de dioxyde de carbone pouvant être libérée dans l'atmosphère avant de dépasser un certain seuil de changement de température par rapport à une période donnée.

Dans son récent rapport spécial sur les impacts du réchauffement climatique d'un degré et demi au-dessus des niveaux préindustriels (SR1.5), le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC ou IPCC) évalue à 1 320 milliards de tonnes de dioxyde de carbone (GtCO₂) la quantité maximale de CO₂ que nous pouvons émettre au niveau mondial jusqu'à la fin des temps si nous voulons maintenir — avec une probabilité de réussite de 67 % — le changement de température en-dessous du seuil de + 2°C par rapport aux niveaux préindustriels.

La construction de tels indicateurs offre bien entendu de nombreux flancs à la critique et d'autant plus qu'elle est généralement adossée à des modèles climatiques reposant eux-mêmes sur de nombreuses hypothèses qu'on l'on peut toujours remettre en cause. Il semble cependant important de souligner que cette construction statistique n'est pas le cœur du débat. La manière dont les budgets carbone sont répartis entre régions et pays est en fait le point d'achoppement central¹.

1 Voir Caney, (2013) dans "Justice and the distribution of greenhouse gas emissions".

Les différentes méthodes de répartition entre les pays de l'UE

En matière de définition des politiques publiques environnementales, un budget carbone ne peut prétendre à une opérationnalité qu'à partir du moment où l'on peut l'attribuer à une entité politique bien définie, à savoir un pays ou une région telle que l'Union Européenne. Des budgets carbone calculés pour chaque pays permettent de délimiter les responsabilités de chacun et, *a fortiori*, de mieux accompagner la mise en œuvre de stratégies de réduction d'émissions. La littérature a mis en lumière tout un continuum de méthodes permettant de répartir le budget carbone mondial entre les différents pays. On identifie usuellement deux extrémités de ce continuum : l'approche égalitariste et l'approche de *grandfathering* (Gignac and Matthews, 2015; Giraud *et al.*, 2017; Raupach *et al.*, 2014).

L'approche égalitariste consiste à attribuer à chaque être humain le droit d'émettre la même quantité de dioxyde de carbone. Cette méthode ne donne aucun poids aux inégalités structurelles entre pays et repose sur une répartition considérant comme première l'égalité des individus entre eux. Dans une certaine mesure, cela revient à dire que les différences passées entre les pays n'ont pas d'importance et que seule compte l'égalité des individus en termes de lutte contre le réchauffement planétaire et le changement climatique à partir du moment présent jusqu'à la fin des temps.

La méthode de répartition par *grandfathering* distribue quant à elle le budget carbone mondial en utilisant les ratios d'émissions actuels. Cela revient à dire que le poids des émissions nationales dans les émissions mondiales, pour un pays donné, reste constant au cours du temps. Ce critère de répartition, bien que très conservateur, a l'avantage de tenir compte des caractéristiques structurelles propres à un territoire, qui peuvent différer du tout à tout d'un pays à l'autre mais ne se modifient que très lentement au cours du temps. C'est par exemple le cas de l'accès aux énergies renouvelables, hydrauliques ou encore du degré d'exposition à des conditions climatiques difficiles.

Ces deux méthodes de répartition n'intègrent cependant pas de manière satisfaisante la question de la responsabilité historique des pays dans leurs contributions respectives au réchauffement planétaire. Des auteurs, à l'instar de H. Damon

Matthews², ont ainsi suggéré de produire un indicateur supplémentaire qui consisterait à formaliser un « ajustement historique du carbone », c'est-à-dire qui permettrait de prendre en compte l'historique des émissions passées. Cette mesure d'ajustement historique vise à déterminer, pour chaque année, si les pays ont émis plus ou moins que ce à quoi ils avaient droit et consiste à agréger les déviations sur la période de temps retenue.

Les budgets carbone au sein de l'Union européenne

Par la suite, nous proposons de quantifier la responsabilité de l'Union Européenne, entendue comme entité véritablement politique, dans le processus de décarbonisation. Pour ce faire, nous nous appuyons sur la production d'indicateurs statistiques tels que les budgets carbone. Dans un premier temps, nous utilisons l'approche égalitariste afin de diviser le budget carbone mondial en deux budgets régionaux : un budget pour l'Union Européenne et un autre pour le reste du monde. Le budget carbone de l'Union Européenne est ensuite réparti entre les 28 pays membres à partir de l'approche par *grandfathering*. Ces deux premières répartitions prennent 2017 comme année de référence. Puis, afin de tenir compte des diverses responsabilités historiques nationales depuis 1990, nous calculons un indicateur d'ajustement historique du carbone par pays sur la période 1990-2018, en suivant la méthode de Matthews précédemment mentionnée. Enfin, nous calculons des budgets carbone ajustés tant à l'échelle régionale qu'à l'échelle nationale. Dans la mesure où notre méthode de calcul de budgets carbone ajustés utilise les deux méthodes de répartition (égalitariste et par *grandfathering*), nous la dénommons par la suite « approche hybride ».

Selon la méthode de répartition hybride prenant 2015 comme année de référence, le budget carbone de l'Union Européenne est de 91 GtCO₂ pour le scénario + 2°C. Cela correspond approximativement à trente années au rythme d'émission actuel. Au niveau régional, l'ajustement historique du carbone sur la période 1990-2018 s'élève à 48.1 GtCO₂. Le budget carbone européen après intégration de l'ajustement historique est ainsi bien plus faible : il tombe à 38.8 GtCO₂ sous la contrainte + 2°C. Rien de surprenant dans la mesure où le

2 Voir l'article « Quantifying historical carbon and climate debts among nations » (Matthews, 2016).

développement industriel a été plus précoce en Europe que dans le reste du monde, augmentant d'autant la responsabilité européenne dans le stock d'émissions de dioxyde de carbone.

Par ailleurs, les budgets carbone nationaux varient beaucoup au sein de l'Union Européenne. Si l'on considère la contrainte + 2°C avec la méthode de répartition hybride, la France obtient le plus gros budget carbone ajusté avec 6.3 GtCO₂ tandis que l'Allemagne se retrouve à la deuxième position avec 4.8 GtCO₂ (contre 21 GtCO₂ avant ajustement). La différence vient d'une relative plus grande efficacité énergétique ainsi que d'une désindustrialisation plus importante de la France. L'Espagne, l'Italie et la Pologne sont les pays les plus dotés après la France et l'Allemagne. Les mêmes grandeurs par habitant redistribuent largement les droits d'émission entre les membres de l'Union Européenne. La Bulgarie, la Croatie, l'Autriche, la Roumanie et la Pologne sont alors détenteurs des plus importants budgets carbone ajustés par tête. La France occupe la 9^e position du classement tandis que l'Allemagne et le Royaume-Uni sont respectivement à la 17^e et 18^e place (voir graphique 1)

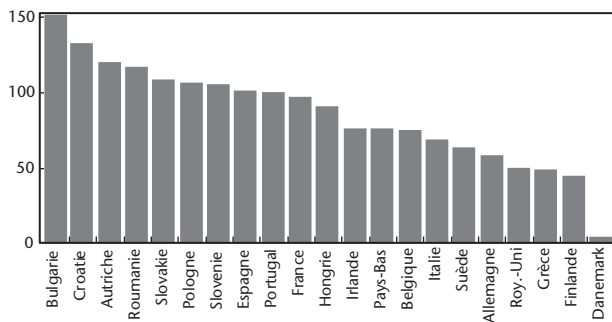
Du budget carbone à la dette climatique

Tendance des émissions et épuisement du budget carbone

La deuxième étape de notre approche est de déterminer la dynamique de réduction des émissions pour les pays membres de l'UE. Pour y parvenir, nous utilisons les scénarios *Enerfuture* d'ENERDATA qui projettent des trajectoires d'émissions jusqu'en 2040. La trajectoire d'émissions associée au scénario central Ener-blue est construite en se fondant sur les engagements nationaux pris lors des Accords de Paris en 2015. Ces engagements conduiraient à une hausse de la température mondiale supérieure à 3°C. A noter que cette trajectoire suit la même dynamique de réduction des émissions observées lors des 10 dernières années et peut donc s'interpréter comme une prolongation de la politique actuelle.

Ce scénario suivant les engagements nationaux est comparé à celui qui respecterait la cible de + 2°C. Il est le scénario pivot dans la question du partage des responsabilités, c'est-à-dire l'approche hybride retenue et exposée dans la partie précédente. Il existe plusieurs points de vue possibles dans le choix de la

Graphique 1. Budget carbone par habitant avec ajustement historique



Source : calcul des auteurs, based on IPCC SR1.5, UNFCCC emissions data, Le Quéré et al (2018) Historical Carbon Budget (version 1.3), UN World Population Prospects (2017 revision), AMECO online (11/2018) for 2017 GDP. Calculé pour + 2°C avec une probabilité de 66 %, partage hybride et approche consommateur selon laquelle les émissions sont imputées au lieu de consommation et non au lieu de production.

méthodologie du partage des responsabilités, conduisant *in fine* à des allocations distinctes. Le choix entre ces points de vue ne nous appartient pas dans la mesure où ces derniers sont régis avant tout par des considérations éthiques et politiques. De plus, les résultats dépendent aussi largement d'hypothèses techniques prospectivistes qui déterminent le rythme de réduction des émissions, et qui par définition, restent spéculatives³.

Le principal enseignement est que le budget carbone associé à une cible de + 2°C est presque épuisé pour quasiment tous les pays membres de l'UE (voir graphique 2), avec en moyenne une dizaine d'années restantes. Un horizon si proche implique qu'une part significative du stock de capital actuel (capital productif, bâtiments résidentiels et tertiaires, moyen de transports, etc.) doit être considéré comme étant déprécié sous cette contrainte carbone. En d'autres termes, du capital déjà installé va inéluctablement

3 Des tests de sensibilité sur les différentes dimensions qui impactent le budget carbone sont présentés dans le document de référence constitutif du rapport IASES 2019.

être déclassé, s'il n'a été auparavant rénové en profondeur. Ce constat sans appel conduit à fournir une évaluation monétaire, ce que nous tentons de faire via l'estimation d'une dette climatique.

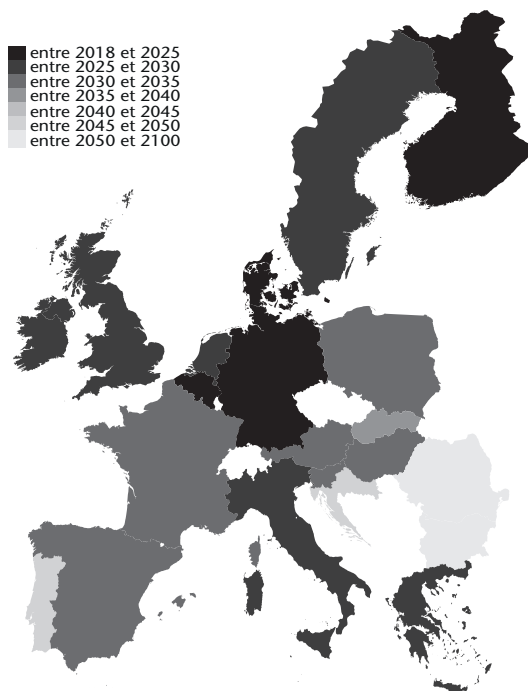
L'estimation de la dette carbone par le coût d'abattement

La dette climatique pour un pays donné est calculée en estimant le coût d'un scénario spécifique. Une fois le budget carbone épuisé, et afin de respecter ses engagements, le pays met en place du jour au lendemain et pour le nombre d'années restantes avant d'atteindre la neutralité carbone, des mesures de réduction des émissions de façon à atteindre la neutralité nette (on parle de mesures d'abattement). Nous faisons l'hypothèse dans notre estimation qu'il existe une technologie de recours qui peut réduire les émissions à zéro une fois le budget carbone épuisé. Le jeu d'hypothèses relatif à l'existence d'une telle technologie est discutable (voir Encadré 1), mais confère toutefois l'avantage de traduire une mesure physique (le budget carbone en Gt) en une mesure monétaire (la dette climatique exprimée en euros 2018). Un autre avantage provient de l'utilisation d'un facteur d'actualisation, qui donne un poids relativement moindre au long-terme et réduit donc l'incertitude associée aux projections spéculatives.

Comme indiqué dans le graphique 3, la zone sous la trajectoire d'émissions sert de support à notre évaluation. Dans la mesure où il s'agit d'un flux avec une dynamique temporelle complexe, il est nécessaire d'utiliser une valeur nette actualisée pour la transformer en stock. Nous utilisons une somme actualisée standard avec un taux d'actualisation représentant le taux social de préférence, et potentiellement, un effet de progrès technique sur cette technologie de dernier ressort ainsi que l'incertitude qui l'entoure. Le taux d'actualisation ici utilisé n'ouvre pas les débats éthiques intergénérationnels. Contrairement aux débats induits par le rapport Stern, pour lequel le taux d'actualisation était utilisé pour classer des scénarios impliquant les générations futures, nous actualisons ici les coûts futurs jusqu'à l'épuisement du budget carbone, qui se produit dans un laps de temps suffisamment court pour que les coûts ne soient reportés sur des générations à naître⁴.

4 La dette climatique est ainsi calculée à l'aide de l'équation suivante : $ClimDebt = 1/(1+r)^T \times (CO_{2,T} p^B)/r$, où r est le taux d'actualisation, T le nombre d'années avant épuisement du budget carbone et $CO_{2,T}$ la valeur actualisée des émissions à la date T , à laquelle le budget est épuisé.

Graphique 2. Carte des années restantes avant épuisement des budgets carbone



Source : Calcul des auteurs, à partir du SR1.5 du GIEC, les données d'émissions de l'UNFCCC et de l'OCDE, Le Quéré et al. (2019) Historical Carbon Budget (version 1.3), UN World Population Prospects (2018 revision), AMECO online (11/2018) pour le PIB 2018. Calculé pour +2°C 2/3 probabilité, répartition hybride et approche consommateur.

Les émissions observées sont extrapolées sur la base du scénario de référence à politique inchangée. Une fois le budget carbone épuisé — l'aire 1 en gris clair sur le graphique 3 —, le flux annuel restant d'émissions doit encore être complètement ramené à zéro — aire 2 en gris foncé. Le taux d'actualisation est appliqué au coût d'abattement pour chaque année (le coût d'abattement fois le montant des émissions à réduire) et additionné pour avoir la valeur actualisée nette de ces coûts futurs.

La dette climatique des pays européens est de l'ordre de 50 % du PIB pour le scénario central. Ce chiffre correspond à un coût des engagements climatiques de la COP21 de l'ordre de 1 % du PIB annuel. Ce chiffre, qui dépend largement du coût de la technologie de dernier recours, est en ligne avec d'autres évaluations comme par exemple celle de la Commission Européenne (notamment « Clean Planet for All »). Un effort plus ambitieux, compatible avec la cible + 1,5°C, impliquerait un coût doublé, également en ligne avec les évaluations évoquées. L'UE étant un importateur net de carbone, l'approche producteur est associée à une responsabilité moindre. L'ajustement historique est également important pour l'UE puisque les émissions depuis 1990 sont à la fois supérieures aux émissions mondiales et n'ont pas été en ligne avec le budget tel qu'on aurait pu le calculer en 1990. Le Tableau 1 présente des différences importantes entre les pays. La moyenne UE6 est de 51 % pour le scénario central, la dette climatique de l'Allemagne est de 64 % tandis que celle de la France de 38 %. Une partie de cette différence provient de l'ajustement historique. Le reste dépend

Encadré 1. La technologie de dernier ressort

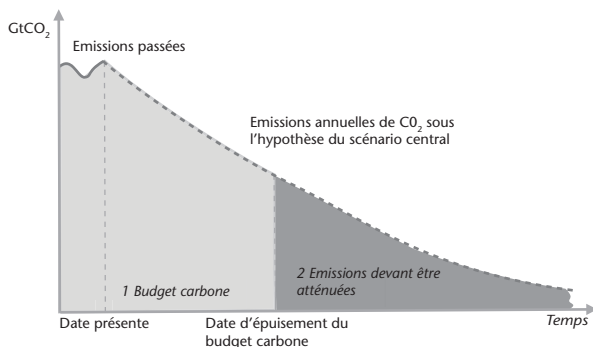
Cette technologie de dernier ressort ne remplace pas un potentiel investissement. Elle vise juste à réduire les émissions dans le sens où elle ne produit aucun autre bénéfice que celui de retirer du CO₂ de l'atmosphère. De telle technologies (Carbon Dioxide Removal en anglais ou CDR)* sont actuellement expérimentées dans plusieurs endroits du globe – Climeworks, Carbon Engineering étant actuellement des acteurs dans ce domaine". Elles sont supposées être plus chères que n'importe quelle autre option et être déployables à n'importe quelle échelle, hors la contrainte de coût. Cela implique qu'il n'y a pas de limites physiques à leur déploiement, comme la surface nécessaire, les nuisances induites ou la capacité de stockage du

carbone capturé. Cependant, la capacité de déploiement d'une telle technologie n'est pas démontrée, ni d'ailleurs le coût par tonne de CO₂ retirée de l'atmosphère. La faisabilité de stocker le CO₂ dans le sous-sol indéfiniment et le potentiel de capacité pour y parvenir est également contestable. Les estimations actuelles de coût sont pour leur majorité issues des acteurs industriels et seulement sur des prototypes ou dans le cadre de phase d'expérimentation, corroborant ainsi ce risque d'annonces excessivement optimistes.

* Nous ne considérons pas ici l'usage de technologies de géo-ingénierie dans la mesure où de telles technologies impliquent une incertitude radicale comme une irréversibilité par leur usage qui nous semble être actuellement au-delà de l'acceptable.

** Voir "Sucking CO₂ out of the atmosphere explained" sur vox.org by Umair Irfan pour un exposé synthétique. Les sites web de Climeworks et carbonengineering proposent également de l'information, de nature commerciale. Quelques articles ont été publiés dans des revues académiques (Keith et al. (2018) Joule 2, 1573-1594).

Graphique 3. Actualiser la dette climatique



Source : calcul des auteurs.

d'une différence d'intensité carbone du mix énergétique entre les pays. Cette question reste un point d'opposition entre la France et l'Allemagne, la transition récente de l'Allemagne vers les énergies renouvelables n'ayant pas été suffisante pour compenser la sortie anticipée du nucléaire. Notre but n'est pas de promouvoir un mix énergétique par rapport à un autre, il est de reconnaître que notre méthodologie exacerbe des situations différenciées des économies⁵. La structure industrielle — plus d'industries en Allemagne, beaucoup moins en France — pourrait également jouer un rôle important, bien que pris en compte dans l'approche consommateur. Sans cette approche, la différence relative entre les dettes climatiques françaises et allemandes serait de l'ordre de 1 pour 3 plutôt que de 1 pour 2. Encore une fois, les choix méthodologiques retenus, basés sur des considérations politiques ou morales, peuvent conduire à des appréciations très différentes de la situation.

5 La dette climatique est un indicateur quantitatif qui ne peut pas traiter de l'ensemble des questions relatives à la lutte contre le changement climatique. Par exemple, l'énergie nucléaire est peu émettrice de carbone, et ainsi participe à l'amélioration de la dette climatique quand elle est utilisée, mais implique un ensemble de choix moraux notamment sur la sécurité de son usage, ce qui n'est pas quantifié dans la dette climatique.

Tableau 1. Dette climatique pour les six plus grands pays de l'UE

En points de PIB	DEU	GBR	FRA	ITA	ESP	NLD	UE6
Scénario central	64	51	38	50	39	59	51
Approche producteur (vs. consommateur)	28	19	10	18	15	47	21
Sans ajustement historique (vs. avec ajustement)	5	8	16	12	21	19	11
Approche égalitariste (vs. <i>grandfathering</i>)	99	62	34	41	22	77	61
Scénario + 1.5°C (vs + 2°C)	140	123	80	114	95	117	115

Source : Calculs des auteurs, à partir du SR1.5 (GIEC), données d'émissions de l'UNFCCC et de l'OCDE, Le Quéré et al. (2018) Historical Carbon Budget (version 1.3) et UN World Population Prospects (2017 revision), AMECO online (11/2018) pour le PIB 2018. Note: UE6 correspond à l'agrégation des 6 plus grandes économies (PIB 2018). L'approche producteur impute les émissions au lieu d'émission (c'est-à-dire le lieu de production), l'approche consommateur au lieu de consommation des produits ou services..

Des hypothèses alternatives, particulièrement sur le degré de responsabilité historique de l'UE peuvent radicalement changer les évaluations de dette climatique. Ne pas la considérer diminue considérablement l'effort à fournir par les pays membres de l'UE par rapport à l'effort mondial de réduction des émissions, ce qui leur donnerait un prétexte pour repousser à plus tard l'adoption de mesures d'atténuation des émissions. Nous ne proposons pas d'adopter un tel point de vue, au demeurant plutôt cynique. Nous soulignons que la question de la responsabilité est un facteur de premier plan dans l'estimation finale et négliger cette question ne fera qu'encourager la procrastination et alimenter les incompréhensions.

Conclusion

La quantification de la dette climatique et des années restantes avant épuisement du budget carbone est sensible aux hypothèses retenues. Certaines sont d'ordre moral et politique. Elles correspondent principalement aux méthodes de répartition du budget. Trancher sur la meilleure méthode à employer

ne relève pas de notre contribution au débat public. Cependant, il est important de souligner que la forte dépendance des résultats aux scénarios envisagés laisse à penser que d'importants transferts entre pays seront faits implicitement si la question n'est pas prise au sérieux d'un point de vue politique.

D'autres hypothèses sont d'ordre technique ; d'autres enfin relèvent de la prévision de long terme. Par construction, de tels exercices de quantification sont spéculatifs. Cette incertitude ne pourra jamais être totalement levée. Il n'en reste pas moins crucial de la garder présente à l'esprit lors de l'analyse des résultats afin de ne pas interpréter ces derniers de manière trop figée et dogmatique.

Les concepts de dette climatique et les années restantes avant épuisement du budget mettent avant tout en lumière à quel point il est urgent de concevoir et d'appliquer des politiques d'atténuation du changement climatique. L'Union Européenne est à présent au pied du mur et la nouvelle commission européenne présidée par Ursula von der Leyen doit placer la lutte contre le réchauffement climatique au centre de sa politique. Toutes nos réserves de procrastination sont épuisées : le montant de la dette climatique est important, allant de 20 à 200 % du PIB sous la contrainte + 2°C avec une estimation centrale à 50 % du PIB. Prendre en considération la contrainte + 1.5°C n'en est que plus alarmant, avec une estimation centrale à 120 % du PIB.

Nous avons cependant la ferme conviction que ces éléments quantitatifs ne pourraient justifier une quelconque position fataliste face à la situation ou être interprétés comme une preuve de son infaisabilité économique ou même technique. Ils suggèrent tout au contraire que des responsabilités importantes nous incombent et qu'il est à notre portée de les honorer, rendant nos renoncements et nos errements encore plus condamnables.

Repères bibliographiques

-
- ALLEN M. R., FRAME D. J., HUNTINGFORD C., JONES C. D., LOWE J. A., MEINSHAUSEN M. et MEINSHAUSEN N., « Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne », *Nature*, vol. 458, n° 7242, 2009, p. 1163-1166.
- AK WIEN, ECLM, IMK et OFCE, « The imperative of sustainability : economic, social, environmental », *Independent Annual Sustainable Economy Survey Report*, 2019.
- CANEY S., « Justice and the distribution of greenhouse gas emissions », in WIDDOWS H. et SMITH N. J. (dir.), *Global Social Justice*, Routledge, Londres, 2011, p. 58-81.

- GIGNAC R. et MATTHEWS H. D., « Allocating a 2 °C cumulative carbon budget to countries », *Environmental Research Letters*, vol. 10, n° 7, 2015.
- GIRAUD G., LANTREMANGE H., NICOLAS E. et RECH O., « National carbon reduction commitments : identifying the most consensual burden sharing », Centre d'économie de la Sorbonne, Document de travail, 2017.
- MATTHEWS H. D., « Quantifying historical carbon and climate debts among nations », *Nature Climate Change*, vol. 6, n° 1, 2016, p. 60-64.
- MATTHEWS H. D., GILLETT N. P., STOTT P. A. et ZICKFELD K., « The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions », *Nature*, vol. 459, n° 7248, 2009, p 829-832.
- RAUPACH M. R., CANADELL J. G., CIAIS P., FRIEDLINGSTEIN P., RAYNER P. J. et TRUDINGER C. M., « The relationship between peak warming and cumulative CO2 emissions, and its use to quantify vulnerabilities in the carbon-climate-human system », *Tellus, Series B : Chemical and Physical Meteorology*, vol. 63, n° 2, 2011, p. 145-164.
- RAUPACH M. R., DAVIS S. J., PETERS G. P., ANDREW R. M., CANADELL J. G., CIAIS P., FRIEDLINGSTEIN P., JOTZO F., VAN VUUREN D. P. et LE QUÉRÉ C., « Sharing a quota on cumulative carbon emissions », *Nature Climate Change*, vol. 4, n° 10, 2014, p. 873-879.