

Chapitre 4 : PIB, modélisation et climat

La transition en chiffres — L3

Malka Guillot

Université Grenoble Alpes

Plan du chapitre

1. Introduction : le climat et l'économie ; qu'est-ce qu'un modèle ?
2. Modèles d'évaluation intégrés (IAM) : coût-bénéfice vs coût-efficacité ; Nordhaus et DICE
3. La fonction de dommages : d'où vient Ω ? : méta-analyse, critiques, adaptation
4. Estimer les dommages à partir des données : types de données, panel, Burke et al.
5. Utiliser Ω pour calculer le coût social du carbone : actualisation, scénarios DICE, choix politiques
6. Conclusion : les critiques de DICE

Références

Introduction

Comment le changement climatique affecte-t-il l'économie ?

- Un débat controversé :
 - pour certains, le climat n'a pas ou peu d'impact sur une société moderne
 - pour d'autres, son impact est majeur
- Un problème **empiriquement difficile** :
 - le climat est multi-dimensionnel (température, précipitations, extrêmes...)
 - la société humaine est multi-dimensionnelle
 - de nombreux **facteurs confondants**
- L'expérience (scientifiquement) idéale :
 - prendre des planètes identiques
 - modifier le climat pour la moitié d'entre elles (groupe de traitement)
 - comparer les planètes "traitées" aux planètes témoins

→ **Une telle expérience n'est pas réalisable !**

Une vieille idée : le climat façonne l'activité humaine



Les cinq zones de la Terre, Macrobe,
Commentaire au Songe de Scipion, v. 1150
 (Copenhague, Bibl. royale, NKS 218 4°)

Source : Auffhammer (2018), p.41

- V^e s. av. J.-C. : Parménide divise le monde en **cinq zones** : une **torride** (trop chaude), deux **glaciales** (trop froides), deux **tempérées**
- **Aristote** : seules les zones tempérées sont habitables... celle où il vit !
- **Fin des années 1970** : l'essor de la science du climat pousse les économistes à **estimer les conséquences d'un climat qui change** sur des secteurs comme l'agriculture (d'Arge 1975 ; Adams et al. 1988)

→ Comment les mesurer ? Avec des **modèles**...

Quelques exemples de secteurs touchés par le changement climatique

Agriculture

- dépendance aux conditions climatiques (température, eau)
- variabilité des rendements, pertes de revenus pour les agriculteurs

Énergie

- moins de demande de chauffage, plus de demande de climatisation (effet net sur les coûts ?)
- coût accru du refroidissement des centrales nucléaires et à charbon

Santé

- hausse des maladies liées à la chaleur (cardiovasculaires, respiratoires)
- propagation de maladies vectorielles (paludisme, dengue) dans des zones jusque-là épargnées

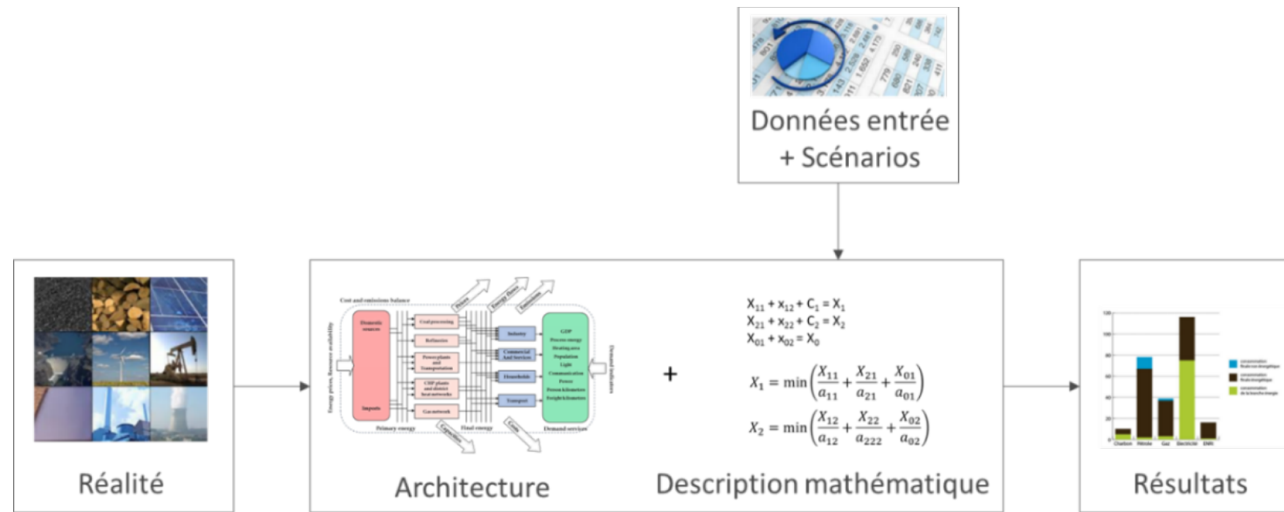
Infrastructures

- dommages causés par les catastrophes naturelles
- coût de l'adaptation pour rendre les infrastructures plus résilientes

Le corpus d'aujourd'hui

- Auffhammer (2018), *Quantifying Economic Damages from Climate Change*, Journal of Economic Perspectives, 32(4), 33-52
- Burke, Hsiang & Miguel (2015), *Global non-linear effect of temperature on economic production*, Nature, 527(7577), 235-239
- The Shift Project & IFPEN (2019), *Comprendre les enjeux de la modélisation du lien complexe entre énergie, climat et économie*

Qu'est ce qu'un modèle macroéconomique ?



Source : The Shift Project & IFPEN (2019), Figure 1 (adaptée de Bouvard et al., 2017), p.5

Qu'est ce qu'un modèle empirique ?

Un modèle empirique **estime** une relation à partir de **données observées**. Outil de base : la **régression**.

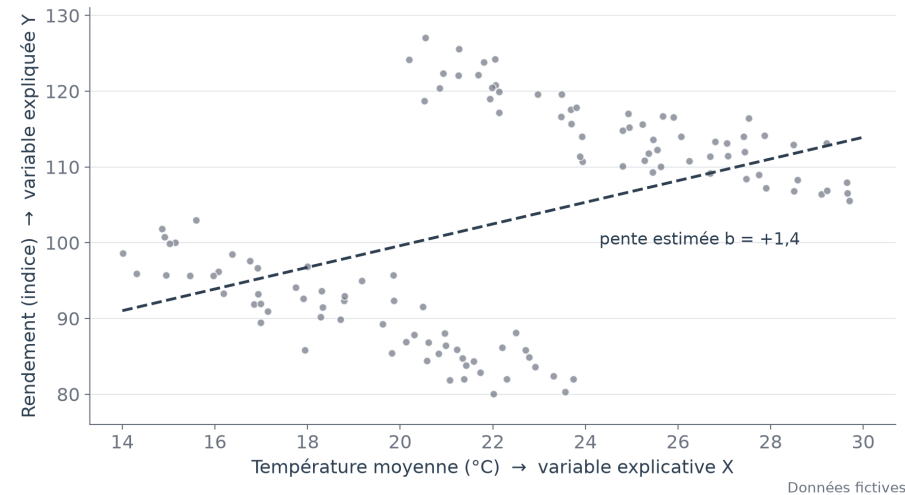
Le vocabulaire (exemple : climat et agriculture)

Rôle	Notation	Exemple
Variable expliquée : ce qu'on cherche à expliquer	Y	rendement agricole
Variable explicative : la cause qui nous intéresse	X	température
Variable de contrôle : un autre facteur, qu'on « neutralise »	Z	irrigation
Terme d'erreur : tout le reste, non observé	ε	sols, savoir-faire, chance...

La question : de combien Y varie-t-il quand X augmente d'une unité ?

La régression univariée

$$\underbrace{Y_i}_{\text{rendement}} = a + b \underbrace{X_i}_{\text{température}} + \varepsilon_i$$

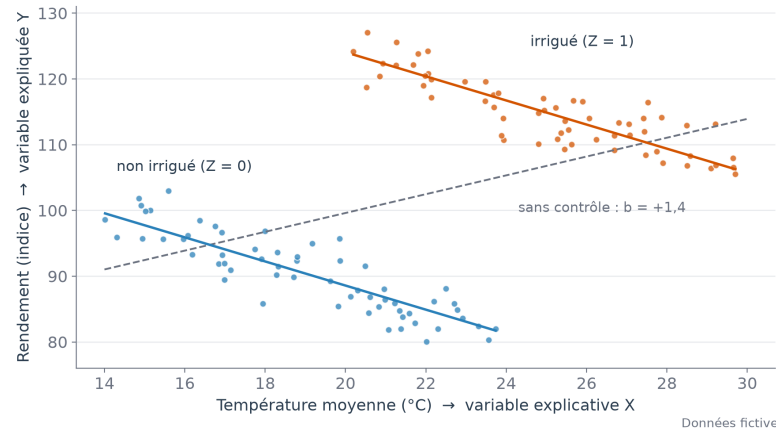


- On trace **la droite qui passe au plus près des points** ; sa pente b = effet d'un degré de plus sur le rendement
- Ici $b = +1,4$: **la chaleur augmenterait les rendements ?!**

Source : données fictives

La régression multivariée : ajouter un contrôle

$$Y_i = a + b X_i + c \underbrace{Z_i}_{=1 \text{ si irrigué}} + \varepsilon_i$$



- Les régions chaudes sont plus souvent **irriguées**, et l'irrigation augmente les rendements ($c = +35$)
- À **irrigation égale**, un degré de plus **réduit** le rendement : $b = -1,8$
- → Corrélation $\neq$ causalité : il faut comparer « **toutes choses égales par ailleurs** »

Source : données fictives, inspirées de Schlenker et al. (2005) via Auffhammer (2018)

Modèles d'évaluation intégrés (IAM)

2 approches de la modélisation du couple économie et climat

Coût-bénéfice

- **Question** : *jusqu'où* réduire les émissions ?
- On compare le **coût** de réduire une tonne de CO₂ aux **dommages évités** par cette tonne
- On réduit tant que le bénéfice dépasse le coût → **maximiser le bien-être**
- Chiffre clé : le **coût social du carbone** (€/tCO₂)
- *Exemple* : Nordhaus, DICE

Coût-efficacité

- **Question** : *comment* atteindre un objectif fixé (ex. +2 °C) ?
- On cherche la trajectoire **la moins coûteuse** pour l'atteindre
- Chiffre clé : le **prix du carbone nécessaire** pour tenir l'objectif
- *Exemple* : les scénarios du GIEC



Analogie : isolation de son logement

Coût-bénéfice

- j'isole tant que le dernier euro dépensé me fait économiser au moins un euro de chauffage ;
- le niveau d'isolation final est un *résultat*.

Coût-efficacité

- je veux atteindre l'étiquette DPE C (objectif fixé);
- je cherche la façon la moins chère d'y arriver ;
- le niveau d'isolation final est un *objectif fixé*.

Fonction de dommages

Le coût-bénéfice suppose de pouvoir **chiffrer les dommages en euros** ; le coût-efficacité contourne cette difficulté en fixant **l'objectif hors du modèle**.

William Nordhaus

- **Années 1970 :**
 - l'économie de l'environnement s'intéresse à la *rareté des énergies fossiles* (Solow, Stiglitz, Dasgupta & Heal, 1974) suite au premier choc pétrolier
 - Nordhaus déplace le regard du carbone **dans le sol** vers le carbone **dans l'atmosphère**
- **1975-1977 :**
 - premiers modèles énergétiques d'équilibre partiel (production exogène)
- **Début des années 1990 :**
 - **DICE** (*Dynamic Integrated model of Climate and the Economy*), 1e modèle d'équilibre général climat-économie, puis **RICE** (version à 12 régions)
- **2018** prix nobel: “*for integrating climate change into long-run macroeconomic analysis*”

Source : Schubert (2019), *William D. Nordhaus : intégrer le changement climatique dans l'analyse macroéconomique de long terme*, *Revue d'économie politique*, 129(6)



Chiffrer les dommages : deux approches

Au cœur d'un IAM coût-bénéfice, la **fonction de dommages** : *de combien le réchauffement réduit-il le PIB ?*

Approche structurelle

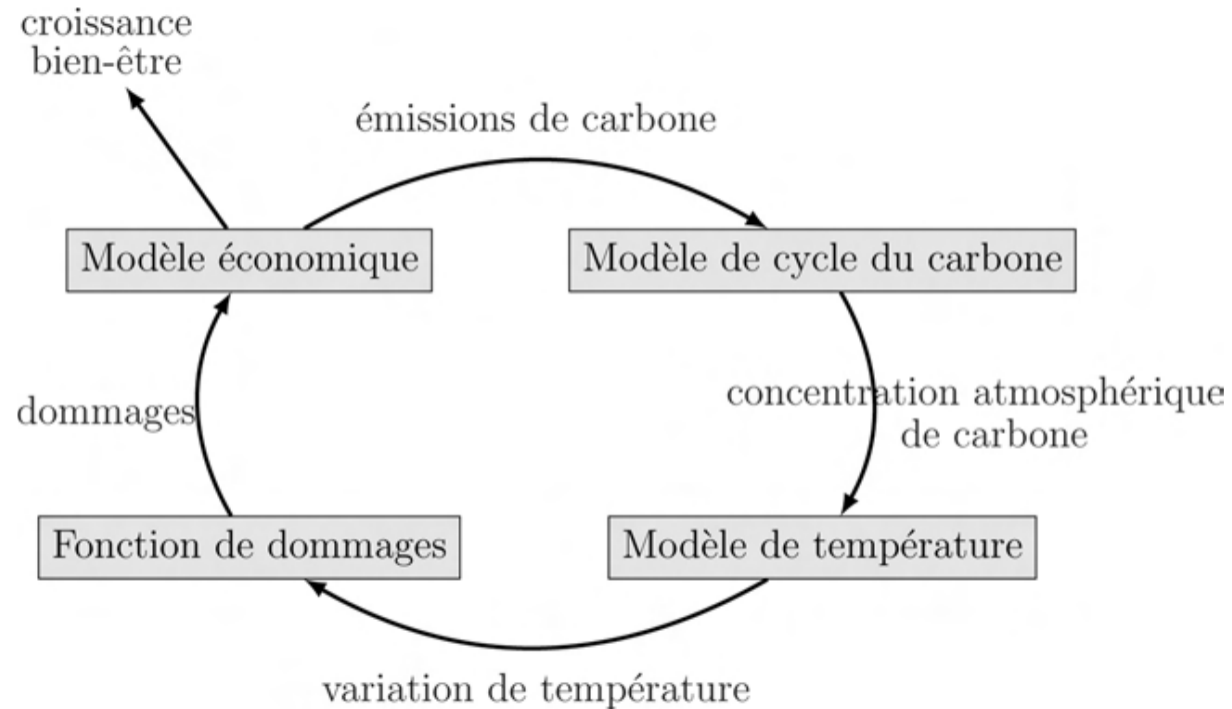
- on **postule** des relations secteur par secteur (agriculture, santé, énergie...)
- on **agrège** → dommage total à +2 °C, +3 °C...
- méta-analyse des études → une courbe de dommages
- DICE, FUND, PAGE (1990-2010)

Approche empirique

- on **estime** le lien climat → production sur **données historiques**
- à partir de chocs climatiques « exogènes » (années anormalement chaudes)
- « tournant » des années 2010 (Dell et al. 2012 ; Burke et al. 2015)
- calibre la fonction des IAM, ou projette directement les pertes de PIB

Sources : Auffhammer (2018) ; Bilal & Stock (2025), §2.2.1

Structure d'un IAM



Source : Schubert (2019), Figure 1

Le modèle économique

Un modèle de croissance classique (type Solow / Ramsey), avec **deux « fuites »** :

$$Y_t^{net} = Y_t - \Omega(T_t) Y_t - \Lambda(\mu_t) Y_t \quad \text{avec} \quad Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$$

PIB net = PIB brut – **dommages climatiques** – **coût de l'abattement**

Le levier : μ_t = **part des émissions abattues**. Augmenter μ_t a deux effets :

- **Aujourd'hui**, un coût : $\mu_t \uparrow \Rightarrow \Lambda(\mu_t) \uparrow$
- **Demain**, un bénéfice : $\mu_t \uparrow \Rightarrow E_t \downarrow \Rightarrow M_{t+k} \downarrow \Rightarrow T_{t+k} \downarrow \Rightarrow \Omega(T_{t+k}) \downarrow$ (slides suivantes)

→ Le planificateur choisit μ_t pour **maximiser le bien-être actualisé** :

- on abat tant que le coût d'une tonne abattue aujourd'hui est inférieur aux dommages futurs qu'elle évite (actualisés) → **coût social du carbone**

Source : Bilal & Stock (2025), annexe A.1 et A.3

Le modèle du cycle du carbone

Les émissions sont **proportionnelles à la production** :

$$E_t = \sigma_t (1 - \mu_t) Y_t + E_t^{land}$$

σ_t : intensité carbone de la production ; μ_t : part des émissions abattues

Le carbone **s'accumule** et circule lentement entre trois réservoirs (atmosphère, océan de surface, océan profond) :

$$M_t = (I + B) M_{t-1} + E_t$$

- C'est un **stock**, pas un flux : une tonne émise aujourd'hui pèse pendant des siècles
- σ_t baisse avec le progrès technique
 - (cf. décomposition de Kaya → chap. 5)
- Les émissions liées aux terres E_t^{land} sont **exogènes** : pas de modèle d'usage des sols dans DICE

Source : Bilal & Stock (2025), annexe A.2



Le modèle de température

$$\underbrace{M_t^{AT}}_{\text{carbone dans l'atmosphère}} \longrightarrow \underbrace{F_t}_{\text{forçage radiatif}} \longrightarrow \underbrace{T_t}_{\text{température}} \longrightarrow \Omega(T_t)$$

1. Le carbone crée un déséquilibre énergétique : le **forçage** = l'énergie solaire *en trop* que la Terre garde, faute de pouvoir la réémettre (W/m²)

$$F_t = F_0 \log \left(\frac{M_t^{AT}}{M} \right)$$

2. Le déséquilibre réchauffe l'atmosphère, progressivement :

$$T_{t+1} = T_t + c_1 \left(F_t - \lambda T_t - \text{chaleur absorbée par l'océan} \right)$$

- La température monte tant que le forçage dépasse ce que la Terre réémet (λT)
- L'**océan** absorbe de la chaleur → **inertie** du réchauffement

Source : Bilal & Stock (2025), annexe A.2

La fonction de dommages

Le maillon qui relie le climat au **PIB** :

$$\Omega(T) = 1 - \frac{1}{1 + \Omega_1 T + \Omega_2 T^2} \approx \Omega_2 T^2$$

Avec la calibration de Nordhaus ($\Omega_2 \approx 0,0024$, DICE-2016) :

Réchauffement	+1 °C	+2 °C	+3 °C	+4 °C	+6 °C
Perte de PIB	$\approx 0,2 \%$	$\approx 1 \%$	$\approx 2 \%$	$\approx 4 \%$	$\approx 8 \%$

- **Quadratique** : faible au début, puis s'accélère
- Des dommages **modestes**... comparés aux estimations empiriques : Burke et al. (2015) $\approx -20 \%$ de revenu mondial en 2100 ; Bilal & Känzig (2024) $\approx -23 \%$ par °C à long terme
- $\rightarrow \Omega$ est le **paramètre le plus débattu** (Auffhammer 2018 ; Pindyck 2013)

Source : Bilal & Stock (2025), annexe A.3 et §2.2.1 ; Auffhammer (2018)

La fonction de dommages : d'où vient Ω ?

Calibrer Ω : une méta-analyse

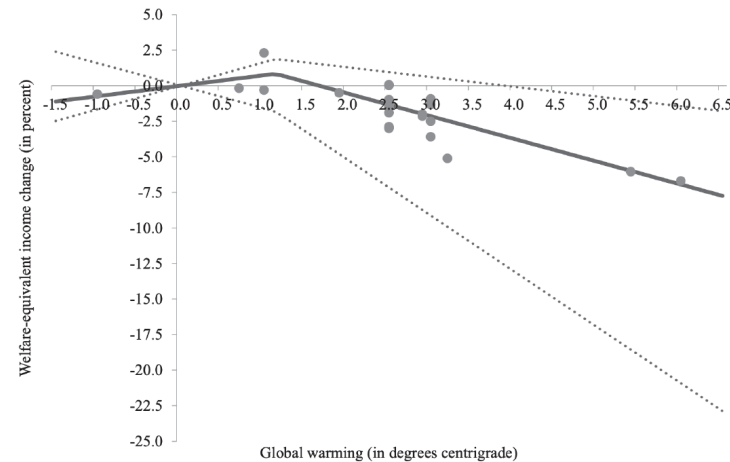
Étude	Réchauffement (°C)	Impact %PIB
d'Arge 1979	-1.0	-0.6
Nordhaus 1982	2.5	-3.0
Nordhaus 1991	3.0	-1.0
Nordhaus 1994a	3.0	-3.6
	6.0	-6.7
Nordhaus 1994b	3.0	-3.6
Fankhauser 1995	2.5	-1.4
Berz undated	2.5	-1.5
Tol 1995	2.5	-1.9
Nordhaus and Yang 1996	2.5	-1.4
Plambeck and Hope 1996	2.5	-2.9
Mendelsohn et al. 2000	2.5	0.0
	2.5	0.1
Nordhaus and Boyer 2000	2.5	-1.5
Tol 2002	1.0	2.3
Maddison 2003	2.5	0.0
Rehdanz and Maddison 2005	0.6	-0.2
	1.0	-0.3
Hope 2006	2.5	-1.0
Nordhaus 2006	3.0	-0.9
	3.0	-1.1
Nordhaus 2008	3.0	-2.5
Maddison and Rehdanz 2011	3.2	-5.1
Bosello et al. 2012	1.9	-0.5
Roson and van der Mensbrugghe 2012	2.9	-2.1
	5.4	-6.1
Nordhaus 2013	2.9	-2.0

- Chaque ligne = **une étude** : un réchauffement (°C) → une perte de bien-être (% du revenu)
- **27 estimations** issues de 22 études (1979-2013), dont 9 de Nordhaus et coauteurs
- Méthode surtout **structurelle** : on additionne les impacts secteur par secteur
- Presque toutes autour de **+2,5 / +3 °C**

→ Chaque étude = **un point** d'une fonction de dommages

Source : Tol (2018), *Review of Environmental Economics and Policy*, 12(1)

Une fonction de dommages « méta »



- Chaque **point** = une étude ; la **courbe** = la fonction de dommages ajustée ; les **pointillés** = l'incertitude
- Petits gains possibles jusqu'à $\approx +1$ °C, pertes au-delà ; l'incertitude **s'élargit** avec le réchauffement
- Au-delà de +3 °C : **3 points seulement** → la courbe est **extrapolée**

Source : Tol (2018) ; figure reprise du cours d'O. Cutinelli-Rendina

Les critiques de la fonction de dommages

1. **Une forme arbitraire** : la forme (quadratique...) et les paramètres sont choisis par le modélisateur (Pindyck 2013)
2. **L'extrapolation** : on n'a observé que $\approx +1$ °C ; $+4$ °C n'a pas été atteint depuis au moins 10 millions d'années
3. **Une moyenne trompeuse** : la température moyenne mondiale suffit-elle ? Les dommages sont très **hétérogènes** entre régions et secteurs
4. **Les catastrophes absentes** : points de bascule (calottes glaciaires, circulation océanique) jamais observés → hors des données
5. **Des études datées** : surtout des années 1990 ; dans FUND, l'agriculture *gagne* jusqu'à $\approx +5$ °C ; la mettre à jour **double** le CSC (Moore et al. 2017)

→ Et un enjeu de plus : l'**adaptation** des agents au nouveau climat

Sources : Schubert (2019), §2.4 ; Auffhammer (2018), p.37 et 46-47 ; The Shift Project & IFPEN (2019), p.16

Ignorer l'adaptation fausse le calcul des dommages

San Francisco aujourd'hui : des étés frais → presque personne n'a de climatisation.
Si son climat devient celui de **Fresno** (étés bien plus chauds) :

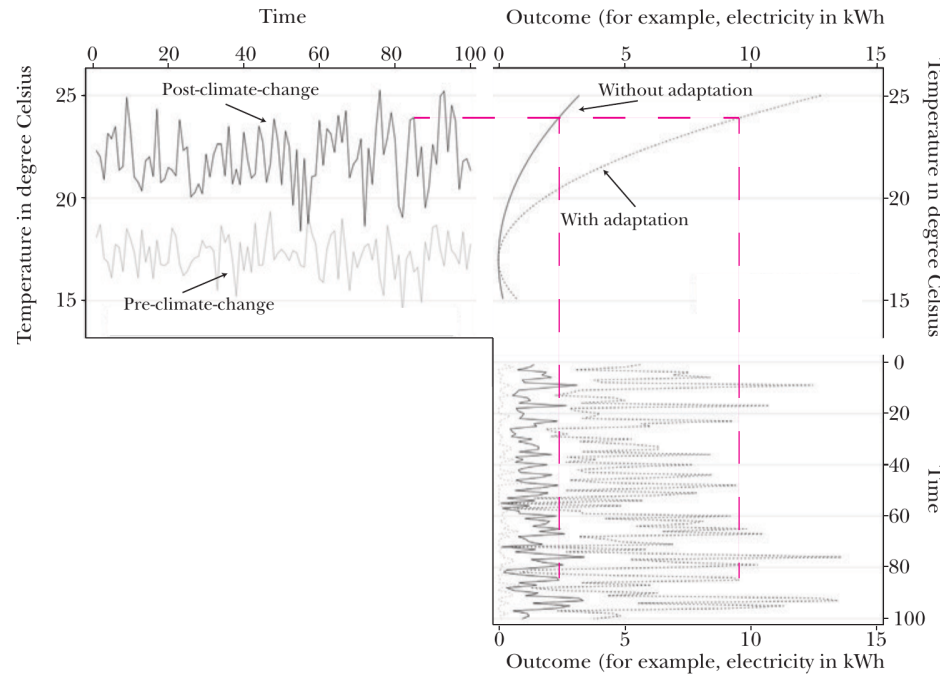
- **marge intensive** : on utilise davantage les équipements existants
- **marge extensive** : on **installe** des climatiseurs → un coût... et une consommation d'électricité qui réagit beaucoup plus à la chaleur

→ La relation entre température et consommation **change avec le climat** :
l'estimer sur le passé (sans adaptation) donne une mauvaise prévision

→ Une bonne fonction de dommages doit intégrer l'**adaptation et son coût**

Source : Auffhammer (2018), p.37-38

Avec ou sans adaptation : deux prévisions



- **En haut à gauche :** températures avant (gris clair) et après (gris foncé) le changement climatique
- **En haut à droite :** consommation d'électricité selon la température, **sans** (trait plein) et **avec** adaptation (pointillés)
- **En bas :** consommation prévue sous le nouveau climat → bien **plus élevée** et plus variable avec adaptation

→ **Peut-on estimer les dommages (adaptation comprise) à partir des données ?**

Source : Auffhammer (2018), Figure 2

Estimer les dommages à partir des données

Le problème du contrefactuel

Rappel : l'expérience idéale (des planètes identiques, dont on réchauffe la moitié) est **impossible**.

Il faut donc **deux types de contrefactuels** :

1. Le climat futur : quel réchauffement ?

- → modèles climatiques, scénarios d'émissions

2. La réponse des agents : comment l'économie réagit-elle à un climat différent ?

- Pour identifier la fonction de dommage

Idée : utiliser des **lieux** ou des **années plus chauds** comme « substituts » du futur...

... mais le Pakistan ou le Mali ne sont pas « les États-Unis en plus chaud »

→ Aucune solution parfaite : chaque méthode fait un **compromis**

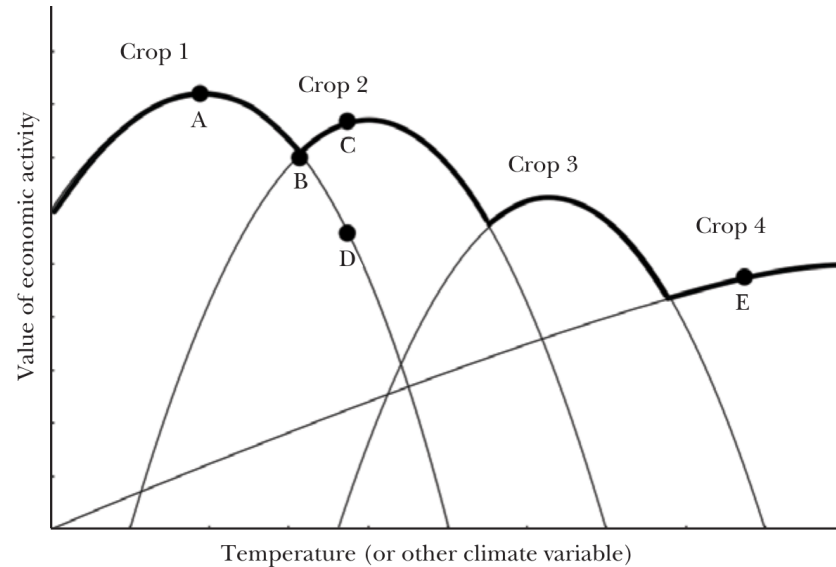
Source : Auffhammer (2018), p.40-41

Les types de données

Type	Structure	Exemple	On compare...
Coupe transversale	plusieurs unités, une date	valeur des terres agricoles des comtés américains (Mendelsohn, Nordhaus & Shaw 1994)	des lieux chauds et des lieux froids
Série temporelle	une unité, plusieurs dates	PIB mondial depuis 1960 (Bilal & Känzig 2024)	des années chaudes et des années froides
Panel	plusieurs unités × plusieurs dates	166 pays × 1960-2010 (Burke et al. 2015)	chaque pays à lui-même , une année chaude vs une année normale

Sources : Auffhammer (2018), p.41-44 ; Burke et al. (2015) ; Bilal & Stock (2025), p.7

Coupe transversale : l'approche ricardienne



- Idée : la valeur d'une terre reflète ses profits futurs → régresser la **valeur des terres** sur le **climat local**
- L'agriculteur **s'adapte** : il change de culture (C plutôt que D) → l'enveloppe (trait épais) intègre l'adaptation
- ✗ **Variables omises** : sans l'irrigation, l'effet du climat paraît bénéfique au lieu de nettement négatif
- ✗ L'adaptation est supposée **gratuite**

Source : Auffhammer (2018), Figure 3 (d'après Mendelsohn, Nordhaus & Shaw 1994) et p.41-43

Panel et effets fixes

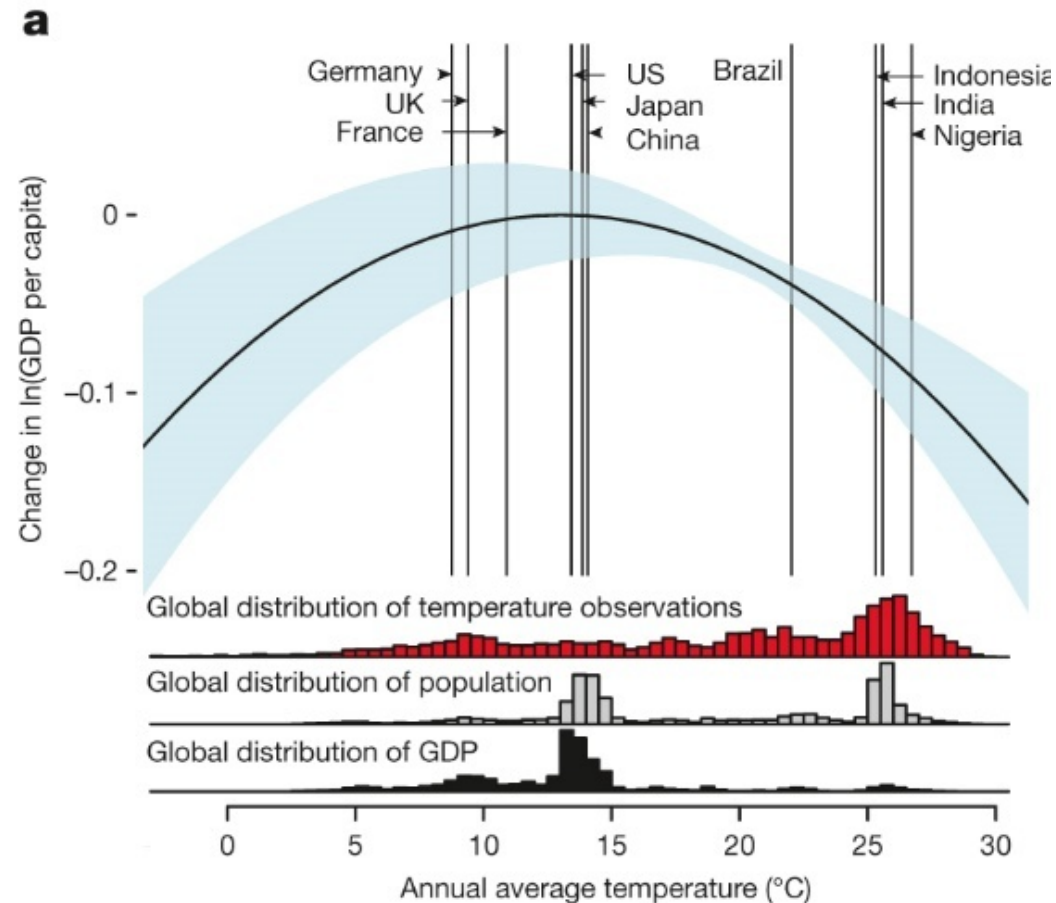
$$\text{croissance du PIB}_{it} = f(\text{température}_{it}) + \underbrace{\alpha_i}_{\text{effet fixe pays}} + \underbrace{\gamma_t}_{\text{effet fixe année}} + \varepsilon_{it}$$

- On compare chaque pays **à lui-même** : une année plus chaude que d'habitude vs une année normale
- **Effet fixe pays** α_i : neutralise ce qui est propre à un pays et stable (géographie, institutions, culture)
- **Effet fixe année** γ_t : neutralise les chocs communs à tous (crise de 2008, chocs pétroliers)
- Les écarts de température d'une année à l'autre sont « quasi aléatoires » → effet plausiblement **causal**

✗ Limite : on mesure la réaction à la **météo** (un choc d'un an), pas au **climat** (un changement durable) → l'adaptation de long terme est mal captée

Sources : Auffhammer (2018), p.43-44 ; Burke et al. (2015)

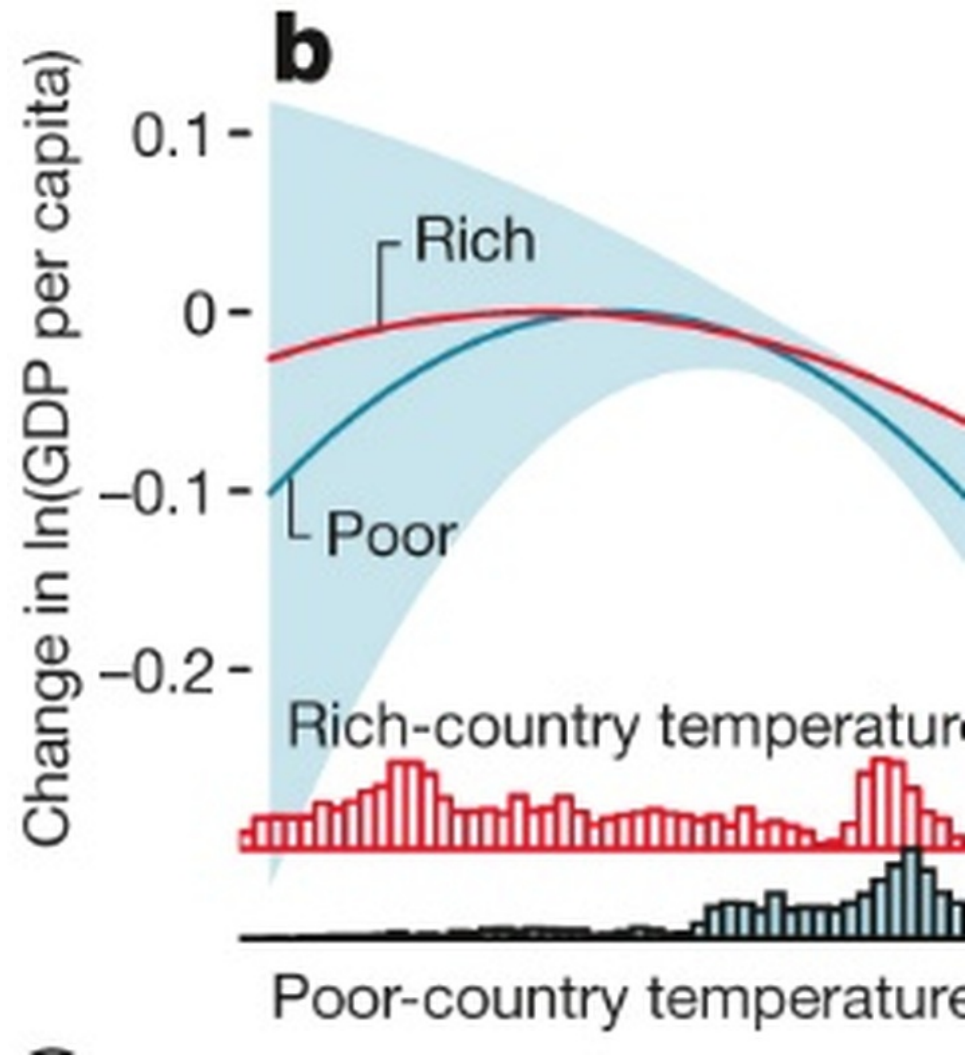
Burke et al. (2015) : une courbe en cloche



- 166 pays, 1960-2010
- La courbe : effet de la température moyenne annuelle sur le PIB par habitant
- Production **maximale vers 13 °C**, puis chute de plus en plus forte
- Les pays froids (Allemagne, Royaume-Uni) gagneraient un peu à se réchauffer ; les pays chauds (Inde, Nigeria, Indonésie) perdent déjà

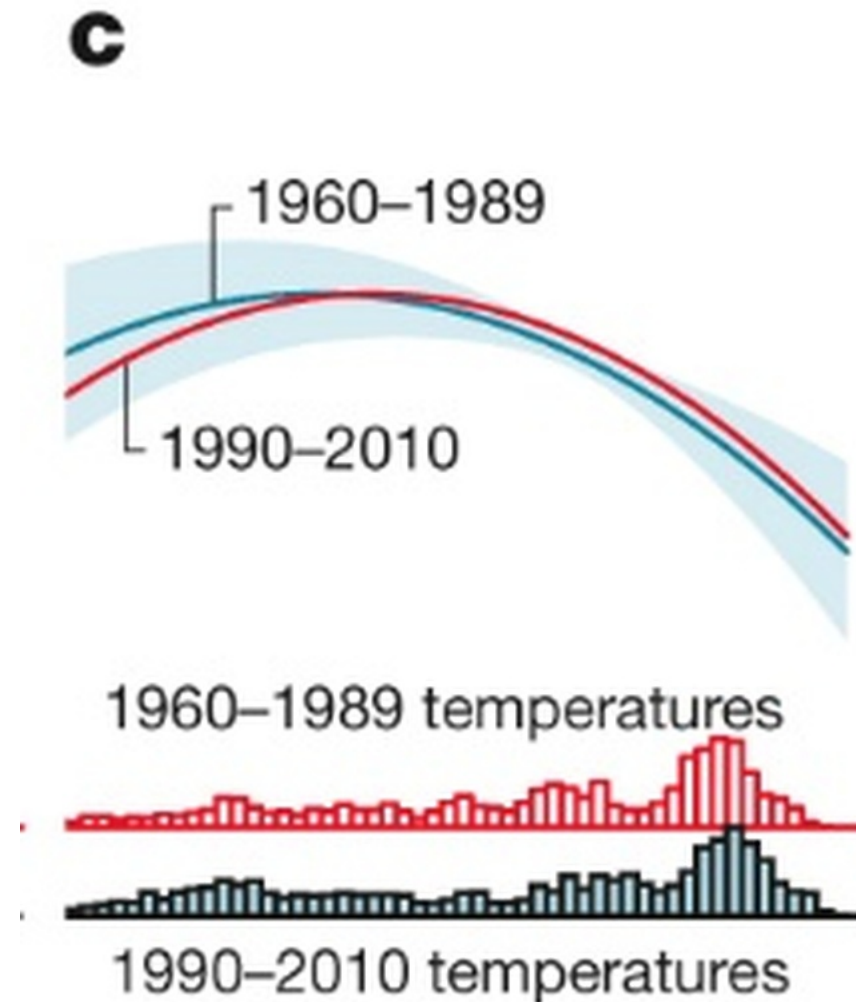
Source : Burke, Hsiang & Miguel (2015), Figure 2a

Riches et pauvres



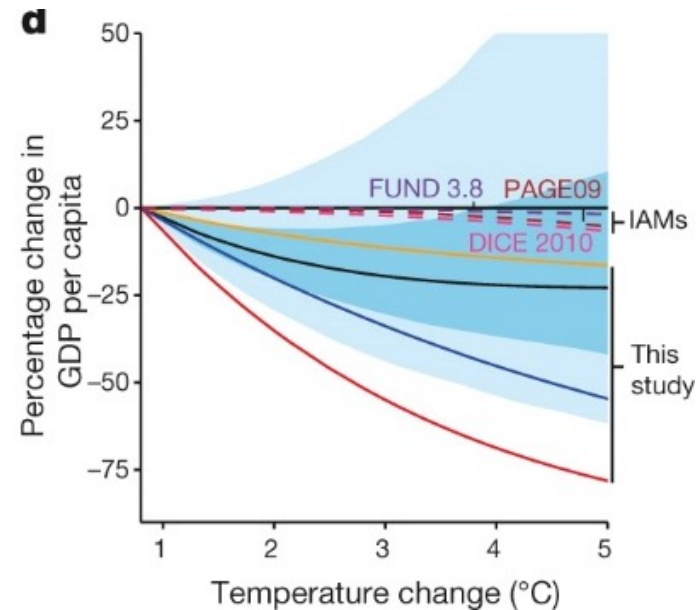
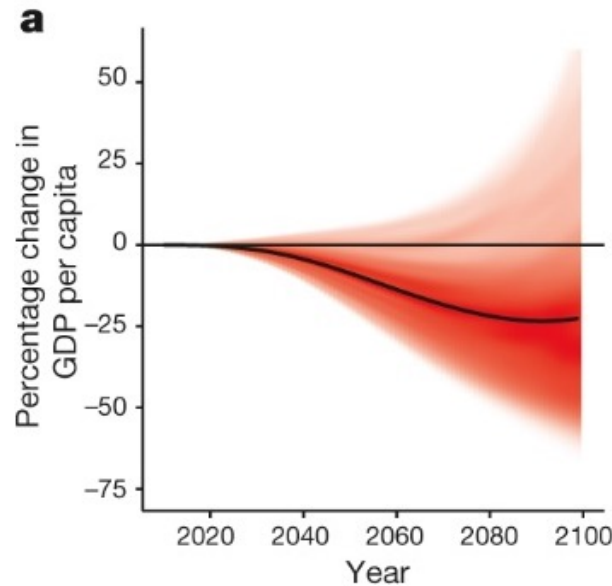
- On estime la courbe séparément pour les pays **riches** et **pauvres**
- Les deux courbes sont **statistiquement semblables**
- Les pays riches ne sont **pas protégés** par leur richesse : au-delà de $\approx 13^\circ\text{C}$, ils perdent eux aussi
- Les pays pauvres souffrent davantage surtout parce qu'ils sont **plus chauds**, pas parce qu'ils réagiraient différemment

Peu d'adaptation au fil du temps



- Les deux courbes pour **1960-1989** et pour **1990-2010** sont **quasiment identiques**
 - → Malgré 50 ans de progrès technique et d'enrichissement, la sensibilité de l'économie à la chaleur **n'a pas diminué**
 - → Peu de signe d'**adaptation** : ne pas compter sur elle pour effacer les dommages
- C'est cette courbe que Burke et al. combinent aux projections climatiques pour chiffrer les pertes en 2100

Projections 2100 : empirique vs IAM



PIB mondial par habitant en 2100 : ≈ -23 % par rapport à un monde sans changement climatique (RCP8.5)

Pertes selon le réchauffement : Burke (traits pleins) vs **DICE**, **FUND**, **PAGE** (pointillés, proches de 0)

→ Un **ordre de grandeur** d'écart avec les fonctions de dommages des IAM

Source : Burke, Hsiang & Miguel (2015), Figure 5a et 5d

Critiques

- **Météo $\neq$ climat** : un choc d'un an n'est pas un réchauffement durable (adaptation ?)
- Variable expliquée : **niveau ou croissance** ? (Auffhammer 2018)
 - *niveau* : une année chaude fait baisser le PIB cette année-là, puis l'économie rattrape $\rightarrow$ dommages temporaires
 - *croissance* : une année chaude ralentit la croissance, et la perte ne se rattrape jamais $\rightarrow$ les pertes se cumulent sur un siècle
- **Température locale ou globale** ? La température mondiale capte aussi ouragans, sécheresses ailleurs, chaînes d'approvisionnement

Ce qu'on sait, ce qu'on ignore

Secteur	Estimations causales	Adaptation prise en compte	Couverture mondiale
Agriculture	✓	✓	✓
Santé et mortalité	✓	✓	✓
Montée des mers, énergie, tempêtes	✓	✓	✗
Agrément du climat (qualité de vie)	✓	≈	✗
Pollution	✓	?	✗
Crime et conflits	✓	✗	?
Migrations, productivité	✓	✗	✗
Forêts, biodiversité, consommation d'eau	✗	✗	✗

→ En 2018, seules l'agriculture et la mortalité « cochent les trois cases »

→ Ces estimations servent à **calibrer** Ω dans les IAM... pour calculer le coût social du carbone

Source : Auffhammer (2018), Table 1 (d'après la liste de Cline 1992)

Utiliser Ω pour calculer le coût social du carbone

Le coût social du carbone : définition

Coût social du carbone (CSC) : valeur actualisée, aujourd'hui, de **tous les dommages futurs** causés par **une tonne de CO₂ supplémentaire** émise aujourd'hui.

- Une tonne de CO₂ $\approx$ un trajet San Francisco $\rightarrow$ Chicago en Ford Mustang GT
- Le CO₂ reste des siècles dans l'atmosphère $\rightarrow$ on somme les dommages sur $\approx$ **300 ans**
- En pratique : on fait tourner l'IAM **deux fois** (avec et sans la tonne en plus) et on compare les dommages
- Dans DICE, le CSC = la **taxe carbone optimale** (s'il n'y a pas d'autre imperfection de marché)

Sources : Auffhammer (2018), p.34 ; Schubert (2019), §3

L'actualisation : la clé du CSC

Un euro de dommages **en 2100** vaut moins qu'un euro aujourd'hui :

$$\text{valeur aujourd'hui} = \frac{D_{2100}}{(1 + r)^{75}}$$

Taux d'actualisation r	1 %	3 %	5 %
100 € de dommages en 2100 valent aujourd'hui...	≈ 47 €	≈ 11 €	≈ 3 €

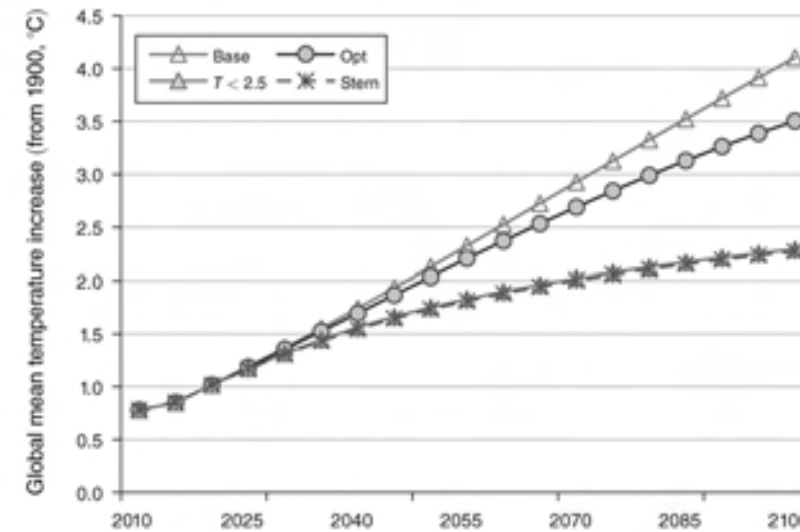
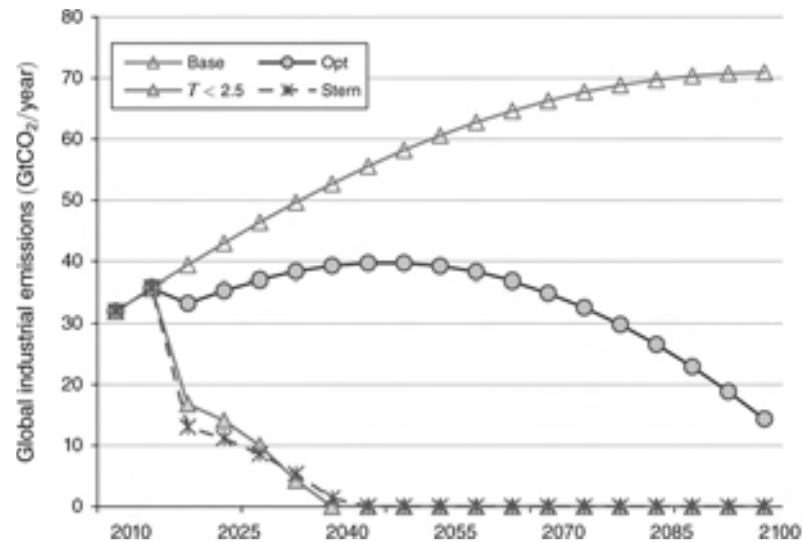
- Administration Obama (IWG) : CSC de **62 \$** (2,5 %), **42 \$** (3 %), **12 \$** (5 %)
- Rennert et al. (2022) : de **80 \$** (3 %) à **185 \$** (2 %)

→ Le choix de r est un choix **éthique** : quel poids donne-t-on aux générations futures ?

Sources : Auffhammer (2018), p.36 ; Bilal & Stock (2025), p.7

Simulations de différents scénarios avec DICE

Scénario	Ce qu'on demande au modèle	Logique
Base	aucune politique au-delà de celles en place en 2015	laisser-faire
Optimal	maximiser le bien-être (préférence pour le présent : 1,5 %/an)	coût-bénéfice
T < 2,5 °C	idem, avec la contrainte : réchauffement $\leq 2,5$ °C	coût-efficacité
Stern	idem « Optimal », préférence pour le présent : 0,1 %/an	actualisation faible



Source : Schubert (2019), §3.1 et Figure 2, d'après Nordhaus (2018a), DICE-2016R

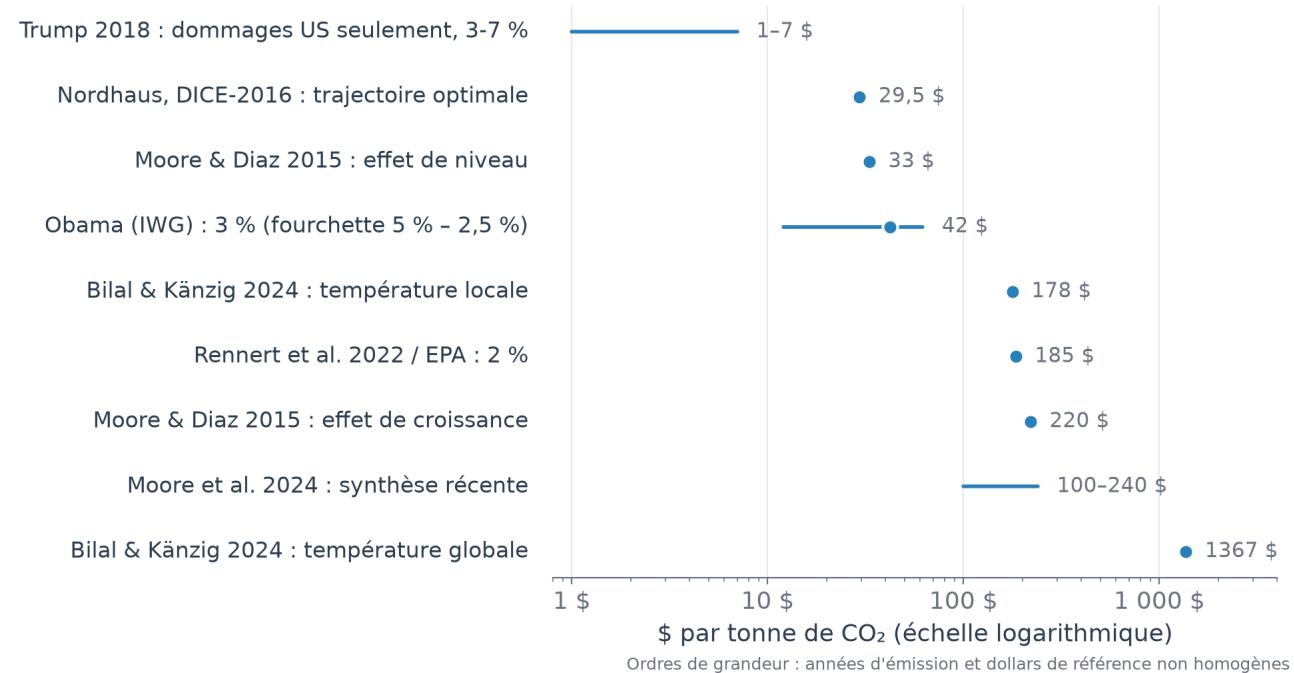
Le coût social du carbone selon les scénarios

CSC (\$ 2010 / tCO ₂)	2015	2030	2050	Température en 2100
Optimal (coût-bénéfice)	29,5	69,2	99,6	≈ +3,5 °C
T < 2,5 °C (coût-efficacité)	184,1	351,0	1 008,4	≈ +2,3 °C
Stern (actualisation faible)	256,5	381,7	615,6	≈ +2,3 °C

- **Optimal** : un CSC faible (≈ 30 \$ en 2015) → une politique **graduelle**... qui mène à +3,5 °C, loin de l'Accord de Paris
- **T < 2,5 °C** : imposer un objectif de température (coût-efficacité) *dans* DICE multiplie le CSC par ≈ 6
- **Stern** : actualiser moins (0,1 % au lieu de 1,5 %) multiplie le CSC 2015 par ≈ 9

Source : Schubert (2019), Tableau 2, d'après Nordhaus (2018a)

Synthèse : de 1 \$ à plus de 1 000 \$



→ Le CSC n'est pas une donnée physique : il dépend de la **fonction de dommages** Ω , du **taux d'actualisation** et du **périmètre**

Conclusion : les critiques de DICE

« Nordhaus contre le climat » (Jancovici 2018)

- Dans un modèle DICE, **le PIB ne dépend pas des ressources, dont le climat** :
 - l'énergie et un climat stable y sont traités comme des facteurs parmi d'autres, alors qu'ils sont des **conditions** de toute production
- Une fonction de dommages « **paramétrée de façon arbitraire** » pour donner un prix à ce qui, par définition, n'en a pas : **un climat stable**
- Un « **réchauffement optimal** » qui équilibre le coût d'évitement et le coût des dommages... deux coûts incalculables
 - Ordre de grandeur : $\approx 5\text{ °C}$ séparent la dernière glaciation du climat préindustriel ; DICE juge « optimal » $+3,5\text{ °C}$ en 2100

Source : J.-M. Jancovici, « Nordhaus contre le climat », *Les Échos*, 20 novembre 2018

Références (1/2)

- Adams, R. M., McCarl, B. A., Dudek, D. J. & Glycer, J. D. (1988). Implications of Global Climate Change for Western Agriculture. *Western Journal of Agricultural Economics*, 13(2), 348–356.
- Auffhammer, M. (2018). Quantifying Economic Damages from Climate Change. *Journal of Economic Perspectives*, 32(4), 33–52.
- Bilal, A. & Känzig, D. R. (2024). The Macroeconomic Impact of Climate Change: Global vs. Local Temperature. *NBER Working Paper* 32450.
- Bilal, A. & Stock, J. H. (2025). Macroeconomics and Climate Change. *NBER Working Paper* 33567.
- Bouvard, F., Hache, E., Querini, F. & Tchung-Ming, S. (2017). *Recommandations pratiques pour l'ACV prospectives. Références et exemples dans le domaine de l'énergie*. Rapport SCORELCA.
- Burke, M., Hsiang, S. M. & Miguel, E. (2015). Global Non-Linear Effect of Temperature on Economic Production. *Nature*, 527(7577), 235–239.
- Cline, W. R. (1992). *The Economics of Global Warming*. Institute for International Economics.
- Cohen, M. (2024). Réchauffement climatique : quel impact sur la croissance ? *The Other Economy* (fiche en ligne).
- Cutinelli-Rendina, O. (2025). *Action publique environnementale*, cours 4 : Évaluation de l'impact du changement climatique sur l'économie. Sciences Po Strasbourg.
- d'Arge, R. C. (1975). *Economic and Social Measures of Biologic and Climatic Change*, vol. 6. Institute for Defense Analyses.
- Dasgupta, P. & Heal, G. (1974). The Optimal Depletion of Exhaustible Resources. *Review of Economic Studies*, 41, 3–28.
- Dell, M., Jones, B. F. & Olken, B. A. (2012). Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4(3), 66–95.
- Jancovici, J.-M. (2018). Nordhaus contre le climat. *Les Échos*, 20 novembre.
- Keen, S. (2020). The Appallingly Bad Neoclassical Economics of Climate Change. *Globalizations*.
- Macrobie. *Commentarii in Somnium Scipionis*, manuscrit, v. 1150. Copenhague, Det Kongelige Bibliotek, NKS 218 4°, fol. 34r.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W. D. & Shaw, D. (1994). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *American Economic Review*, 84(4), 753–771.



Références (2/2)

- Moore, F. C., Baldos, U., Hertel, T. & Diaz, D. (2017). New Science of Climate Change Impacts on Agriculture Implies Higher Social Cost of Carbon. *Nature Communications*, 8, 1607.
- Moore, F. C. & Diaz, D. B. (2015). Temperature Impacts on Economic Growth Warrant Stringent Mitigation Policy. *Nature Climate Change*, 5(2), 127–131.
- Moore, F. C., Drupp, M. A., Rising, J., Dietz, S., Rudik, I. & Wagner, G. (2024). Synthesis of Evidence Yields High Social Cost of Carbon due to Structural Model Variation and Uncertainties. *PNAS*, 121(52), e2410733121.
- Nordhaus, W. D. (2018a). Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies. *American Economic Journal: Economic Policy*, 10(3), 333–360.
- Nordhaus, W. D. (2018b). Evolution of Modeling of the Economics of Global Warming: Changes in the DICE Model, 1992–2017. *Climatic Change*, 148(4), 623–640.
- Pindyck, R. S. (2013). Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us? *Journal of Economic Literature*, 51(3), 860–872.
- Rennert, K. et al. (2022). Comprehensive Evidence Implies a Higher Social Cost of CO₂. *Nature*, 610(7933), 687–692.
- Schlenker, W., Hanemann, W. M. & Fisher, A. C. (2005). Will U.S. Agriculture Really Benefit from Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach. *American Economic Review*, 95(1), 395–406.
- Schubert, K. (2019). William D. Nordhaus : intégrer le changement climatique dans l'analyse macroéconomique de long terme. *Revue d'économie politique*, 129(6), 887–908.
- Solow, R. M. (1974). The Economics of Resources or the Resources of Economics. *American Economic Review*, 64(2), 1–14.
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press.
- Stiglitz, J. (1974). Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths. *Review of Economic Studies*, 41, 123–137.
- The Shift Project & IFPEN (2019). *Comprendre les enjeux de la modélisation du lien complexe entre énergie, climat et économie*.
- Tol, R. S. J. (2018). The Economic Impacts of Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy*, 12(1), 4–25.



La prochaine fois

Chapitre 5 : L'identité de Kaya et la courbe environnementale de Kuznets

- Carbone 4 (2021), *Découplage et croissance verte* [lien](#).
- EEB (Parrique et al., 2019), *Découplage démantelé* (traduction française) [lien](#).
- Girard, P.-L., Le Gall, C., Meignan, W. & Wen, P. (2022), *Croissance et décarbonation de l'économie*, Trésor-Éco n°315, Direction générale du Trésor [lien](#).