

# Peut-on mettre un prix sur le climat ?

Ewen Gallic

Cycle de conférences Valeurs & Soutenabilité  
Centrale Méditerranée  
16 Mars 2026

**amU** Aix  
Marseille  
Université

 **amse**  
école d'économie d'aix-marseille  
aix-marseille school of economics

# Peut-on mettre un prix sur le climat ?

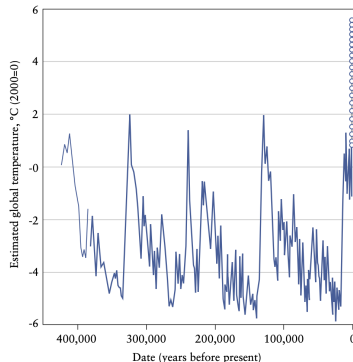
- ▶ Certains biens et dommages n'ont pas de **prix de marché spontané** :
  - une perte de biodiversité.
  - une vie affectée par une vague de chaleur ;
  - une tonne de CO<sub>2</sub> émise dans l'atmosphère
    - note : il existe des marchés carbone (*cap-and-trade*), mais ils échangent des droits d'émettre créés par la régulation, dont le prix reflète une contrainte politique, pas nécessairement le dommage climatique.
- ▶ L'absence de prix de marché ne signifie pas absence de **coût**.
- ▶ Les décisions collectives peuvent toutefois être prises en **comparant** des **coûts** et des **bénéfices**.
- ▶ L'économie fournit un cadre pour attribuer une **valeur sociale à ces dommages** et ainsi éclairer la décision publique.

# 1. Brefs rappels sur le changement climatique

- ▶ Les travaux des sciences du climat montrent que la principale source du réchauffement climatique provient de la **combustion des énergies fossiles** (charbon, pétrole, gaz naturel).
- ▶ Celle-ci entraîne des émissions de **dioxyde de carbone** (CO<sub>2</sub>) et d'autres gaz à effet de serre (GES).
- ▶ Les GES s'accumulent dans l'atmosphère, ce qui piège la chaleur et conduit à :
  - un réchauffement de la surface des terres et des océans,
  - des effets de rétroaction dans l'atmosphère, les océans et les calottes glaciaires,
  - des impacts sur les écosystèmes et les activités humaines sensibles au climat.
- ▶ Voir le rapport de synthèse AR6 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC / IPCC) ([Calvin et al., 2023](#)).

# Évolution de la température mondiale

- ▶ La température moyenne mondiale a augmenté depuis la révolution industrielle.
- ▶ Le rythme du réchauffement s'accélère à la fin du XX<sup>e</sup> siècle et au début du XXI<sup>e</sup>.
- ▶ Les niveaux actuels sont sans précédent dans les archives historiques.



Estimations des variations de la température mondiale au cours des 400 000 dernières années, ainsi que projections des modèles pour les deux prochains siècles. *Source* : [Nordhaus \(2013, p. 201\)](#)

# Impacts du changement climatique

De manière générale, les impacts du changement climatique sont multiples et interdépendants ([Calvin et al., 2023](#)) :

## ► Impacts physiques

- hausse des températures, fonte des calottes glaciaires, élévation du niveau de la mer, multiplication des événements climatiques extrêmes.

## ► Impacts écologiques

- perte de biodiversité, acidification des océans, incendies de forêt, modification des écosystèmes.

## ► Impacts socio-économiques

- rendements agricoles,
- vulnérabilité des zones côtières,
- santé et mortalité,
- migrations et conflits.

## Du constat scientifique à la décision

- ▶ Le réchauffement est un phénomène physique mesurable.
- ▶ Ses impacts sont multiples, globaux et hétérogènes.
- ▶ La question qui demeure est celle de la réponse collective : comment les sociétés doivent-elles s'adapter et réduire leurs émissions face à ces impacts ?
  - autrement dit, comment **arbitrer** entre les **coûts d'une action aujourd'hui** et les **dommages d'une inaction demain** ?
- ▶ L'économie propose un cadre analytique, basé sur des mesures, permettant d'aborder cette question.

# Plan

1. Brefs rappels sur le changement climatique
2. Pourquoi mesurer le changement climatique ?
3. Le climat comme externalité globale
4. Mesurer les dommages climatiques
5. Pourquoi agit-on si peu ?
6. Conclusion

## 2. Pourquoi mesurer le changement climatique ?

## 2.1. Mesurer pour décider

## Mesurer pour décider : références d'arrière-plan

- ▶ Cette intervention part d'une idée simple : **on ne décide pas sans mesure.**
- ▶ Une grande partie du cadrage économique moderne du climat est bien résumée dans l'article  
*"Climate change : The ultimate challenge for economics"* ([Nordhaus 2019](#), *AER*).
- ▶ Côté science du climat, le dernier rapport de synthèse du GIEC ([Calvin et al., 2023](#)) fournit de bonnes clés de lecture.

## Pourquoi quantifier ?

- ▶ Les débats publics mobilisent des **principes** (moraux, politiques), p. ex :
  - « *il faut protéger les générations futures* » ou « *la personne qui pollue doit payer* ».
- ▶ Néanmoins, ils ne disent pas combien investir, à quel rythme, via quels instruments, dans quelles zones géographiques en priorité.
- ▶ La **quantification** force ainsi à
  - expliciter un objectif, le formaliser, comparer des options, produire un critère de choix.

Exemple : « Limiter le réchauffement climatique »

*Ce principe devient :*

- ▶ *une **contrainte physique** sur le budget carbone,*
- ▶ *une **trajectoire d'émissions compatible**,*
- ▶ *un **coût économique** associé à cette trajectoire.*

## Exemple : « Limiter le réchauffement climatique »

- Relation physique simplifiée entre **température** et **émissions globales de GHG** :

$$T_t \approx \kappa \underbrace{\sum_{\tau \leq t} E_\tau}_{\text{émissions cumulées}}$$

- Sous **laissez-faire**, la **trajectoire des émissions** induit une température en  $T$  :

$$\{E_t^{LF}\} \Rightarrow T_T^{LF}$$

- Si  $T_T^{LF} > T^*$ , la trajectoire spontanée dépasse le niveau de réchauffement **jugé acceptable par la communauté internationale** sur la base des connaissances scientifiques disponibles.

## Exemple : un problème intertemporel

- ▶ Il s'agit d'un problème d'**allocation intertemporelle** qui nécessite de répondre, entre autres, aux questions suivantes :
  - Quand émettre ?
  - Combien réduire aujourd'hui ?
  - Qui supporte le coût ?
- ▶ La question devient alors : **comment corriger la trajectoire ?**
- ▶ L'économie propose deux manières pour tenter de le faire :
  - 1 Une approche cible (*target-based emissions*) ;
  - 2 Une approche coût-bénéfice (*welfare-based*).

## Exemple : approche cible

- Les pouvoirs publics fixent une cible exogène, comme par ex :

$$T^* \leq 1.5^\circ C.$$

- Sous la relation physique simplifiée entre **température** et **émissions de GHG**, cela implique :

$$\sum_{\tau \leq T} E_\tau \leq B^{1.5}$$

où  $B^{1.5} = T^* / \kappa$  est le **budget carbone compatible** (quantité max. cumulée de CO<sub>2</sub> que l'on peut encore émettre tout en restant sous la cible de température) avec **1,5°C**.

- Le problème revient à minimiser les **coûts intertemporels** sous cette contrainte :

$$\min_{\{E_t\}} \sum_{t=0}^T \beta^t C(E_t) \quad \text{s.c.} \quad \sum_{t=0}^T E_t \leq B^{1.5}$$

(où  $\beta$  est le facteur d'actualisation)

## Exemple : approche coût-bénéfice

- ▶ La **température cible** n'est pas fixée *a priori* : elle est endogène.
- ▶ Le planificateur choisit la **trajectoire des émissions**  $\{E_t\}$  pour maximiser le bien-être intertemporel :

$$\max_{\{E_t\}} \sum_{t=0}^T \beta^t U(C_t)$$

- ▶ La consommation agrégée s'écrit :

$$C_t = Y_t - \underbrace{A(E_t)}_{\text{coût des mesures de réduction}} - \underbrace{D(T_t)}_{\text{dommages climatiques}}$$

- ▶ La dynamique climatique est donnée par :  $T_t = f\left(\sum_{\tau \leq t} E_\tau\right)$ .
- ▶ Il s'agit donc d'arbitrer entre :
  - réduire les émissions aujourd'hui (coûts immédiats),
  - accepter davantage de dommages climatiques demain.

## Un point commun aux deux approches

- ▶ Que l'on adopte une cible exogène ou une approche coût-bénéfice, la décision repose sur des **paramètres quantifiés**.
- ▶ Il faut notamment mesurer ou calibrer :
  - les coûts des mesures de réduction  $A(E_t)$  ;
  - les dommages climatiques  $D(T_t)$  ;
  - la dynamique climat  $f(\cdot)$  ;
    - voir la littérature sur la modélisation d'évaluation intégrée ([Meadows et al., 1972](#); [Wang and Mullahy, 2006](#); [Nordhaus, 2019](#)).
  - le taux d'actualisation  $\beta$ .
    - le faible taux employé par Stern dans son rapport ([Stern, 2007](#)), conduisant à une valeur actualisée plus forte des dommages climatiques et donc à des recommandations d'action immédiate et massive, a suscité un vaste débat académique sur les fondements normatifs du taux d'actualisation social ([Nordhaus, 2013](#), Chap. 16, [Pindyck 2013, JEL](#)).

## 2.2. Mesurer n'est pas neutre

# Mesurer, c'est déjà choisir

- ▶ Toute quantification des coûts climatiques implique des choix :
  - **quoi mesurer** ? (PIB, mortalité, bien-être, biodiversité, conflits, ...)
  - **où mesurer** ? (local, national, global)
  - **quand mesurer** ? (horizon, dynamique, persistance)
  - **comment agréger** ? (faut-il donner le même poids à chaque pays ? pondérer selon le revenu ?)
- ▶ Ces choix sont **techniques** :
  - ils reposent sur des modèles, des données et des hypothèses formalisées.
- ▶ Mais aussi **normatifs** :
  - ils reflètent des jugements de valeur sur la justice intergénérationnelle, l'équité internationale, la valeur de la vie, l'aversion au risque, etc.

### 3. Le climat comme externalité globale

## 3.1. Externalités et climat

# Externalités et climat

## Definition 1. Externalité

*Une **externalité** survient lorsque les coûts ou bénéfices d'une action ne sont pas reflétés dans les prix de marché.*

- ▶ Le changement climatique met en jeu des **externalités négatives** :
  - les émissions de GES imposent des dommages à des tiers.
- ▶ Mais également des **externalités positives** :
  - les innovations bas-carbone génèrent des retombées technologiques au-delà de leurs initiateurs.

## Climat et externalité négative

- Les émissions de GES génèrent des dommages climatiques qui ne sont pas payés par l'émetteur.

$$\text{Coût Social}_{\text{mg}} = \text{Coût Privé}_{\text{mg}} + \text{Dommage}_{\text{mg}}$$

- **Coût privé marginal** : coût supporté par l'agent lorsqu'il augmente son activité émettrice d'une unité.
- **Dommage marginal** : dommage climatique supplémentaire imposé à la société (p. ex. pertes agricoles, impacts sanitaires, mortalité).
- **Coût social marginal** : coût total pour la société d'une unité supplémentaire d'émissions.
- Les émetteurs ne supportant pas ces dommages :

$$\text{Coût Privé}_{\text{mg}} < \text{Coût Social}_{\text{mg}}$$

## Conséquence : trop d'émissions

- ▶ Les décisions individuelles sont prises sur la base du **coût privé marginal** :
- ▶ À l'**équilibre concurrentiel**, les agents émettent jusqu'à ce que le **bénéfice marginal privé** soit égal au **coût privé marginal**.
- ▶ *A priori*, les agents ne prennent pas en compte les **dommages climatiques** imposés aux autres.
- ▶ À l'**optimum social**, la dernière tonne émise rapporte autant qu'elle coûte à la société. En termes d'émissions de GHG, on obtient donc :

$$E^{LF} > E^{\text{optimal}}$$

- ▶ Le marché ignore donc une partie du coût des émissions : il en résulte une **suroffre d'émissions**.

## Climat et externalité négative : la tragédie des biens communs

- ▶ La situation peut être interprétée comme une **tragédie des biens communs** (Hardin 1968, *Science*).
- ▶ Chaque agent (pays, entreprise, individu) bénéficie de l'utilisation du bien commun (l'atmosphère) :
  - combustion d'énergies fossiles, production et consommation énergivores.
- ▶ Mais les **coûts environnementaux** sont diffus et partagés par tous.
- ▶ **Individuellement**, il est rationnel de continuer à émettre :

$$\text{Bénéfice privé}_{\text{mg}} > \text{Coût privé}_{\text{mg}}$$

- ▶ **Collectivement**, ces décisions conduisent à une dégradation du bien commun :

$$\text{Bien-être social} \downarrow$$

- ▶ La mise en place d'une **taxe carbone** est un moyen permettant d'aligner les incitations privées sur le coût social.

## Climat et externalités positives

- ▶ La transition “bas-carbone” (réallocation intertemporelle des ressources vers des technologies et infrastructures à faible intensité carbone) génère également des **externalités positives**.
- ▶ Exemple : innovation dans les technologies propres
  - R&D en énergies renouvelables,
  - batteries, hydrogène, efficacité énergétique.
- ▶ Les bénéfices pour la société dépassent le rendement privé :

$$\text{Bénéfice Social}_{\text{mg}} > \text{Bénéfice Privé}_{\text{mg}}$$

- ▶ Les retombées technologiques (*spillovers*) profitent :
  - à d'autres entreprises, à d'autres pays, aux générations futures.
- ▶ Il en résulte une **sous-production d'innovation verte** : les acteurs n'investissent pas suffisamment, car ils ne captent qu'une partie des bénéfices sociaux.

# Une double défaillance de marché

- ▶ Le changement climatique combine ainsi deux types d'externalités :
  - 1 **Externalité négative** liée aux émissions de GES (les émetteurs ne supportent pas les dommages climatiques).
  - 2 **Externalité positive** liée à l'innovation bas-carbone (les innovateurs ne captent qu'une partie des bénéfices sociaux).
- ▶ Il en résulte une **double défaillance de marché** (Acemoglu et al. 2012, AER), dans laquelle s'observent :
  - **trop d'émissions de gaz à effet de serre** (“*The laissez-faire equilibrium leads to an ‘environmental disaster.’*”),
  - **pas assez d'innovation verte** (“*Innovation always occurs in the dirty sector only*”).
- ▶ Les forces de marché seules ne conduisent donc pas à une transition bas-carbone optimale.

## 3.2. Le climat comme problème de coordination internationale

## Un problème d'horizon temporel et du passager clandestin

Tirole (2016, Chap. 8)

*la plupart d'entre nous sommes prêts à faire de petits gestes pour l'environnement, mais pas à nous priver de notre voiture, à payer notre électricité beaucoup plus cher, à restreindre notre consommation de viande ou nos voyages en avion pour des destinations lointaines ; que les initiatives locales de développement durable sont très "louables, mais en elles-mêmes ne suffiront absolument pas. À la vérité nous souhaiterions que les autres agissent ainsi à notre place et pour nous —ou plutôt pour nos petits-enfants. Aussi irresponsable soit-elle, notre politique commune est facilement explicable. Elle est le fruit de deux facteurs : **l'égoïsme vis-à-vis des générations futures** et le **problème du passager clandestin**. En d'autres termes, les bénéfices liés à l'atténuation du changement climatique restent essentiellement globaux et lointains, tandis que les coûts de cette atténuation sont locaux et immédiats.*

# Un problème d'horizon temporel et du passager clandestin

## ► Incitation au passager clandestin

- “*unless the number of individuals in a group is quite small, or unless there is coercion or some other special device to make individuals act in their common interest, rational, self-interested individuals will not act to achieve their common or group interests.*”  
(Olson, 1965)
- Chaque pays préfère que les autres réduisent leurs émissions tout en maintenant sa propre croissance.
- Cela affaiblit la coopération internationale.

## ► Horizon de long terme et incertitude

- Les dommages se manifestent progressivement et s'étendent sur plusieurs générations,
- Les incertitudes scientifiques et économiques compliquent la conception des politiques publiques.

## Pourquoi la politique climatique est difficile

- ▶ Trois caractéristiques principales expliquent les difficultés de la politique climatique :
  - 1 **Externalité globale** : les émissions d'un pays affectent le climat mondial.
  - 2 **Horizon temporel long** : les bénéfices des politiques climatiques apparaissent souvent dans le futur.
  - 3 **Incitations asymétriques** : les coûts de réduction sont immédiats, les bénéfices sont diffus.
- ▶ Ces caractéristiques expliquent :
  - les difficultés de coopération internationale,
  - la lenteur de l'action climatique,
  - l'importance des institutions et des politiques publiques.
- ▶ Corriger cette externalité suppose de **tenir compte des dommages climatiques** dans les décisions économiques.
- ▶ Se pose alors la question de la mesure des **coûts économiques du changement climatique**.

## 4. Mesurer les dommages climatiques

## Vue d'ensemble de la section

- ▶ Dans cette section, nous allons nous intéresser à la **mesure des dommages climatiques**.
- ▶ Nous porterons une attention particulière aux canaux d'impacts suivants :
  - productivité, agriculture, santé et mortalité, violence et conflits.
- ▶ Ces estimations permettent de quantifier les **coûts économiques et humains** du changement climatique, et servent d'éclairage à la **conduite et l'évaluation des politiques climatiques**, notamment en termes :
  - d'atténuation,
  - d'adaptation.
- ▶ Il néanmois faut garder à l'esprit que les estimations dépendent fortement des données, des méthodes et des hypothèses retenues.

## Quels types de dommages ?

- ▶ Les dommages climatiques peuvent être de plusieurs types :
  - **marchands** : baisse de productivité, pertes de rendement agricole, destructions d'infrastructures ;
  - **non marchands** : mortalité, santé, bien-être, biodiversité ;
  - **directs** ou **indirects** ;
  - **immédiats** ou **persistants**.
- ▶ Une même variation climatique peut affecter simultanément plusieurs dimensions.
- ▶ Des défis empiriques se posent alors :
  - comment relier une variable climatique observée à un résultat économique ou social ?
  - comment mesurer un **effet causal** malgré l'hétérogénéité des territoires, l'adaptation des agents, les interactions avec d'autres chocs ?
  - comment **extrapoler** des effets de court terme vers le long terme ?

## 4.1. Croissance

## Productivité et croissance : des liens observés de longue date

- Une corrélation entre climat et productivité / croissance a été relevée depuis plusieurs siècles. Dans «De l'esprit des lois», on peut lire :

de Secondat de Montesquieu (1758, Chap. II, Livre III)

*Nous avons déjà dit que la grande chaleur énervait la force et le courage des hommes ; et qu'il y avait dans les climats froids une certaine force de corps et d'esprit qui rendait les hommes capables des actions longues, pénibles, grandes et hardies. Cela se remarque non seulement de nation à nation, mais encore dans le même pays, d'une partie à une autre. [...] Il ne faut donc pas être étonné que la lâcheté des peuples des climats chauds les ait presque toujours rendus esclaves, et que le courage des peuples des climats froids les ait maintenus libres.*

- **Note** : ce passage illustre une forme ancienne de **déterminisme climatique**. Ces interprétations historiques doivent être lues avec prudence et reflètent un contexte intellectuel du XVIII<sup>e</sup> siècle.

## Aparté : Lecture complémentaire

- ▶ Au XVIII<sup>e</sup> siècle, *de Secondat de Montesquieu (1758)* suggère que le **climat influence les sociétés** (température, comportements, institutions).
- ▶ Mais l'idée inverse, que les **sociétés puissent modifier le climat**, apparaît aussi très tôt.
- ▶ Comme le montre le livre passionnant de *Fressoz and Locher (2020)*, dès le XVII<sup>e</sup> siècle, des théories circulent, concernant :
  - la **densité des forêts** qui influencerait les précipitations et les températures,
  - la **déforestation** qui pourrait **adoucir le climat**.
- ▶ Ces théories s'inscrivent dans des **projets politiques et économiques** de l'époque :
  - la légitimation de la mise en valeur coloniale et de l'esclavage,
  - espoir de rendre habitables et agricoles des territoires plus au nord.
- ▶ L'idée que l'activité humaine transforme le climat **ne date pas du XXI<sup>e</sup> siècle**.

## Productivité et croissance : des liens observés de longue date

- ▶ La corrélation entre climat et productivité / croissance donne encore lieu à des interrogations de nos jours : “*hot countries tend to be poor*” Dell et al. (2009, AER)
- ▶ Le débat aujourd’hui porte plutôt sur les interrogations suivantes :
  - les **facteurs climatiques** sont-ils eux-mêmes des **déterminants majeurs de la prospérité** ?
  - ou bien sont-ils **corrélés à d’autres déterminants** (institutions, commerce, histoire coloniale), comme le soutiennent Acemoglu et al. (2002, QJE) ?

## Température et production

- ▶ Les travaux empiriques mettent en évidence des **pertes de production sectorielles** liées à la chaleur, en particulier dans l'agriculture (nous en reparlerons dans un instant).
- ▶ Mais les effets dépassent le seul secteur agricole :
  - productivité du travail et absentéisme ([Somanathan et al. 2021](#), *JPE*),
  - stress thermique et efficacité du travail ([Hsiang 2010](#), *PNAS*),
  - mortalité et impacts sanitaires ([Burgess et al., 2017](#)),
  - risque de conflits ([Hsiang et al. 2013](#), *Science*).
- ▶ Les mécanismes mis en avant par [Dell et al. \(2012, \*AEJ Macro\*\)](#) :
  - 1 une baisse du niveau de production (pertes de productivité, absentéisme) ;
  - 2 une réduction de la capacité de l'économie à **croître** au cours du temps.

## Température et croissance économique

- ▶ Plus précisément, [Dell et al. \(2012, \*AEJ Macro\*\)](#) montrent que :
  - dans les pays pauvres, une année plus chaude de 1°C réduit la croissance du PIB d'environ 1,3 point de pourcentage ;
  - dans les pays riches, l'effet est faible voire nul ;
  - cela suggère que la température affecte non seulement le **niveau de production**, mais aussi le **taux de croissance** dans les pays en développement.
- ▶ [Burke et al. \(2015, \*Nature\*\)](#), à partir de données annuelles couvrant 166 pays entre 1960 et 2010, montrent que la relation entre température et croissance économique est non linéaire :
  - la variation du log du PIB par habitant est maximale autour de 13–15°C et diminue fortement au-delà,
  - autrement dit, le changement climatique pourrait ralentir la croissance et le développement, en particulier dans les régions tropicales et les pays les plus pauvres.

## 4.2. Climat, météorologie et agriculture

# Climat et agriculture

- ▶ L'agriculture est l'un des secteurs les plus sensibles au climat.
- ▶ La **production agricole** dépend directement :
  - de la température,
  - des précipitations,
  - de la fréquence des événements extrêmes (comme des sécheresse, des inondation, des épisodes de grêle, etc.).
- ▶ Les cultures sont adaptées à des **conditions climatiques relativement spécifiques**.
- ▶ Des variations climatiques peuvent donc affecter :
  - les rendements,
  - la variabilité de la production,
  - la sécurité alimentaire.

## Température et rendements agricoles

$$Y_{it} = f(T_{it}, P_{it}) + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

- ▶ Les rendements agricoles présentent souvent une **relation non linéaire** avec la température :
  - Jusqu'à un certain seuil, la température peut favoriser la croissance des plantes.
  - Au-delà de ce seuil :
    - le stress thermique réduit la photosynthèse,
    - la croissance des plantes ralentit,
    - les rendements chutent rapidement.
- ▶ Les épisodes de **chaleur extrême** sont particulièrement dommageables.

## Évidences empiriques

- ▶ Des données détaillées sur les rendements agricoles permettent d'estimer les effets de la température.
- ▶ Par exemple, [Deschênes and Greenstone \(2007, AER\)](#) utilisent les variations météorologiques annuelles aux États-Unis et trouvent que le réchauffement projeté pourrait augmenter les profits agricoles d'environ 4 %.
- ▶ Des travaux ultérieurs soulignent toutefois l'importance des températures extrêmes. Par exemple, [Schlenker and Roberts \(2009, PNAS\)](#) montrent que les rendements agricoles chutent fortement lorsque certaines températures seuils sont dépassées.
- ▶ Les épisodes de chaleur extrême jouent donc un rôle déterminant.

## Timing des chocs climatiques

- ▶ Les impacts climatiques ne dépendent pas seulement de **l'intensité du choc**, mais aussi de **son moment dans le cycle de culture**.
- ▶ Les cultures passent par plusieurs phases sensibles :
  - germination,
  - croissance végétative,
  - floraison,
  - maturation.
- ▶ Une même température peut avoir des effets très différents selon la phase.
- ▶ Par exemple, une vague de chaleur pendant la **floraison** peut provoquer des pertes de rendement particulièrement importantes.
- ▶ L'importance du timing des chocs climatiques est par exemple soulignée par [Crofils et al. \(2025, JEEM\)](#).

## Adaptation dans l'agriculture

- ▶ Les agriculteurs peuvent ajuster leurs pratiques pour réduire les effets du changement climatique.
- ▶ Parmi les principales stratégies d'**adaptation** :
  - **choix des cultures** ou variétés plus résistantes ([Di Falco and Veronesi 2013](#), *Land Econ.*),
  - modification du **mix de cultures** selon les conditions climatiques ([Aragón et al. 2021](#), *AEJ : Econ. Pol.*),
  - ajustement des **dates de plantation**,
  - adoption de nouvelles technologies (irrigation, nouvelles semences).
- ▶ Toutefois, les capacités d'adaptation sont souvent :
  - **coûteuses**,
  - **inégalement réparties** entre régions et agriculteurs.

# Comment projeter les impacts climatiques ?

Les projections d'impacts climatiques reposent généralement sur trois étapes.

## 1 Estimation Empirique

- Estimer la relation entre variables météorologiques / climatiques et rendements agricoles.

## 2 Projections climatiques

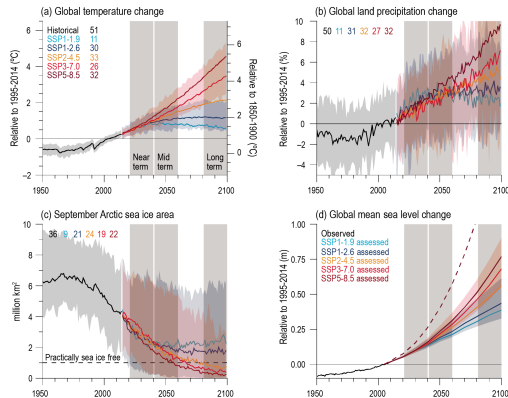
- Utiliser les projections issues des modèles climatiques.
- Plusieurs **scénarios d'émissions** sont généralement considérés.

## 3 Simulation des impacts

- Appliquer la relation estimée aux projections climatiques futures.
- Cela permet d'obtenir des projections d'impacts sous différents scénarios.

# Projections climatiques globales

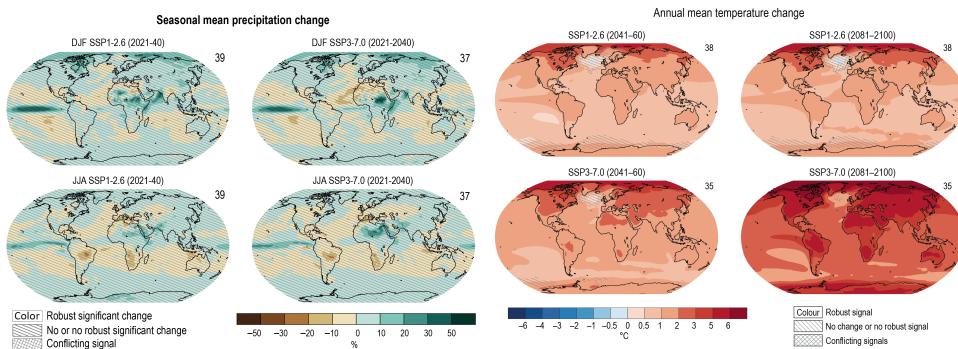
- ▶ Les **projections climatiques** utilisées dans l'analyse économique proviennent de simulations climatiques globales.
- ▶ Le projet **CMIP6** rassemble les simulations de nombreux modèles climatiques.
- ▶ Ces modèles simulent l'évolution du climat sous différents **scénarios d'émissions** qui permettent de projeter la température globale, les précipitations, etc.



Indicateurs sélectionnés du changement climatique mondial à partir des simulations historiques et des scénarios du CMIP6. Source : [Intergovernmental Panel on Climate Change \(IPCC\) \(2023\)](#).

# Projections climatiques régionales

- Les projections climatiques fournies sont régionales.



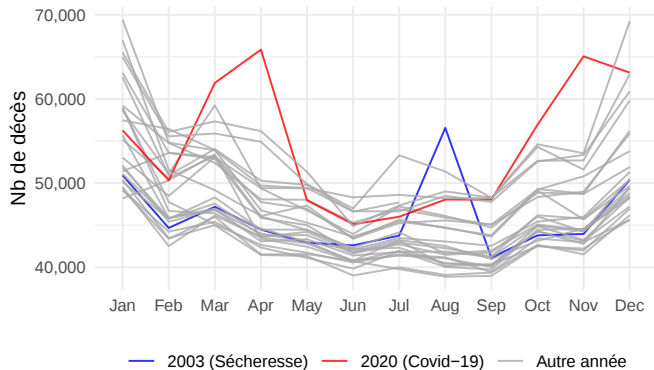
Changement à court terme des précipitations moyennes saisonnières (gauche) de la température moyenne saisonnière à la surface (droite). Source : [Intergovernmental Panel on Climate Change \(IPCC\) \(2023\)](#).

## Limites des projections empiriques

- ▶ Les projections reposent sur des relations estimées à partir de **données historiques**.
- ▶ Cela suppose que ces relations restent valables dans le futur :
  - les conditions climatiques futures peuvent sortir du domaine observé,
  - les réponses économiques peuvent évoluer.
- ▶ L'**adaptation** est difficile à anticiper :
  - nouvelles variétés,
  - changements technologiques,
  - modifications des pratiques agricoles.
- ▶ Les projections dépendent aussi fortement :
  - des **scénarios climatiques** retenus,
  - des **modèles climatiques** utilisés.
- ▶ Enfin, ces approches mesurent souvent des **effets partiels** :
  - elles ne capturent pas toujours les ajustements économiques plus larges (commerce, changements d'usage des terres, migration).

## 4.3. Climat, météorologie et santé

- ▶ L'été 2003 a été marqué par une **vague de chaleur exceptionnelle** en Europe.
- ▶ En France, la mortalité a fortement augmenté sur la période : 5 000 décès supplémentaires ( $> 3\%$  de la mortalité toutes causes observées, [Santé publique France, 2024](#)).



Nombre de décès mensuels en France (2020–2025). Source : Insee (ref. : 000436394)

## Température et mortalité

- ▶ Les températures extrêmes ont des effets importants sur la santé humaine.
- ▶ De nombreuses études montrent une **relation non linéaire** entre température et mortalité (voir [Basu, 2002](#) pour une revue de la littérature).
- ▶ Par exemple :
  - [Deschênes and Greenstone \(2011, AEJAE\)](#) montrent que les jours très froids et très chauds augmentent la mortalité aux États-Unis.
  - Des résultats similaires sont observés au Mexique ([Cohen and Dechezleprêtre 2022, AEJEP](#)).
- ▶ La mortalité est particulièrement sensible aux **épisodes de chaleur extrême**.

## Des effets très hétérogènes

- ▶ Les impacts de la chaleur sur la mortalité varient fortement entre pays.
- ▶ Carleton et al. (2022, *QJE*) utilisent des données subnationales couvrant 40 pays.
- ▶ Ils montrent que :
  - une journée supplémentaire au-dessus de 32°C augmente significativement la mortalité,
  - les effets sont beaucoup plus importants dans les **pays pauvres**.
- ▶ Les différences s'expliquent notamment par :
  - l'accès aux soins,
  - la climatisation,
  - les infrastructures et la capacité d'adaptation.

## Implications économiques

- ▶ Les impacts sanitaires peuvent être convertis en **dommages économiques**.
- ▶ Carleton et al. (2022, *QJE*) estiment que :
  - l'émission d'une tonne supplémentaire de CO<sub>2</sub> aujourd'hui entraîne environ 36.6\$ de dommages liés à la mortalité sous un scénario d'émissions élevées.
- ▶ Pour réaliser cette estimation, ils attribuent une **valeur monétaire à une vie statistique**.

## Estimation économique d'une vie humaine

- ▶ La **Value of a Statistical Life (VSL)** mesure combien la société est prête à payer pour réduire un risque de mortalité :
  - “*the value of a life is the amount members of society are willing to pay to save one.*”  
Thaler and Rosen (1976, NBER) :
- ▶ Cette mesure ne correspond pas à la valeur d'une vie identifiée, mais à la valeur d'une **réduction de risque** :
  - “*[it] defines the monetary value of a (small and similar among the population) mortality risk reduction that would prevent one statistical death and, therefore, should not be interpreted as how much individuals are willing to pay to save an identified life.*”  
Andersson and Treich (2011)

## VSL : exemple

Prenons l'exemple fourni par [Thaler and Rosen \(1976, NBER\)](#) pour illustrer ce concept.

- ▶ Considérons une ville de **100 000 habitants** dans laquelle, en moyenne, **5 personnes meurent sur les routes** chaque année.
- ▶ Un projet d'amélioration de la sécurité routière permettrait de réduire ce nombre à 2 décès par an, évitant ainsi **3 décès statistiques par an**.
- ▶ La disposition à payer des citoyen·nes pour ce projet est estimée :
  - chaque personne est prête à payer **150\$ par an** pour financer ce projet.
  - ramené à l'échelle de la ville, le montant total que la ville est prête à payer est de  $100\,000 \times 150 = 15\,000\,000$ .
- ▶ Le calcul de la VSL est donc :

$$\text{VSL} = \frac{15\,000\,000}{3} = 5\,000\,000$$

La société est prête à payer **5\$ millions** pour réduire le risque de mortalité d'une unité statistique.

# VSL : valeurs pratiques

- ▶ Les agences publiques américaines utilisent des valeurs comprises entre 6 millions de dollars et 10 millions de dollars (Viscusi, 2015), l'OCDE recommande des valeurs moyennes de 7 millions de dollars pour les pays membres de l'OCDE (OECD, 2025, Chap. 6).
- ▶ Pour aller plus loin, de lumineuses explications sont proposées dans Charpentier and Cherrier (2019).

## LA VALEUR DE LA VIE HUMAINE

Arthur Charpentier

Professeur, Université du Québec à Montréal

Béatrice Cherrier

Chargée de recherche CNRS, Université de Cergy Pontoise

En 1928, revenant sur la révolution chinoise de 1925, André Malraux publie son roman *Les conquérants*, et glisse « j'ai appris qu'une vie ne vaut rien, mais que rien ne vaut une vie ». Si la formule peut plaire, on imagine qu'elle n'aidera pas trop un décideur public. En 2013, le Commissariat général à la stratégie et à la prospective, en France, évalue la valeur d'une vie à trois millions d'euros. Mais d'où sort ce chiffre ? Et que signifie-t-il vraiment ?

### Sauver une vie vaut-il le coup ?

Chiffrer une vie est en effet un problème auquel les assureurs, mais aussi les décideurs publics, sont confrontés bien plus souvent qu'il n'y paraît. Après l'effondrement du World Trade Center en 2001, le Congrès américain adopta la loi sur la sécurité du transport aérien et la stabilisation des systèmes. Cette nouvelle loi prévoyait la création d'un fonds spécial pour indemniser les victimes des attentats du 11 septembre 2001. Le montant de l'indemnité et les personnes qui pourraient en bénéficier seraient déterminés par un fonctionnaire tout-puissant. Ce « special master », Kenneth Feinberg, explique dans un ouvrage qui revient sur son expérience (Feinberg, 2006) que le gouvernement souhaitait éviter une avalanche de poursuites pour préjudices corporels. Cela aurait pu plonger l'industrie du transport aérien dans la tourmente.

Un cadre très strict fut donc instauré : seules les victimes « ayant reçu un traitement à l'hôpital dans les 72 heures qui suivirent les attaques », blessées aux abords du World Trade Center et du Pentagone, ainsi que leurs conjoints et enfants – mais pas leurs parents – furent déclarées admissibles à une indemnisation. Le fonds accorda plus de 7 milliards de dollars à 5 560 victimes et membres de leurs familles. Feinberg se devait, légalement, d'évaluer les dommages et intérêts en fonction de la « valeur financière » de la victime décédée. Il dut ainsi expliquer à la femme d'un pompier, par exemple, que son mari valait moins qu'un ouvrier d'assurance.

En France, le récent passage aux 80 km/h sur les routes à deux voies fut aussi partiellement justifié par les vies sauvées. Alors que le Premier ministre se réjouissait, en janvier, d'un bilan de 116 vies épargnées, la journaliste Alba Vermeas (2019) s'interroge sur RTL : « S'il s'agit de ne sauver qu'une vie, est-ce que ça ne vaut pas le coup ? » Le support radiophonique

## Deux façons d'évaluer le coût sanitaire de la pollution

- ▶ Au-delà de la mortalité, la pollution affecte aussi la **morbidité**, les **recours aux soins** et les **dépenses de santé**.
- ▶ **Barwick et al. (2024, REStat)** retiennent deux approches complémentaires pour mesurer le coût de la pollution de l'air en Chine :
  - 1 une approche par les **dépenses de santé**, fondée sur les transactions médicales observées ;
  - 2 une approche par la **mortalité**, fondée sur la valorisation monétaire des décès supplémentaires.
- ▶ Ces deux approches capturent des dimensions différentes :
  - l'une mesure le **coût des maladies et des soins**,
  - l'autre le **coût social des décès prématurés**.

## Approche 1 : coût de la pollution via les dépenses de santé

- ▶ Les auteurs exploitent des **données quotidiennes de transactions de santé** dans plusieurs villes chinoises.
- ▶ Ils montrent qu'une **hausse de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$**  (niveau moyen quotidien observé :  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) :
  - augmente le nombre de transactions de santé de **0,65% à court terme**,
  - et de **2,65% sur trois mois**.
- ▶ Les effets sont particulièrement marqués dans les **hôpitaux pour enfants** : plus forte vulnérabilité des jeunes populations.
- ▶ Les dépenses non médicales diminuent temporairement :
  - **comportements d'évitement**, soutenus par une réduction concomitante des sorties et activités extérieures.
- ▶ Les anticipations d'une mauvaise qualité de l'air modifient elles aussi les **décisions de consommation**.

## Ordres de grandeur : dépenses de santé et temps perdu

- ▶ En 2015, une **hausse de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$**  est associée à environ :
  - 59,6 milliards de yuans de **dépenses de santé supplémentaires** ( $\approx$  **9,2 milliards de dollars**).
- ▶ Comme le niveau moyen de pollution observé est très supérieur à la recommandation de l'OMS, les auteurs estiment un **surcoût total** d'au moins **42 milliards de dollars en 2015** (0,37% du PIB chinois en 2015).
- ▶ Les auteurs valorisent aussi le **temps perdu** lié aux soins :
  - une **hausse de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$**  implique environ **35,5 millions de transactions médicales supplémentaires** ;
  - chaque visite est supposée représenter environ 3 heures perdues (déplacement, attente, consultation) ;
  - le temps est valorisé au salaire horaire moyen.
- ▶ Ce qui conduit à un coût additionnel d'environ 2,3 milliards de yuans de temps perdu ( $\approx$  **350 millions de dollars**).

## Approche 2 : coût de la pollution via la mortalité

- ▶ Barwick et al. (2024, *REStat*) évaluent aussi le **coût des décès supplémentaires** dus à la pollution.
- ▶ Ils s'appuient sur la littérature estimant qu'une hausse de **10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$**  augmente la mortalité cardio-respiratoire d'environ **8%**.
- ▶ Le nombre de décès supplémentaires est ensuite monétisé à l'aide de la **valeur statistique de la vie** (VSL).

- En pratique :

$$\text{Perte de bien-être} = \Delta D \times \text{VSL},$$

où  $\Delta D$  désigne le nombre de décès additionnels.

- Comme il n'existe pas d'estimation directe de la VSL pour la Chine, les auteurs transfèrent une valeur américaine en l'ajustant au revenu par tête.
- Ils obtiennent finalement un coût d'environ **13,4 milliards de dollars en 2015** pour une hausse de **10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$** .

# Synthèse : mesures complémentaires du coût sanitaire

Pour résumer grossièrement [Barwick et al. \(2024, REStat\)](#) :

| Approche                             | Mesure                                                                                                                                                            | Ordre de grandeur                                                                                                                 |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dépenses de santé</b> (morbidité) | Impact de la pollution sur : <ul style="list-style-type: none"> <li>► recours aux soins</li> <li>► transactions médicales</li> <li>► dépenses de santé</li> </ul> | <b>+10 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> de $\text{PM}_{2.5}$ → <b>9,2 milliards de dollars</b> de dépenses supplémentaires |
|                                      | Coût sanitaire lié à un niveau moyen de pollution d'environ <b>56 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> (vs <b>10</b> recommandé par l'OMS)                     | <b>42 milliards de dollars</b>                                                                                                    |
| <b>Mortalité</b>                     | Décès supplémentaires valorisés via la <b>valeur statistique de la vie (VSL)</b>                                                                                  | <b>+10 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> de $\text{PM}_{2.5}$ → <b>13,4 milliards de dollars</b> de pertes de bien-être     |

## 4.4. Climat, météorologie, violence et conflits

## Climat, violence et conflits

- ▶ Les chocs climatiques peuvent aussi modifier les **interactions sociales** et accroître certaines formes de **violence**.
- ▶ Une partie de la littérature en économie étudie notamment :
  - la criminalité violente,
  - les conflits locaux,
  - les **violences au sein du ménage**, en particulier les violences conjugales.
- ▶ Nous allons nous concentrer sur les **violences domestiques** et présenterons comment un choc de météorologie peut produire des **coûts sociaux cachés**.

## Violences conjugales : définition et ordre de grandeur

- ▶ Les **violences conjugales** (*intimate partner violence*) désignent les violences **physiques**, **sexuelles** ou **psychologiques** commises par un partenaire actuel ou ancien.
- ▶ Elles constituent l'une des formes les plus répandues de violences fondées sur le genre.
- ▶ Pour donner un ordre de grandeur, à l'échelle mondiale, environ **une femme sur quatre** a subi au moins une fois des violences de la part d'un partenaire au cours de sa vie<sup>1</sup>
- ▶ Au-delà du coût humain immédiat, ces violences ont des effets durables sur :
  - la santé physique et mentale, les enfants, l'activité économique, les inégalités de genre, ...

---

1.  Violence against women and girls – what the data tell us, World Bank, 2022

## Deux grands mécanismes reliant climat et violence

La littérature scientifique met en avant **deux mécanismes principaux** :

### 1 Canal de stress thermique :

- l'exposition à des températures élevées peut accroître l'irritabilité, le stress et les comportements agressifs.

### 2 Canal de revenu :

- un choc climatique défavorable (sécheresse, déficit de pluie) réduit le revenu, fragilise le ménage et augmente les tensions domestiques.
- Le premier mécanisme relève plutôt d'un effet **immédiat et comportemental**.
- Le second passe davantage par les **contraintes économiques**, le **stress financier** et les **rapports de pouvoir au sein du ménage**.

## Premier canal : chaleur, stress et agressivité

- ▶ Une hypothèse ancienne en psychologie et en économie est que la chaleur peut accroître les comportements agressifs.
- ▶ L'intuition est la suivante : des **températures élevées** engendrent
  - de l'inconfort physique,
  - de la fatigue, de l'irritabilité, une moindre régulation émotionnelle,ce qui entraîne une **probabilité plus élevée de conflits et de violences**.
- ▶ La littérature de laboratoire a montré qu'une chaleur modérée peut augmenter l'agressivité ([Baron and Bell 1976](#), *J. Pers. Soc. Psychol.*; [Cohn and Rotton 1997](#), *J. Pers. Soc. Psychol.*, [Bell, 1992](#)).
- ▶ Dans les données de terrain, les travaux récents suggèrent souvent une relation positive entre **température** et **crimes violents**, y compris certaines violences intrafamiliales ([Ranson 2014](#), *JEEM*; [Cohen and Gonzalez 2024](#), *AEJ : Econ Policy*).

## Un exemple empirique : effets de court terme de la chaleur

- ▶ [Rizzotto et al. \(2025, Rev. Econ. Household\)](#) étudie les effets des conditions météorologiques sur les violences domestiques au Brésil, à partir de données journalières municipales (2010–2019).
- ▶ L'idée est de tester si des hausses de température produisent un effet **immédiat** sur les signalements de violence.
- ▶ Les principaux résultats obtenus sont les suivants :
  - une hausse de la température maximale quotidienne accroît à court terme les **signalements d'agressions** et les **appels aux lignes d'assistance** ;
  - en revanche, il n'y a pas d'effet robuste sur les homicides ;
  - les effets semblent surtout **transitoires**, plutôt que cumulatifs sur plusieurs mois.
- ▶ Aussi, l'article avance l'idée que, pour ce contexte, la chaleur agit surtout via un **stress aigu** et une hausse temporaire de l'agressivité.

## Second canal : choc de revenu et tensions domestiques

- ▶ Un choc climatique peut **réduire les revenus**, en particulier dans les **économies dépendantes de l'agriculture**.
- ▶ Un mécanisme économique simple est proposé :
  - 1 un sécheresse ou déficit de pluie survient,
  - 2 ce qui provoque une baisse des récoltes et du revenu,
  - 3 conduit à une contraction de la consommation du ménage (mécanisme de lissage),
  - 4 et génère une hausse du stress, des conflits et parfois de la consommation d'alcool,
  - 5 ainsi qu'une augmentation possible des violences conjugales.
- ▶ Ce canal ne repose pas seulement sur le stress psychologique, il passe aussi par les **rapports de négociation dans le ménage**, et par la volonté de **contrôler les ressources**.

## Un exemple marquant

- ▶ Miguel (2005, *REStud*) étudie en Tanzanie le lien entre **chocs de pluie** et **meurtres de femmes âgées accusées de sorcellerie**.
- ▶ Le papier met en concurrence **deux hypothèses** :
  - 1 **l'hypothèse du bouc émissaire** : les difficultés économiques et psychologiques augmentent la recherche de responsables symboliques ; les violences contre les supposées “sorcières” seraient alors une forme de décharge collective.
  - 2 **l'hypothèse du choc de revenu** : les sécheresses détruisent les récoltes et les ressources du ménage ; la violence viserait alors des personnes vulnérables perçues comme une charge économique.
- ▶ Le papier montre que :
  - les **sécheresses extrêmes augmentent les meurtres de femmes âgées** accusées de sorcellerie ;
  - en revanche, on n'observe **pas de hausse comparable d'autres crimes violents**.
- ▶ Cette asymétrie conduit l'auteur à privilégier **l'hypothèse du choc de revenu** :
  - sécheresse → pertes agricoles → forte pression économique → violence envers des personnes vulnérables.

## Pourquoi le choc de revenu peut-il accroître la violence conjugale ?

- ▶ Le ménage n'est pas toujours un décideur unique :
  - il peut être vu comme un espace de **négociation** entre partenaires (⚙️ détails).
- ▶ Le **pouvoir de négociation** dépend notamment :
  - du revenu propre,
  - de l'accès aux ressources,
  - des possibilités de quitter la relation,
  - du contexte social et juridique.
- ▶ Un choc climatique peut modifier ces équilibres.
- ▶ Deux effets opposés sont souvent discutés :
  - 1 **effet d'appauvrissement** : plus de stress financier → plus de conflits ([Díaz and Saldarriaga 2023](#), *JHE*);
  - 2 **effet de backlash** : si les revenus relatifs changent, certains hommes peuvent utiliser la violence pour réaffirmer leur contrôle ([Anderberg et al. 2015](#), *EJ*, [Aguilar-Gómez and Salazar-Díaz 2025](#)).

## Un test du canal de revenu : Díaz and Saldarriaga (2023)

- ▶ Díaz and Saldarriaga (2023, *JHE*) étudie l'effet des **chocs de sécheresse** pendant la saison agricole sur les violences physiques conjugales au Pérou rural.
- ▶ L'article montre que **l'exposition à un choc de sécheresse augmente significativement la probabilité de violences physiques** (+8.5pp).
- ▶ Les mécanismes documentés vont dans le sens du **canal de revenu** :
  - baisse du revenu (−20%) et de la consommation (−15%),
  - hausse de la consommation d'alcool chez les hommes,
  - perte d'autonomie économique des femmes.
- ▶ Ainsi, le papier montre que les chocs climatiques peuvent accroître la violence domestique non seulement via le **stress**, mais aussi en dégradant les **conditions matérielles** et les **rapports de pouvoir** au sein du ménage.

## Les politiques publiques peuvent amortir ces effets

- ▶ Si le canal de revenu est important, alors les **politiques de protection sociale** peuvent réduire le lien entre choc climatique et violence.
- ▶ [Sarma \(2022, \*World Dev.\*\)](#) montre que, dans certaines conditions, un programme indien d'emploi public rural (MNREGA) garantissant un emploi (notamment à des femmes) atténue l'effet des chocs de pluie défavorables sur les violences domestiques déclarées.
- ▶ L'intuition sur le mécanisme est la suivante :
  - le programme permet stabiliser le revenu du ménage,
  - de réduire le stress économique,
  - et de limiter les tensions et la dépendance financière.

## Météorologie et violence domestique : pour conclure

- ▶ La littérature économique montre que les chocs de météorologie peuvent affecter les sociétés bien au-delà de leurs **impacts** économiques ou environnementaux **directs**.
- ▶ De nombreux travaux montrent que ces chocs peuvent accroître certaines formes de **violence**, notamment les **violences conjugales**.
- ▶ Deux mécanismes principaux ressortent :
  - **stress thermique** : la chaleur peut accroître l'irritabilité et l'agressivité (littérature en psychologie) ;
  - **chocs de revenu** : les pertes économiques et les tensions domestiques peuvent modifier les rapports de pouvoir au sein du ménage (littérature en économie).
- ▶ Les violences domestiques font ainsi partie des **coûts cachés du changement climatique**.
- ▶ Mesurer les effets de ces chocs permet de **mieux évaluer les coûts sociaux totaux du changement climatique** et de mieux concevoir les politiques publiques.

## 4.5. Le coût social du carbone

## Le coût social du carbone

### Definition 2. Coût social du carbone

*Le **coût social du carbone (CSC)** est la **valeur monétaire des dommages additionnels** causés par l'émission d'une tonne supplémentaire de CO<sub>2</sub>.*

- ▶ Émettre une tonne supplémentaire de CO<sub>2</sub> accroît légèrement :
  - le réchauffement, les dommages économiques, les risques sanitaires, les pertes de bien-être futures.
- ▶ Le CSC cherche à agréger ces effets en une seule mesure monétaire.
- ▶ En théorie, il correspond au **dommage marginal social** d'une tonne de CO<sub>2</sub>.  
Formellement :

$$SCC = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{\Delta D_t}{(1+r)^t}$$

avec  $\Delta D_t$  : les dommages additionnels dans le futur ;  $r$  : le taux d'actualisation.

## De l'utilité du coût social du carbone

- ▶ Comme mentionné précédemment, le changement climatique est une **externalité négative** : les émetteurs ne supportent pas spontanément l'ensemble des dommages qu'ils causent.
- ▶ Le coût social du carbone permet d'avoir une référence pour :
  - évaluer les dommages liés aux émissions,
  - comparer les **coûts de l'inaction** et **ceux de l'atténuation**,
  - **fixer un prix du carbone**.
- ▶ En particulier, si une tonne de CO<sub>2</sub> cause  $x$  euros de dommages, alors un prix du carbone de  $x$  euros permet, en théorie, d'**internaliser l'externalité**.

## Du dommage au prix du carbone

- ▶ Le coût social du carbone permet de relier **les dommages climatiques** à la **la politique climatique**.
- ▶ En économie, cela conduit à une idée simple :
  - si les émissions ont un **coût social**,
  - alors elles devraient faire face à un **prix** (qui permet d'envoyer un signal).
  - Dans un cadre standard d'économie publique, le **prix optimal du carbone est égal au coût social du carbone**.
- ▶ Deux grands instruments permettent d'introduire ce prix :
  - 1 une **taxe carbone**,
  - 2 **systèmes de quotas échangeables** (📺 EU Emission Trading System).
- ▶ L'objectif est d'orienter les comportements de production, de consommation et d'investissement.

## Comment évaluer le coût social du carbone ?

- ▶ La plupart des estimations du coût social du carbone proviennent de **modèles intégrés climat-économie** (*Integrated Assessment Models*, IAMs).
- ▶ Les premiers travaux remontent aux années 1970, notamment au rapport [Meadows et al. \(1972\)](#) («*Limits to Growth*»).
- ▶ L'idée est de combiner dans un même cadre :
  - un **modèle du climat** (émissions → concentration de GES → température),
  - un **modèle de l'économie** (croissance, production, consommation),
  - une **fonction de dommages** reliant température et pertes économiques.
- ▶ Ces modèles permettent de simuler l'évolution de l'économie et du climat sur le long terme et de calculer le **dommage marginal d'une tonne de CO<sub>2</sub>**.

# La difficile tâche d'évaluation du coût social du carbone

- ▶ Les estimations du coût social du carbone reposent sur plusieurs **hypothèses clés** :
  - l'ampleur des **dommages économiques du climat**,
  - leur répartition dans l'espace et dans le temps,
  - le **taux d'actualisation**,
  - la prise en compte des **risques extrêmes** et des inégalités.
- ▶ Ces hypothèses conduisent à des estimations très différentes. On peut grossièrement distinguer deux écoles :
  - 1 **Nordhaus (DICE)** ([Nordhaus 2010](#), *PNAS*)
    - taux d'actualisation relativement élevé,
    - coût social du carbone d'environ **30 à 50 \$ par tonne**.
  - 2 **Rapport Stern (2006)** ([Stern, 2007](#))
    - taux d'actualisation beaucoup plus faible,
    - estimations souvent **supérieures à 100 \$ par tonne**.

## Estimations récentes du coût social du carbone

- ▶ La littérature économique n'est pas encore arrivée à un consensus concernant la valeur du coût social du carbone.
- ▶ Dans un récent papier, [Bilal and Känzig \(2026, QJE\)](#) estiment que les dommages macroéconomiques du changement climatique sont beaucoup plus importants que dans la littérature existante.
  - En exploitant les variations de la **température moyenne mondiale** (et non pas locale comme dans les autres travaux académiques), les auteurs trouvent qu'**une hausse de 1°C** pourrait réduire le **PIB mondial d'environ 12%**.
  - Cela conduit à une estimation du coût social du carbone d'environ : **1 367 \$ par tonne de CO<sub>2</sub>**

## Les limites des modèles intégrés climat-économie

- ▶ Bien que les IAMs soient largement utilisés pour évaluer le coût social du carbone, ils font l'objet de plusieurs critiques dans la littérature, parmi lesquelles :
  - **Hypothèses déterminantes** : le choix du *taux d'actualisation* ou de l'aversion au risque influence fortement les résultats.
  - **Fonctions de dommages incertaines** : la relation entre température et pertes économiques est encore mal connue.
  - **Grande incertitude climatique** : la sensibilité climatique et certains rétroactions du système climatique restent difficiles à prévoir.
  - **Illusion de précision** : les modèles produisent des chiffres précis pour le CSC, mais ceux-ci reposent sur des hypothèses discutables.
- ▶ Comme le souligne [Pindyck \(2013, JEL\)](#), ces modèles doivent être interprétés avec prudence.
- ▶ Quelques lectures complémentaires sur les critiques portées aux IAMs : [Auffhammer \(2018, JEP\)](#), [Rose \(2012\)](#)

## 5. Pourquoi agit-on si peu ?

## Connaître les dommages ne suffit pas

- ▶ Les dommages climatiques sont aujourd'hui largement documentés : effets sur la production, la santé, les inégalités, les conflits, ou encore les migrations.
- ▶ Pourtant, cette meilleure connaissance ne se traduit pas automatiquement par une action suffisante.
- ▶ Deux raisons peuvent être mises en avant pour l'expliquer :
  - 1 le climat relève d'un problème de **bien public mondial**,
  - 2 les coûts et bénéfices de l'action sont répartis de façon **très inégale**.
- ▶ Aussi, pour reprendre l'idée effleurée dans la troisième partie, le changement climatique est un problème d'action collective.

## 5.1. Rappels sur la typologie des biens

## Rivalité et exclusion : rappels

### Definition 3. Rivalité

*Un bien est **rival** si la consommation par un agent réduit la quantité disponible pour les autres.*

### Definition 4. Exclusion

*Un bien est **excluable** s'il est possible d'empêcher un agent d'y accéder sans paiement.*

### Definition 5. Bien public

*Un bien est **public** s'il est non-rival et non-excluable.*

## Typologie des biens (rappel)

|           | Excluable                                        | Non-excluable                                             |
|-----------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Rival     | <b>Biens privés</b><br>(alimentation, vêtements) | <b>Biens communs</b><br>(pêche, forêts)                   |
| Non-rival | <b>Biens de club</b><br>(services à péage)       | <b>Biens publics</b><br>(défense nationale, connaissance) |

- ▶ La stabilité du climat présente les caractéristiques d'un bien public ([Samuelson, 1954](#)) : elle est non-rivale et non-excluable.
- ▶ Elle correspond plus particulièrement à un **bien public mondial**, dans le sens où ses bénéfices sont diffus dans l'espace et dans le temps.

## 5.2. Le problème du free-riding

## Une conséquence : le *free-riding*

- ▶ Lorsqu'un bien est **non-excluable**, il est difficile d'empêcher un agent d'en bénéficier.
- ▶ Dans ce cas, chaque agent peut être tenté de **bénéficier du bien sans contribuer à son financement**.
- ▶ Ce comportement est appelé **free-riding** (on utilise aussi le terme de passager clandestin).
- ▶ Dans le cas du climat :
  - les **coûts de réduction des émissions** sont supportés localement,
  - les **bénéfices** sont diffus à l'échelle mondiale.
- ▶ Chaque pays a donc intérêt à laisser les autres faire l'effort.
- ▶ Cependant, si tous les pays raisonnent ainsi, les efforts sont insuffisants et les émissions restent trop élevées.
- ▶ Il en résulte un **résultat collectivement inefficace**.

# Théorie des jeux : le dilemme du prisonnier climatique

- ▶ Si tous les pays coopèrent :
  - les émissions diminuent,
  - les dommages climatiques sont limités.
- ▶ Mais pour un pays pris individuellement :
  - il peut être avantageux de **ne pas réduire ses émissions**,
  - tout en profitant des efforts des autres.
- ▶ L'équilibre peut alors être : **moins de coopération que ce qui serait optimal collectivement.**

## 5.3. Des conflits de répartition

## Des responsabilités et des capacités inégales

- ▶ Les pays ne contribuent pas de la même manière aux émissions.
- ▶ Plusieurs dimensions sont importantes :
  - les **émissions historiques**,
  - les **émissions actuelles**,
  - les **capacités économiques**.
- ▶ Les pays économiquement riches sont responsables d'une grande partie des émissions passées.
- ▶ Les pays en développement soulignent leur droit au développement.
- ▶ Se posent ainsi les questions suivantes ([Caney, 2024](#)) :
  - 1 **La question de l'obligation** : qui a l'obligation d'agir pour lutter contre le changement climatique ?
  - 2 **La question du partage des charges** : en quoi consiste une répartition équitable des charges (et des avantages) liés à la lutte contre le changement climatique ?

## Différentes conceptions de la justice climatique

- ▶ Les questions précédentes ne font pas consensus.
- ▶ La littérature en philosophie politique et en économie normative propose plusieurs manières de répartir les responsabilités climatiques.
- ▶ On distingue souvent deux grandes approches [Gosseries \(2023\)](#) :
  - 1 une logique **rectificatoire** : corriger les torts du passé ;
  - 2 une logique **distributive** : répartir équitablement les charges aujourd'hui.
- ▶ Ces approches conduisent souvent à des recommandations différentes sur **qui doit réduire ses émissions** et **qui doit payer**.

# Une logique rectificatoire

Une première approche consiste à **corriger les torts passés**.

Deux principes sont souvent invoqués :

- ▶ **Principe du pollueur payeur** (*polluter pays principle*)
  - les émissions passées ont causé des dommages climatiques ;
  - les pays responsables devraient contribuer à réparer ces dommages.
- ▶ **Principe du bénéficiaire payeur** (*beneficiary pays principle*)
  - les générations actuelles ont bénéficié des émissions passées ;
  - elles devraient donc participer à la réparation des dommages.

## Une logique distributive

Une autre approche consiste à se concentrer sur la **répartition actuelle des charges**.

Selon [Gosseries \(2023\)](#) :

- ▶ les pollueurs historiques ne sont plus là ;
- ▶ il est parfois difficile d'attribuer une faute morale aux générations passées (Gosseries parle de notion d'*excusable past ignorance*).

L'idée est donc de répartir les efforts en fonction des :

- ▶ **ressources économiques,**
- ▶ **capacités d'action,**
- ▶ **besoins.**

## États, entreprises ou individus ?

- ▶ Les discussions sur la justice climatique se concentrent souvent sur les **États**, mais ce choix peut être discuté.
- ▶ Par exemple, **Caney (2024)** suggère de s'interroger sur la responsabilité :
  - des **individus** (consommation, modes de vie),
  - des **entreprises** (production d'énergies fossiles).
- ▶ Cependant, comme le souligne **Hormio (2024)** :
  - **toutes les émissions contribuent au problème,**
  - mais les solutions efficaces nécessitent surtout **l'action des États et d'autres acteurs collectifs.**

## 6. Conclusion

# Conclusion

- ▶ Le changement climatique constitue une **externalité globale majeure** : les émissions d'aujourd'hui affectent le climat mondial et les générations futures.
- ▶ Les impacts économiques sont **multiples et inégalement répartis** :
  - entre pays, entre groupes sociaux, et entre générations.
- ▶ La politique climatique soulève donc des questions centrales de justice et de répartition, qui nécessitent un cadre de réflexion économique, politique, et philosophique :
  - 1 **qui doit réduire ses émissions ?**
  - 2 **qui doit payer ?**

# References I

- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L. and Hemous, D. (2012). The environment and directed technical change. *American Economic Review* 102 : 131–166, doi: 10.1257/aer.102.1.131.
- Acemoglu, D., Johnson, S. and Robinson, J. A. (2002). Reversal of fortune : Geography and institutions in the making of the modern world income distribution. *The Quarterly Journal of Economics* 117 : 1231–1294, doi: 10.1162/003355302320935025.
- Aguilar-Gómez, S. and Salazar-Díaz, A. (2025). Droughts and domestic violence : Measuring the gender-climate nexus. doi: 10.18235/0013368, working paper.
- Anderberg, D., Rainer, H., Wadsworth, J. and Wilson, T. (2015). Unemployment and domestic violence : Theory and evidence. *The Economic Journal* 126 : 1947–1979, doi: 10.1111/ecoj.12246.
- Andersson, H. and Treich, N. (2011). *The Value of a Statistical Life*. Edward Elgar Publishing. doi: 10.4337/9780857930873.00025.
- Aragón, F. M., Oteiza, F. and Rud, J. P. (2021). Climate change and agriculture : Subsistence farmers' response to extreme heat. *American Economic Journal : Economic Policy* 13 : 1–35, doi: 10.1257/pol.20190316.
- Auffhammer, M. (2018). Quantifying economic damages from climate change. *Journal of Economic Perspectives* 32 : 33–52, doi: 10.1257/jep.32.4.33.
- Azevedo, I. M. (2014). Consumer end-use energy efficiency and rebound effects. *Annual Review of Environment and Resources* 39 : 393–418, doi: 10.1146/annurev-environ-021913-153558.

## References II

- Baron, R. A. and Bell, P. A. (1976). Aggression and heat : The influence of ambient temperature, negative affect, and a cooling drink on physical aggression. *Journal of Personality and Social Psychology* 33 : 245–255, doi: 10.1037//0022-3514.33.3.245.
- Barwick, P. J., Li, S., Rao, D. and Zahur, N. B. (2024). The healthcare cost of air pollution : Evidence from the world's largest payment network. *Review of Economics and Statistics* : 1–52doi: 10.1162/rest\_a\_01430.
- Bashir, N., Donti, P., Cuff, J., Sroka, S., Ilic, M., Sze, V., Delimitrou, C. and Olivetti, E. (2024). The Climate and Sustainability Implications of Generative AI. *An MIT Exploration of Generative AI*  
Https ://mit-genai.pubpub.org/pub/8ulgrckc.
- Basu, R. (2002). Relation between elevated ambient temperature and mortality : A review of the epidemiologic evidence. *Epidemiologic Reviews* 24 : 190–202, doi: 10.1093/epirev/mxf007.
- Bell, P. A. (1992). In defense of the negative affect escape model of heat and aggression. *Psychological Bulletin* 111 : 342–346, doi: 10.1037/0033-2909.111.2.342.
- Bilal, A. and Känzig, D. R. (2026). The macroeconomic impact of climate change : Global versus local temperature. *The Quarterly Journal of Economics* doi: 10.1093/qje/qjag011.
- Burgess, R., Deschenes, O., Donaldson, D. and Greenstone, M. (2017). Weather, climate change and death in india.
- Burke, M., Hsiang, S. M. and Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature* 527 : 235–239, doi: 10.1038/nature15725.

## References III

- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barret, K., Blanco, G., Cheung, W. W., Connors, S. L., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., Jotzo, F., Krug, T., Lasco, R., Lee, Y.-Y., Masson-Delmotte, V., Meinshausen, M., Mintenbeck, K., Mokssit, A., Otto, F. E., Pathak, M., Pirani, A., Poloczanska, E., Pörtner, H.-O., Revi, A., Roberts, D. C., Roy, J., Ruane, A. C., Skea, J., Shukla, P. R., Slade, R., Slangen, A., Sokona, Y., Sörensson, A. A., Tignor, M., Vuuren, D. van, Wei, Y.-M., Winkler, H., Zhai, P., Zommers, Z., Hourcade, J.-C., Johnson, F. X., Pachauri, S., Simpson, N. P., Singh, C., Thomas, A., Totin, E., Alegría, A., Armour, K., Bednar-Friedl, B., Blok, K., Cissé, G., Dentener, F., Eriksen, S., Fischer, E., Garner, G., Guivarch, C., Haasnoot, M., Hansen, G., Hauser, M., Hawkins, E., Hermans, T., Kopp, R., Leprince-Ringuet, N., Lewis, J., Ley, D., Ludden, C., Niamir, L., Nicholls, Z., Some, S., Szopa, S., Trewin, B., Wijst, K.-I. van der, Winter, G., Witting, M., Birt, A. and Ha, M. (2023). *IPCC, 2023 : Climate Change 2023 : Synthesis Report, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland..* doi: 10.59327/ipcc/ar6-9789291691647.001.
- Caney, S. (2024). Climate justice and the moral relevance of the past. *Journal of Practical Ethics* 12, doi: 10.3998/jpe.6269.
- Carleton, T., Jina, A., Delgado, M., Greenstone, M., Houser, T., Hsiang, S., Hultgren, A., Kopp, R. E., McCusker, K. E., Nath, I., Rising, J., Rode, A., Seo, H. K., Viaene, A., Yuan, J. and Zhang, A. T. (2022). Valuing the global mortality consequences of climate change accounting for adaptation costs and benefits. *The Quarterly Journal of Economics* 137 : 2037–2105, doi: 10.1093/qje/qjac020.

## References IV

- Charpentier, A. and Cherrier, B. (2019). La valeur de la vie humaine. *Risques* .
- Chiappori, P.-A. (1992). Collective labor supply and welfare. *Journal of Political Economy* 100 : 437–467, doi: 10.1086/261825.
- Cohen, F. and Dechezleprêtre, A. (2022). Mortality, temperature, and public health provision : Evidence from Mexico. *American Economic Journal : Economic Policy* 14 : 161–192, doi: 10.1257/pol.20180594.
- Cohen, F. and Gonzalez, F. (2024). Understanding the link between temperature and crime. *American Economic Journal : Economic Policy* 16 : 480–514, doi: 10.1257/pol.20220118.
- Cohn, E. G. and Rotton, J. (1997). Assault as a function of time and temperature : A moderator-variable time-series analysis. *Journal of Personality and Social Psychology* 72 : 1322–1334, doi: 10.1037/0022-3514.72.6.1322.
- Crofigs, C., Gallic, E. and Vermandel, G. (2025). The dynamic effects of weather shocks on agricultural production. *Journal of Environmental Economics and Management* 130 : 103078, doi: 10.1016/j.jeem.2024.103078.
- Dell, M., Jones, B. F. and Olken, B. A. (2009). Temperature and income : Reconciling new cross-sectional and panel estimates. *American Economic Review* 99 : 198–204, doi: 10.1257/aer.99.2.198.
- Dell, M., Jones, B. F. and Olken, B. A. (2012). Temperature shocks and economic growth : Evidence from the last half century. *American Economic Journal : Macroeconomics* 4 : 66–95, doi: 10.1257/mac.4.3.66.

## References V

- Deschênes, O. and Greenstone, M. (2007). The economic impacts of climate change : Evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. *American Economic Review* 97 : 354–385, doi: 10.1257/aer.97.1.354.
- Deschênes, O. and Greenstone, M. (2011). Climate change, mortality, and adaptation : Evidence from annual fluctuations in weather in the US. *American Economic Journal : Applied Economics* 3 : 152–185, doi: 10.1257/app.3.4.152.
- Di Falco, S. and Veronesi, M. (2013). How can african agriculture adapt to climate change? a counterfactual analysis from Ethiopia. *Land Economics* 89 : 743–766, doi: 10.3368/le.89.4.743.
- Díaz, J.-J. and Saldarriaga, V. (2023). A drop of love ? rainfall shocks and spousal abuse : Evidence from rural Peru. *Journal of Health Economics* 89 : 102739, doi: 10.1016/j.jhealeco.2023.102739.
- Eswaran, M. and Malhotra, N. (2011). Domestic violence and women's autonomy in developing countries : theory and evidence. *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économie* 44 : 1222–1263, doi: 10.1111/j.1540-5982.2011.01673.x.
- Fressoz, J.-B. and Locher, F. (2020). *Les Révoltes du ciel : Une histoire du changement climatique XVe-XXe siècle*. Seuil.
- Gosseries, A. (2023). *What is intergenerational justice ?*. John Wiley & Sons.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons : The population problem has no technical solution ; it requires a fundamental extension in morality. *Science* 162 : 1243–1248, doi: 10.1126/science.162.3859.1243.

## References VI

- Hormio, S. (2024). *Taking Responsibility for Climate Change*. Springer International Publishing, doi: 10.1007/978-3-031-51753-2.
- Hsiang, S. M. (2010). Temperatures and cyclones strongly associated with economic production in the caribbean and central america. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 : 15367–15372, doi: 10.1073/pnas.1009510107.
- Hsiang, S. M., Burke, M. and Miguel, E. (2013). Quantifying the influence of climate on human conflict. *Science* 341, doi: 10.1126/science.1235367.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023). *Future Global Climate : Scenario-based Projections and Near-term Information*. Cambridge University Press. 553–672, doi: 10.1017/9781009157896.006.
- Jevons, W. S. (1865). *The Coal Question : An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal Mines*. Macmillan & Co. Londres.
- Kaack, L., Donti, P., Strubell, E. and Rolnick, D. (2020). Artificial intelligence and climate change : Opportunities, considerations, and policy levers to align ai with climate change goals.
- Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F. and Rolnick, D. (2022). Aligning artificial intelligence with climate change mitigation. *Nature Climate Change* 12 : 518–527, doi: 10.1038/s41558-022-01377-7.
- Luccioni, A. S., Strubell, E. and Crawford, K. (2025). From Efficiency Gains to Rebound Effects : The Problem of Jevons' Paradox in AI's Polarized Environmental Debate. In *Proceedings of the 2025 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, FAccT '25. ACM, 76–88, doi: 10.1145/3715275.3732007.

## References VII

- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S. and Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science* 367 : 984–986, doi: 10.1126/science.aba3758.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. and Behrens III, W. W. (1972). *The Limits to Growth : a Report to the Club of Rome*. Universe Books, New York.
- Miguel, E. (2005). Poverty and witch killing. *The Review of Economic Studies* 72 : 1153–1172, doi: 10.1111/0034-6527.00365.
- Montesquieu, C. de Secondat de (1758). *De l'esprit des lois*.
- Nash, J. F. (1950). The bargaining problem. *Econometrica* 18 : 155, doi: 10.2307/1907266.
- Nordhaus, W. (2019). Climate change : The ultimate challenge for economics. *American Economic Review* 109 : 1991–2014, doi: 10.1257/aer.109.6.1991.
- Nordhaus, W. D. (2010). Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 : 11721–11726, doi: 10.1073/pnas.1005985107.
- Nordhaus, W. D. (2013). *The Climate Casino : Risk, Uncertainty, and Economics for a Warming World*. Yale University Press.
- OECD (2025). *Mortality Risk Valuation in Policy Assessment : A Global Meta-Analysis of Value of Statistical Life Studies*. OECD Publishing, doi: 10.1787/76ca89a2-en.
- Olson, M. (1965). *The Logic of Collective Action : Public Goods and the Theory of Groups*. Harvard University Press.

## References VIII

- Pindyck, R. S. (2013). Climate change policy : What do the models tell us? *Journal of Economic Literature* 51 : 860–872, doi: 10.1257/jel.51.3.860.
- Ranson, M. (2014). Crime, weather, and climate change. *Journal of Environmental Economics and Management* 67 : 274–302, doi: 10.1016/j.jeem.2013.11.008.
- Rizzotto, J. S., Sims, K. M. and Gibbs, H. K. (2025). Hot tempers : Differential effects of heat and drought on domestic violence. *Review of Economics of the Household* doi: 10.1007/s11150-025-09806-0.
- Rose, S. K. (2012). The role of the social cost of carbon in policy. *WIREs Climate Change* 3 : 195–212, doi: 10.1002/wcc.163.
- Samuelson, P. A. (1954). The pure theory of public expenditure. *The Review of Economics and Statistics* 36 : 387, doi: 10.2307/1925895.
- Santé publique France (2024). Bilan canicule et santé : Un été 2023 marqué par 4 épisodes de canicule, avec un impact sanitaire important. Communiqué de presse, <https://www.santepubliquefrance.fr/>. Consulté le 16 mars 2026.
- Sarma, N. (2022). Domestic violence and workfare : An evaluation of India's MGNREGS. *World Development* 149 : 105688, doi: 10.1016/j.worlddev.2021.105688.
- Schlenker, W. and Roberts, M. J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 : 15594–15598, doi: 10.1073/pnas.0906865106.

## References IX

- Somanathan, E., Somanathan, R., Sudarshan, A. and Tewari, M. (2021). The impact of temperature on productivity and labor supply : Evidence from Indian manufacturing. *Journal of Political Economy* 129 : 1797–1827, doi: 10.1086/713733.
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change : The Stern Review*. Cambridge University Press, doi: 10.1017/cbo9780511817434.
- Thaler, R. and Rosen, S. (1976). The value of saving a life : evidence from the labor market. In *Household production and consumption*. NBER, 265–302.
- Tirole, J. (2016). *Économie du bien commun*. Presses Universitaires de France.
- Viscusi, W. K. (2015). The role of publication selection bias in estimates of the value of a statistical life. *American Journal of Health Economics* 1 : 27–52, doi: 10.1162/ajhe\\_a\\_00002.
- Wang, H. and Mullahy, J. (2006). Willingness to pay for reducing fatal risk by improving air quality : A contingent valuation study in Chongqing, China. *Science of The Total Environment* 367 : 50–57, doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.02.049.
- Xiao, T., Nerini, F. F., Matthews, H. D., Tavoni, M. and You, F. (2025). Environmental impact and net-zero pathways for sustainable artificial intelligence servers in the usa. *Nature Sustainability* 8 : 1541–1553, doi: 10.1038/s41893-025-01681-y.
- Zewe, A. (2025). Explained : Generative ai’s environmental impact.  
<https://news.mit.edu/2025/explained-generative-ai-environmental-impact-0117>. Consulté le 16 mars 2026.

# A. Modélisation des décisions dans un ménage

## Décisions du ménage et négociation

- ▶ Dans de nombreux modèles économiques, le ménage n'est pas considéré comme un agent unique.
- ▶ Les **modèles collectifs du ménage** (Chiappori 1992, JPE) décrivent le ménage comme un ensemble d'individus ayant des **préférences distinctes**.
- ▶ Les décisions (travail, consommation, allocation des ressources) résultent d'un **processus de négociation** entre partenaires.
- ▶ L'issue de cette négociation dépend notamment du **point de menace**  $\bar{U}_i$  de chaque individu :
  - c'est le niveau d'utilité que la personne peut garantir si aucun accord n'est trouvé (séparation, autonomie économique, soutien familial, etc.).
- ▶ Plus le point de menace d'un individu est élevé, plus son **pouvoir de négociation** dans le ménage est important.

## Une formalisation : la négociation de Nash

- ▶ Une manière classique de modéliser cette négociation est la **solution de négociation de Nash** (Nash, 1950).
- ▶ L'allocation choisie maximise le produit des gains d'utilité de chaque partenaire par rapport à leur point de menace :

$$\max_{(U_1, U_2) \in \mathcal{U}} (U_1 - \bar{U}_1)(U_2 - \bar{U}_2)$$

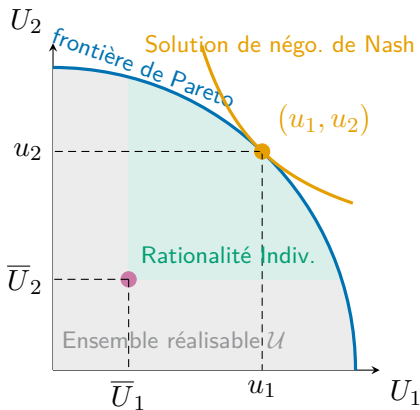
- ▶ Dans un modèle simple d'offre de travail du ménage :

$$\arg \max_{L, C} (U_1(L_1, C_1) - \bar{U}_1)(U_2(L_2, C_2) - \bar{U}_2)$$

$$\text{s.c. } w_1 L_1 + w_2 L_2 + C_1 + C_2 \leq (w_1 + w_2)T + y$$

- ▶ où  $w_i$  est le salaire,  $L_i$  le loisir,  $C_i$  la consommation et  $y$  le revenu non salarial.

# Intuition géométrique



- ▶ Chaque point  $(U_1, U_2)$  de l'ensemble  $\mathcal{U}$  représente une allocation possible entre les deux partenaires.
- ▶  $(\bar{U}_1, \bar{U}_2)$  correspond au **point de menace** : les utilités obtenues si aucun accord n'est trouvé.
- ▶ La frontière courbe est la **frontière de Pareto** : les allocations efficaces.
- ▶ La **solution de Nash** maximise le produit des gains d'utilité :

$$\max_{(U_1, U_2) \in \mathcal{U}} (U_1 - \bar{U}_1)(U_2 - \bar{U}_2)$$

- ▶ De manière intuitive, la solution équilibre les gains des deux partenaires par rapport à leur option extérieure.

## Interprétation : pouvoir de négociation et violence

- ▶ Le **point de menace**  $\overline{U}_i$  dépend notamment :
  - du revenu propre,
  - de l'accès à des ressources ou à un emploi,
  - des normes sociales et des possibilités de quitter la relation.
- ▶ Si le point de menace d'un partenaire **diminue** :
  - sa dépendance économique augmente,
  - son pouvoir de négociation diminue,
  - il devient potentiellement plus exposé à la coercition ou à la violence.
- ▶ À l'inverse, une hausse du pouvoir économique des femmes peut réduire la violence, mais aussi générer un **effet de backlash** dans certains contextes ([Anderberg et al. 2015, EJ](#)).
- ▶ La violence peut alors être interprétée comme un instrument stratégique visant à **maintenir ou rétablir un contrôle sur les ressources** ([Eswaran and Malhotra 2011, Can. J. Econ.](#)).

## B. Coûts environnementaux de l'IA

# Mesurer les coûts environnementaux de l'IA

- ▶ La mesure de l'empreinte environnementale de l'IA reste **très incertaine**.
- ▶ Plusieurs raisons pour expliquer ces difficultés :
  - **manque de transparence** des entreprises sur les infrastructures utilisées,
  - forte **hétérogénéité des modèles** et des architectures matérielles,
  - difficulté à mesurer l'ensemble du **cycle de vie** :
    - fabrication du matériel,
    - consommation énergétique,
    - refroidissement,
    - fin de vie des équipements.
- ▶ La littérature existante propose principalement :
  - des **estimations partielles**,
  - ou des **cadres conceptuels** pour guider la mesure.

# Trois sources principales d'impact environnemental

Les impacts environnementaux de l'IA proviennent principalement de trois sources ([Bashir et al., 2024](#); [Luccioni et al., 2025](#)) :

## 1 Consommation d'énergie

- entraînement des modèles,
- fine-tuning,
- inférence.

## 2 Consommation d'eau

- refroidissement des centres de données,
- production d'électricité utilisée pour le calcul.

## 3 Ressources matérielles

- extraction de métaux rares,
- fabrication de GPU et d'infrastructures informatiques,
- déchets électroniques.

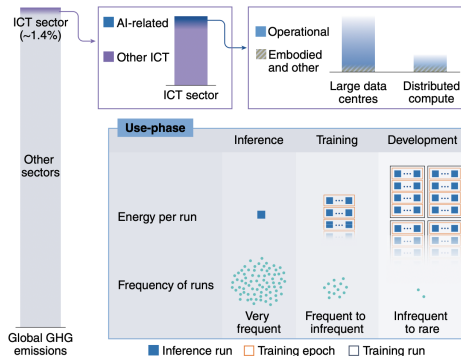
## La croissance de la demande énergétique

- ▶ Quelques ordres de grandeur ([Zewe, 2025](#)) :
  - Les centres de données consommaient environ **460 TWh d'électricité dans le monde en 2022**.
  - Leur consommation pourrait atteindre **environ 1050 TWh en 2026**.
  - À ce niveau, ils se situeraient parmi les **plus grands consommateurs d'électricité au monde**.
- ▶ Voir [Masanet et al. \(2020, Science\)](#) pour davantage de données chiffrées sur les estimations énergétiques des *data centers*.
- ▶ Par ailleurs, [Kaack et al. \(2022, Nature Clim. Change\)](#) fournit des ordres de grandeur en termes d'émissions de GES :
  - Le secteur des **Technologies de l'information et de la communication** représente environ  $\approx 700$  Mt CO<sub>2</sub>
  - soit environ **1.4% des émissions mondiales de GES**.

# Cycle de vie d'un modèle d'IA et consommation énergétique

L'empreinte enviro. dépend de la phase du cycle de vie :

- **Développement** : conception de l'architecture, expérimentation de nombreuses configurations, multiples entraînements exploratoires.
- **Apprentissage** : entraînement du modèle sur de très grands jeux de données; calcul intensif sur GPU/TPU,
- **Inférence** : utilisation du modèle par les utilisateurs.



Computing-related GHG emissions impacts of ML. Source : [Kaack et al. \(2022\)](#)

- Avec l'essor de l'IA générative, [Kaack et al. \(2022, Nature Clim. Change\)](#) suggèrent que l'inférence pourrait devenir la principale source de consommation énergétique

## Consommation d'eau des infrastructures d'IA

- ▶ Les centres de données génèrent une grande quantité de chaleur en raison de l'intensité des calculs.
- ▶ Les serveurs doivent être **refroidis en continu** pour éviter la surchauffe.
- ▶ Une méthode courante consiste à utiliser des **systèmes de refroidissement par évaporation** :
  - l'eau absorbe la chaleur produite par les serveurs,
  - elle s'évapore dans les tours de refroidissement,
  - une partie de cette eau est **perdue dans l'atmosphère**.
- ▶ L'empreinte hydrique provient aussi de la **production d'électricité** utilisée pour alimenter les centres de données.
- ▶ Par exemple, selon ([Xiao et al. 2025](#), *Nature Sustainability*) l'expansion des serveurs d'IA aux États-Unis pourrait générer, pour la période **2024–2030**, entre :
  - **731 et 1125 millions de m<sup>3</sup> d'eau par an**
  - **24 à 44 Mt de CO<sub>2</sub> supplémentaires par an**

# Trois niveaux d'impact des technologies d'IA

[Kaack et al. \(2022\)](#) proposent un cadre conceptuel distinguant :

## 1 Les impacts liés au calcul réliés par les systèmes d'IA

- consommation d'électricité,
- fabrication du matériel informatique.

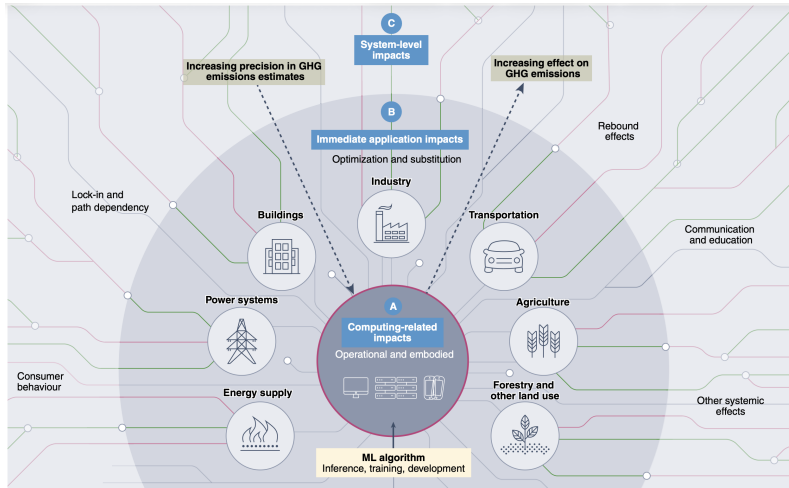
## 2 Les impacts directs des applications

- optimisation industrielle,
- substitution de certaines activités.

## 3 Les impacts systémiques

- transformations économiques,
- effets rebond,
- changements de comportement.

# Le cadre conceptuel de Kaack et al. (2022)



Cadre d'analyse des impacts du machine learning sur les émissions de GES. Trois catégories d'effets (A, B et C) distinguant différents types d'impacts potentiels (lignes vertes : réduction des émissions, lignes magenta : augmentation, gris : effets incertains ou négligeables), ainsi que les incertitudes d'estimation et les leviers de décarbonation associés. Source : [Kaack et al. \(2022\)](#)

## Effets rebond et paradoxe de Jevons

Les gains d'efficacité technologique ne réduisent pas toujours la consommation totale.

Definition 6. Effet rebond (Luccioni et al., 2025)

*Une amélioration de l'efficacité énergétique peut réduire le coût d'utilisation d'une technologie et conduire à une **augmentation de son usage**.*

Pour l'IA, [Luccioni et al. \(2025\)](#) et [Azevedo \(2014\)](#) listent de nombreux effets rebonds potentiels, parmi lesquels :

- ▶ **effet d'échelle** : modèles toujours plus grands.
- ▶ **effet substitution** : remplacement de services existants par l'IA.
- ▶ **effets économiques indirects** : baisse des coûts → augmentation de la demande.

# Le paradoxe de Jevons

Paradoxe de Jevons, Jevons (1865, Chapter 7)

*But the economy of coal in manufactures is a different matter. It is wholly a confusion of ideas to suppose that the economical use of fuel is equivalent to a diminished consumption. The very contrary is the truth. [p.75] [...] Whatever, therefore, conduces to increase the efficiency of coal, and to diminish the cost of its use, directly tends to augment the value of the steam-engine, and to enlarge the field of its operations. [p.77]*

Application possible à l'IA ([Luccioni et al., 2025](#)) :

- ▶ des modèles plus efficaces → coût d'usage plus faible
- ▶ entraînant une **augmentation de la demande d'IA**
- ▶ conduisant indirectement à une **hausse possible de la consommation totale d'énergie**

## Promesses et risques environnementaux

L'IA peut à la fois **atténuer** et **aggraver** les impacts environnementaux ([Bashir et al., 2024](#), [Kaack et al. 2022](#), *Nature Clim. Change*, [Kaack et al., 2020](#)).

### Applications potentielles positives

- ▶ prévision météorologique,
- ▶ surveillance des écosystèmes,
- ▶ optimisation des réseaux électriques,
- ▶ détection de déforestation ou de fuites de méthane.

### Risques environnementaux

- ▶ consommation énergétique croissante,
- ▶ extraction de métaux rares,
- ▶ déchets électroniques,
- ▶ utilisation de l'IA dans l'extraction de combustibles fossiles.

## Pour conclure

- ▶ L'empreinte environnementale de l'IA est **difficile à mesurer**.
- ▶ Les impacts dépendent de plusieurs dimensions :
  - énergie,
  - eau,
  - ressources matérielles,
  - transformations économiques.
- ▶ Les gains d'efficacité ne garantissent pas une réduction des impacts du fait de l'existence d'**effets rebond** qui peuvent annuler ces gains.
- ▶ À l'heure actuelle, le bilan global **coûts–bénéfices** de l'IA pour l'environnement n'est pas encore bien mesuré.