

# Introduction à l'Economie de l'Environnement *pour non-économistes*

César Got & Camille Souffron

CERES - ENS-PSL

6 Décembre 2022 - Séance 3



# Sommaire

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour  
non-  
économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

1 De la modélisation

2 Integrated Assessment Models (IAM)

3 Inégalités

# Syllabus :

## Plan :

- Etat des lieux : polycrise écologique, découplage et (dé)croissance économique ?
- Les outils et concepts d'analyse économique des problèmes environnementaux
- **Modélisation économie-climat et inégalités**
- Financement de la transition écologique, monnaie et marchés financiers
- Gouvernance de la transition écologique : planification et institutions.

# Qu'est-ce qu'un modèle ?

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour  
non-  
économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

## Qu'est-ce qu'un modèle ?

# Qu'est-ce qu'un modèle ?

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Pas besoin de mathématiques ou de formalisme pour construire un modèle ! (*Cf. sociologie, science politique, histoire, génétique, philosophie...*)

Mathématiques : permettent de quantifier, calculer des valeurs (politiques publiques, taxes carbone) à partir d'hypothèses conceptuelles... Et permettent aussi d'obtenir des solutions et de les interpréter (face à telles hypothèses : y-a-t'il un équilibre ? Stable ? Un cycle ? Une dynamique explosive ? Du bordel (attracteur étrange) ? etc).

# Quels sont les buts et usages d'un modèle ?

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

## Quels sont les buts et usages d'un modèle ?

# Quels sont les buts et usages d'un modèle ?

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour  
non-  
économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Le réel est trop complexe : inutilité d'une carte à échelle 1.

Réductionnisme : se poser une question, qu'est-ce que je veux raconter ? Qu'est le mécanisme/phénomène que je veux étudier ? => Sélection des variables d'intérêt.

Différentes visées : explicative, représentative, prédictive...

# Trois types de modèles

Parallèle avec la physique (cf. JP Bouchaud)

- Modèles phénoménologiques (eg. *loi rhéologique des fluides non-newtonien, Maïzena*) : représenter des observations empiriques de façon cohérente sans s'attarder à leur signification fondamentale (sans fondement : facilité de calcul). **Economie** : revenu permanent de **Friedman**.
- Modèle de fondation (eg. *modèle Bohr-Rutherford de l'atome*).
- Modèle métaphorique (modèle de réseau de neurones à la Hopfield)



# Arbitrage

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour  
non-  
économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Existe-t'il un modèle parfait ?

# Arbitrage

The strategy of model building (Levins 1966) : le modélisateur a des valeurs épistémiques.

- QUE compromis en généralité, réalisme et précision (pessimisme !)
- Généralité : applicabilité à un + grand nb de systèmes
- Réalisme : + grande nombre de variables indépendantes effectives
- Précision : meilleure approximation des prédictions
- 3 types de modèles
- Type 1 : sacrifier G au profit de R et P : locaux, modèle de pêche au Nord de l'Irlande de l'année prochaine.
- Type 2 : sacrifier R pour P et G : modèles galiléens (idéalisation carabinière), genre Lotka-Volterra (proie-prédateurs d'animaux, modèle phénoménologique, consommation notionnelle (utilité))
- Type 3 : sacrifier P pour G et R : écologie comportementale : sait qui des 2 groupes va s'effondrer, mais qualitative, pas quantitative : ne peut pas donner de seuil ou de nombre précis !

# Instrumentalisme ou Réalisme ?

- **Démarche instrumentaliste** : objectif prédictif, peu importe la validité des hypothèses et des mécanismes causaux (démarche néo-classique, e.g. Revenu permanent et modèles DSGE).
- **Démarche réaliste** : objectif de compréhension du réel et de clarification conceptuelle du mécanisme. Nécessite des hypothèses réalistes (e.g. modélisation post-keynésienne... Et DSGE ??? Selon certains de ses utilisateurs !)
- Corrélation entre hypothèses réalistes et capacité prédictive ? Mclsaac (2021) : réalisme tend à surperformer au moins sur le long terme pour certains mécanismes.
- Orzack & Sober 1993 en controverse-réponse à Levins : pas d'arbitrage ! (eg. Modèles de population densité-dépendante  $\gg$  à la fois en P, G, R, à modèle densité-indépendante !)

# Attention !

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

- **Risque de réification des produits de l'abstraction** eg. réifier moyenne statique en propriété réelle, causale, descriptive comme étant la réalité ontologique (eg. Equilibre général)

# Attention !

Parfois, utile de l'utiliser comme concept "négatif", définition négative (eg. utiliser l'EG pour étudier en réalité les défaillances de marché). Cf. F. H. Hahn (un des maîtres de l'analyse néo-classique de l'EG) :

*"(The neoclassical analysis is) very useful when for instance one comes to argue with someone who maintains that we need not worry about exhaustible resources because they will always have prices which ensure their proper use (!!!). Of course there are many things wrong with this contention but a quick way of disposing of the claim is to note that **an Arrow-Debreu equilibrium must be an assumption he is making about the economy and then show why the economy can not be in this state.** The argument will here turn on the absence of futures markets and contingency futures markets and on an inadequate treatment of time and uncertainty by the construction. This negative role of Arrow-Debreu equilibrium I consider almost to be sufficient justification for it, since practical men and ill-trained theorists do not understand what they are claiming to be the case when they claim a beneficent and coherent role for the invisible hand. But for descriptive purposes of course this negative role is hardly a recommendation."* (Hahn 1973,14-15)

# Comment tester un modèle ?

Tester un modèle = tester sa validité explicative / prédictive.

- Démarche traditionnelle : calibration. Si un modèle ne marche pas sur telle série temporelle (données historiques) : modifier les paramètres du modèle jusqu'à faire ce que ça marche (faire "fiter").
- Problème : tautologie. Utilise le même jeu de données pour calibrer (apprentissage)... que pour tester le modèle !
- Méthodes alternatives : Backtesting (test rétro-actif : prendre une année arbitraire, faire apprendre avec les données d'avant, tester avec les données d'après : permet de recréer conditions d'époque.
- Similaire au pré-enregistrement des hypothèses en sciences expérimentales pour éviter hypothèses post-hoc.
- Aller plus loin : Rolling backtesting (tester le modèle en changeant régulièrement l'année arbitraire de séparation pour éviter le biais de départ) cf. Giraud et Bailly (2023).

# Comment tester un modèle ?

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour non-économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

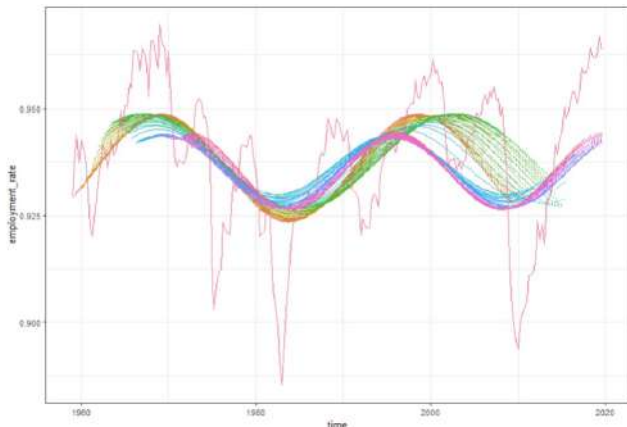


Figure – Rolling backtesting sur le taux d'emploi USA d'un Goodwin (Ibid).

# Equilibrium vs Out-of-equilibrium models

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

- Problème d'un modèle d'équilibre (hypothèse de départ) : retour asymptotique à l'équilibre (temps logique) peu importe la puissance du choc.
- E.g. Impossible d'avoir du chômage de masse de long terme : mécanismes d'ajustement, d'anticipation et de *market clearing*, croissance technologique quasi-déterministe (mais exogène)...
- Peu importe le choc exogène ! Retour à l'équilibres localement stable, toujours. Malgré la complexité du réel.



# Equilibrium vs Out-of-equilibrium models

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement  
pour  
non-  
économistes

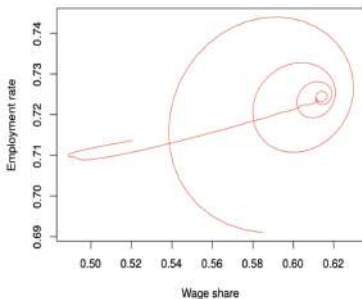
César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

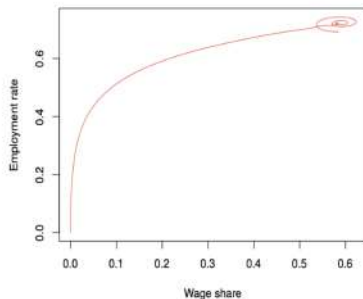
Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Phase diagram - Nordhaus Scenario - Horizon 2010 to 2500



Phase diagram - Stern Scenario - Horizon 2010 to 2500



# Equilibrium vs Out-of-equilibrium models

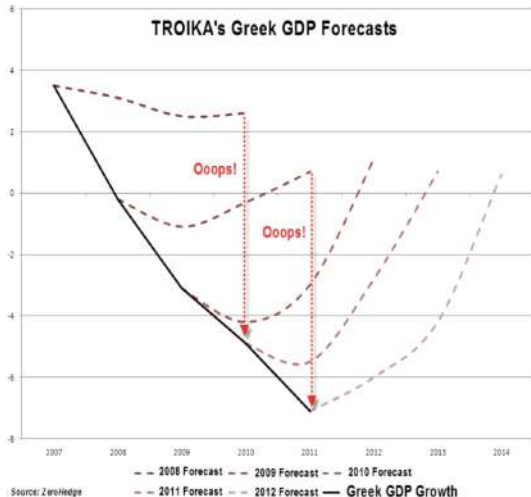
Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités



# Temps logique ou temps historique

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment pour  
non-  
économistes

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

- "History versus Equilibrium" (Joan Robinson, 1978) : une subtile critique épistémologique de l'EG... sans pour autant s'en débarrasser. (qui reste un outil analytique utile qu'elle a utilisé).
- Confusion entre les comparaisons de positions d'équilibre (statique comparative) et l'histoire d'un processus d'accumulation (dynamique) (Robinson, 1978, p. 135).
- *A model applicable to actual history has to be capable of getting out of equilibrium; indeed, it must normally not be in it.* (Robinson, 1962, p. 25)
- *To construct models that cannot be applied is merely an idle amusement. It is only by interpreting history, including the present in history, that economics can aspire to be a serious subject.* (Robinson, 1980, p. 90)
- D'où, aussi, le caractère apparemment négligeable de la destruction des ressources dans un temps logique, réversible, sans entropie ni métabolisme.

# Problème de l'agrégation

- Aujourd'hui (depuis 1970s et la Nouvelle Economique Classique (NEC) et Nouvelle Eco Keynésienne) : les modèles macroéconomiques sont "microfondés" (HANK, DSGE, RBC) : un agent représentatif (ou deux) représente l'économie (à la fois producteur et consommateur).
- Individualisme méthodologique : peut-on simplement additionner les comportements individuels pour obtenir l'agrégation représentative ? Hypothèse d'ergodicité (moyenne de moyennes), absence d'holisme.
- Thatcher : *"There is no such thing as society, there are only individuals."*
- Problème : il y a de **L'EMERGENCE**. Nécessite des classes de modèles adaptées pour (non-linéarité, hétérogénéité etc).

The Sonnenschein-Mantel-Debreu theorem (1975):  
*emergence*



# Problème de l'agrégation

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Normalize prices in the (positive part of) the unit sphere

$$\frac{p}{\|p\|} \in S_{++}^L$$

Aggregate excess demand function:

$$\zeta(p) := \sum_i (D_i(p) - e_i)$$

$$p \cdot \zeta(p) = 0$$

Poincaré-Hopf theorem

$\zeta(\cdot)$  can be **any** inward-pointing continuous vector field on  $S_{++}^L$



Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités



# Problème de l'agrégation

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

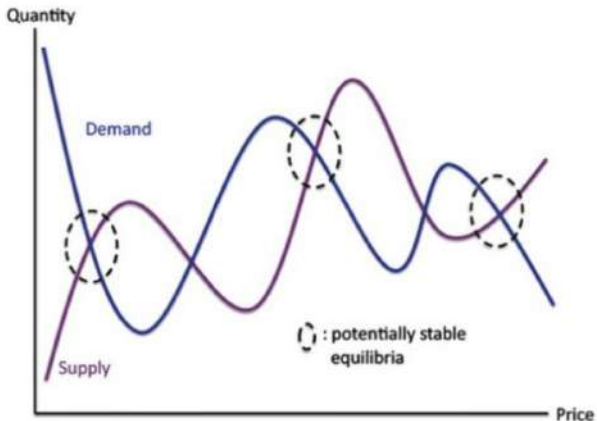


Figure – Multiplicité des EG selon SMD



# Problème de l'agrégation

- Cela conduit à des problèmes de dynamique, de calcul et de multiplicité des équilibres (la société tend vers lequel ???)
- Cependant, la théorie standard ne comporte pas de théorie de la formation des prix (Walras et Arrow-Debreu 1954 : prix d'équilibre fixés arbitrairement  $\bar{p}$  AVANT tout échange : commissaire-priseur / dictateur planificateur).
- Cela soulève la question de la dynamique historique et de la dépendance au sentier (c'est-à-dire le temps historique) dans la formation des prix.
- Oui, il y a de l'émergence (cf. papiers de physique statistique de JP Bouchaud pour l'émergence en microéconomie, G Giraud en macroéconomie)

# Théories des cycles

- Historiquement : tension entre cycles économiques empiriques (boom, récession, dépression, reprise) et équilibre général.
- Cycles économiques étudiés depuis longtemps (dès le XIXème) :
- Cycles Kitchin (~ 40 mois)
- Cycle Juglar (5 - 11 ans, cycle des affaires)
- Cycle Kondratiev (40-50 ans, cycle technologique, c.f. Schumpeter et la destruction créatrice)
- Tentatives de réconcilier faits empiriques (l'existence de cycles économiques, avec des crises, récession, dépression etc) avec l'équilibre général :

# Intégrer les cycles

Deux possibilités : 1) Chocs exogènes (RBC, DSGE, HANK)

- Nouvelle Economie Classique (depuis 1970s) et modèles RBC (*Real Business Cycles*)
- Réponse : les cycles économiques seraient les réponses optimales d'agents rationnels suite à un choc exogène, réel (eg choc de productivité, pétrolier, guerre en Ukraine...), ou monétaire (politique monétaire expansionniste).
- Agents aux anticipations rationnelles (cf. Muth 1961, Lucas 1970s : parfaitement vraies en moyenne stochastique conditionnellement à l'information disponible).
- Critique de Modigliani : auto-corrélation des chocs (vraiment exogènes?), donc les anticipations rationnelles ne tiennent pas...
- Cass and Stiglitz (1969) : anticipations rationnelles ne sont pas éductivement stables.

# Intégrer les cycles

Deux possibilités : 2) Modèles à fluctuation endogène (rare en économie)

- Hypothèse : les fluctuations économiques sont en grande partie endogènes (excepté choc pétrolier ou gazier dû à une guerre (Kippour, Russie-Ukraine...)).
- Requiert un modèle permettant ces fluctuations internes.
- Nécessite de la non-linéarité.
- Dès qu'il y a de la non-linéarité... Tout peut arriver !
- Equilibre localement instable, cycle limite, dynamiques explosives, attracteurs étranges, dynamiques chaotiques, bifurcations de Hopf...)

# Fluctuations endogènes : modèle de Goodwin

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

## General properties

- **Private debts** matter
- **Endogenous** business cycles
- Stock-Flow Consistent (SFC)
- **Multiple** equilibria
- A **balanced growth path** satisfying the Golden rule: Solow's equilibrium
- A (Fisherian) **debt-deflationary equilibrium**, cf. Giraud & Pottier (2013, 2015)
- Traditional Philips trade-off in the long-run: inflation vs employment

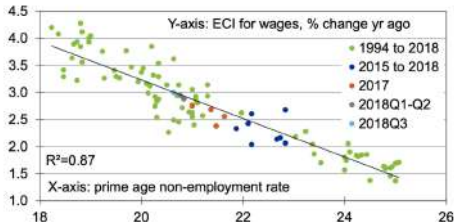
# Element important : la Courbe de Phillips

Relation de Phillips (Phillips 1957) : lien empirique historique négatif au UK entre taux de chômage et taux de croissance des salaires nominaux => négociations salariales?

Généralisation ultérieure à une relation négative entre taux de chômage et inflation.

$$\frac{\dot{w}}{w} = \Phi(\lambda).$$

Wage growth Phillips Curve, quarterly 1994Q1 to 2018Q3



Sources: BLS, Moody's Analytics



# Le modèle de Goodwin

Goodwin (1967) : modèle dynamique non-linéaire à fluctuations endogènes, inspirée du modèle biologique de dynamique des populations (proie-prédateur) "Lotka-Volterra".

Système de 2 équations différentielles :  $\lambda$  := taux d'emploi,  $\omega$  := part des salaires dans le PIB (donc  $1-\omega$  = part des profits),  $\alpha$  = croissance technologique,  $\beta$  = croissance démographique,  $\delta$  = dépréciation du capital,  $\nu$  = coefficient du capital,  $L$  = travail,  $K$  = capital,  $a$  = productivité du travail,  $Y$  = PIB.

Leontief production function:

$$Y^k := \min \left( \frac{K^k}{\nu}, aL^k \right)$$

Reduced-form system:

$$\begin{cases} \dot{\omega} &= \omega (\phi(\lambda) - \alpha) \\ \dot{\lambda} &= \lambda \left( \frac{(1-\omega)}{\nu} - [\alpha + \beta + \delta] \right) \end{cases}$$

# Le diagramme de phase du Goodwin

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment pour  
non-  
économistes

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

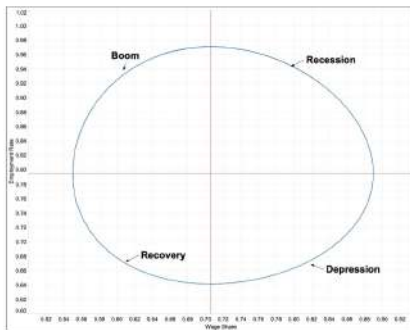


Figure 1: Solution for the Goodwin model (9)-(10) with parameter values  $\alpha = 0.018$ ,  $\beta = 0.02$ ,  $\delta = 0.06$ ,  $\gamma = 0.3$ ,  $\rho = 0.4$ ,  $\nu = 3$ ,  $k = 1$ .

Dynamique de proie-prédateur entre taux d'emploi et part des salaires dans la valeur (Fig : Grasselli and Maheshwari, 2018). Equilibre localement instable : existence d'un **cycle limite**. Conflit dans la distribution de la valeur entre part des profits et des salaires - Négociations salariales et impact sur l'investissement donc sur emploi et croissance.



# Le diagramme de phase du Goodwin

Qualitativement : la hausse de l'emploi mène à une hausse du pouvoir de négociation salariale donc à une hausse de la part des salaires et une baisse de celle des profits. Cela mène à une réduction de l'investissement, de la croissance, et donc à une hausse du chômage. Provoquant alors une baisse des négociations salariales et ainsi une baisse de la part des salaires au profit de celle des profits, relançant l'investissement... Et donc l'embauche et l'emploi. Et on recommence (modulo évolution technologique, automatisation, modification du droit du travail, choc pétrolier etc, qui modifie la forme du cycle, le déplace dans l'espace des phases etc...

# Le modèle de Goodwin-Keen

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Keen (1995), Grasselli and Costa-Lima (2013), Giraud and Grasselli (2017) : **Private debt matters** (crises financières, crise déflationniste) ! 3ème équation différentielle

$$\dot{d} = -d(g + i) + \kappa(\pi) + \Delta(\pi) - \pi - \frac{v\delta_D}{1 - D^Y}$$

# L'état stationnaire (*steady state*) déflationniste à long terme lié à la dette privée

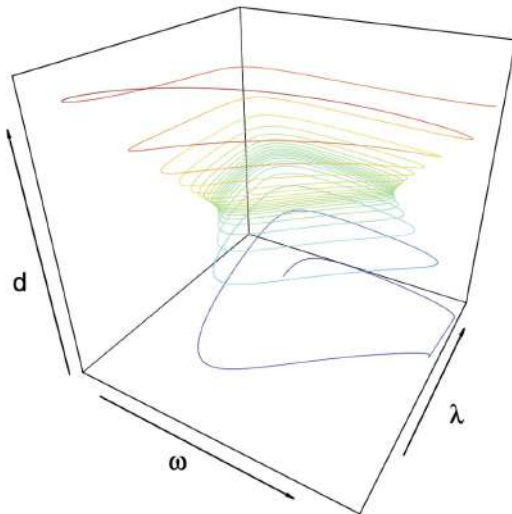
Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités



# Bassins d'attraction

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour non-économistes*

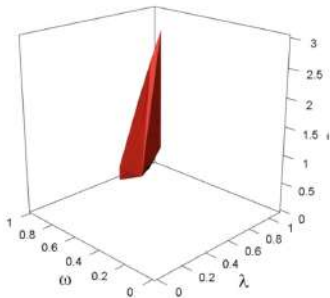
César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

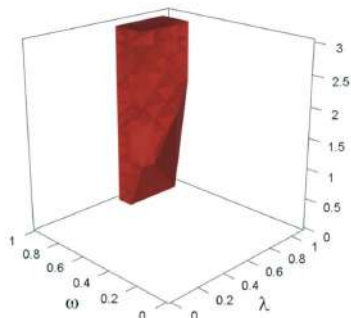
Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Basins of attraction of the "Solovian equilibrium"



Leontief



CES

# Bassins d'attraction

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour*  
*non-*  
*économistes*

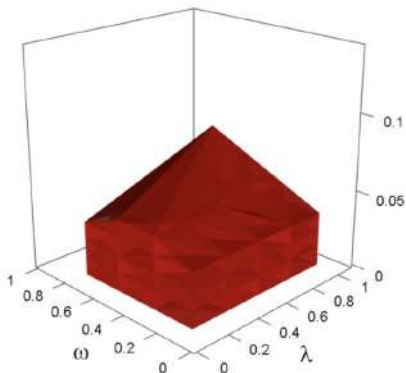
César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

The debt-deflationary long-run steady state



# Stock-Flow Consistency (SFC)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

	Households	Firms		Banks	Sum
<b>Balance Sheet</b>					
Capital stock			$+pK$		$+pK$
Inventory			$+cV$		$+cV$
Deposits	$+M$			$-M$	0
Loans			$-D$	$+D$	0
Sum (net worth)	$X_h$		$X_f$	$X_b$	$X$
<b>Transactions</b>					
		current	capital		
Consumption	$-pC_h$	$+pC$		$-pC_b$	0
Capital Investment		$+pI_k$	$-pI_k$		0
Change in Inventory		$+cV$	$-cV$		0
Accounting memo [GDP]		$[Y_n]$			
Wages	$+W$	$-W$			0
Depreciation		$-p\delta K$	$+p\delta K$		0
Interest on deposits	$+r_m M$			$-r_m M$	0
Interest on loans		$-rD$		$+rD$	0
Profits		$-\Pi$	$+\Pi$		0
Financial Balances	$S_h$	0	$S_f - p(I_k - \delta K) - cV$	$S_b$	0
<b>Flow of Funds</b>					
Change in Capital Stock			$+p(I_k - \delta K)$		$+p(I_k - \delta K)$
Change in Inventory			$+cV$		$+cV$
Change in Deposits	$+\dot{M}$			$-\dot{M}$	0
Change in Loans			$-\dot{D}$	$+\dot{D}$	0
Column sum	$S_h$		$S_f$	$S_b$	$pI_k + cV$
Change in net worth	$\dot{X}_h = S_h$		$\dot{X}_f = S_f + pK + cV$	$\dot{X}_b = S_b$	$\dot{X}$

Table 1: Balance sheet and transactions flows.

# Stock-Flow Consistency (SFC)

- Tobin (1981), Godley and Lavoie (2007)
- Objectif : cadre comptable rigoureux, absence de "trou noir"
- Cohérence en flux mais aussi en stock
- Chaque transaction a une contrepartie
- Une seule croissance nette : stock des actifs réels (Capital et inventaires)
- Permet de respecter le temps historique (non-reversibilité, a minima non-symétrie)
- Permet de suivre les actifs financiers et la croissance de la dette privée... Utile pour anticiper le risque de crise financière !
- Cadre généralisable (eg. ressources naturelles, Dafermos et al. (2017))

# Différents types d'IAM

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour  
non-  
économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

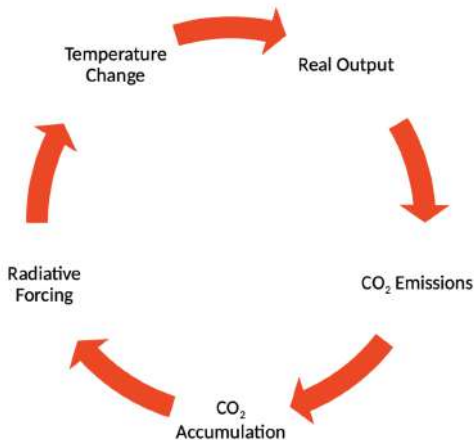
Inégalités

- World3 (1972), DICE (1990s), RICE, FUND, PAGE...
- Modèles normatifs, descriptifs.



# Cycle économie-climat : rétroactions

Quid du climat ? Coupler à un module environnement => IAM  
(*Integrated Assessment Models*)



# Cycle économie-climat : rétroactions

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

- Impacts de l'économie sur l'environnement...
- Et rétroaction des dégâts environnementaux sur l'économie !
- => Fonctions de dommage

# Fonctions de dommage

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement  
pour  
non-  
économistes

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

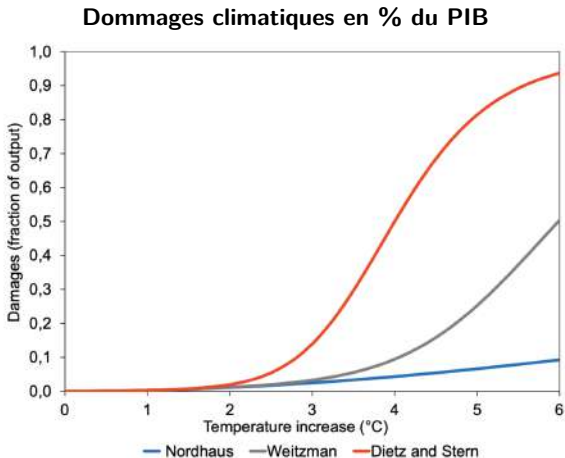


Figure: Shape of various damage functions.

Weitzman (2010), Nordhaus (2013), Dietz and Stern (2015)

# Fonctions de dommage

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement  
pour  
non-  
économistes

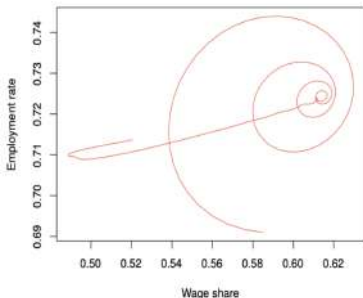
César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Phase diagram - Nordhaus Scenario - Horizon 2010 to 2500



Phase diagram - Stern Scenario - Horizon 2010 to 2500

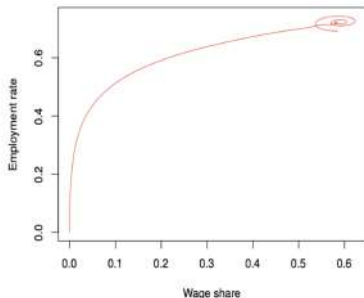


Figure – Le changement climatique fait sortir l'économie du **"bon"** bassin d'attraction (car rétroaction négative sur le capital productif  $K$ )

# Fonctions de dommage

Dietz and Stern (2015) : 3 raisons pour lesquelles elles sont en réalité bien plus violentes (pessimisme)

- Endogénéité de la croissance (dommages pas seulement sur le PIB, mais sur le Capital productif ! Plafonne croissance, si les littoraux coulent, les sols deviennent stériles et secs, les forêts brûlent ! Alors que Nordhaus : impact seulement sur le PIB (donc si % croissance % PIB détruit, alors croissance nette).
- Convexité des fonctions de dommage (existence de tipping points (Weitzman 2012) et non-linéarité dans la climate sensitivity to temperature, vs Nordhaus : fonctions linéaires).
- Risque d'évènements climatiques extrêmes (Weitzman 2011) : stochasticité des évènements vs Nordhaus : modèle économie-climat déterministe).

# Intégrer l'incertitude : paramètres probabilisés (Giraud et al. 2019)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement  
*pour non-  
économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

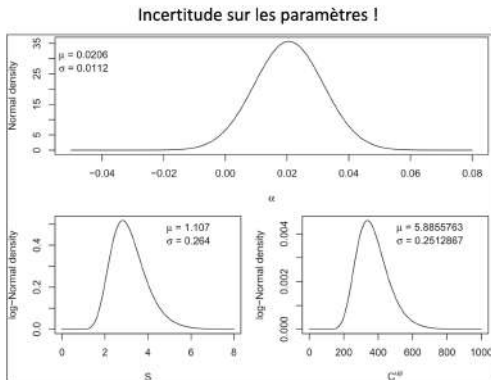


Fig. 2. Probability density functions for the vector of parameters  $(\alpha, S, C^{UP})$ .

L'incertitude est explicitée dans le système climat-économique par : 1) l'ampleur de l'effet à long terme du changement climatique saisi par le paramètre de sensibilité climatique  $S$  ; 2) l'inertie du système climatique  $C^{UP}$  ; et 3) le taux de croissance à l-t de la productivité du travail  $\alpha$ .

# Intégrer la rétroaction sur le Capital K (endogénéité de la croissance) Giraud et al. 2018

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

$$Y := (1 - D_Y)(1 - A)Y^0. \quad \dot{K} = I - \delta_{D_K} K.$$

Rétroaction négative des dégâts environnementaux sur le PIB Y, mais aussi sur le Capital K.

# Résultats (Giraud et al 2017) : Nordhaus scenario

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement  
pour  
non-  
économistes

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

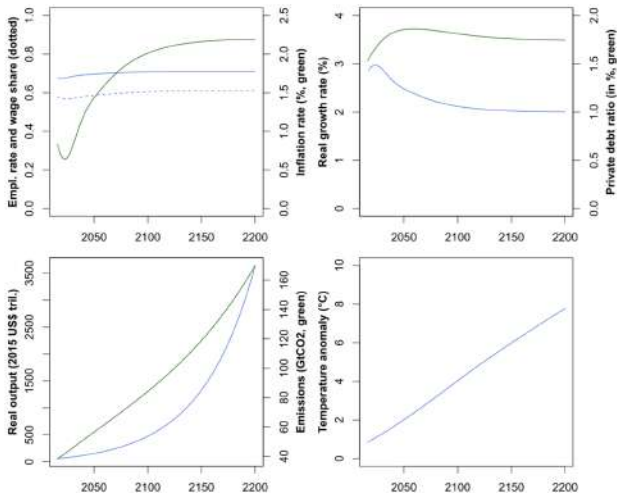


Fig. 1. Trajectories of the main simulation variables in the *No feedback loop* scenario.



# Résultats (Giraud et al 2017) : Dietz and Stern scenario

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement  
pour  
non-  
économistes

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

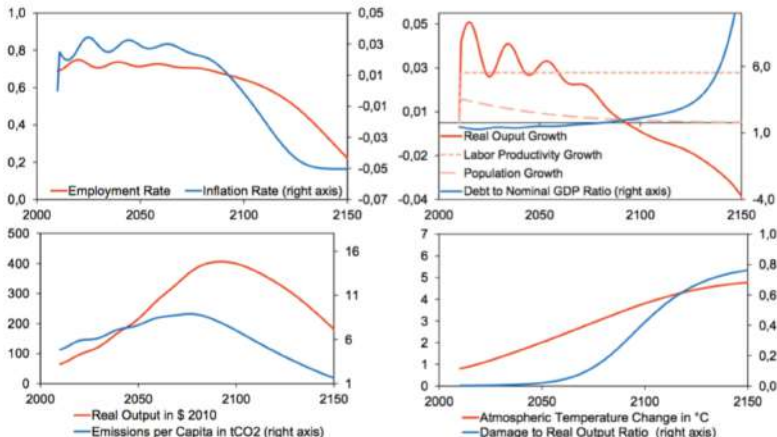


Figure: Trajectories of the main simulation outputs in the Dietz-Stern case.

# Résultats (Martin et al. 2022) : rétroactions négatives

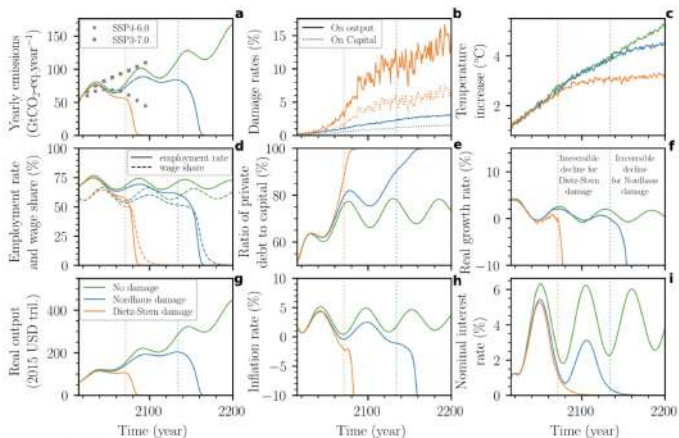
Intro. à  
l'Économie de  
l'Environnement pour  
non-économistes

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités



**Fig. 1** Time evolution of GEMMESCLIM's main variables with climate damages. The green curves correspond to our climate-free scenario, without climate damage. The sky blue (resp. orange) scenario is obtained with Nordhaus (resp. Dietz-Stern) damage. The vertical dotted lines give the years corresponding to the beginning of the phases of irreversible decline of the economy: 2071 for Dietz-Stern damage (orange dotted curves) and 2134 for Nordhaus damage (sky blue dotted curves).

# Conséquences pour la transition et la taxe carbone

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment pour  
non-  
économistes

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

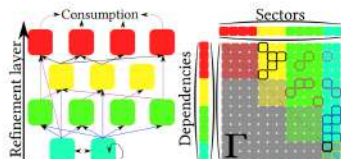
- Nordhaus (Nobel 2018) : pourquoi un résultat si optimiste ? Car hypothèse de croissance économique ! D'où l'actualisation sociale (*social discounting*) : préférence pour le présent car peut se le permettre (générations futures seront beaucoup plus riches).
- Actualisation sociale : pondérer la temporalité. Coûts  $C_t$  et bénéfiques  $B_t$  se réalisent en général à des dates,  $t$ , différentes, ils sont pondérés par un facteur  $1/(1+r)^t$  de préférence pour le présent.
- Equation de Ramsay (1928) :  $r = \delta + (g * \gamma)$
- $g$  est le taux de croissance,  $\delta$  le taux de préférence pure pour le présent (normativité éthique),  $\gamma$  est l'inégalité intertemporelle de consommation : +  $\gamma$  est élevé, moins nous souhaitons investir maintenant et moins nous souhaiterons transférer notre richesse actuelle pour des générations plus riches que nous.
- Nordhaus : taux de 6%... voire le taux d'intérêt des marchés financiers. Stern review (2007) : risque d'extinction de l'humanité si taux élevé !

# Conséquences pour la transition et la taxe carbone

- Nordhaus : taux de 6%... voire le taux d'intérêt des marchés financiers. Stern review (2007) : risque d'extinction de l'humanité si taux élevé !
- Peut tout à fait avoir taux d'actualisation négatif, si la croissance est négative et que les générations futures seront moins riches que nous à cause de l'effondrement de l'environnement... Mais il faut donc des rétroactions endogènes sur  $K$  dans le modèle !
- Résultat : le DICE de Nordhaus recommande une taxe carbone d'environ 40 dollars par tonne équivalent  $CO_2$ .
- Giraud et al. (2017) : pour limiter le réchauffement à  $+3^\circ C$ , nécessite une taxe carbone de 300 dollars minimum.

# Des pistes de recherche 1/2

- Problème des modèles agrégés : manque la décomposition multisectorielle. Qui émet ? Quel secteur pollue, quel secteur subit le plus la taxe carbone, quel secteur transitionne, quel secteur augmente ses prix pour compenser ? Quel impact sur la production, le revenu... E.g. crise énergétique et inflation actuelle ! Et quels secteurs doivent croître ou au contraire entrer en décroissance ?
- Valcke and Giraud (2022, forthcoming) : Goodwin-Keen multisectoriel.



$$K_f^Y = \nu(2b)^{-1} (1 - \Xi \delta \nu(2b)^{-1})^{-1} (1 - \Gamma)^{-1} Y$$

Modéliser l'évolution du stock et de la composition du capital productif énergétique et la forme de l'EROI avec les taux de rendement du capital.  
Puis voir comment ils peuvent changer la structure d'un marché imparfaitement (réellement) concurrentiel (sur une base kaleckienne ?)



# Des pistes de recherche 2/2

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

- Problème de ces modèles agrégés (DICE, Goodwin-Keen...) : pas de prise en compte des inégalités.
- Inégalités entre pays/régions (RICE : régionalisé), dans la population d'un pays/région (NICE (Fleurbaey et al. 2015). Inégalités de genre Inégalités de vulnérabilités et de contribution.
- Généralement : les inégalités augmentent sensiblement le montant de la taxe carbone (cf les résultats du NICE)... Mais effet allocatif de cett dernière ! Nécessite hétérogénéité.

# Mesure des inégalités (1)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Inégalités = Dispersion des revenus entre individus au sein  
d'une population

Idées d'Indices ? De mesure ?

## Mesure des inégalités (2)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

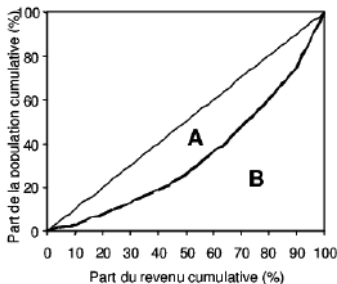


Figure – Courbe de Lorenz

$$Gini = \frac{A}{(A+B)}$$

Mesure l'écart entre la distribution observée des **revenus** et une répartition égalitaire où chacun possède exactement le même revenu



# Mesure des inégalités (3)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement  
pour  
non-  
économistes

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

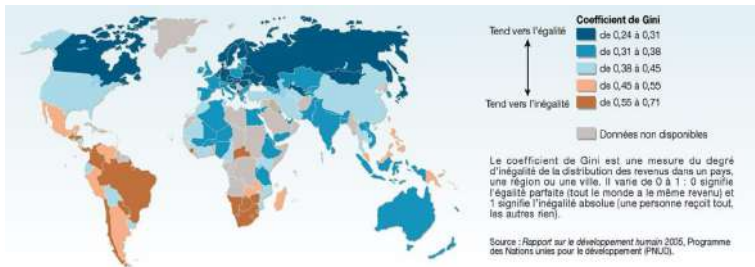


Figure – Indice de Gini par pays (2005)

# Mesure des inégalités (4)

## Limites :

- Revenus  $\Rightarrow$  Vision limitée des inégalités économiques (*non prise en compte du patrimoine*)
- On ne peut pas comparer 2 pays dont les Courbes de Lorenz se croisent
- Inégalités pas seulement économiques (*accès à la santé, éducation, participation aux prises de décision, accès aux ressources naturelles, exposition aux externalités environnementales négatives etc*)

# Inégalités (1)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

**Entre pays** : Questions d'équité de la répartition des actions d'atténuation, d'adaptation et de leur financement.

**Au sein des pays** : Certaines politiques peuvent **augmenter** les inégalités au sein de la population (*politiques d'atténuation ont des effets sur le prix de l'énergie/ alimentation*)

# Inégalités (2)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

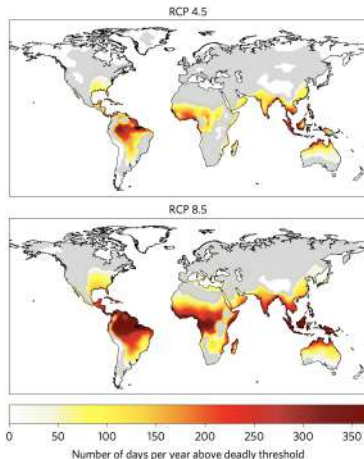
Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

- Inégalités d'exposition et de vulnérabilité aux impacts du changement climatique (*internationales et intranationales*)
- Inégalités de contribution (*internationales et intranationales*)
- ⇒ Equité des actions pour lutter contre le changement climatique

# Inégalités d'exposition interpays (1)

Anomalie de température et dangers vitaux (**Mora et al., 2017**), cf séance 1.



Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement pour  
non-  
économistes

César Got &  
Camille  
Souffron

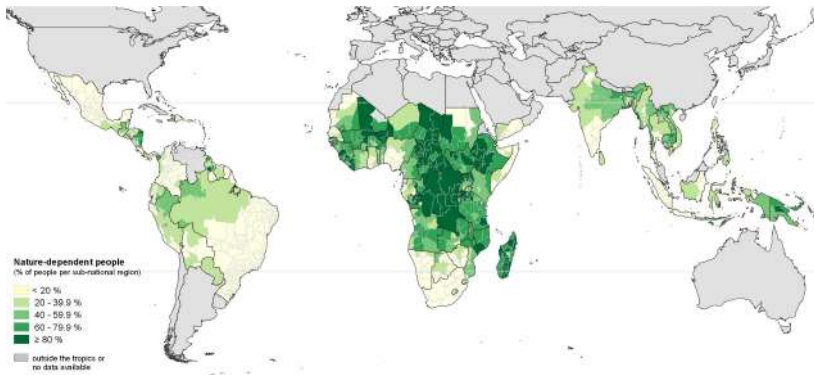
De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

# Inégalités d'exposition interpays (2)

## Dépendance à la Nature (**Fedel et al. 2021**)



# Inégalités d'exposition interpays (3)

- La nature est une source primaire directe de nourriture, d'eau potable et d'énergie pour de nombreuses populations sans alternative.
- 1,2 milliard de personnes dans les pays tropicaux (30% de leur population) sont fortement dépendantes de la nature pour leurs besoins humains fondamentaux.
- Elles sont de fait sont les plus sensibles aux changements environnementaux.
- Pour ces populations sans les actifs nécessaires pour échapper à la pauvreté, les avantages tirés de la Nature sont indispensables (Bennett et al., 2015). Pour beaucoup d'autres, la nature représente une **valeur culturelle irremplaçable** (Díaz et al., 2018).
- Enjeu réel pour un développement humain inclusif.

# Inégalités de vulnérabilité interpays (1)

Article de **Diffenbaugh et Burke (2019)** : *Global warming has increased global economic inequality* :

Les économies auraient un optimum commun (13 °C). Les pays riches/froids auraient bénéficié d'une hausse des températures pour se rapprocher de leur optimum contrairement aux pays pauvres/chauds qui s'en éloigneraient.

## Vulnérabilité face aux catastrophes naturelles

- **Strömberg (2007)** : Depuis 70's, même nombre de catastrophes naturelles entre pays à bas et hauts revenus MAIS nombre de morts est 10 fois plus élevé dans les pays les plus pauvres



# Inégalités d'exposition interpays (2)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

**Conclusion** : Les pays les plus touchés sont les pays situés entre les 2 tropiques, et ce sont aussi les pays les plus pauvres (*donc moins de financements pour pouvoir mettre en place des politiques d'atténuation/ d'adaptation*) ⇒ Les plus exposés sont les plus vulnérables

# Inégalités d'exposition intranationales (1)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

D'après la Banque Mondiale, 72% de la population mondiale vivant sous le seuil d'extrême pauvreté vit en milieu rural

Forte corrélation entre **"Vivre en milieu rural"** et **"Avoir des revenus dépendant de la production agricole"**

⇒ Les personnes les plus pauvres ont principalement des revenus agricoles ⇒ Si la production agricole est particulièrement impactée par le changement climatique

# Inégalités intranationales (2)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Papier économétrique de **Laubier-Longuet Marx et al.**

(2019) : Impact négatif de chocs climatiques tels que des pics de chaleur sur le revenu agricole notamment dans les pays en développement

Ce dernier est fondé sur la catégorisation en plusieurs tranches de température comme choix de variables explicatives afin de tenir compte de la non-linearité de la température sur le revenu de menages au Viêt Nam (*une augmentation de 15 à 16°C n'a pas le même impact qu'une augmentation de 35 à 36 °C*)

# Inégalités intranationales (3)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Les plus modestes sont aussi les plus vulnérables aux  
événements extrêmes (*catastrophes naturelles*)

# Inégalités de genre (1)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Dans les pays en développement :

- Les femmes sont centrales en termes de **main d'oeuvre** (la moitié des travailleurs agricoles (43%) au sein des pays en développement (*ONU, Rapport 2015*))
- En termes **d'utilisation des sols et de culture** : 60 à 80 % de la production de nourriture assurée par des femmes
- **Mais : Femmes privées de titre de propriété sur les sols qu'elles exploitent** (*les femmes représentent 14% des propriétaires terriens*)

# Inégalités de genre (2)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour non-économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

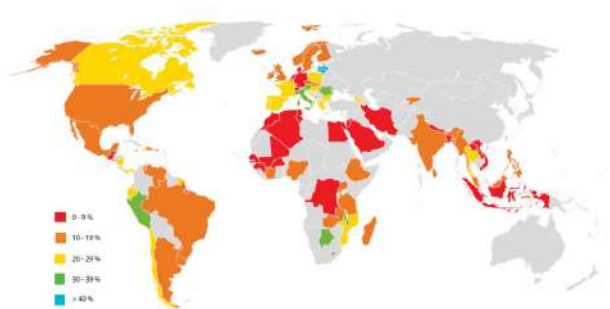


Figure – Part des femmes parmi les propriétaires agricoles (*source : FAO*)

# Inégalités de contribution

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour  
non-  
économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Emissions totales actuelles ?

Emissions par habitant ?

Emissions historiques ?

# Emissions totales actuelles

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

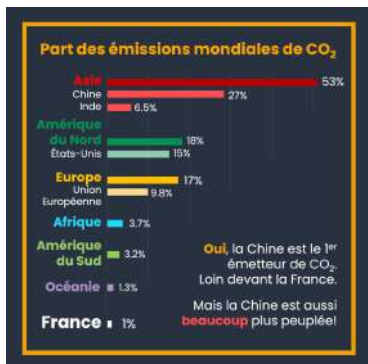


Figure – Emissions de CO<sub>2</sub> totales (2017)



# Emissions par habitant actuelles

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement  
*pour non-  
économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

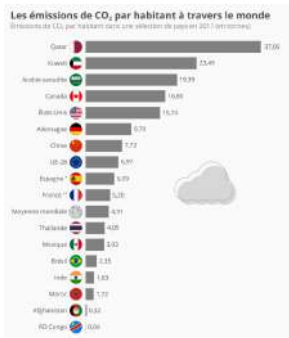


Figure – Emissions de CO<sub>2</sub> par habitant (2017)

# Emissions historiques

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement  
*pour non-  
économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

Rank	Country	Normalized emissions per capita in 2021 (2021/1850)	Rank	Country	Normalized emissions per capita in 2021 (2021/1850)
1	USA	1.00	1	USA	1.00
2	United States	1.00	2	USA	1.00
3	USA	1.00	3	USA	1.00
4	USA	1.00	4	USA	1.00
5	USA	1.00	5	USA	1.00
6	USA	1.00	6	USA	1.00
7	USA	1.00	7	USA	1.00
8	USA	1.00	8	USA	1.00
9	USA	1.00	9	USA	1.00
10	USA	1.00	10	USA	1.00
11	USA	1.00	11	USA	1.00
12	USA	1.00	12	USA	1.00
13	USA	1.00	13	USA	1.00
14	USA	1.00	14	USA	1.00
15	USA	1.00	15	USA	1.00
16	USA	1.00	16	USA	1.00
17	USA	1.00	17	USA	1.00
18	USA	1.00	18	USA	1.00
19	USA	1.00	19	USA	1.00
20	USA	1.00	20	USA	1.00

Figure – Emissions de CO2 historiques -1850 à 2021 -

2 méthodes de comptabilisation :

- Emissions cumulées divisées par population actuelle (*Responsabilité du passé aux personnes présentes*)
- Emissions par hab cumulées (*mieux*)

# Inégalités de contribution (intranationales) (2)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement  
pour  
non-  
économistes

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

**Indice de Palma "carbone"** : Ratio des émissions des 10 % des individus les plus émetteurs par rapport à celles des 40 % les moins émetteurs

- + élevé dans pays en développement (**Pan et al., 2019**)
- + élevé à l'échelle du monde que dans n'importe quel pays ⇒ Signification ?
- Aujourd'hui 10% les plus émetteurs au monde = 40% des émissions VS les 40% les moins émetteurs = 8% des émissions (**Piketty et Chancel, 2015**)

# Inégalités de contribution (intranationales) : L'exemple de la France (2)

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environne-  
ment *pour*  
*non-*  
*économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

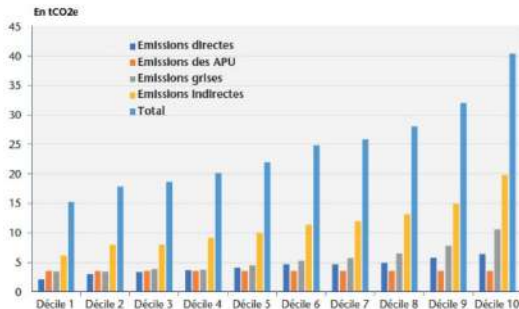


Figure – Empreinte Carbone par décile en France en 2019

**Note :** Emissions directes (émises au moment de la consommation), émissions indirectes (émises lors de la production du bien ou service consommé), émissions grises (induites par l'ensemble des activités en amont de la chaîne de valeur), et émissions des Administrations Publiques (APU)

# Inégalités de contribution : la question du genre

Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement *pour  
non-  
économistes*

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités

En France, l'homme médian mange ainsi, chaque jour, 43 g de viande hors volaille contre 27 g pour la femme médiane

⇒ L'alimentation moyenne (et plus carnée) d'un homme génère 41 % d'émissions de gaz à effet de serre de plus que celle des femmes

Aussi inégalités de participation

# Inégalités de Contribution-Réception

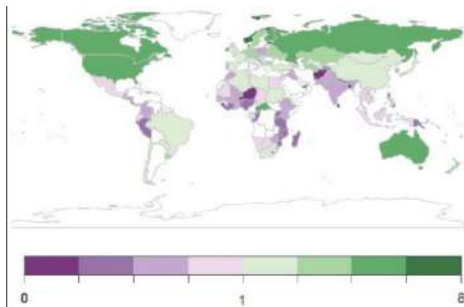
Intro. à  
l'Economie de  
l'Environnement  
pour  
non-  
économistes

César Got &  
Camille  
Souffron

De la  
modélisation

Integrated  
Assessment  
Models (IAM)

Inégalités



**Figure** – Contribution et réception des impacts du réchauffement climatique

*Note : Ratio Émission-Réception (échelle logarithmique) : Une valeur  $> 1$  signifie qu'un pays est relativement plus responsable du réchauffement climatique qu'il n'en subira les impacts*

*Source : Données de Frame et al., 2019*

# Conclusion

- La modélisation est imparfaite et incomplète : besoin de nouveaux outils, nouveaux paradigmes, nouvelles classes de modèles... Inspirés d'autres disciplines (où il y a de l'émergence et de la non-linéarité : dynamique des systèmes complexes, biologie, physique statistique...)
- E.g. Janus Kornai (économiste libéral) dans la libéralisation de la Hongrie, réalisant l'inutilité pratique de l'EG théorique, cf. *Anti-Equilibrium* (1971), exemple prégnant de scotomisation épistémologique.
- "Tous les modèles sont faux" : FAUX. \*Tous les modèles sont **INCOMPLETS**, mais il y en a des vrais (sur la causalité et le mécanisme avancés), et des FAUX.
- Nécessite des compléments qualitatifs et interdisciplinaires (entretiens, sociologie quali et quanti, biologie et écologie des ressources, sciences des écosystèmes)
- Pour les IAM : nécessite l'intégration des ressources et du cadre de POLYCRISE écologique, et de l'hétérogénéité pour les inégalités (vulnérabilité comme contribution) : récit politique.

# Conclusion

- Un modèle est un moyen, non une fin. Utile pour quantifier, prédire, mais aussi pour clarifier conceptuellement notre compréhension du réel.
- Pour piloter la transition écologique : la modélisation est nécessaire mais non suffisante.
- Questions d'acceptabilité et d'inégalités de vulnérabilité à la crise écologique et de contribution à la transition (entre classes socio-économiques, pays, et genre) mais aussi...
- Questions de gouvernance institutionnelle, de coopération internationale, de transformation systémique et du financement de la transition *Green Finance* ?
- **Monnaie, finance et finance "verte"... Sujets de la Séance 4 finale**