

MACROÉCONOMIE ÉCOLOGIQUE ET SOBRIÉTÉ

ECOVIV

Kilian Rouge
Centre International de Recherche en
Environnement et Développement (CIRED)
Nogent-sur-Marne, France

6 février 2026



VOTRE INTERVENANT AUJOURD'HUI

Présentation

Formation en sciences
climatiques



Ingénieur des ponts, des eaux
et des forêts

2^e année de thèse d'économie



Thèse

Considérations macroéconomiques
structurelles des politiques de
sobriété

*Sous la direction de Franck Lecocq et
Julien Lefèvre*

AGENDA

1. Macroéconomie écologique

1.1 Une histoire de limites

1.2 Approche hétérodoxe de la macroéconomie environnementale

2. Analyse économique de la sobriété

2.1 Atténuation par la demande et modélisation intégrée

2.2 La sobriété dans les grands scénarios français

2.3 Réalité d'un découplage 2.4 Impacts macroéconomiques de la sobriété

2.5 Le nez dans les modèles



1. MACROÉCONOMIE ÉCOLOGIQUE

1.1 UNE HISTOIRE DE LIMITES

Pourquoi le concept de sobriété est-il si difficile à intégrer dans la pensée économique moderne ?

Parce que la sobriété remet en question les fondements mêmes de l'économie moderne : l'idée que nos désirs sont infinis et que la croissance perpétuelle est la seule réponse rationnelle à la rareté.



Pourquoi le concept de sobriété est-il si difficile à intégrer dans la pensée économique moderne ?

Dans la vision économique pré-révolution industrielle, quel facteur était considéré comme limitant la production ?



A : L'insubstituabilité des facteurs de production



B : La disponibilité de la terre



C : La croissance de la population



D : L'investissement limité dans le capital

Pourquoi le concept de sobriété est-il si difficile à intégrer dans la pensée économique moderne ?

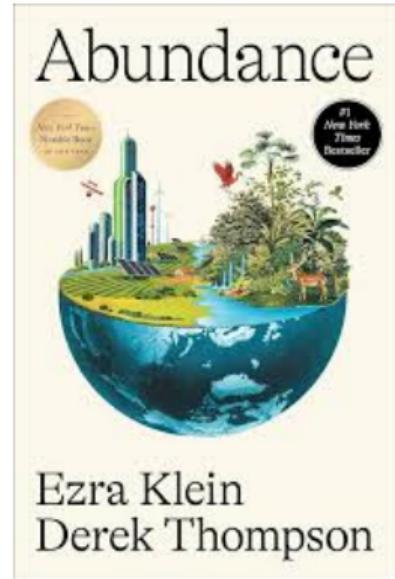
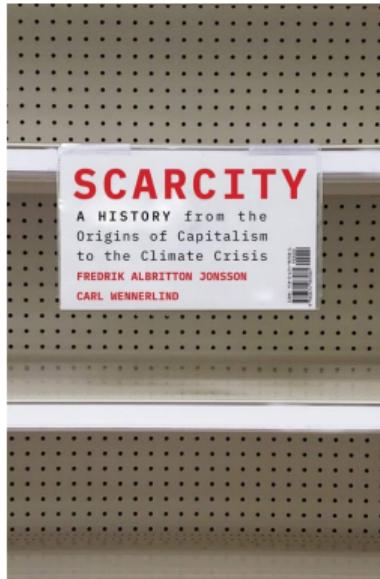
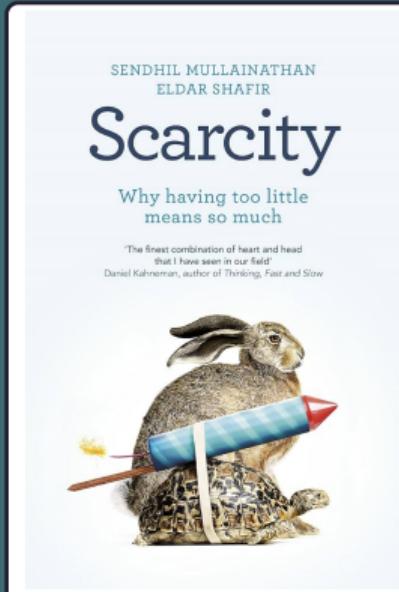
Dans la vision économique pré-révolution industrielle, quel facteur était considéré comme limitant la production ?



B : La disponibilité de la terre



C : La croissance de la population



► Rareté et abondance : une opposition dans le feu de l'actualité

Pourquoi le concept de la pensée économique ?

Parce que la sobriété moderne : l'idée que no



► Rubens (1617)

cile à intégrer dans

ts mêmes de l'économie
ssance perpétuelle est la
se rationnelle à la rareté.

LE POUVOIR PRODUCTIF DU TRAVAIL



Adam Smith

1723-1790

- La richesse comme un flux augmentant avec la division du travail
- Le facteur de production limitant est le travail disponible : il fixe les prix relatifs
- La rareté est écartée continuellement par l'amélioration des facteurs de production



RÉINTROUER DE LA RARETÉ NATURELLE CONTRAIGNANT LA PRODUCTION

- Avec Ricardo la disponibilité et la fertilité de la terre va limiter la production sur le long-terme
 - Avec Malthus la croissance géométrique de la population dépasse celle, arithmétique, de la production alimentaire



David
Ricardo
1772-1823

Thomas Malthus 1766-1834

LA RARETÉ COMME FAIT SOCIAL

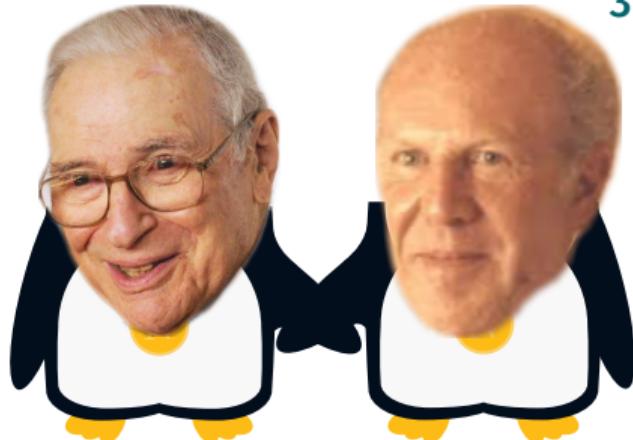
- Accepte la vision classique que l'accumulation du capital et l'innovation peut permettre de dépasser la rareté naturelle
 - Le capitalisme dépend de la rareté des biens : assez pour faire du profit, pas assez pour que les prix baissent
 - Le capitalisme dépend aussi de la rareté de l'emploi et donc du revenu pour maintenir des salaires bas et augmenter les profits : la rareté n'est pas naturelle, elle est un fait social



Karl Marx

1818-1883

ARROW & DEBREU



Kenneth
Arrow
1921-2017

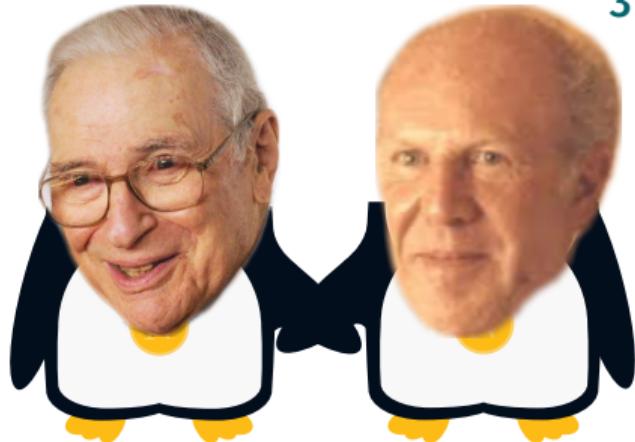
Gérard
Debreu
1921-2004

Nobel 1972 & 1983

3 piliers du néoclassicisme

1. **Insatiabilité** : Les désirs humains sont illimités mais les moyens sont finis
→ La rareté devient une condition universelle et permanente de la vie humaine

ARROW & DEBREU



Kenneth
Arrow
1921-2017

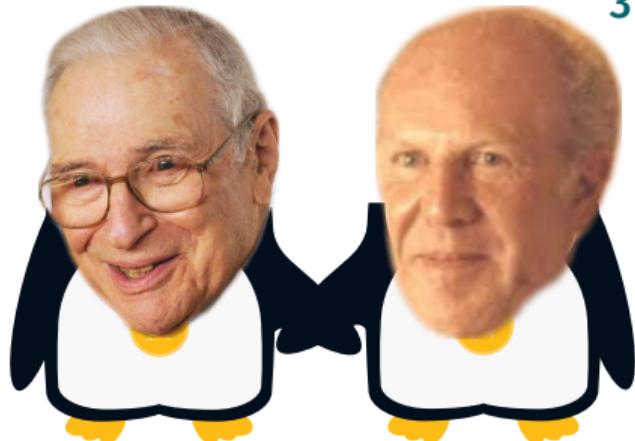
Gérard
Debreu
1921-2004

Nobel 1972 & 1983

3 piliers du néoclassicisme

1. **Insatiabilité** : Les désirs humains sont illimités mais les moyens sont finis
→ La rareté devient une condition universelle et permanente de la vie humaine
 2. **Raisonnement marginal et substituabilité** : Peu importe ce que nous avons, l'acquisition à la marge est toujours bénéfique. Tous les biens sont substituables à la marge

ARROW & DEBREU



Kenneth
Arrow
1921-2017

Gérard
Debreu
1921-2004

Nobel 1972 & 1983

3 piliers du néoclassicisme

- Insatiabilité** : Les désirs humains sont illimités mais les moyens sont finis
→ La rareté devient une condition universelle et permanente de la vie humaine
- Raisonnement marginal et substituabilité** : Peu importe ce que nous avons, l'acquisition à la marge est toujours bénéfique. Tous les biens sont substituables à la marge
- Équilibre général** : Les marchés s'ajustent simultanément par les prix jusqu'à ce que l'offre égale la demande partout à la fois. Cette allocation autonome est optimale





Kenneth
Arrow
1921-2017

Nobel 1972

Assumptions for Theorem I

- I.a** Y_j is a closed convex subset of \mathbb{R}^ℓ containing $\mathbf{0}$ ($j = 1, \dots, n$)
- I.b** $Y \cap \Omega = \{\mathbf{0}\}$
- I.c** $Y \cap (-Y) = \{\mathbf{0}\}$
- II** X_i is a closed convex subset of \mathbb{R}^ℓ bounded from below
- III.a** $u_i(x_i)$ is continuous on X_i
- III.b** For any $x_i \in X_i$, there exists $x'_i \in X_i$ such that $u_i(x'_i) > u_i(x_i)$
- III.c** If $u_i(x_i) \geq u_i(x'_i)$ and $0 < t < 1$, then $u_i[tx_i + (1 - t)x'_i] > u_i(x'_i)$
- IV.a** $\omega_i \in \mathbb{R}^\ell$; for some $x_i \in X_i$, $x_i \ll \omega_i$
- IV.b** For all i, j : $\alpha_{ij} \geq 0$; for all j : $\sum_{i=1}^m \alpha_{ij} = 1$

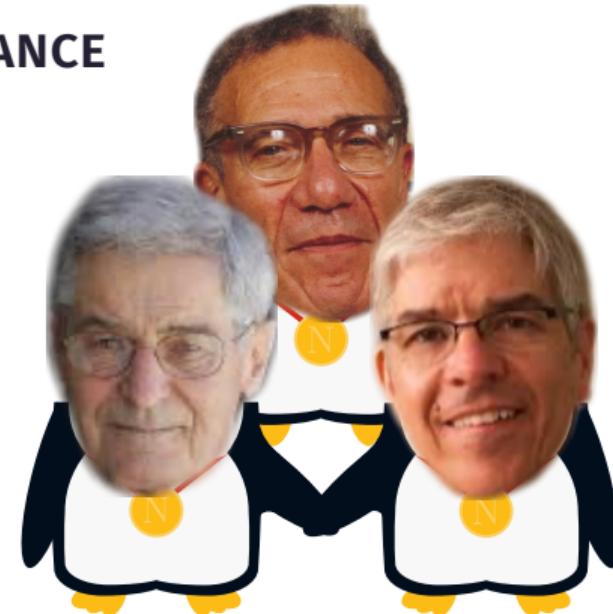
Theorem I: For any economic system satisfying Assumptions I–IV, there exists a competitive equilibrium.

► Énoncé original de l'équilibre général (ARROW & DEBREU, 1954)

sont illimités
universelle et
uabilité : Peu
isition à la
s les biens sont
justent
à ce que l'offre
. Cette

DU STATIQUE AU DYNAMIQUE : LA CROISSANCE

- L'optimisation statique ne suffit pas à expliquer la croissance réelle au fil du temps
 - Solow a introduit la dynamique d'accumulation (capital + travail) mais laisse 4/5 de la croissance inexplicables comme "technologie"
 - Lucas et Romer endogénisent le résidu : le capital humain et les idées deviennent des moteurs de croissance perpétuels et auto-renforçants sans contraintes matérielles, seulement institutionnelles



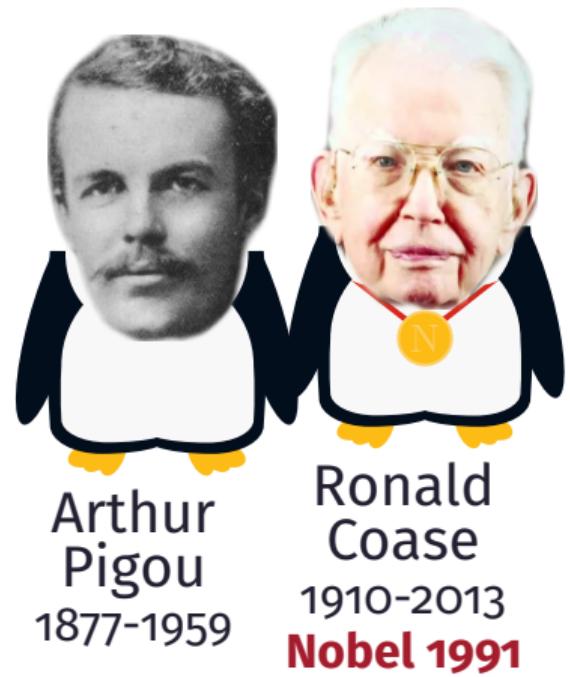
Robert
Lucas
1937-2023
Nobel
1995

Robert Lucas
1937-2023 Robert Solow
1924-2023

Paul
Romer
1955-
Nobel
2018

L'ÉCONOMIE NÉOCLASSIQUE FACE AUX LIMITES ENVIRONNEMENTALES

- Avec Pigou, on internalise les externalités environnementales par une taxe pour qu'elle soit prise en compte dans l'équilibre microéconomique
 - Avec Coase, si les couts de transaction sont suffisamment bas et les droits de propriétés attribués, une négociation permet toujours d'arriver à un optimal social entre



DICE

- DICE estime le coût social des émissions de carbone en calculant la valeur actuelle des dommages futurs anticipés et la convertit en une taxe carbone optimale
 - En utilisant un taux d'actualisation de 5,5%, a conclu que le réchauffement optimal serait d'environ 4 degrés Celsius d'ici 2150.

$$\max_{c_t, L_t} \sum_{t=0}^{\infty} \left(\frac{1}{1 + \rho} \right) U(c_t, L_t)$$



William Nordhaus

1941-

Nobel 2018

- DICE estime que le carbone entraîne des dommages et qu'il faut taxer le carbone
- En utilisant les résultats de DICE, on conclut que la réduction d'environ 40% des émissions

Optimal CO₂ abatement in DICE-PACE

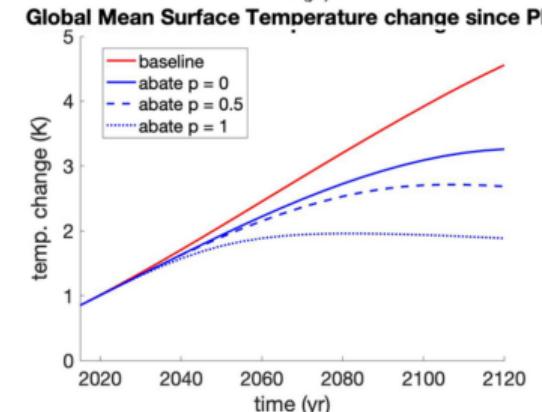
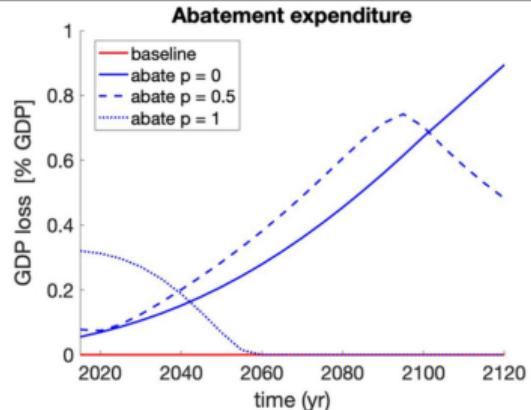
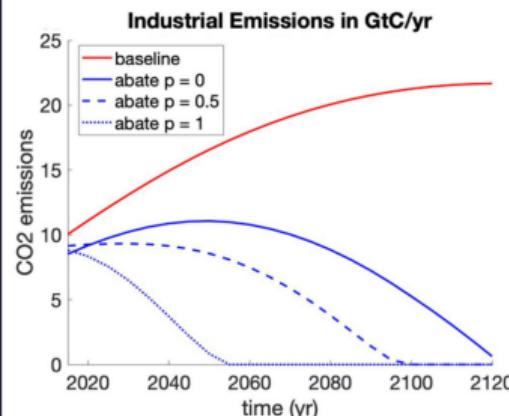
p=0 (non-pliable):

- only enduring (operational) costs
- postpone strong abatement
- warming > 3.2 degree

p=1 (fully pliable):

- only transitional (investment-like) costs
- immediate strong abatement
- warming < 2 degree

If transitional costs dominate: Abate fast!



► *p* reflète la persistance des investissements GRUBB et al. (2021)



Nordhaus

941-

el 2018

PHILIPPE AGHION



- La croissance est induite par une séquence d'innovations de "création destructrice"
- Innover "vert" permet sous de bonnes hypothèses d'élasticité de substitution de réconcilier action climatique et croissance à long-terme

Philippe Aghion

1956-

Nobel 2025



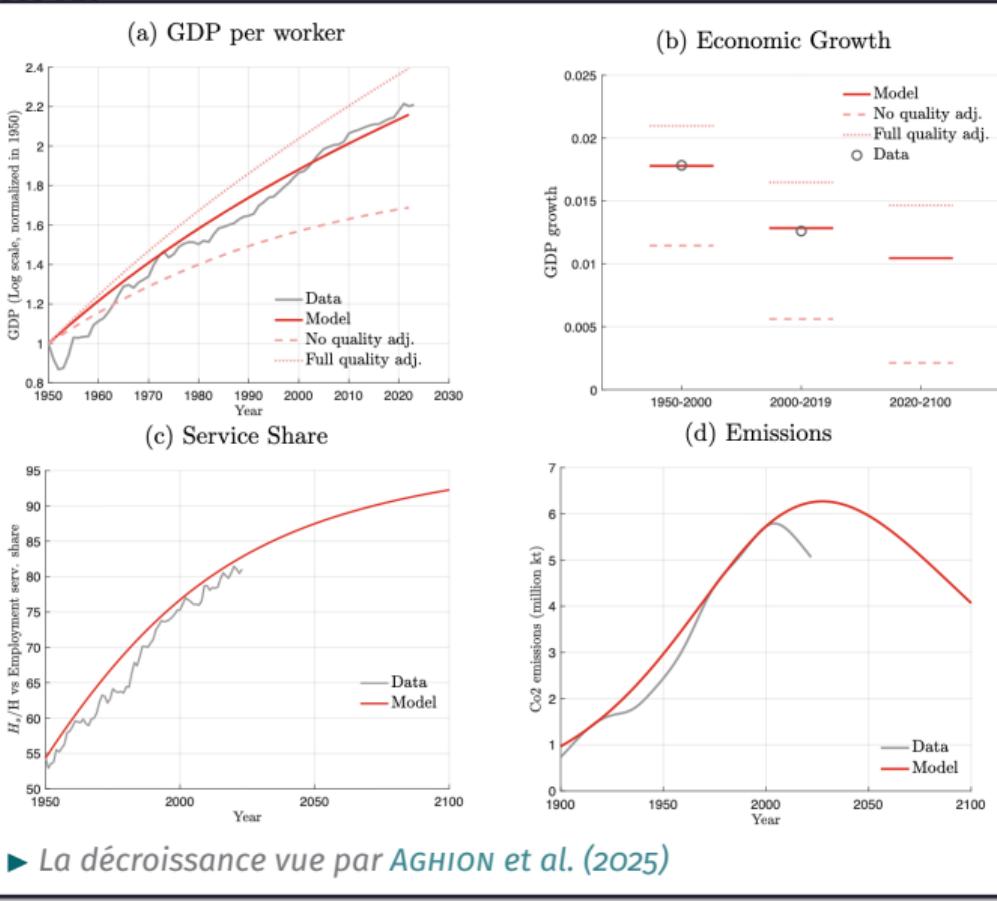
PHILIPPE AGHION



Philippe A

1956

Nobel 2



de séquence
structrice”
nnes hypothèses
concilier action
erme

1.2 APPROCHE HÉTÉRODOXE DE LA MACROÉCONOMIE ENVIRONNEMENTALE

ORTHODOXES VS. HÉTÉRODOXES ?

La prose du Dr. Daly tend à se dissoudre en permanence dans un dense nuage de vertu. Il m'est donc très difficile de répondre rationnellement à son exposé. [...] Je dresse ici quelques réponses télégraphiques aux questions pour lesquelles le Dr. Daly pense pouvoir lever une armée d'étudiants (que j'accueillerai les bras ouverts s'ils souhaitent apprendre un peu d'économie). - R. SOLOW

Finalement, nous espérons avoir évoqué ici quelques points essentiels, en utilisant moins d'arbres et de ressources naturelles que Daly avec son article de quinze pages. - J. STIGLITZ



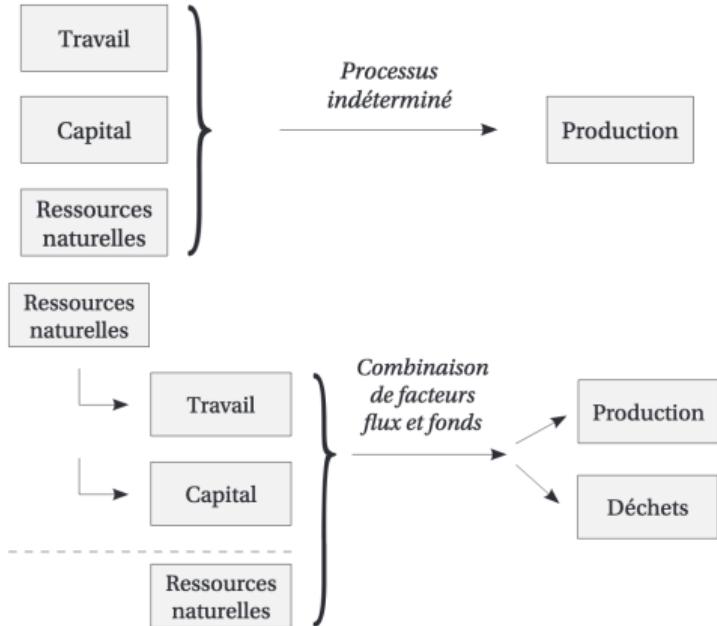
ÉCONOMIE ÉCOLOGIQUE

Les grands principes selon COSTANZA et al. (1997)

1. La Terre est un système thermodynamiquement fermé et en croissance non matérielle, avec l'économie humaine comme sous-système de l'écosystème mondial.
2. Un objectif de qualité de vie pour tous
3. Incertitude fondamentale
4. Les institutions et les dirigeants doivent être proactifs plutôt que réactifs
5. Conception pluraliste



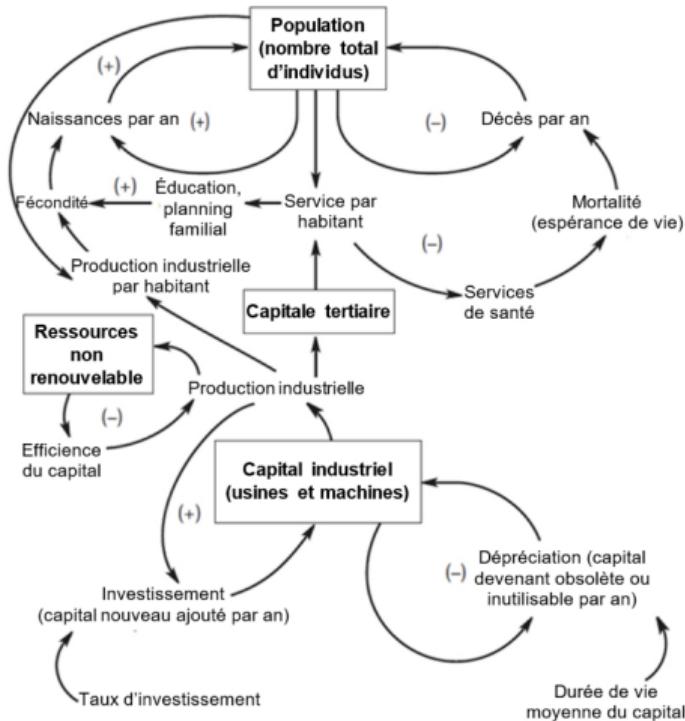
BACK TO GEORGESCU



► Source : MISSEMER (2013)

- Compléter la vision Newtonienne par la biologie évolutionniste et la thermodynamique
- Limites de la fonction de production en matière d'organisation
- Facteurs de production flux et fonds
- Ressources naturelles dans la fonction de production
- Réversibilité du processus de production
- Quatrième loi "*matière*" de l'entropie

WORLD3

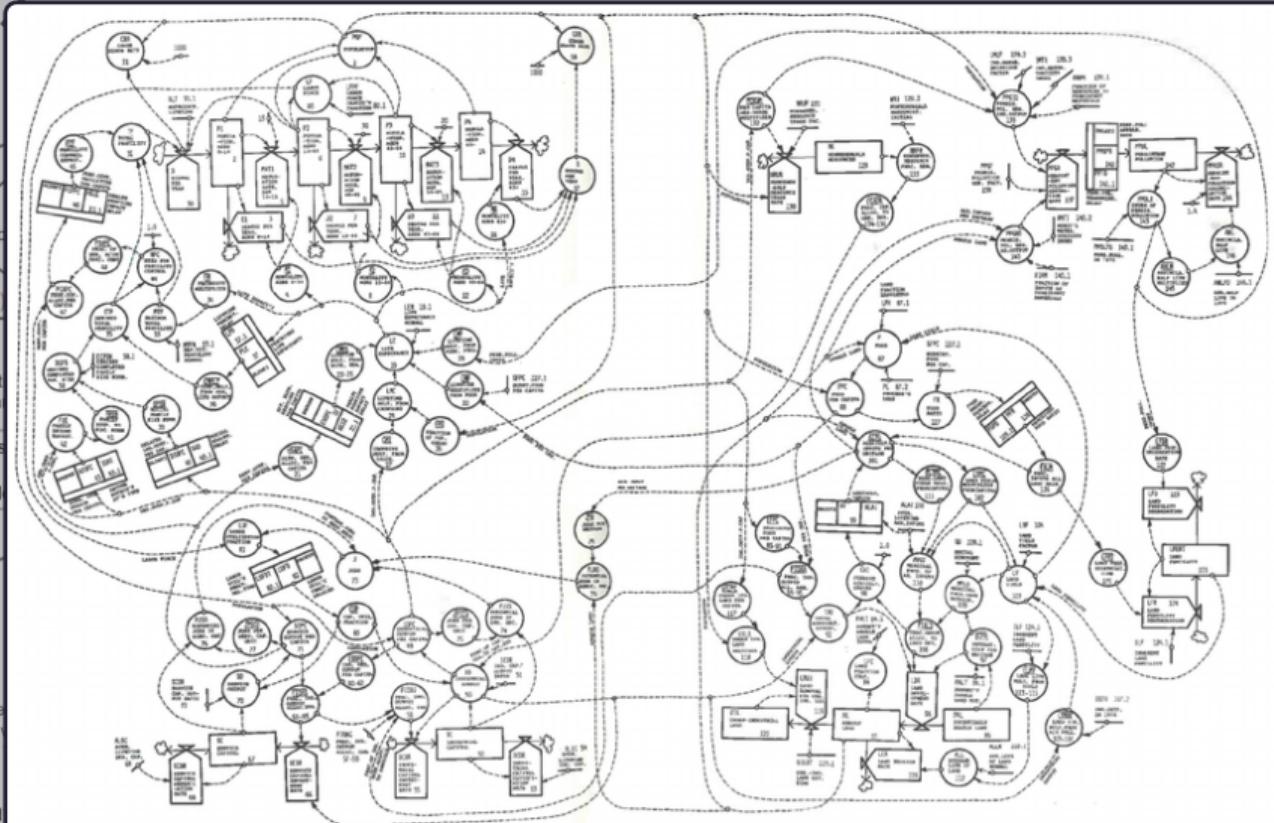
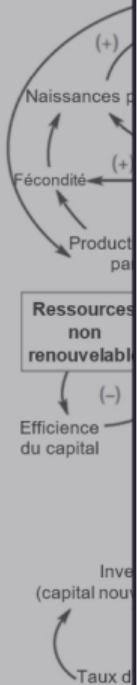


- Groupe de travail de dynamique des systèmes du MIT (Meadows & co) à la demande du club de Rome
- Limites modélisées : surface agricole, fertilité des sols, rendements agricoles, ressources fossiles, capacité de séquestration de la pollution
- "Secteurs" : Ressources non-renouvelables, Capital industriel, Agriculture, Population, Pollution

Simulation World3



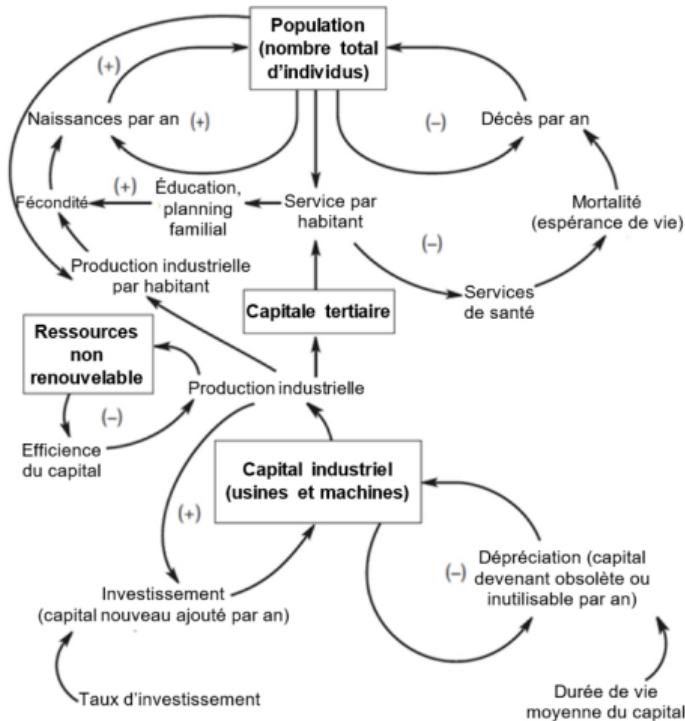
WORLD?



► Schéma global du modèle World3

amique
adows &
de
ace
,
sources
tion
al

WORLD3

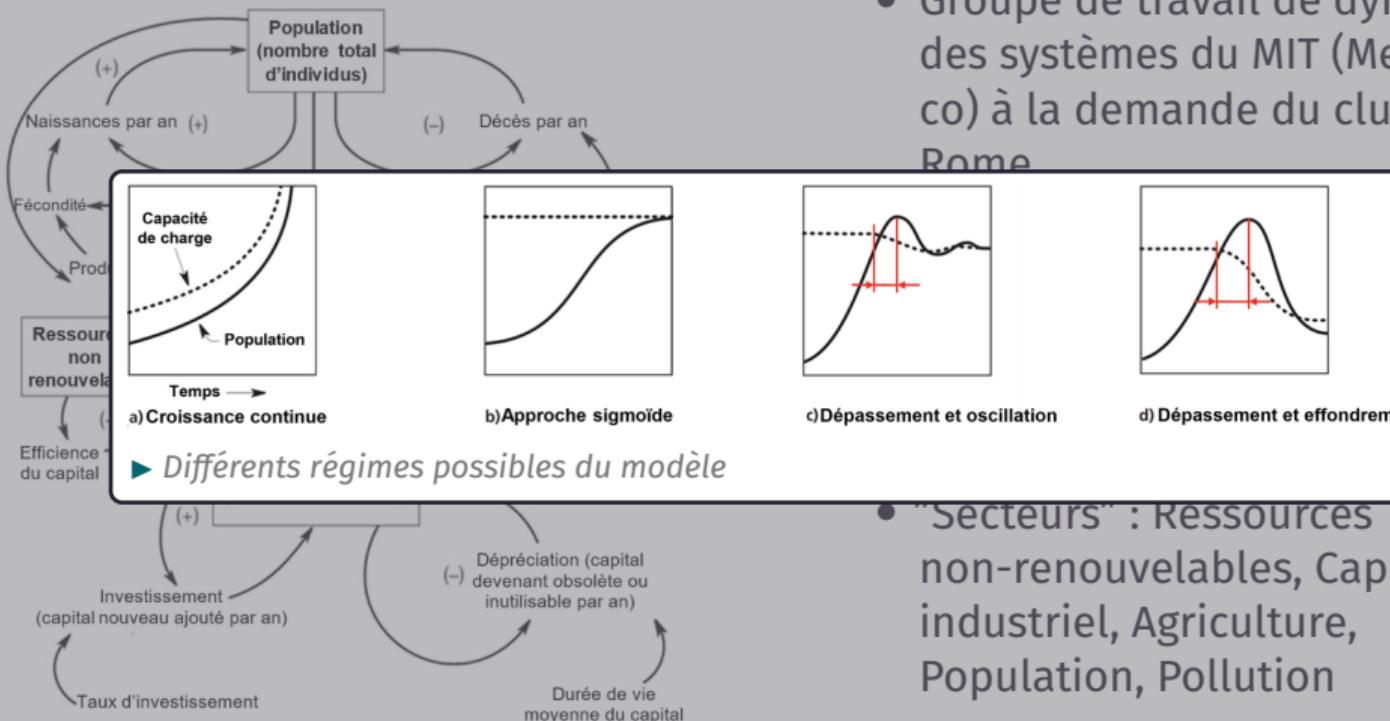


- Groupe de travail de dynamique des systèmes du MIT (Meadows & co) à la demande du club de Rome
- Limites modélisées : surface agricole, fertilité des sols, rendements agricoles, ressources fossiles, capacité de séquestration de la pollution
- "Secteurs" : Ressources non-renouvelables, Capital industriel, Agriculture, Population, Pollution

Simulation World3



WORLD3



- Groupe de travail de dynamique des systèmes du MIT (Meadows & co) à la demande du club de Rome

ce
ources
on

- "Secteurs" : Ressources non-renouvelables, Capital industriel, Agriculture, Population, Pollution

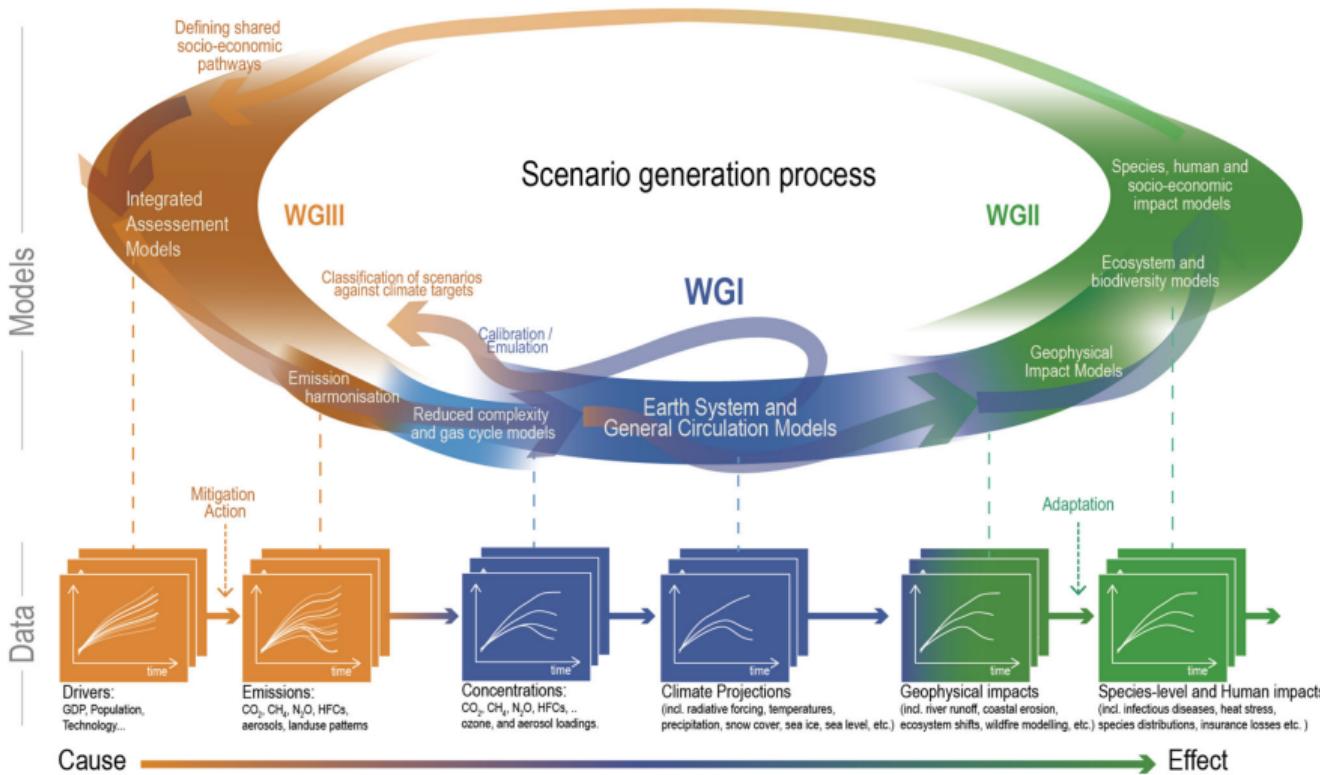
Simulation World3



2. ANALYSE ÉCONOMIQUE DE LA SOBRIÉTÉ

2.1 ATTÉNUATION PAR LA DEMANDE ET MODÉLISATION INTÉGRÉE

SCÉNARISATION POUR L'AR6



► Processus de construction des scénarios pour l'AR6
Source : [PIRANI et al. \(2024\)](#)

SCÉNARISATION POUR L'AR6

Defining shared
socio-economic
pathways.

▶ Processus de
construction des

RCP Profils représentatifs d'évolution de concentration

Trajectoire de forçage climatique

- Politique
- Contexte socio-économique
- Technologie

GES Polluants Usage des sols

2.6 W.m^{-2}
 4.5 W.m^{-2}
 6.0 W.m^{-2}
 8.5 W.m^{-2}

SPA Hypothèses partagées de politique climatique

Caractéristiques des politiques climatiques

Récit qualitatif

- Ambition (Intensité, Calendrier)
- Instruments
- Obstacles (Coopération, ...)

SSP Trajectoires socio-économiques partagées

Scénario socio-économique de référence

Récit qualitatif

GDP Population Urbanisation Éducation

Défis pour l'atténuation

Démographie	Croissance économique	Usage des sols
Consommation d'énergie	Mix énergétique	Efficacité énergétique
Technologie alimentaire	Régime	Institutions
Ressources financières		

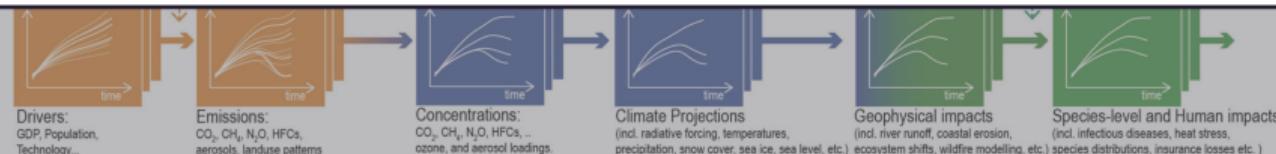
Défis pour l'adaptation

Densité	Infrastructure	Mode de vie
Services écosystémiques		Capital social
Capital culturel	Ressources financières	
Technologie	Capital économique	Institutions

SSP 1: Durabilité SSP 2: Voie médiane SSP 3: Rivalité régionale SSP 4: Inégalités SSP 5: Développement fossile

▶ Framework RCP-SSP-SPA

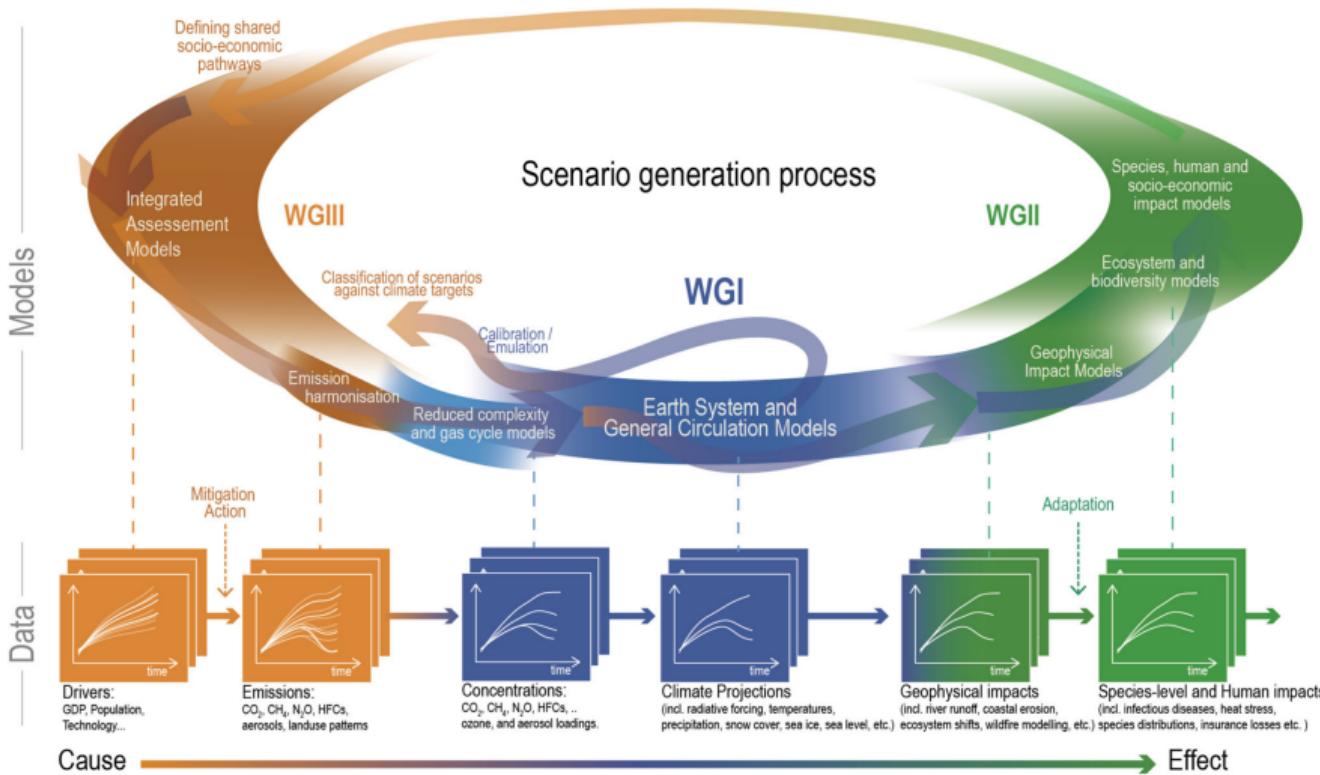
Data



Cause

Effect

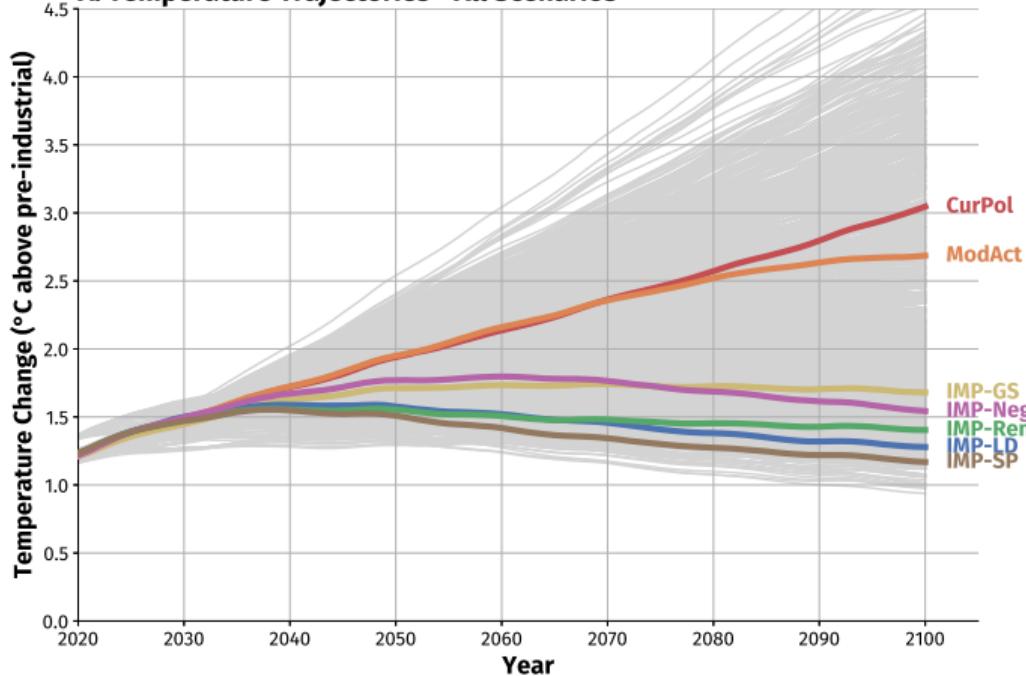
SCÉNARISATION POUR L'AR6



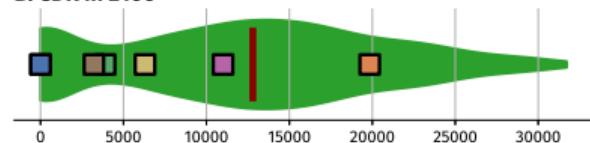
► Processus de construction des scénarios pour l'AR6
Source : [PIRANI et al. \(2024\)](#)

BASE DE SCÉNARIOS POUR L'AR6

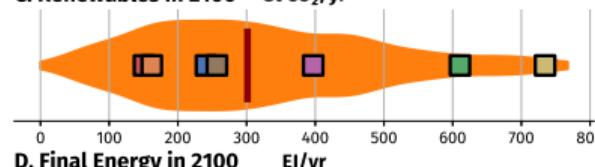
A. Temperature Trajectories - All Scenarios



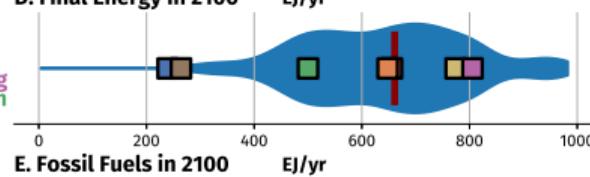
B. CDR in 2100



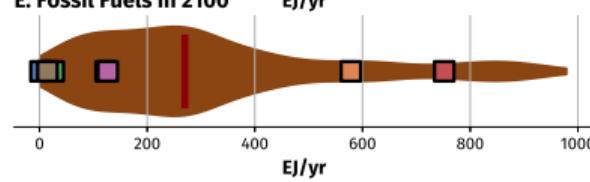
C. Renewables in 2100 Gt CO₂/yr



D. Final Energy in 2100 EJ/yr



E. Fossil Fuels in 2100 EJ/yr



► Source : Kilian Rouge avec les données de BYERS et al. (2022)

UN SCÉNARIO LED EMBLÉMATIQUE : IMP-LD

Service	Niveaux d'activité	Intensité énergétique
Confort thermique	Environ constant au Nord; augmentation de 35% au Sud convergeant vers $30 \text{ m}^2 \text{ hab.}^{-1}$	Technologies thermiques à haute efficacité + doublement du taux de rénovation réduit l'intensité de 75% (Nord) à $160\text{--}170 \text{ MJ m}^{-2}$ et de 86% (Sud) à 40 MJ m^{-2}
Biens de consommation	Multiplication par 2 au Nord à $42 \text{ appareils hab.}^{-1}$; par 3 au Sud à $24 \text{ appareils hab.}^{-1}$	L'intensité électrique moyenne mondiale diminue de 93 à 82 kWh appareil^{-1} , réductions les plus fortes pour l'éclairage et les appareils
Mobilité	Multiplication par 2 au Sud (esp. véhicules partagés); baisse de 20% au Nord avec réductions des modes routiers	Baisse de 70% de l'intensité énergétique moyenne mondiale pondérée par parts modales, réductions les plus fortes pour les modes routiers via électrification, flottes partagées, transports flexibles
Alimentation	Augmentation de 70–100% globalement; poursuite de la transition alimentaire; disponibilité alimentaire résolue au Sud	Impacts sur l'intensité énergétique non quantifiés dans LED
Bâtiments commerciaux et publics	Augmentation de 43% à $23 \text{ m}^2 \text{ hab.}^{-1}$ (Nord); 50% à $9 \text{ m}^2 \text{ hab.}^{-1}$ (Sud)	Diminué de 76% à 139 MJ m^{-2} (Nord); de 90% à 44 MJ m^{-2} (Sud)
Industrie	La demande mondiale de matières premières diminue d'environ 15% à 6,4 Gt via dématérialisation (1/3) et gains d'efficacité matérielle (2/3)	L'intensité moyenne mondiale diminue d'1/5 à $16,7 \text{ GJ t}^{-1}$
Transport de marchandises	Augmente d'environ 20% au Nord à $64 \text{ tkm} \times 10^{12}$; environ 70% au Sud à $58 \text{ tkm} \times 10^{12}$ avec augmentations plus fortes pour rail/maritime	L'intensité moyenne diminue de 50% à 0,5–0,7 MJ tkm^{-1} (camions), 10% à 0,2 MJ tkm^{-1} (rail); électrification limitée pour maritime/aérien

► Source : GRUBLER et al. (2018)



UN SCÉNARIO LED EMBLÉMATIQUE : IMP-LD

Service	Niveaux d'activité	Intensité énergétique
Confort thermique	Environ constant au Nord; augmentation de 35% au Sud convergeant vers $30 \text{ m}^2 \text{ hab.}^{-1}$	Technologies thermiques à haute efficacité + doublement du taux de rénovation réduit l'intensité de 75% (Nord) à $160\text{--}170 \text{ MJ m}^{-2}$ et de 86% (Sud) à 40 MJ m^{-2}
Biens de consommation	Multiplication par 2 au Nord à $42 \text{ appareils hab.}^{-1}$; par 3 au Sud à $24 \text{ appareils hab.}^{-1}$	L'intensité électrique moyenne mondiale diminue de 93 à 82 kWh appareil $^{-1}$, réductions les plus fortes pour l'éclairage et les appareils
Mobilité	Multiplication par 2 au Sud (esp. véhicules partagés); baisse de 20% au Nord avec réductions des modes routiers	Baisse de 70% de l'intensité énergétique moyenne mondiale pondérée par parts modales, réductions les plus flottes

Comment GRUBLER et al. (2018) arrive t-il à concilier faible demande et PIB/hab. supérieur à 2%?



A : En arrivant à un plein emploi dans plus de 90% des pays



B : Avec énormément d'efficacité et en omettant les effets rebond



C : Par une stabilisation agrégée de la population à partir de 2030



D : Grâce à une tertiarisation de 80% de l'économie

UN SCÉNARIO LED EMBLÉMATIQUE : IMP-LD

Service	Niveaux d'activité	Intensité énergétique
Confort thermique	Environ constant au Nord; augmentation de 35% au Sud convergeant vers $30 \text{ m}^2 \text{ hab.}^{-1}$	Technologies thermiques à haute efficacité + doublement du taux de rénovation réduit l'intensité de 75% (Nord) à $160\text{--}170 \text{ MJ m}^{-2}$ et de 86% (Sud) à 40 MJ m^{-2}
Biens de consommation	Multiplication par 2 au Nord à $42 \text{ appareils hab.}^{-1}$; par 3 au Sud à $24 \text{ appareils hab.}^{-1}$	L'intensité électrique moyenne mondiale diminue de 93 à 82 kWh appareil $^{-1}$, réductions les plus fortes pour l'éclairage et les appareils
Mobilité	Multiplication par 2 au Sud (esp. véhicules partagés); baisse de 20% au Nord avec réductions des modes routiers	Baisse de 70% de l'intensité énergétique moyenne mondiale pondérée par parts modales, réductions les plus flottes

Comment GRUBLER et al. (2018) arrive t-il à concilier faible demande et PIB/hab. supérieur à 2%?



A : En arrivant à un plein emploi dans plus de 90% des pays



B : Avec énormément d'efficacité et en omettant les effets rebond



C : Par une stabilisation agrégée de la population à partir de 2030



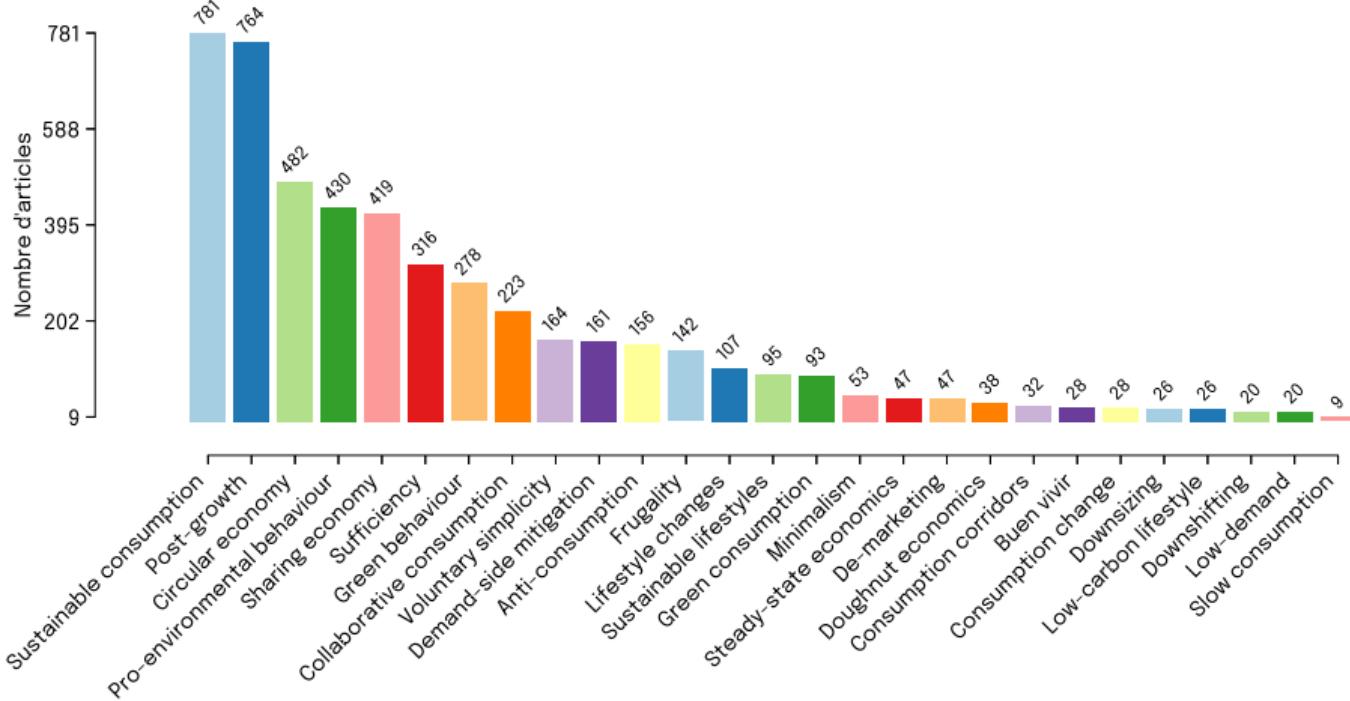
D : Grâce à une tertiarisation de 80% de l'économie

Comment expliquer la prépondérance du levier offre dans les trajectoires d'atténuation?

Comment expliquer la prépondérance du levier offre dans les trajectoires d'atténuation?

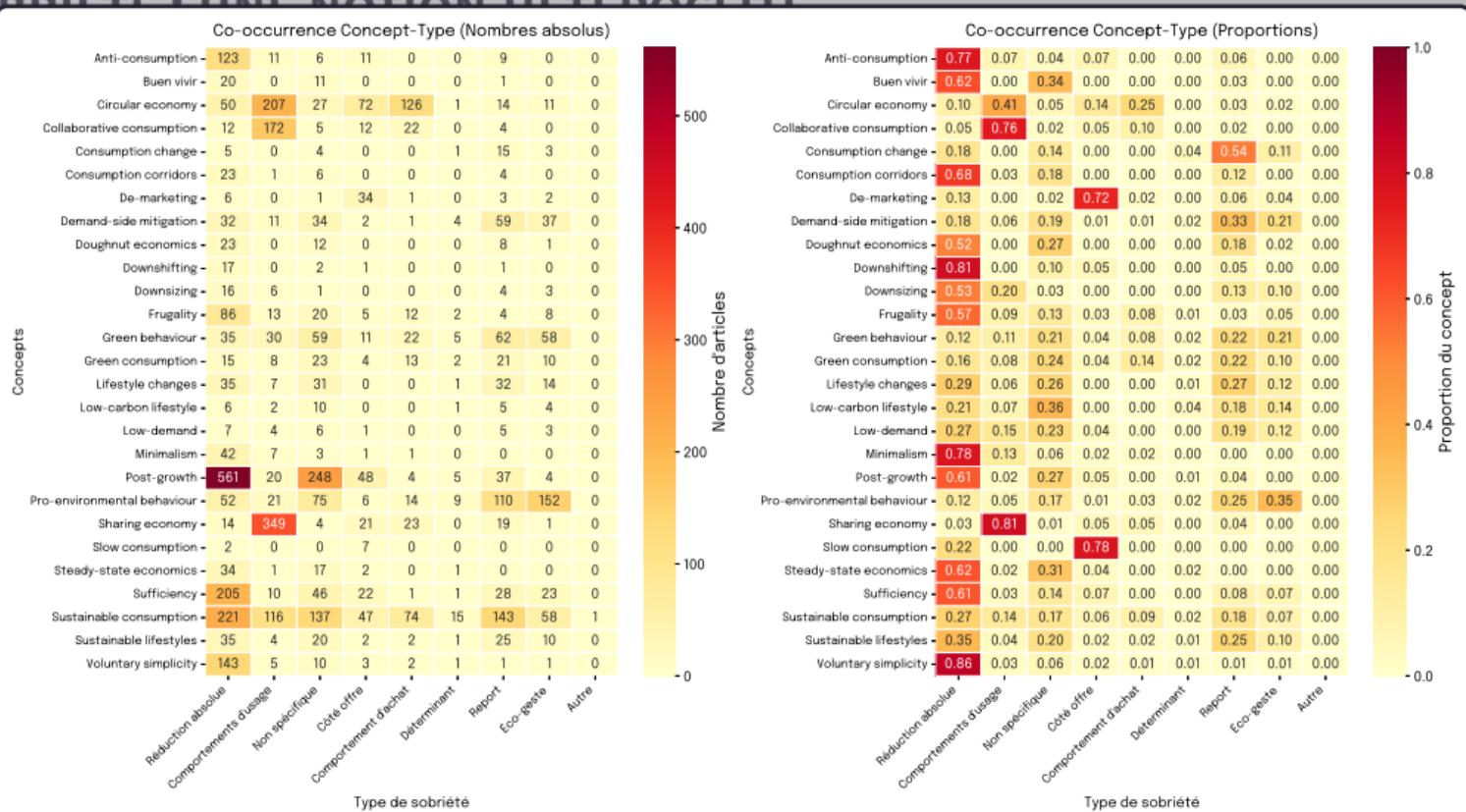


SOBRIÉTÉ : UNE NOTION HÉTÉROCLITE



- Répartition par concepts des papiers de sobriété
- Source : Rouge & Dabbaghian (WP)

SOPRÉTÉ : UNE NOTION HÉTÉROCLITE



► Rouge & D

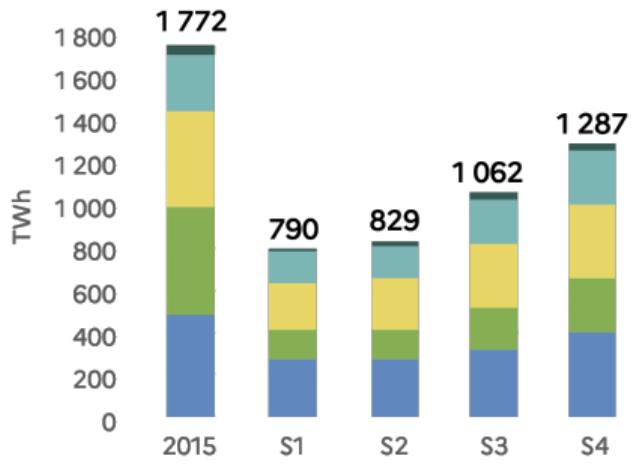
► *Rouge & Dabbaghian (WP)*

2.2 LA SOBRIÉTÉ DANS LES GRANDS SCÉNARIOS FRANÇAIS

TRANSITION(S) 2050 - ADEME (2021)

Méthode

1. Construction de narratifs



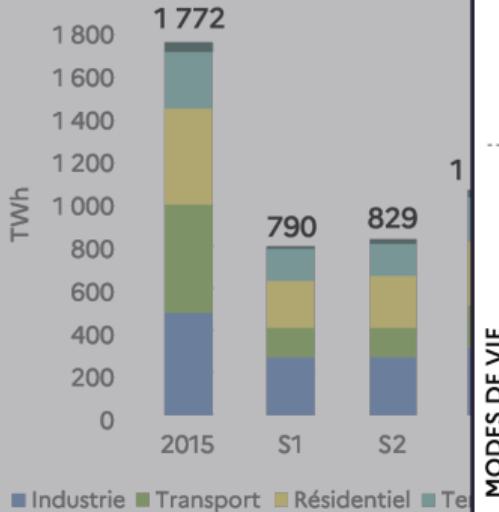
- #### ► Consommation finale d'énergie par secteurs

[Voir les détails du scénario](#)



TRANSITION(S) 2050

ADEME (2021)



► Consommation finale d'énergie

Voir les détails du scénario

S1 GÉNÉRATION FRUGALE

The infographic outlines four pillars of the S1 scenario:

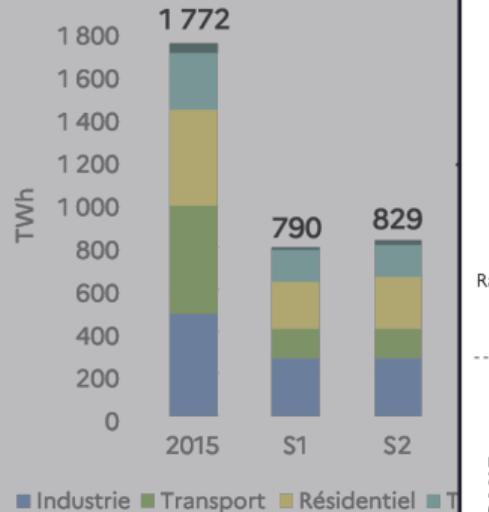
- Société**:
 - Recherche de sens
 - Frugalité choisie mais aussi contrainte
 - Préférence pour le local
 - Nature sanctuarisée
- Alimentation**:
 - Division par 3 de la consommation de viande
 - Part du bio : 70 %
- Habitat**:
 - Rénovation massive et rapide
 - Limitation forte de la construction neuve** (transformation de logements vacants et résidences secondaires en résidences principales)
- Mobilité des personnes**:
 - Réduction forte de la mobilité**
 - Réduction d'un tiers des km parcourus par personne
 - La moitié des trajets à pied ou à vélo

Synthèse S1 - Génération frugale

narratifs

TRANSITION(S) 2050

ADEME (2021)



► Consommation finale d'énergie

Voir les détails du scénario

ÉCONOMIE

Macro-économie

- Innovation autant organisationnelle que technique
- **Règne des low-tech**, réutilisation et réparation
- Numérique collaboratif
- **Consommation des data centers stable** grâce à la stabilisation des flux

Gouvernance

Échelles de décision, coopération internationale

- **Décision locale**, faible coopération internationale
- Réglementation, interdiction et rationnement via des quotas

Territoire

Rapport espaces ruraux – urbains, artificialisation

- Rôle important du territoire pour les ressources et l'action
- « **Déméétropolisation** » en faveur des villes moyennes et des zones rurales

Industrie



- Nouveaux indicateurs de prospérité (écart de revenus, qualité de la vie...)
- Commerce international contracté

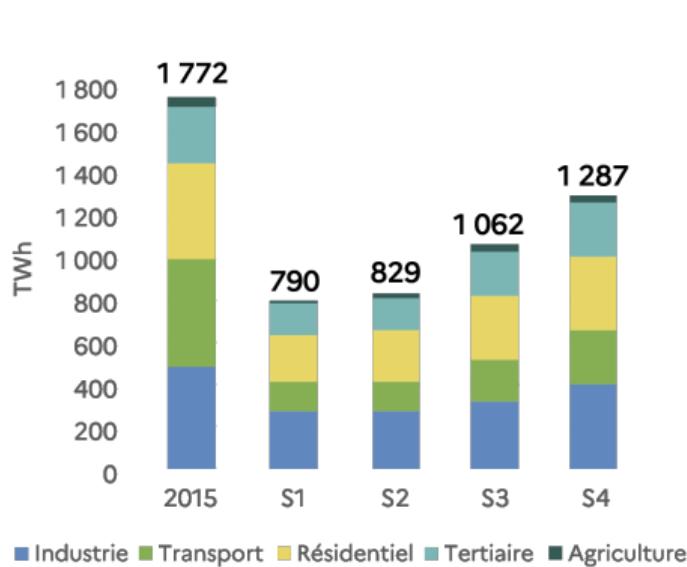
- Production au plus près des besoins
- 70 % de l'acier, mais aussi de l'aluminium, du verre, du papier-carton et des plastiques viennent du recyclage

► Synthèse S1 - Génération frugale

narratifs



TRANSITION(S) 2050 - ADEME (2021)



Méthode

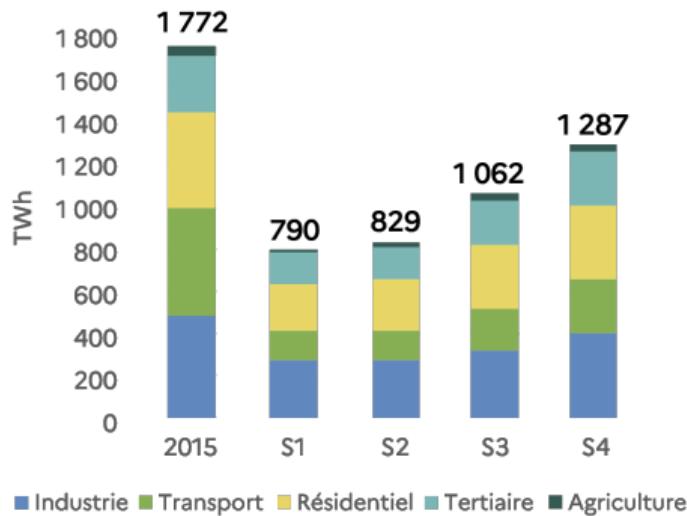
1. Construction de narratifs
 2. Quantification (via modèles)

► Consommation finale d'énergie par secteurs

[Voir les détails du scénario](#)



TRANSITION(S) 2050 - ADEME (2021)



► Consommation finale d'énergie par secteurs

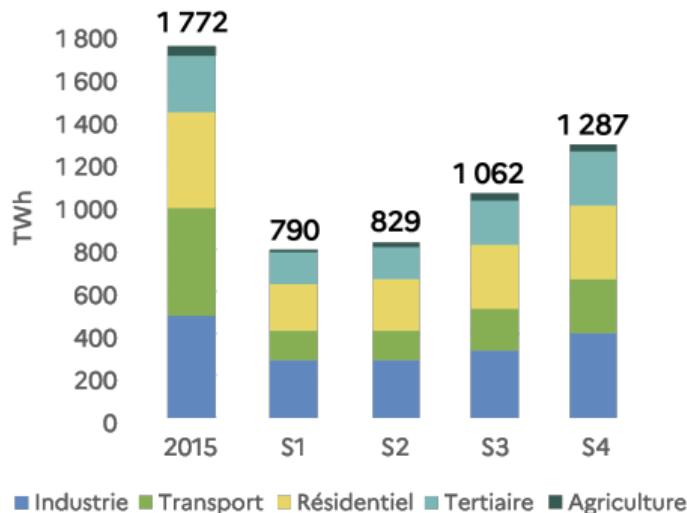
Voir les détails du scénario

Méthode

1. Construction de narratifs
2. Quantification (via modèles)
3. Mise en cohérence et évaluation
 - Demandes en énergie
 - Consommation d'eau d'irrigation, de matériaux de construction, d'intrants agricoles et l'usage des sols
 - Production et la gestion de déchets
 - Production d'énergies et la composition du bouquet énergétique
 - Importations et exportations
 - Bilan des gaz à effet de serre et les puits biologiques et technologiques de CO₂.



TRANSITION(S) 2050 - ADEME (2021)



► Consommation finale d'énergie par secteurs

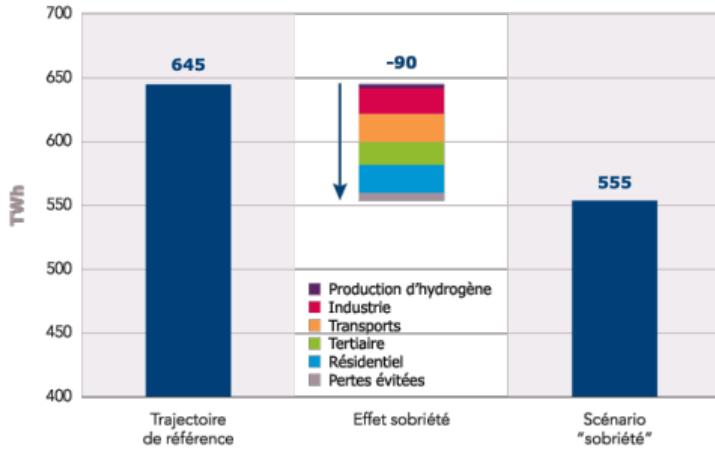
Voir les détails du scénario

Conclusions sur la sobriété

- Sans sobriété (S4) une fuite en avant qui paraît risquée (CCS)
- Par la sobriété les émissions résiduelles sont plus facilement compensées par les puits de carbone naturels
- La sobriété heurte cependant le mode de pensée dominant de la culture consumériste du monde moderne
- Le questionnement sur la sobriété ne peut être disjoint de celui sur les inégalités : la sobriété ne concernera pas les plus modestes



FUTURS ÉNERGÉTIQUES 2050 - RTE (2021)



► Décomposition des effets d'actions de sobriété sur la consommation en 2050

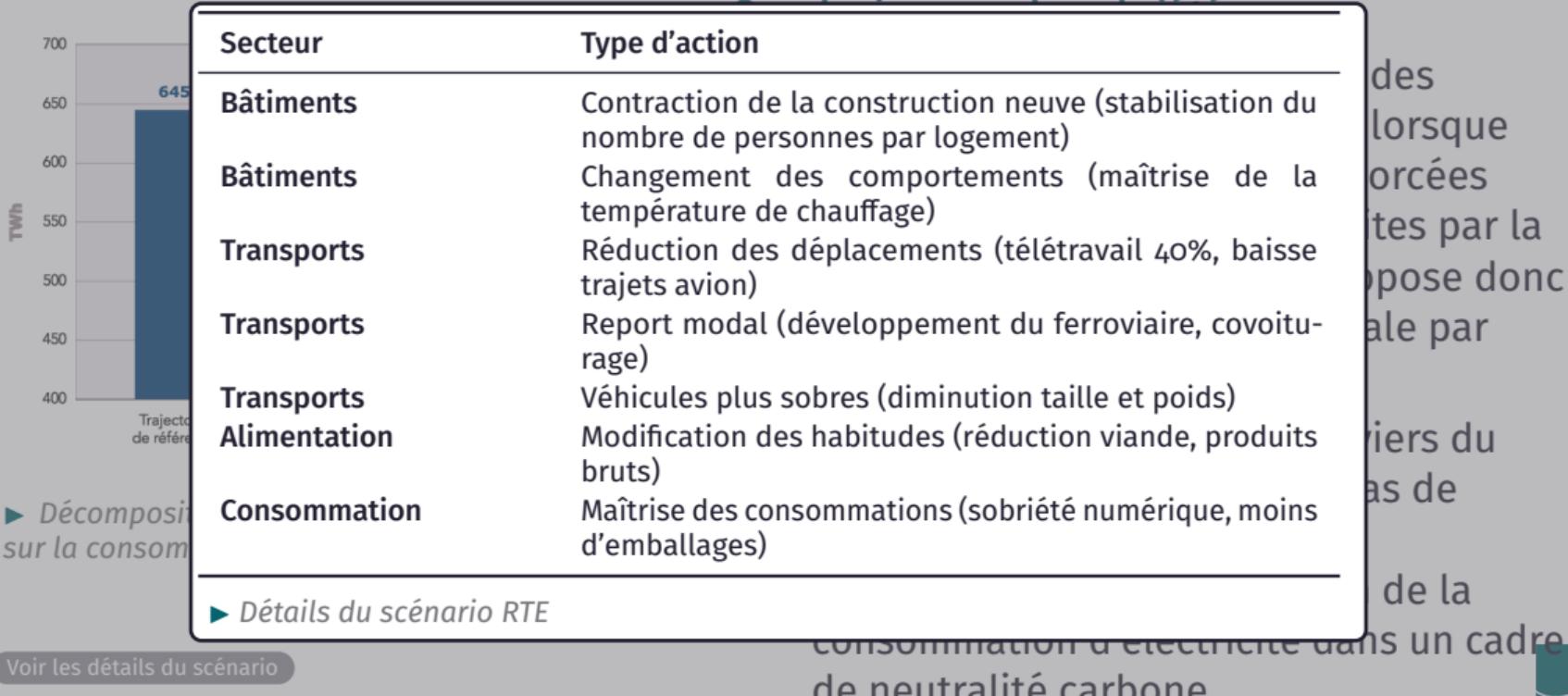
Voir les détails du scénario

Conclusions sur la sobriété

- La trajectoire baseline intègre des évolutions comportementales lorsque celles-ci apparaissent déjà amorcées dans la société ou sont prescrites par la réglementation. Elle ne présuppose donc pas de rupture comportementale par rapport à aujourd'hui.
- L'activation simultanée des leviers du scénario sobriété n'apparaît pas de nature à infléchir la tendance prévisionnelle d'augmentation de la consommation d'électricité dans un cadre de neutralité carbone.



FUTURS ÉNERGÉTIQUES 2050 - RTE (2021)



SCÉNARIO NÉGAWATT

Sobriété par les limites	Sobriété structurante	Sobriété comme transformations globales
-50 % de viande	Stabilisation du nombre d'habitants par foyer	« Interdiction » de construire des maisons individuelles
-29 % d'eau chaude	Habitat petit collectif	-25 % des km parcourus
-22 % cycles de lave-linge	Transports en commun, marche, vélo	o vol intérieur
-18 % cycles de lave-vaisselle	-50 % de voitures individuelles	-25 à -40 % de production industrielle
-18 % d'équipement en sèche-linge	Disparition des consoles de jeux	
-50 % d'équipement en congélateur		
Passage de 8h à 5h d'éclairage (tertiaire)		
-33 % d'écrans par foyer		
-66 % d'ordinateurs par foyer		

- #### ► Typologie des formes de sobriété dans le scénario ASSOCIATION NÉGAWATT (2022)



SCÉNARIO NÉGAWATT

Sobriété par le

-50 % de vian-

-29 % d'eau ch-

-22 % cycles d-

-18 % cycles d-

-18 % d'équipe-

-50 % de

congélateur

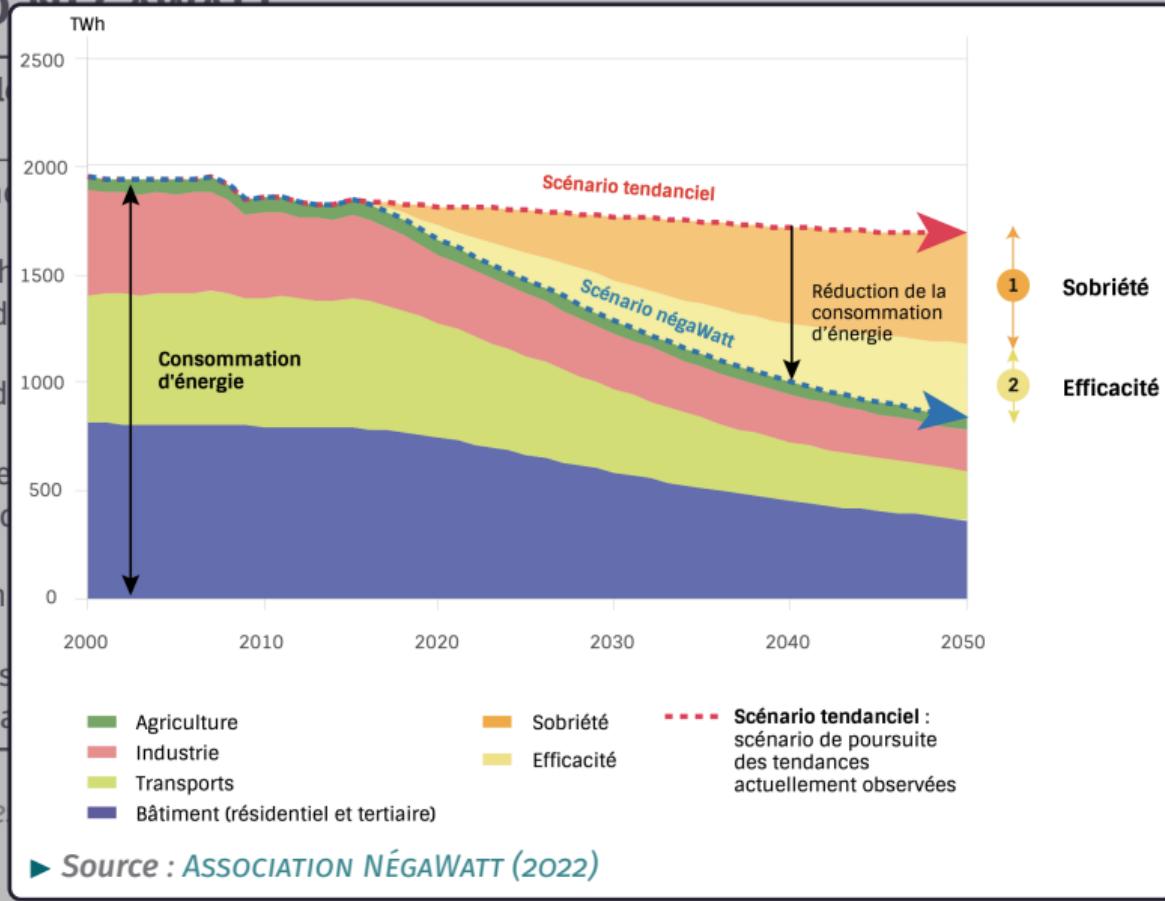
Passage de 8h

(tertiaire)

-33 % d'écrans

-66 % d'ordina-

Typologie de



2.3 RÉALITÉ D'UN DÉCOUPLAGE

Pour réconcilier croissance économique et préservation de l'environnement, il faudrait :



A : Internaliser les coûts environnementaux dans les prix de marché



B : La transition vers une économie de services



C : Une croissance du PIB induite par la seule augmentation de la productivité



D : Une désynchronisation globale, permanente et rapide entre pressions environnementales et PIB

Pour réconcilier croissance économique et préservation de l'environnement, il faudrait :



A : Internaliser les coûts environnementaux dans les prix de marché



B : La transition vers une économie de services

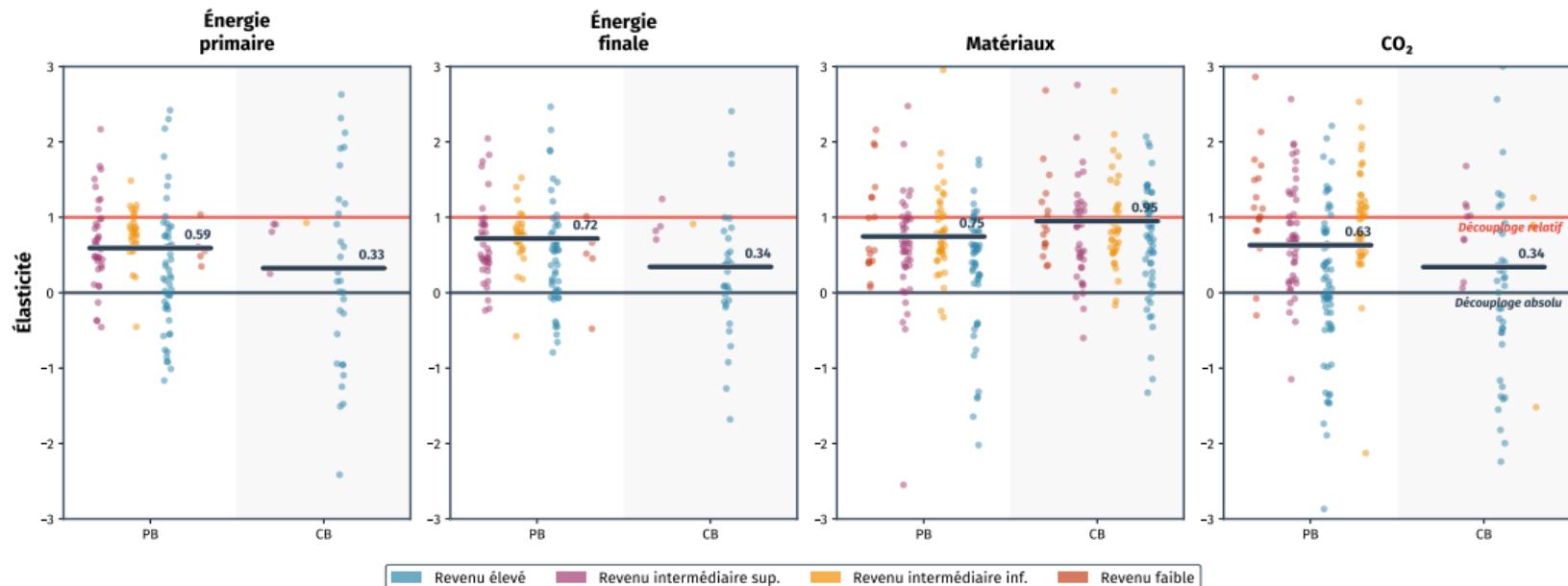


C : Une croissance du PIB induite par la seule augmentation de la productivité



D : Une désynchronisation globale, permanente et rapide entre pressions environnementales et PIB

FONDEMENTS EMPIRIQUES D'UN DÉCOUPLAGE

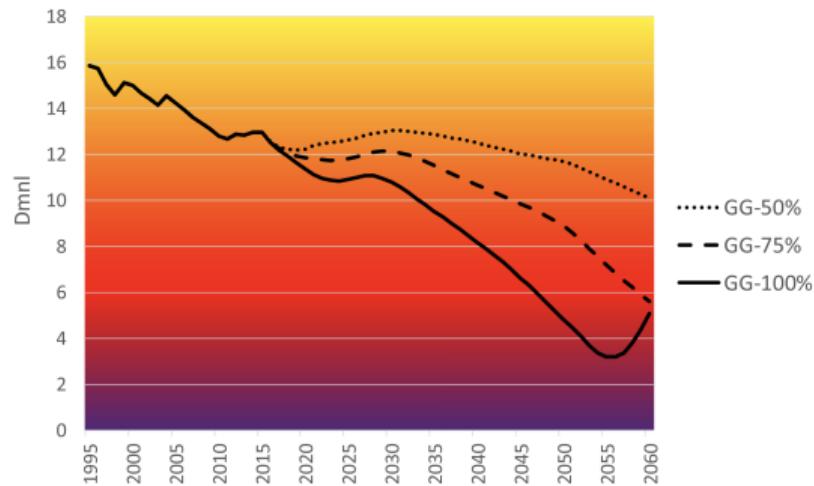


- Élasticités des ressources et des émissions par rapport au PIB
- Source : Adapté de HABERL et al. (2020)



L'énergie devient de plus en plus abondante et bon marché !

PROBLÈME 1 : COÛTS ÉNERGÉTIQUES CROISSANTS



► EROI du système énergétique pour trois scénarios de croissance verte à différents niveaux de renouvelables
Source : CAPELLÁN-PÉREZ et al. (2019)

Avec des voitures qui consomment moins, des appareils moins gourmands en énergie, on va naturellement réduire notre consommation totale de ressources.



PROBLÈME 2 : EFFETS REBONDS

Type de rebond	Empiriquement
Direct L'amélioration de l'efficacité réduit le prix entraînant plus de consommation	0-30%
Indirect Les économies réalisées sont dépensées dans d'autres biens ou services	0-30%
Macroéconomique Effets via les prix, la croissance et les réallocations sectorielles	50-100%+

Avec des voitures qui consomment moins, des appareils moins gourmands en énergie, on va naturellement réduire notre consommation totale de ressources.

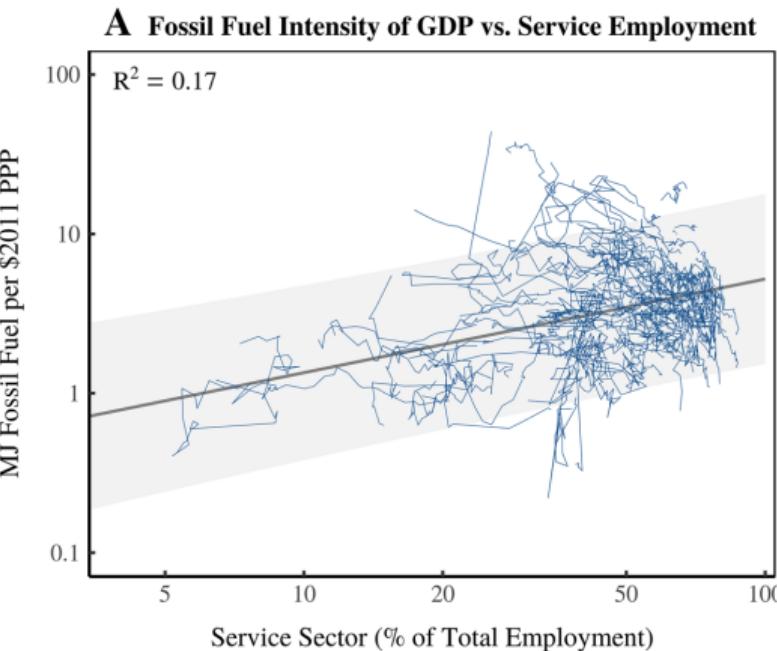


Pas de problème ! Notre économie se tertiarise. Les services consomment beaucoup moins de ressources que l'industrie.



PROBLÈME 3 : UNE TERTIARISATION INSUFFISANTE

Pas de problème ! Notre économie se tertiarise. Les services consomment beaucoup moins de ressources que l'industrie.



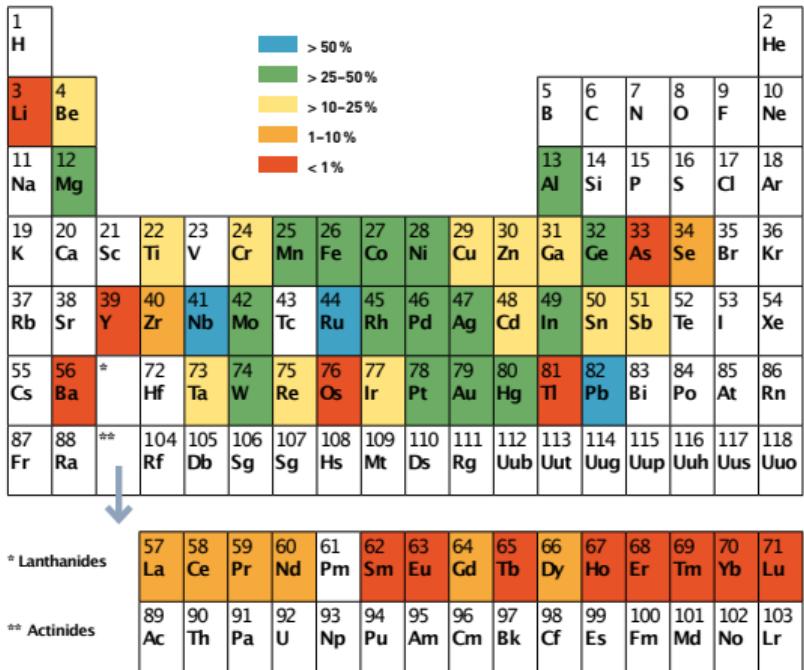
- Intensité fossile entre pays fonction de leur tertiarisation

Source : Fix (2019)

Avec une économie circulaire
et 100% de recyclage, on
peut découpler totalement
! On réutilisera indéfiniment
les mêmes matériaux



PROBLÈME 4 : LIMITES DE LA CIRCULARITÉ



- Fraction de métal recyclé dans la production métallurgique
- Source : UNEP (2011)

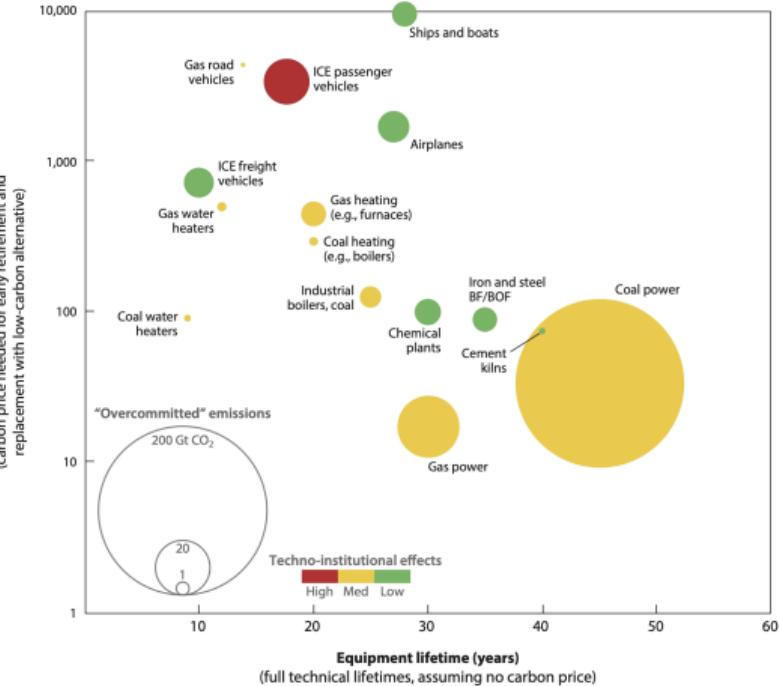
Avec une économie circulaire et 100% de recyclage, on peut découpler totalement ! On réutilisera indéfiniment les mêmes matériaux





PROBLÈME 5 : LIMITES TECHNOLOGIQUES

La technologie a toujours été la solution par le passé, pourquoi pas maintenant?

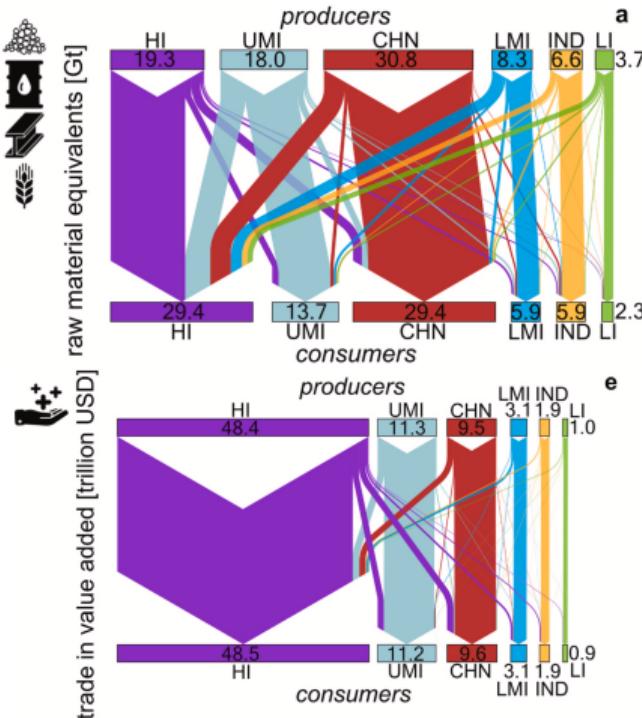


► Prix du carbone rendant compétitif le remplacement
Source : SETO et al. (2016)

Regardez les pays riches ! Ils ont réussi à réduire leurs émissions tout en continuant à croître.



PROBLÈME 6 : TRANSFERT DES COÛTS



Regardez les pays riches ! Ils ont réussi à réduire leurs émissions tout en continuant à croître.

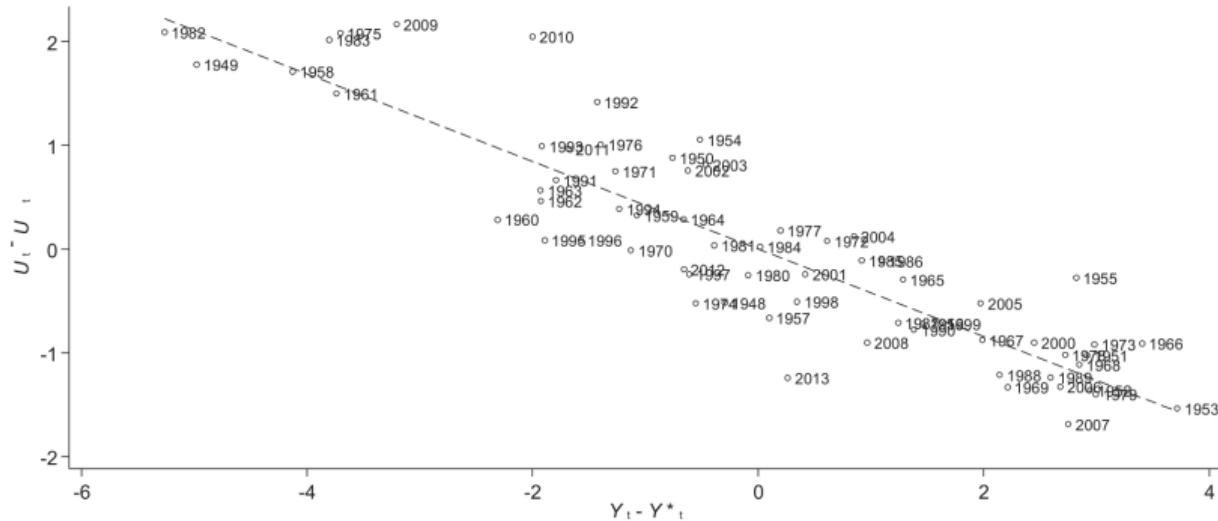


- ▶ Redistribution des ressources et de la valeur ajoutée

Source : DORNINGER et al. (2021)

2.4 IMPACTS MACROÉCONOMIQUES DE LA SOBRIÉTÉ

EMPLOI



- Variation du chômage par rapport à la variation du PIB (BALL et al., 2017)



EMPLOI



Solutions

1. Partager le travail disponible en réduisant le temps de travail
 2. Augmenter l'intensité en travail de l'économie en réduisant la croissance agrégée de la productivité

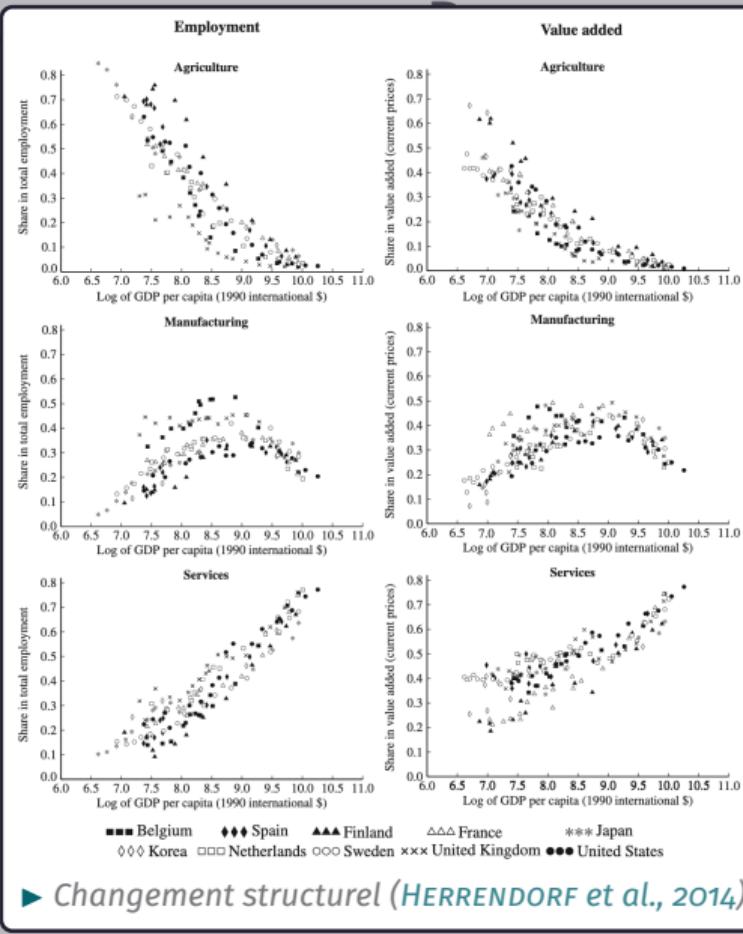
► *Quelques pistes de solutions*

$$Y_t - Y^*_{-t}$$

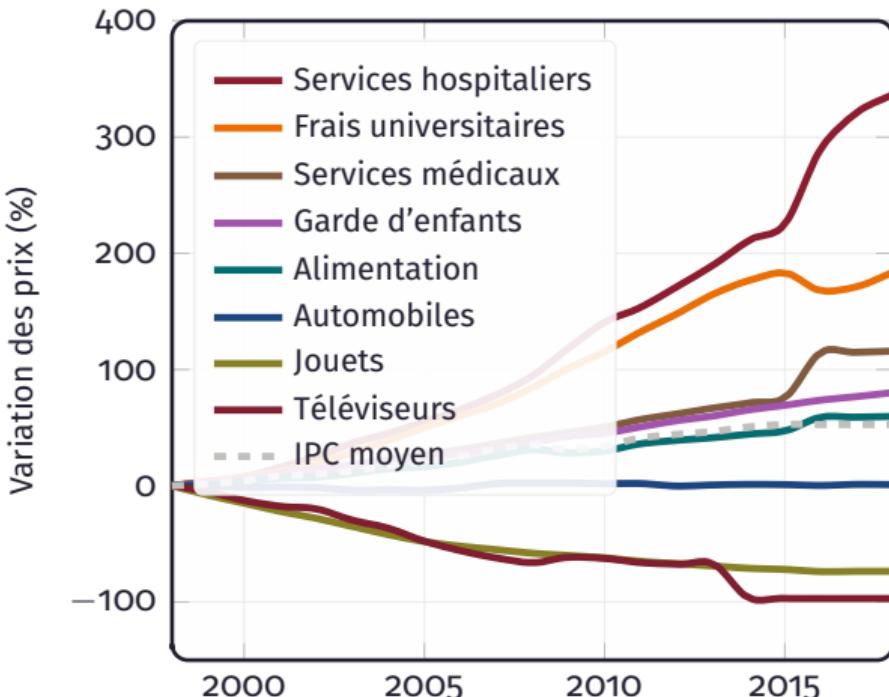
► Variation du chômage par rapport à la variation du PIB (BALL et al., 2017)



CHANGEMENT STRUCTUREL



CHANGEMENT STRUCTUREL ET EFFET BAUMOL



- **Effet de Baumol :** Une différence sectorielle de productivité creuse l'écart des prix
- Qu'advent-il des secteurs à faible croissance de productivité du travail
 - Si leur demande est élastique, ils peuvent disparaître même si ils sont utiles
 - Si leur demande est inélastique, leur prix augmente poussant les gouvernements à faire toujours plus d'économies

DETTE ET INFLATION

Utilisations	Sources
Service : $i_t D_t$	Recettes : $tax_t Y_t$
Amortissement : $repay_t$	Émission : ΔD_t
Dépenses : G_t	

► Flux financiers du secteur public

$$\frac{D_{t+1}}{Y_{t+1}} = \frac{1 + i_t}{1 + g_t} \frac{D_t}{Y_t} + \frac{G_t - T_t}{(1 + g_t)Y_t}$$

La stabilité de l'équilibre implique

$$\frac{1 + i_t}{1 + g_t} < 1 \Leftrightarrow i_t - \pi_t = r_t < g_t^{real}$$

1. La stabilité de la dette exige $r < g^{real}$: une économie en décroissance ne peut donc éviter l'explosion de sa dette qu'avec des taux réels négatifs, imposant une inflation structurelle.
2. Stabiliser la dette à 60% du PIB quand $r > g^{real}$ requiert un excédent primaire permanent dans un équilibre instable, forçant les banques centrales à choisir entre soutenabilité budgétaire et stabilité des prix.



INÉGALITÉS

Dette

- La dette génère des intérêts : $r \cdot D_t$
- Ces intérêts s'ajoutent à la dette si non payés par les taxes
- Si $r > g$: la dette croît plus vite que la capacité à la rembourser

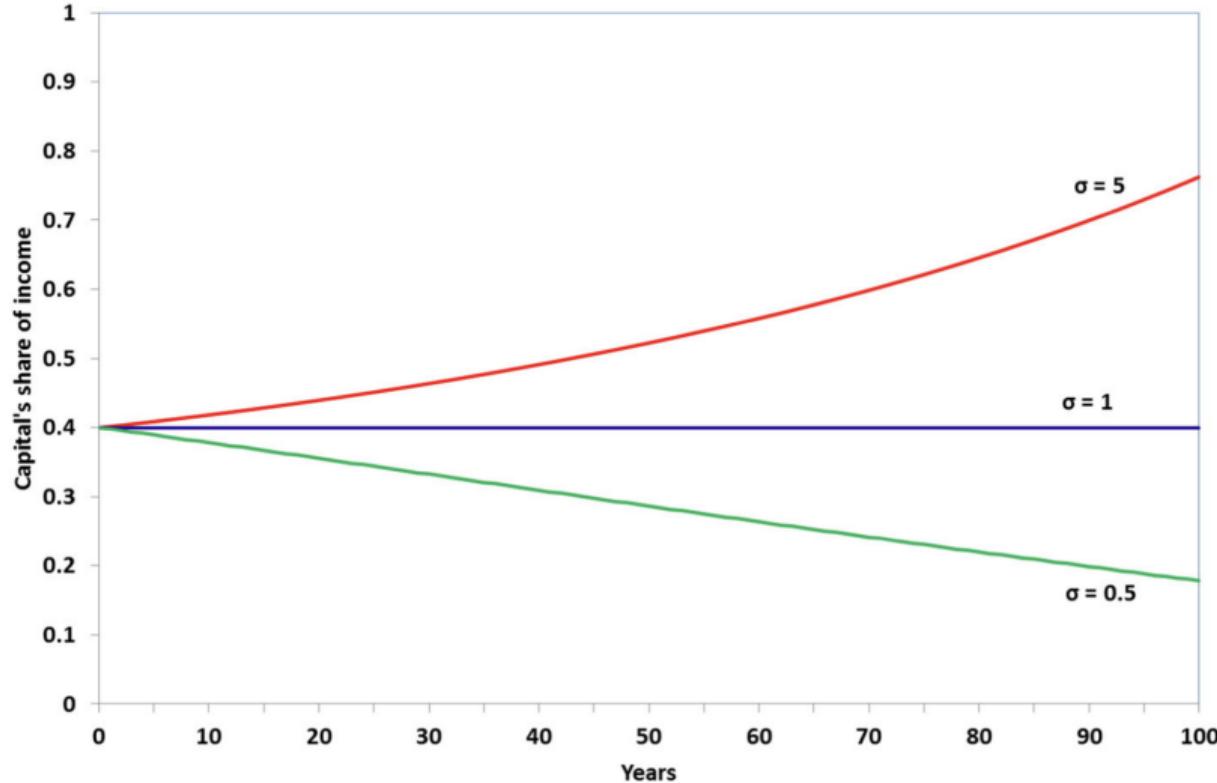
Inégalités

- Le capital génère des revenus : $r \cdot K_t$
- Ces revenus sont réinvestis
- Si $r > g$: le patrimoine croît plus vite que les revenus du travail
⇒ Les riches deviennent relativement plus riches



Dette

- La dette
- Ces intérêts non payés
- Si $r > g$, la capa



► Part du capital dans le revenu pour différentes élasticités de substitution capital-travail (JACKSON & VICTOR CIRED)

2.5 LE NEZ DANS LES MODÈLES

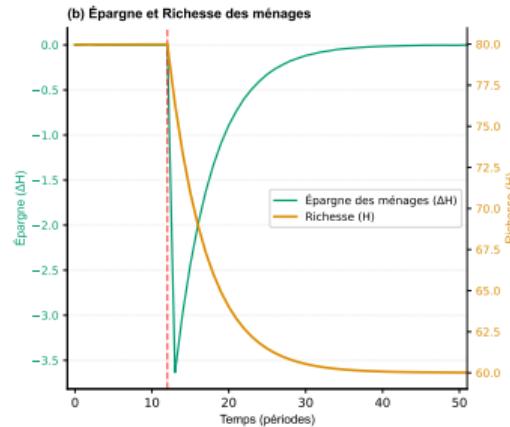
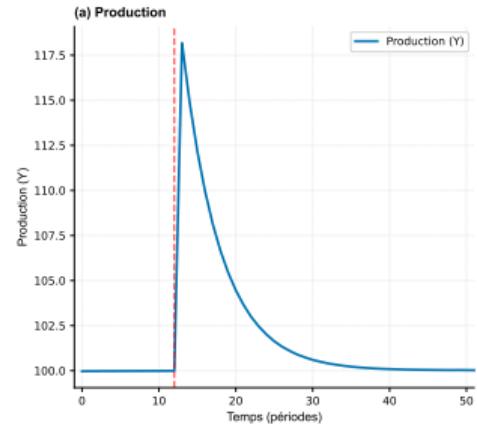
BOITE À OUTILS HÉTÉRODOXE



Bilan et matrice des flux de transactions

► Modèle SIM

Source : GODLEY et LAVOIE (2012)

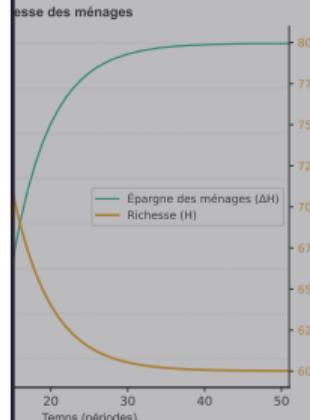
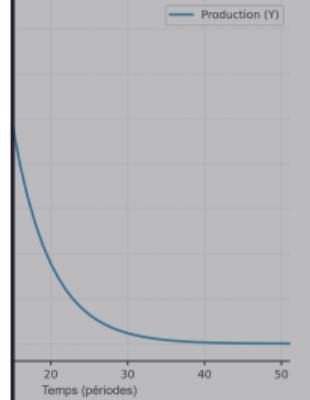
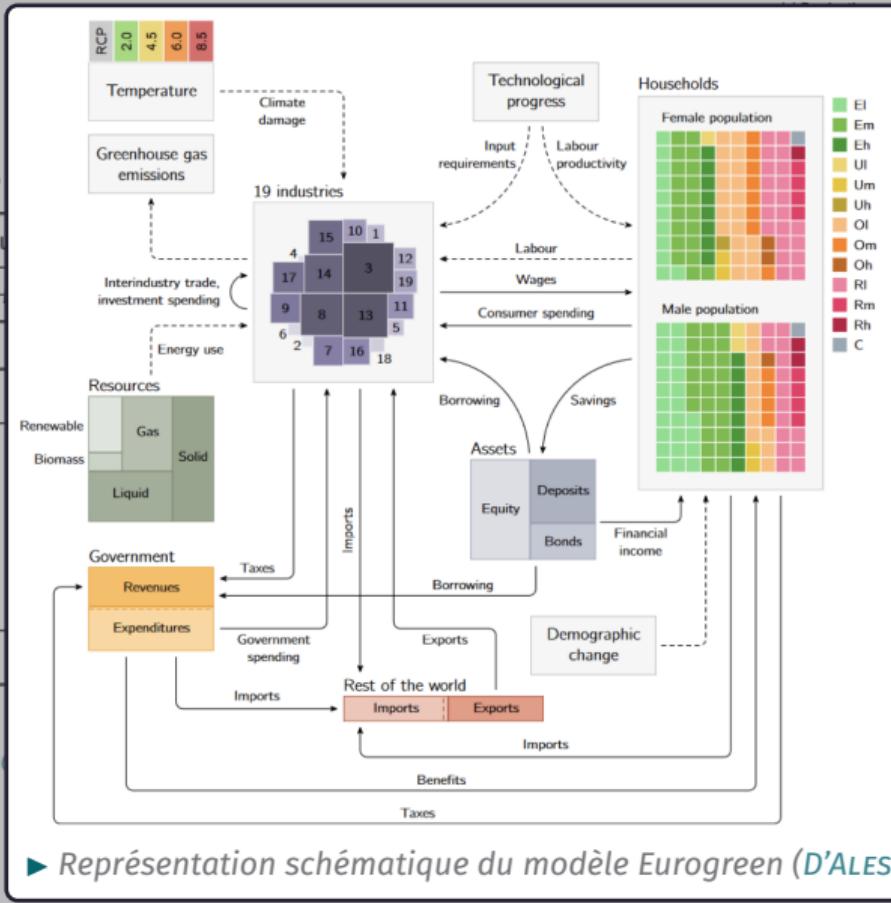


Bilan et matrice des

Actifs/Passifs	Ménages	Gou
Monnaie (H)	$+H_h$	$-H$
1. Consommation		
2. Dépenses publiques		
3. [Production]		
4. Revenus factoriels (salaires)		
5. Taxes		
6. Variation du stock de monnaie		
Σ		

► Modèle SIM

Source : GODLEY et LAVOIE (2)



Bilan

Actifs/P

Monnaie

1. Consom

2. Dépense

3. [Produc

4. Revenus

5. Taxes

6. Variatio

 Σ

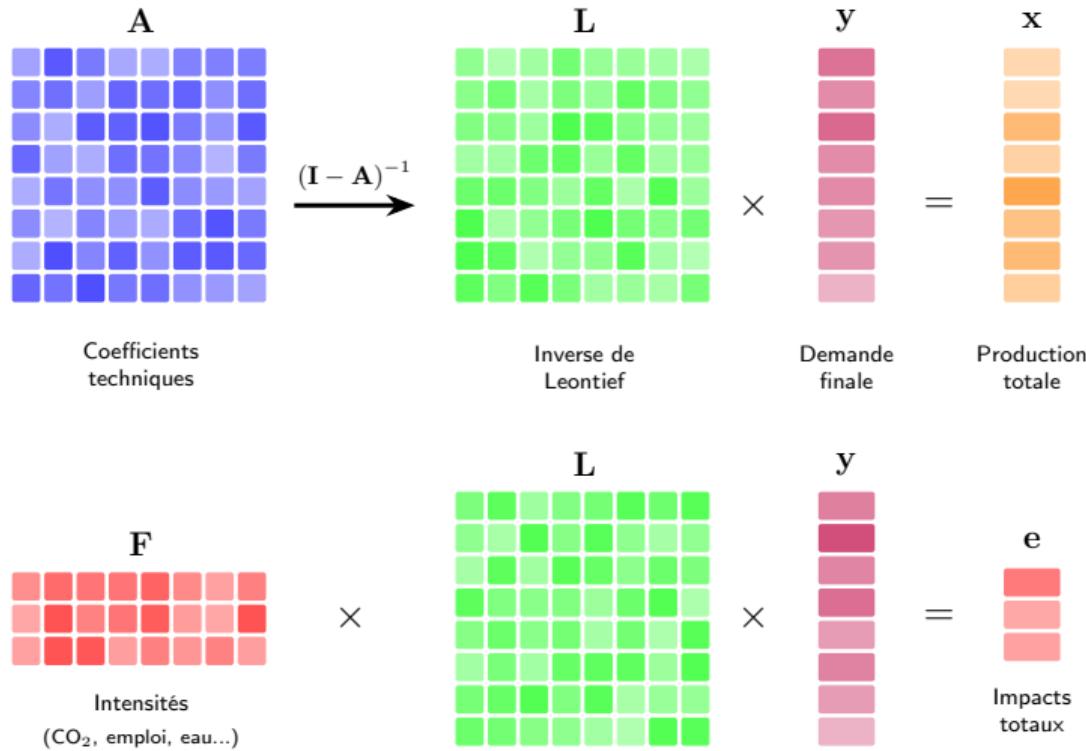
► Modèle

Source :

**Stock flow
consistent model
SFC****Multi-regional
Input-Output
model
MRIO****Agent-based
model
ABM**

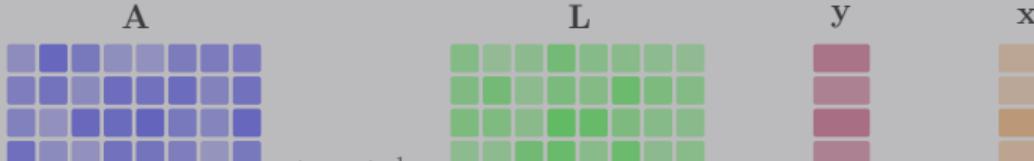
► Boîte à outils de modèles hétérodoxes

MRIO



► Schéma explicatif des modèles MRIO
Source : Kilian Rouge

MARIO



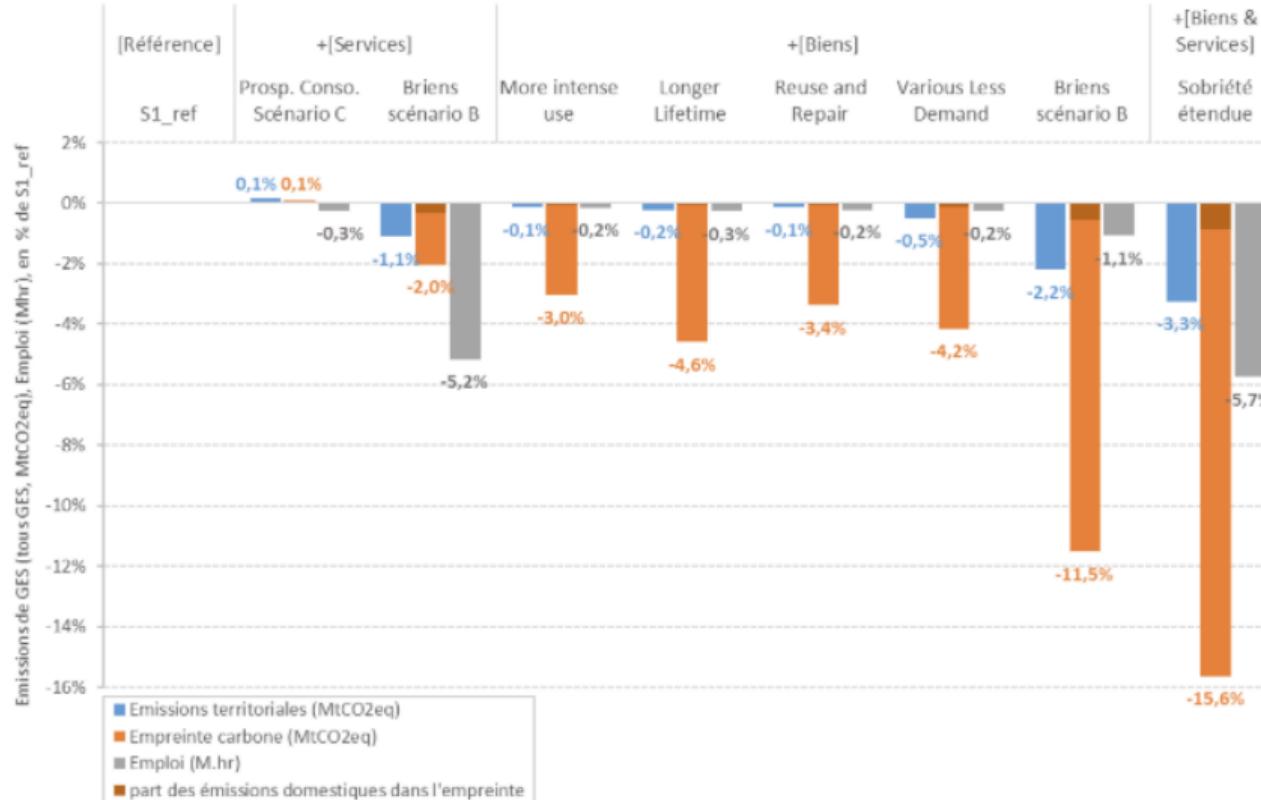
Sector	S1_full	More intense use		Longer lifetime		Reuse & Repair		Various Less Demand	
	C	C,G,I	A	C,G,I	A	C,G,I	A	C,G,I	A
Motor vehicles	-44%			-48%	-48%	-47%	-47%		
Other transport equipment	-27%			-45%				-20%	
Chemicals	-45%							-87%	
Textiles	-57%	-22%		-13%		-5%		-5%	
Clothing industry	-57%	-22%				-30%		-50%	
Leather products	-57%					-9%		-80%	
Metal products	-27%								
Machinery and equipment	-27%	-6%		-6%		-10%	-10%	-6%	-6%
Office machinery and computers	-27%	-30%	-30%			-12%	-12%	-50%	-50%
Electrical machinery and apparatus	-27%	-4%		-75%	-4%	-2%	-2%	-75%	-75%
Audiovisual and communication equip.	-27%	-30%	-30%			-6%	-6%	-29%	-29%
Medical and precision equipment	-27%							-1%	-1%
Furniture and other manuf. goods	-27%	-11%	-11%	-6%		-10%	-10%	-13%	-13%
Printed matter and recorded media	-27%							-60%	-60%
Other manufacturing industry	-27%								
Retail and repair services (excl. MV)	+158%	+2%	+2%	+3%	+3%	+3%	+3%		

► Hypothèses des scénarios (FONTAINE et al., 2025)

► Schéma explicatif des modèles MRIO

Source : Kilian Rouge





► Schéma de la source

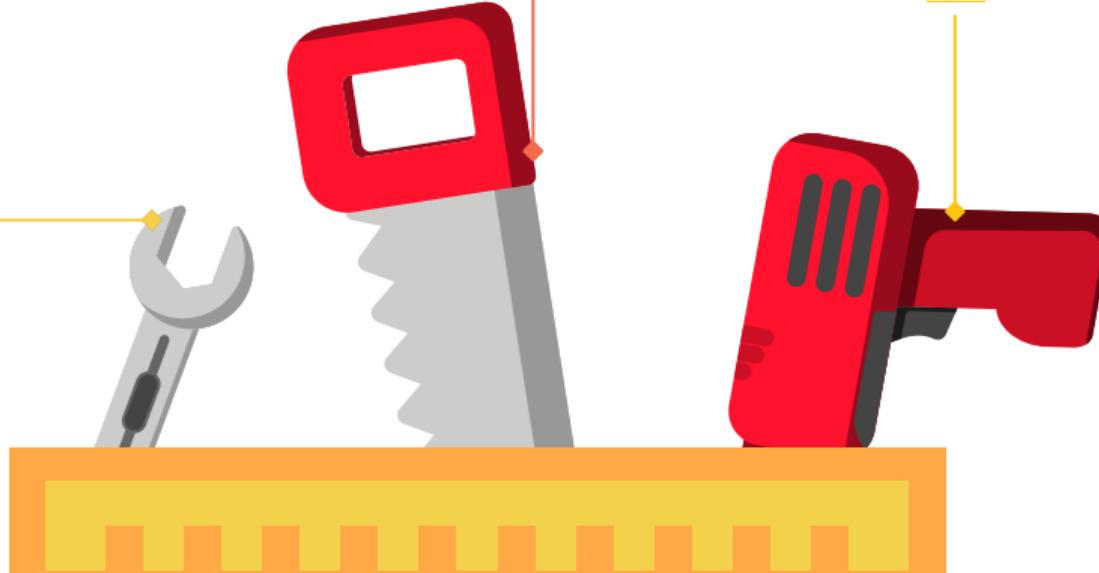
► Synthèse des résultats (FONTAINE et al., 2025)



Stock flow
consistent model
SFC

Multi-regional
Input-Output
model
MRIO

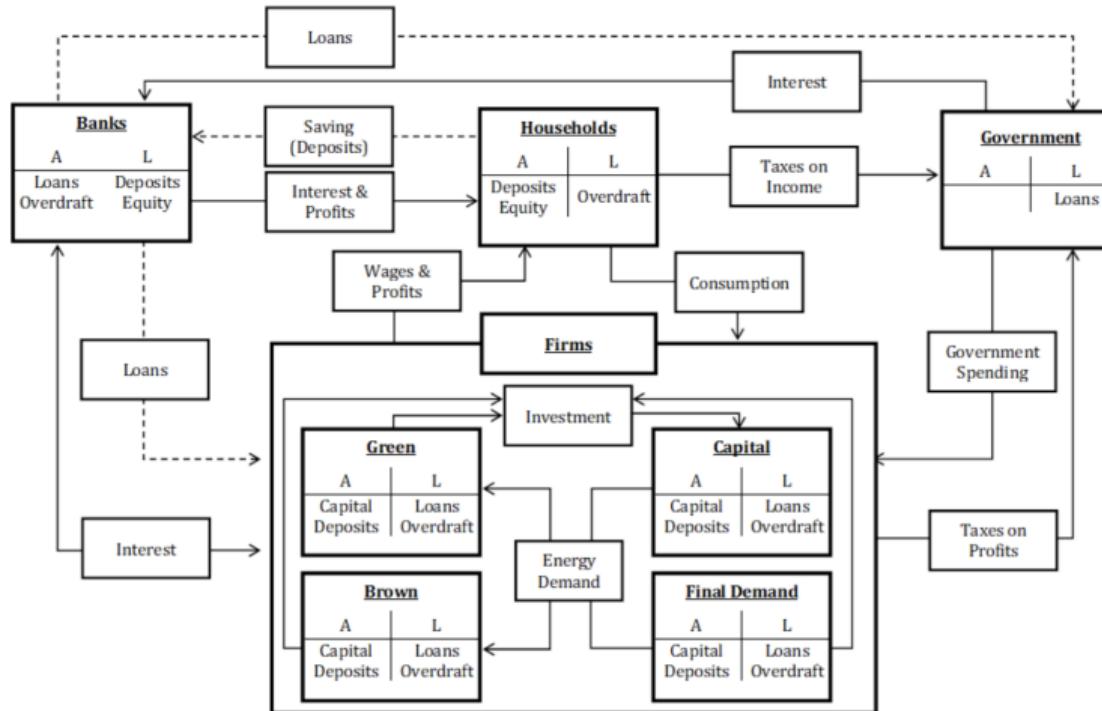
Agent-based
model
ABM



► So
Sur

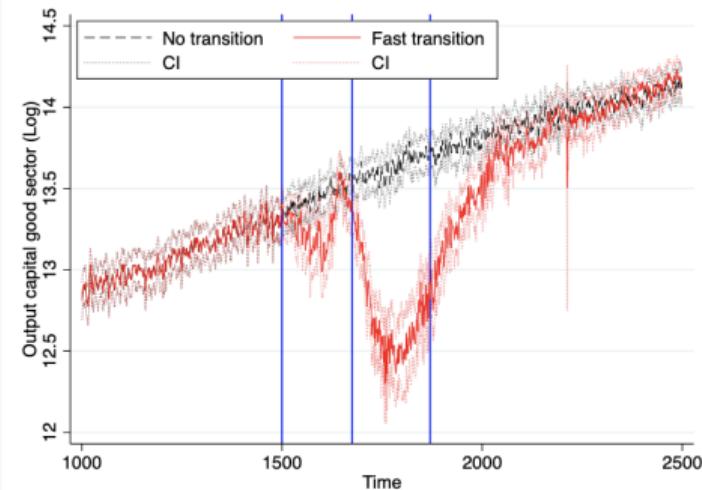
► Boîte à outils de modèles hétérodoxes

ABM

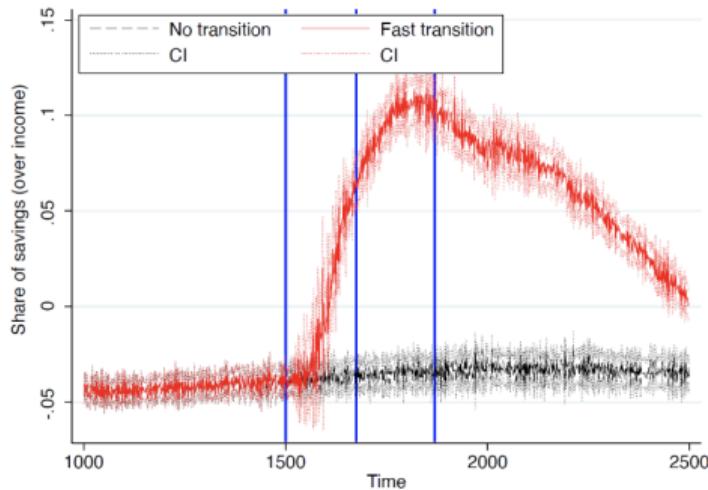


► Schéma du modèle Transit
Source : BOTTE et al. (2021)

Loans



(c) Capital firm output



(d) Ratio of saving to wage and profit income

► *Quelques résultats du modèle*

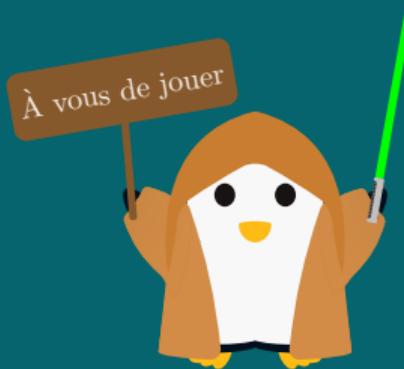
► *Schéma du modèle Transit*

Source : BOTTE et al. (2021)

Qu'est ce qui guiderai votre choix vers l'un ou l'autre de ces modèles?



Qu'est ce qui guiderai votre choix vers l'un ou l'autre de ces modèles ?



Kilian Rouge

Paris, 6 février 2026



APPENDIX

BIBLIOGRAPHIE (I)

- ADEME. (2021). *Transition(s) 2050 - Choisir Maintenant, Agir Pour Le Climat*.

AGHION, P., ... ZILIBOTTI, F. (2025). A Theory of Endogenous Degrowth and Environmental Sustainability.

ARROW, K. J., & DEBREU, G. (1954). Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. *Econometrica*, 22(3), 265-290.

ASSOCIATION NÉGAWATT. (2022). *Scénario NégaWatt 2022*.

BALL, L., ... LOUNGANI, P. (2017). Okun's Law : Fit at 50 ? *Journal of Money, Credit and Banking*, 49(7), 1413-1441.

BOTTE, F., ... VALENTE, M. (2021). Modelling Transition Risk Towards an agent-based, stock-flow consistent framework.

BROCKWAY, P. E., ... COURT, V. (2021). Energy efficiency and economy-wide rebound effects : A review of the evidence and its implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110781.

BYERS, E., ... van VUREN, D. (2022, novembre 9). AR6 Scenarios Database (Version 1.1). Integrated Assessment Modeling Consortium & International Institute for Applied Systems Analysis.

CAPELLÁN-PÉREZ, I., ... MIGUEL GONZÁLEZ, L. J. (2019). Dynamic Energy Return on Energy Investment (EROI) and material requirements in scenarios of global transition to renewable energies. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100399.

COSTANZA, R., ... NORGAARD, R. B. (1997). *An Introduction to Ecological Economics*. Crc Press.



BIBLIOGRAPHIE (II)

- D'ALESSANDRO, S., ... DITTMER, K. (2020). Feasible Alternatives to Green Growth. *Nature Sustainability*, 3(4), 329-335.

DORNINGER, C., ... WIELAND, H. (2021). Global patterns of ecologically unequal exchange : Implications for sustainability in the 21st century. *Ecological Economics*, 179, 106824.

FIX, B. (2019). Dematerialization Through Services : Evaluating the Evidence. *BioPhysical Economics and Resource Quality*, 4(2), 6.

FONTAINE, B., ... TEIXEIRA, A. (2025). *Convention SMASH-CIRED 4 : Rapport final (Rapport de recherche)*. CIRED.

GODLEY, W., & LAVOIE, M. (2012). *Monetary Economics*. Palgrave Macmillan UK.

GREENING, L., ... DIFIGLIO, C. (2000). Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey. *Energy Policy*, 28(6-7), 389-401.

GRUBB, M., ... YANG, P. (2021). Modeling myths : On DICE and dynamic realism in integrated assessment models of climate change mitigation. *WIREs Climate Change*, 12(3), e698.

GRUBLER, A., ... VALIN, H. (2018). A Low Energy Demand Scenario for Meeting the 1.5 °C Target and Sustainable Development Goals without Negative Emission Technologies. *Nature Energy*, 3(6), 515-527.

HABERL, H., ... CREUTZIG, F. (2020). A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II : synthesizing the insights. *Environmental Research Letters*, 15(6), 065003.



BIBLIOGRAPHIE (III)

- HERRENDORF, B., ... VALENTINYI, Á. (2014). Chapter 6 - Growth and Structural Transformation. In P. AGHION & S. N. DURLAUF (Ed.), *Handbook of Economic Growth* (p. 855-941, T. 2). Elsevier.

JACKSON, T., & VICTOR, P. A. (2016). Does Slow Growth Lead to Rising Inequality? Some Theoretical Reflections and Numerical Simulations.

MISSEMER, A. (2013). *Nicholas Georgescu-Roegen, pour une révolution bioéconomique : Suivi de De la science économique à la bioéconomie par Nicholas Georgescu-Roegen*. ENS Éditions.

PIRANI, A., ... TEBALDI, C. (2024). Scenarios in IPCC assessments : lessons from AR6 and opportunities for AR7. *npj Climate Action*, 3(1), 1.

RTE. (2021). *Futurs Énergétiques 2050*.

SETO, K. C., ... ÜRGE-VORSATZ, D. (2016). Carbon Lock-In : Types, Causes, and Policy Implications. *Annual Review of Environment and Resources*, 41(1), 425-452.

UNEP. (2011). *Recycling Rates of Metals : A Status Report*.

VIRAGE ÉNERGIE. (2024, janvier). *La Sobriété Dans Les Scénarios « Transition(s) 2050, Choisir Maintenant, Agir Pour Le Climat » de l'Agence de La Transition Écologique*.



TRANSITION(S) 2050 - NARRATIFS

Aménagement

- Conception des projets à partir des usages et des besoins
 - Réutilisation des aménagements et infrastructures existantes
 - Densification urbaine qualitative
 - Urbanisme circulaire et réversibilité des espaces
 - Prise en compte des temporalités d'usage (chronotopie)
- Source : *VIRAGE ÉNERGIE (2024)*



TRANSITION(S) 2050 - NARRATIFS

Bâtiments

- Réduction de la surface par personne
 - Réduction et meilleur ciblage des équipements
 - Meilleur dimensionnement des équipements
 - Mutualisation des espaces et des équipements
 - Développement des habitats participatifs
 - Température de consigne élevée pour la climatisation
 - Changement des pratiques de chauffage
 - Évolution des pratiques de cuisson
 - Augmentation de l'intensité d'usage des bâtiments
 - Développement de nouveaux commerces orientés sobriété

► Source : VIRAGE ÉNERGIE (2024)



TRANSITION(S) 2050 - NARRATIFS

Alimentation

- Éducation à l'alimentation
 - Relocalisation de la production pour viser une forte autonomie
 - Réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires et d'engrais
 - Importance croissante donnée à la valeur de l'alimentation
 - Redéveloppement des cuisines centrales pour un public élargi
 - Chute de la consommation de produits très transformés
- Source : *VIRAGE ÉNERGIE (2024)*



TRANSITION(S) 2050 - NARRATIFS

Mobilité – Modes de vie & demande

- Valorisation de la démobilité, de la proximité et du ralentissement
 - Politiques de l'emploi favorisant la proximité, le télétravail et les tiers-lieux
 - Réorganisation du territoire pour rechercher la proximité des modes de vie
 - Tourisme local et slow tourisme
 - Déplacements domicile-travail éloignés limités et évitant l'autosolisme
- Source : *VIRAGE ÉNERGIE (2024)*



TRANSITION(S) 2050 - NARRATIFS

Mobilité — Infrastructures, modes & régulation

- Déplacements longue distance en train, autocar ou covoiturage
- Réallocation de l'espace de la voiture vers les infrastructures cyclables
- Baisse des vitesses sur la route
- Réduction du poids et de la vitesse des voitures
- Réduction progressive du soutien public au secteur aérien
- Suppression des lignes aériennes intérieures et interdiction des jets privés
- Interdiction de la livraison gratuite et mutualisation de la logistique
- Développement de la cyclologistique et du fret ferroviaire et fluvial

► Source : *VIRAGE ÉNERGIE* (2024)



DÉTAILS DU SCÉNARIO RTE

Secteur	Type d'action	Actions de sobriété
Bâtiments	Contraction de la construction neuve	<ul style="list-style-type: none">• Stabilisation du nombre de personnes par logement et de la taille des logements neufs (moins de maisons individuelles)• Diminution des résidences secondaires et des logements vacants• Mutualisation des espaces et des usages dans le collectif
	Changement des comportements et des usages	<ul style="list-style-type: none">• Maîtrise de la température de chauffage (hiver), de la ventilation et des occultations (été)• Maîtrise de la consommation d'eau chaude sanitaire (ECS)• Augmentation de la durée d'utilisation des équipements
Transports	Réduction des déplacements	<ul style="list-style-type: none">• Réduction de 23 % du nombre et de la longueur des déplacements entre 2019 et 2050• Développement du télétravail (40 % des travailleurs en 2050)• Baisse des trajets en avion• Baisse des tonnages de marchandises transportées (relocalisation des modes de vie)



DÉTAILS DU SCÉNARIO RTE (SUITE)

Secteur	Type d'action	Actions de sobriété
Transport	Report modal	<ul style="list-style-type: none"> Adaptation des infrastructures pour les mobilités douces, deux-roues et transports en commun Développement du ferroviaire (20 % des km/hab/an en 2050) Hausse du taux de remplissage des voitures (covoiturage) : 1,7 en 2019, 2 en 2050
	Véhicules plus sobres	<ul style="list-style-type: none"> Diminution de la taille et du poids des véhicules
Alimentation	Modification des habitudes alimentaires	<ul style="list-style-type: none"> Réduction de la consommation de viande Augmentation de la part de produits bruts Baisse de 40 % des emballages plastiques
Consommation de biens et services	Maîtrise des consommations	<ul style="list-style-type: none"> Diminution de la quantité de vêtements par personne Réduction de la publicité dans l'espace public Sobriété numérique Réduction des emballages



Kilian Rouge

Paris, 6 février 2026

