

# **Modélisation systémique : la pièce manquante de la transition écologique française**

24 juin 2024

Christophe Mangeant  
cmangeant@me.com

*Les propos tenus ici le sont à titre strictement privé et n'engagent pas l'Institution à laquelle j'appartiens*

# Cheminement

Tout commence en 2012 avec la lecture des *Limites à la Croissance, 30 ans après*.

C'est la découverte de plusieurs choses :

- L'Ecologie ;
- la dynamique des systèmes ;
- le monde a été modélisé dès 1972 (*WORLD3*) comme un système entièrement bouclé.

Après quelques années de travaux (à temps perdu) sur différents modèles dont *WORLD3*, une **question** est devenue **récurrente** : **avons-nous un modèle prospectif « *WORLD3-France* » ?**

2023 : décision d'écrire un livre qui rassemble toutes mes réflexions sur le sujet et qui propose un projet.

# Plan

- 1/ La dynamique des systèmes (vue de ma fenêtre)
- 2/ *WORLD3*, un modèle global pour un monde aux limites
- 3/ Avons-nous un modèle systémique pour piloter la transition écologique française (et mondiale) ?

# Plan

1/ La dynamique des systèmes (vue de ma fenêtre)

2/ *WORLD3*, un modèle global pour un monde aux limites

3/ Avons-nous un modèle systémique pour piloter la transition écologique française (et mondiale) ?

# La dynamique des systèmes : *un monde sans fin*

- **Tout se modélise** avec la Dynamique des Systèmes (DS) !
- Mais la DS n'est pas vraiment enseignée en France !
- Et la modélisation vaut surtout **par les questions qu'elle invite à se poser.**

Dynamics of the UK natural gas industry: System dynamics modelling and long-term energy policy analysis  
Kong Chyong Chi\*, William J. Nuttall, David M. Reiner  
Judge Business School, University of Cambridge, Trumpington Street, Cambridge, CB2 1AG, UK

A System Dynamics Exploration of Future Automotive Propulsion Regimes  
by  
Sara Susanne Metcalf

Examining the Hubbert Peak of Iran's Crude Oil: A System Dynamics Approach  
Behdad Kiani  
Green Research Center, Iran University of Science and Technology (IUST)  
Narmak, Tehran, Iran

Linking Economic Modeling and System Dynamics: A Basic Model for Monetary Policy and Macroprudential Regulation  
Klaus Dieter John  
Chemnitz University of Technology  
Thueringer Weg 7, D-09107 Chemnitz, Germany  
Fon +49 371 531 34198 / Fax +49 371 531 33969  
john@wirtschaft.tu-chemnitz.de

Sustainability in electrical and electronic equipment closed-loop supply chains: A System Dynamics approach  
Patriklos Georgiadis\*, Maria Besiou  
Aristotle University of Thessaloniki, Department of Mechanical Engineering, P.O. Box 461, 54124 Thessaloniki, Greece

Modeling the Feedback of Battery Raw Material Shortages on the Technological Development of Lithium-Ion-Batteries and the Diffusion of Alternative Automotive Drives  
A System Dynamics Approach

The Transition of the Residential Heat Market in Germany -  
A System Dynamics Approach  
Susanne Schmidt, Tobias Jäger, Ute Karl

# La dynamique des systèmes : exemple n°1

Modélisation de génération déchets solides (2014)  $\Rightarrow$  **idée d'un projet de loi** sur une « TVA flottante » fonction de la durée de vie et de la quantité de déchets générée par un objet donné.

Réduire le nombre de *produits* (objets)  $P$  :

- Souhaitable et indispensable mais politiquement difficile (sobriété)
- Assimilé à réduction du *niveau de vie*

Flux annuel de déchets solides  $S$  (t/an)

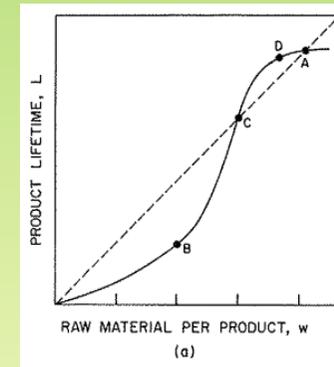
$$S = \frac{P \cdot W}{L}$$

$W$  : quantité de matériau par objet

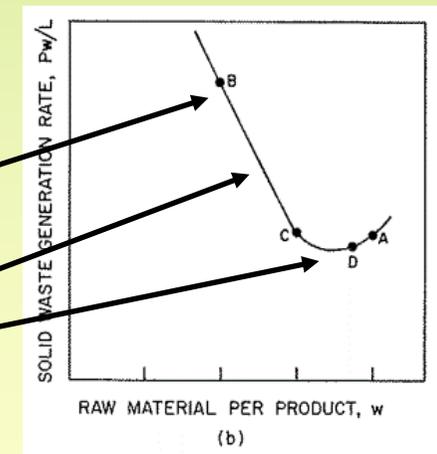
- Réduire la quantité de matériau utilisé dans chaque produit (dans une proportion adéquate)
- Mieux concevoir les produits

Augmenter la durée de vie  $L$  :

- Mieux concevoir les produits pour qu'ils durent plus longtemps !
- Obliger/inciter les gens à garder plus longtemps les objets (difficile)
- Rendre réparable les objets !
- Lutter contre l'obsolescence programmée
- 2<sup>ème</sup> vie ? 3<sup>ème</sup> vie ? Attention...



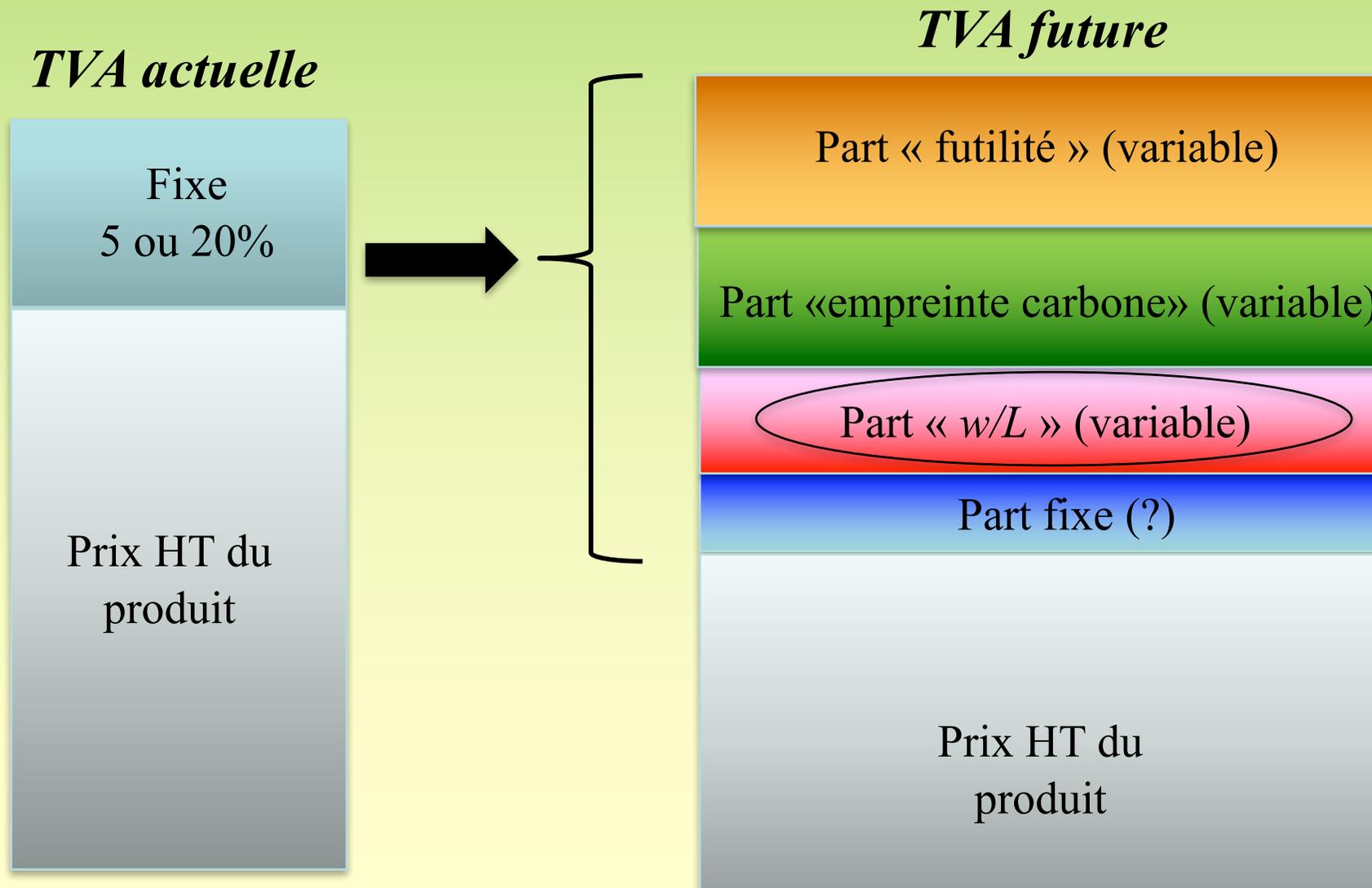
Taxons en fonction de  $W/L$  !



Création d'organismes spécialisés dans la mesure de  $W$  (matière) et de  $L$  (durée de vie)

# La dynamique des systèmes : exemple n°1

Modélisation de génération déchets solides (2014)  $\Rightarrow$  **idée d'un projet de loi** sur une « **TVA flottante** » fonction de la durée de vie et de la quantité de déchets générée par un objet donné.



# Plan

1/ La dynamique des systèmes (vue de ma fenêtre)

2/ *WORLD3*, un modèle global pour un monde aux limites

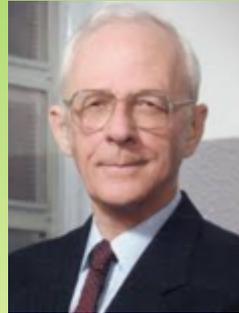
3/ Avons-nous un modèle systémique pour piloter la transition écologique française (et mondiale) ?

# Les limites à la croissance (dans un monde fini)

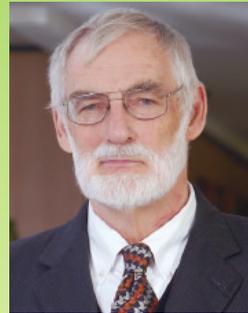
Club de Rome, rapports Meadows et *WORLD3*



Aurelio Peccei



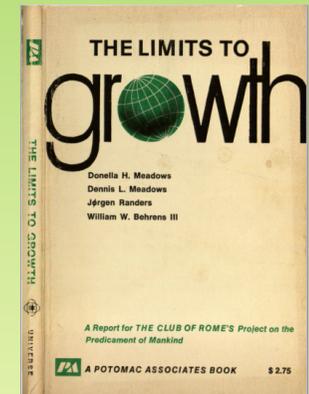
Jay Forrester



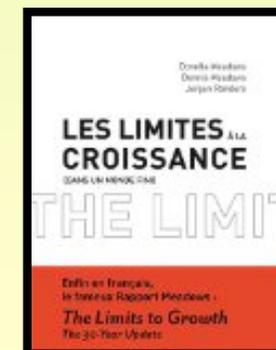
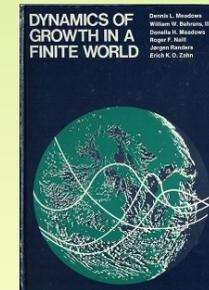
Dennis Meadows



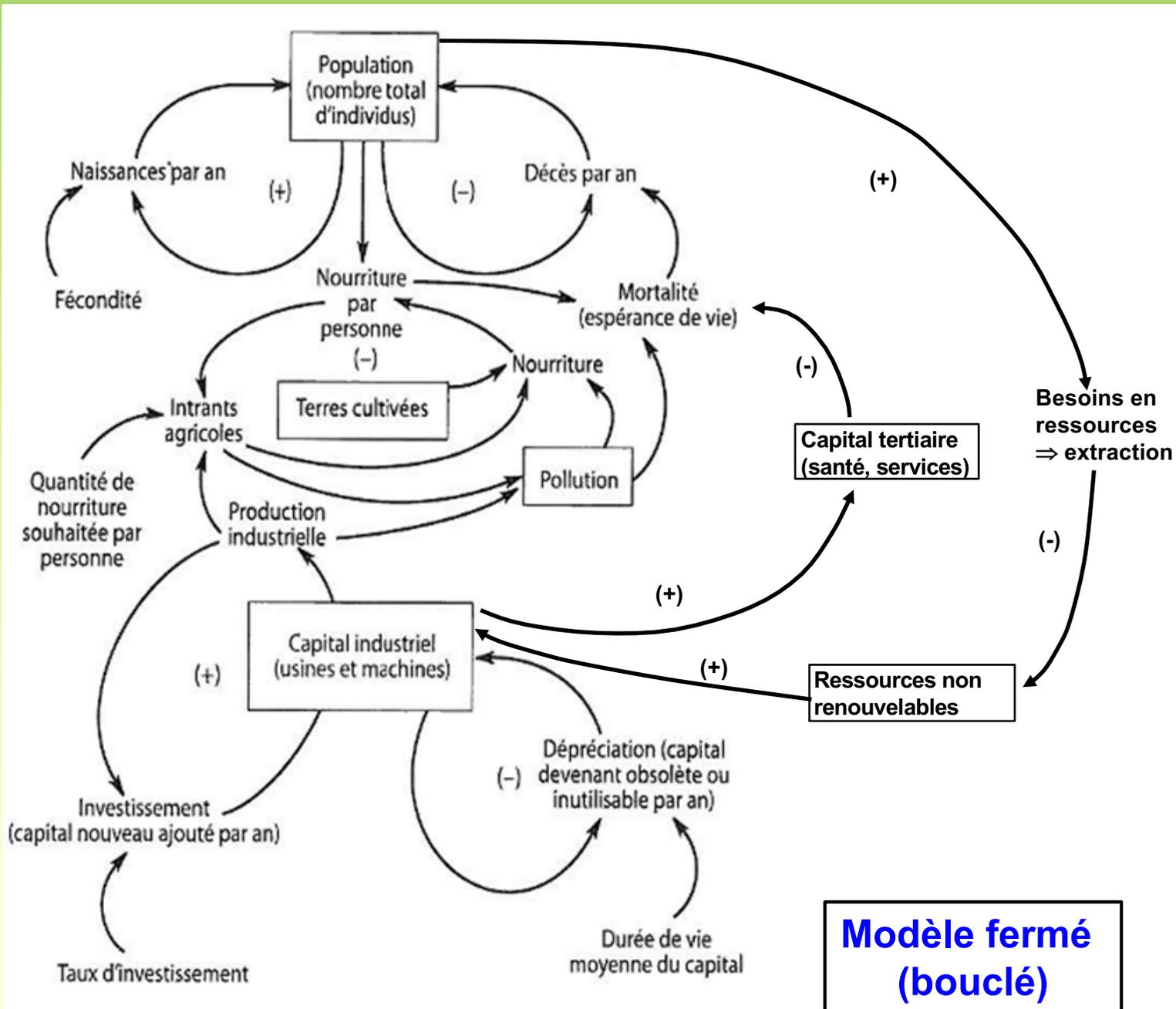
Donella Meadows



- 1968 : création du « Club de Rome »
- 1972 : sortie du rapport Meadows « *The Limits to Growth* »
- 1974 : rapports techniques « *Toward Global Equilibrium – Collected papers* » et « *Dynamics of Growth in a Finite World* »
- 1992 : version révisée « *Beyond the Limits* »
- 2004 : « *The Limits to Growth - The 30-Year Update* »
- 2012 : traduction française



# WORLD3 : un modèle totalement bouclé



# Les limites dans *WORLD3*

## Limites planétaires :

- Les ressources non renouvelables (agrégées)
- Les terres arables/cultivées
- Le pollution durable (agrégée)

## Limites « humaines » :

- L'espérance de vie
- Durée de vie des infrastructures, des services, des équipements

## Ce qui **n'est pas** dans *WORLD3* :

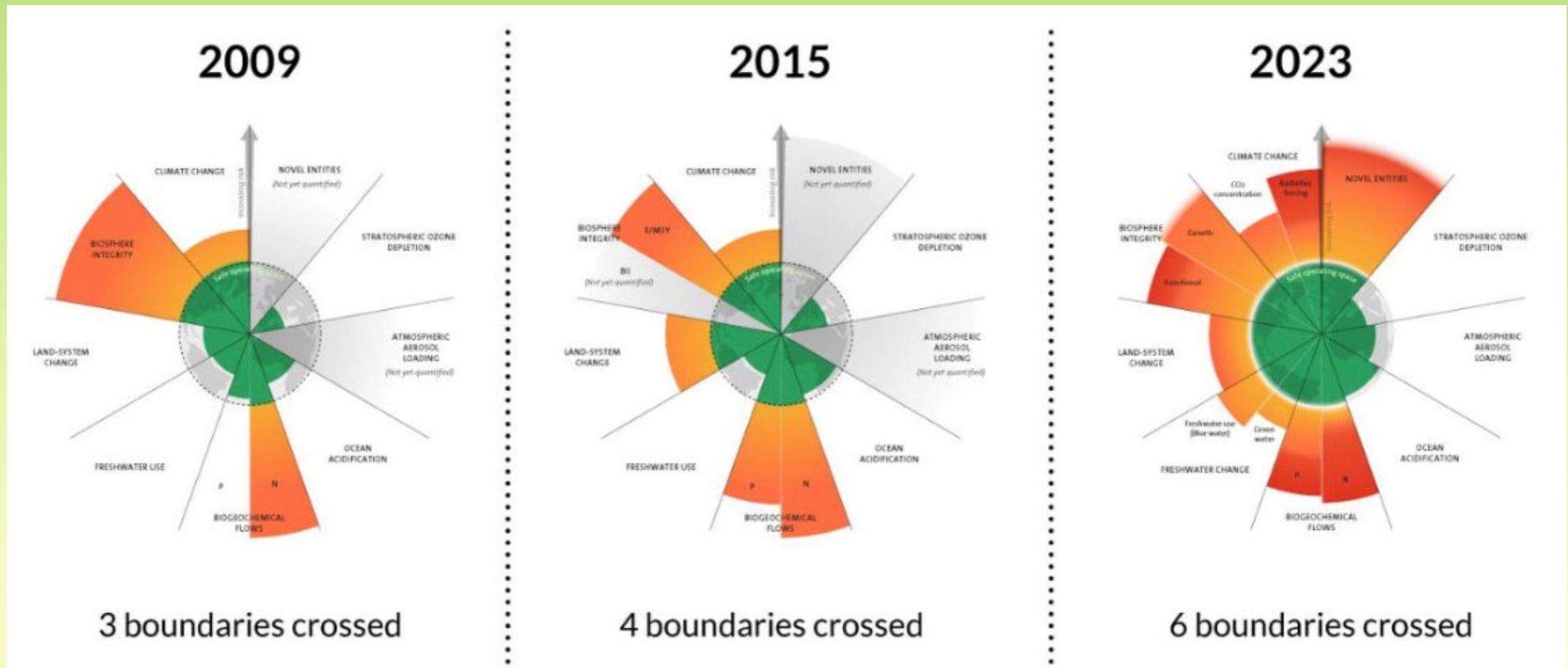
- Le changement climatique
- L'accès à l'eau douce
- Les cycles biochimiques (azote, phosphore...)
- L'acidification des océans
- L'érosion de la biodiversité
- Les inégalités sociales
- Les risques de guerre
- Les différentes régions du monde
- Les tensions économiques

# WORLD3 vs limites planétaires

Limites considérées	Limites (Rockström)	Limites (WORLD3 et LTG)
Changement climatique	X	
Ozone	X	(X) Pollution persistante
Aérosols atmosphériques	X	(X) Pollution persistante
Usage des sols (terres et forêts)	X	X
Pollution chimique persistante (substances chimiques artificielle)	X	X
Eau douce	X	
Azote et Phosphore	X	(X) Pollution persistante
Acidification des océans	X	(X) Pollution persistante
Erosion biodiversité	X	
Pics fossiles (pétrole, gaz, charbon)		X
Teneur minerais		Ressources non renouvelables agrégées
Autres		X Espérance de vie (humaine et infrastructures)

# 1.1 Les neuf limites de Rockström

Un tableau noir confirmé par un n<sup>ième</sup> article en sept. 2023



# Les neuf limites de Rockström

Situation hors de contrôle (>350 000 substances artificielles et incapacité à réguler la production + sols pollués)

420ppm en 2020; en route pour >>+2°C

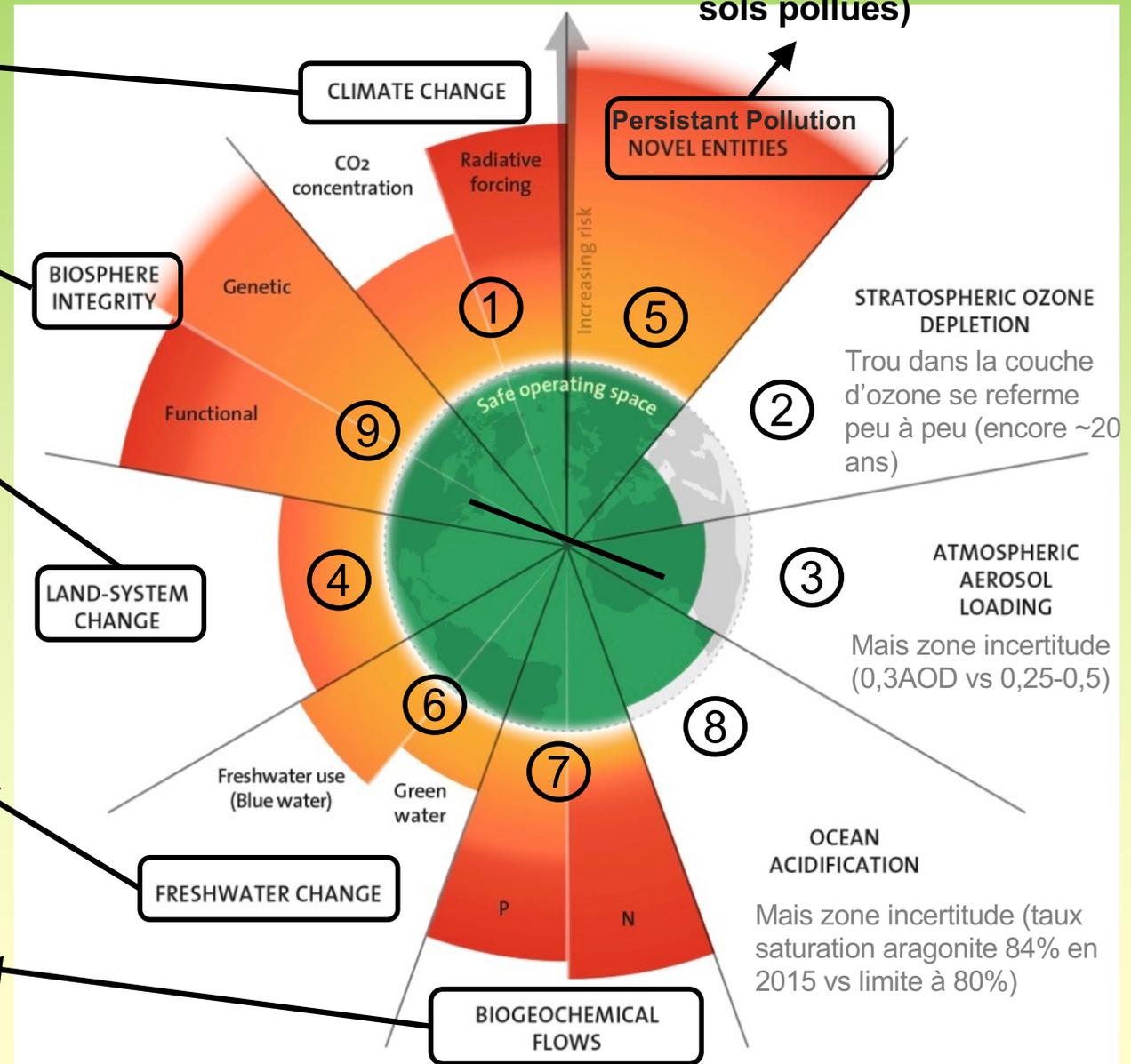
Effondrement espèces 10 à 100x plus rapide que tolérable

2x trop de terres agricoles et désormais trop peu de forêts (60% de surface / 75% nécessaires)

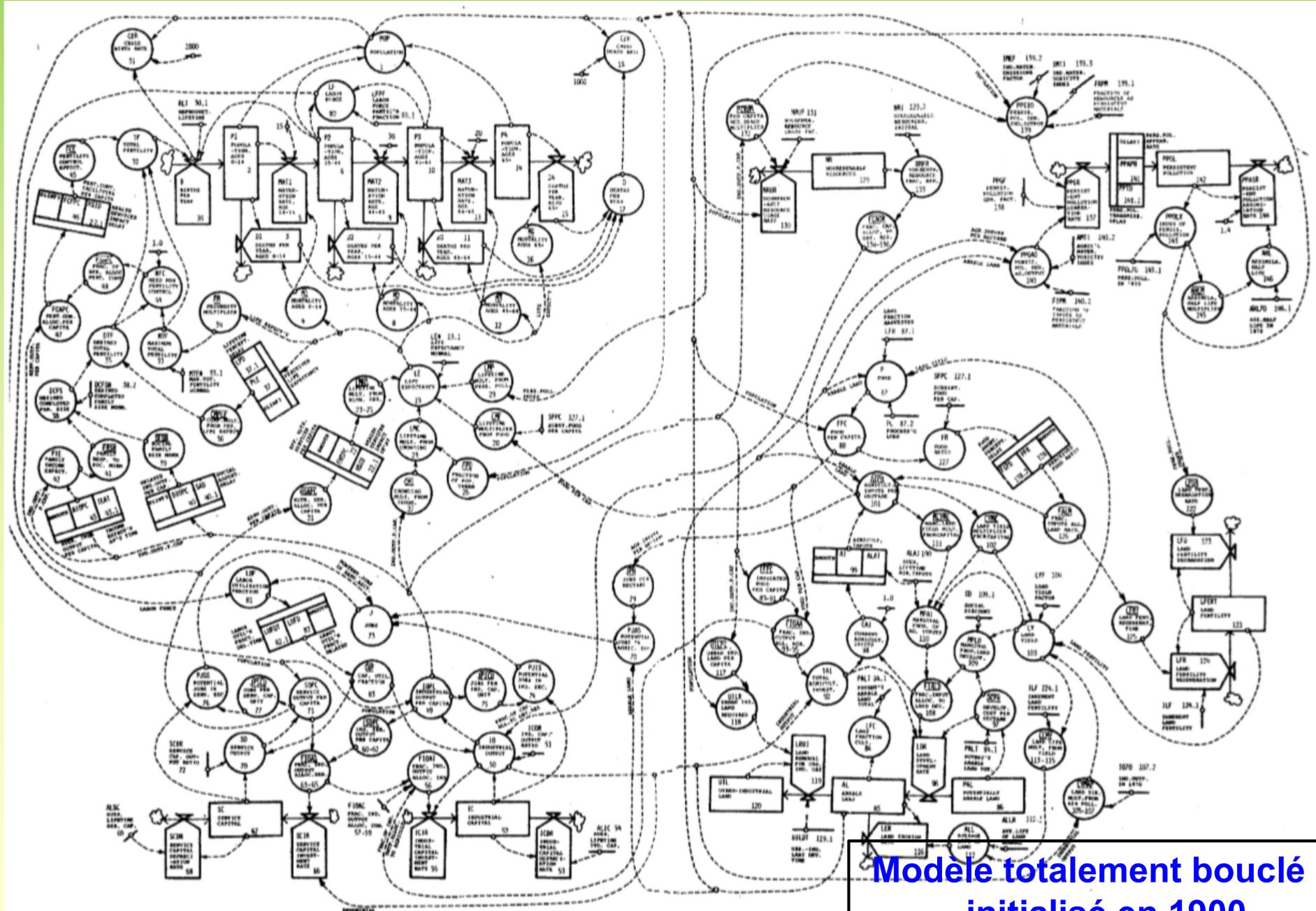
*Blue water* = eau des rivières, lacs et nappes; franchie en 2022 (conso >4000km<sup>3</sup>/an).

*Green water* = précipitations terrestres, évaporation et humidité des sols; franchie (18% des terres vs 10%)

3 x plus d'azote prélevé et 2 x plus de phosphore rejeté



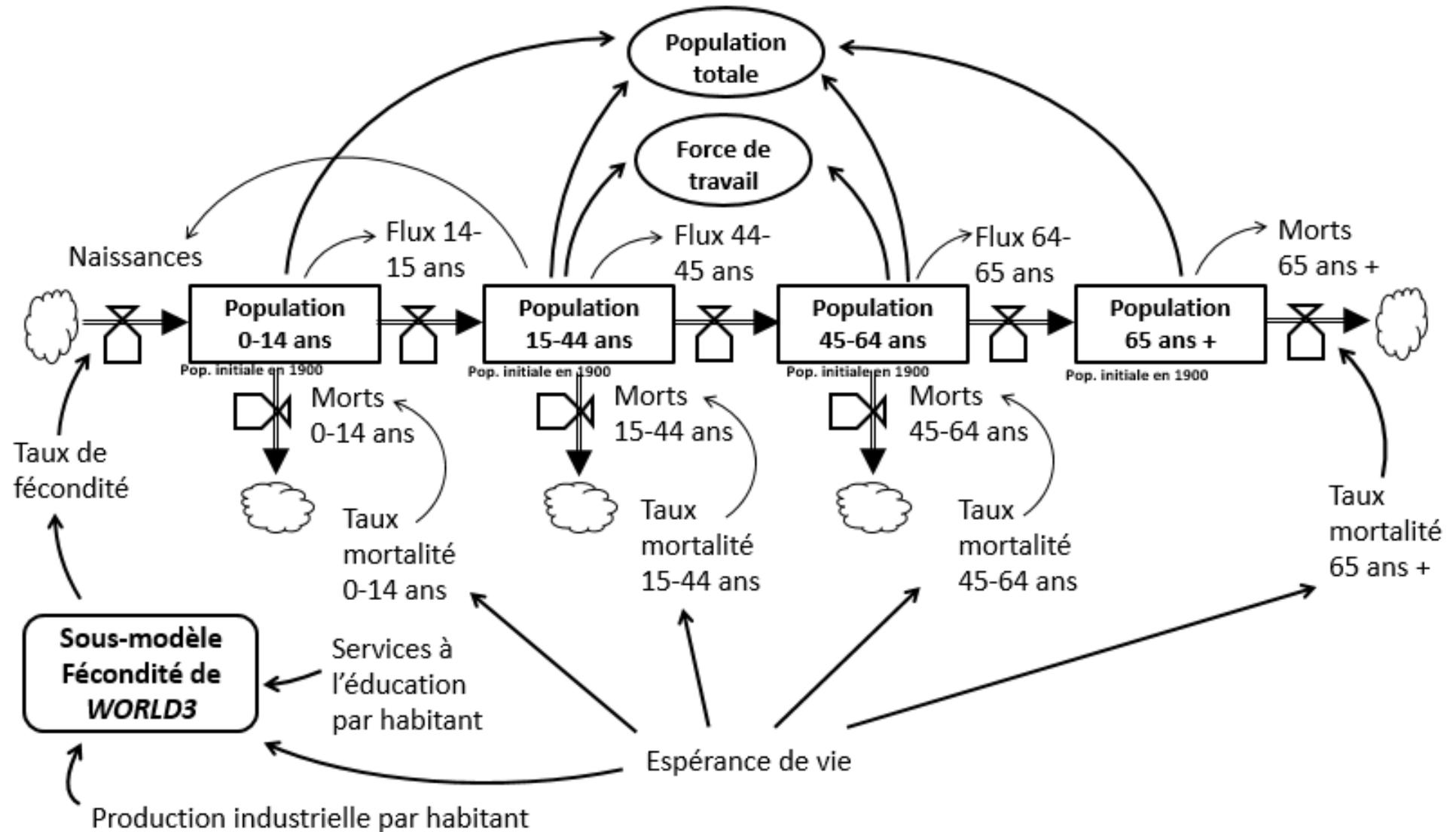
# WORLD3 : modèle original 1972



Modèle totalement bouclé & initialisé en 1900

# Les boucles de rétroaction de WORLD3

## Démographie



# Les boucles de rétroaction de WORLD3

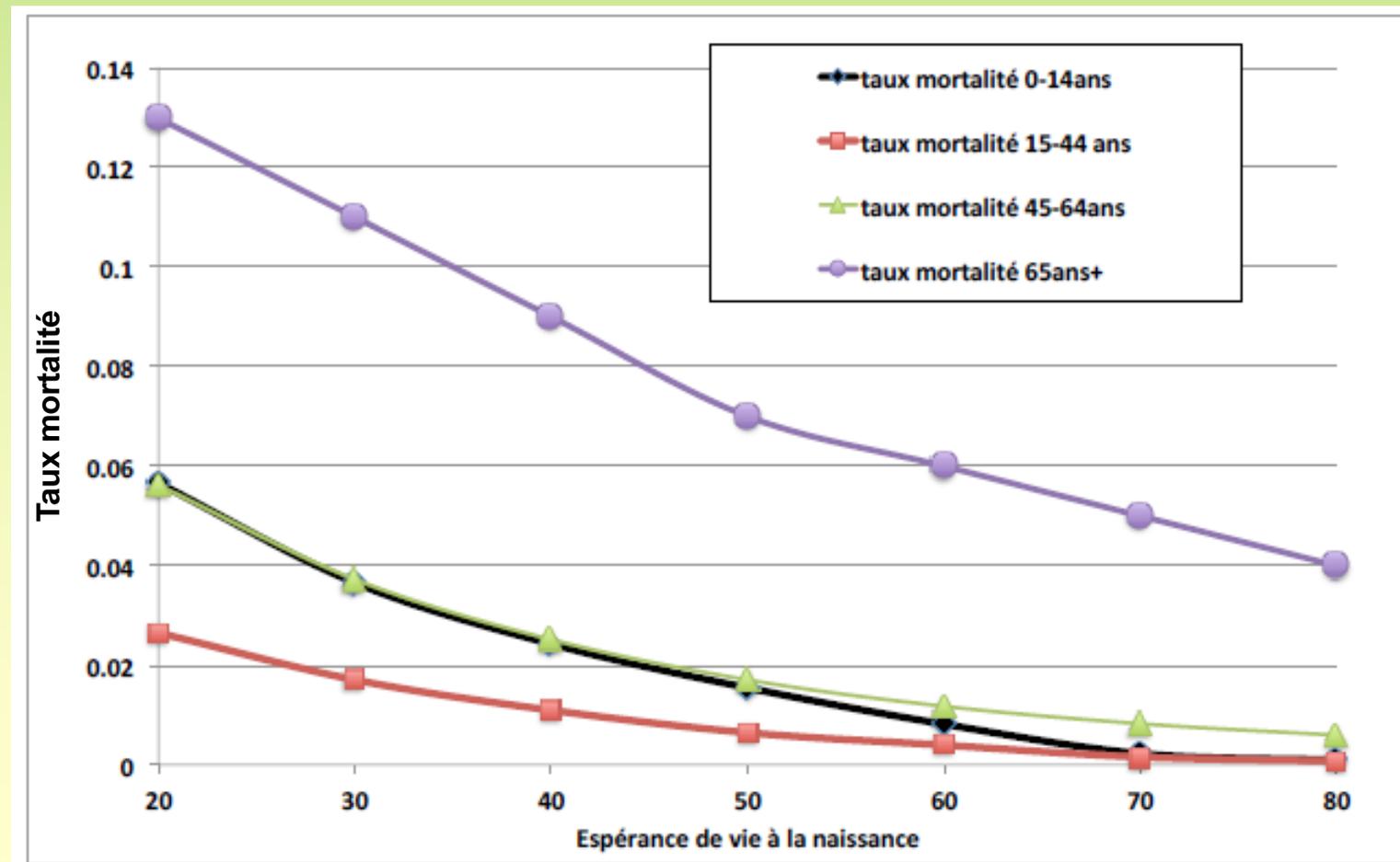
## Démographie et mortalité

Lien entre mortalité de chaque tranche de population et espérance de vie :

*Nb de morts par an d'une tranche de population*

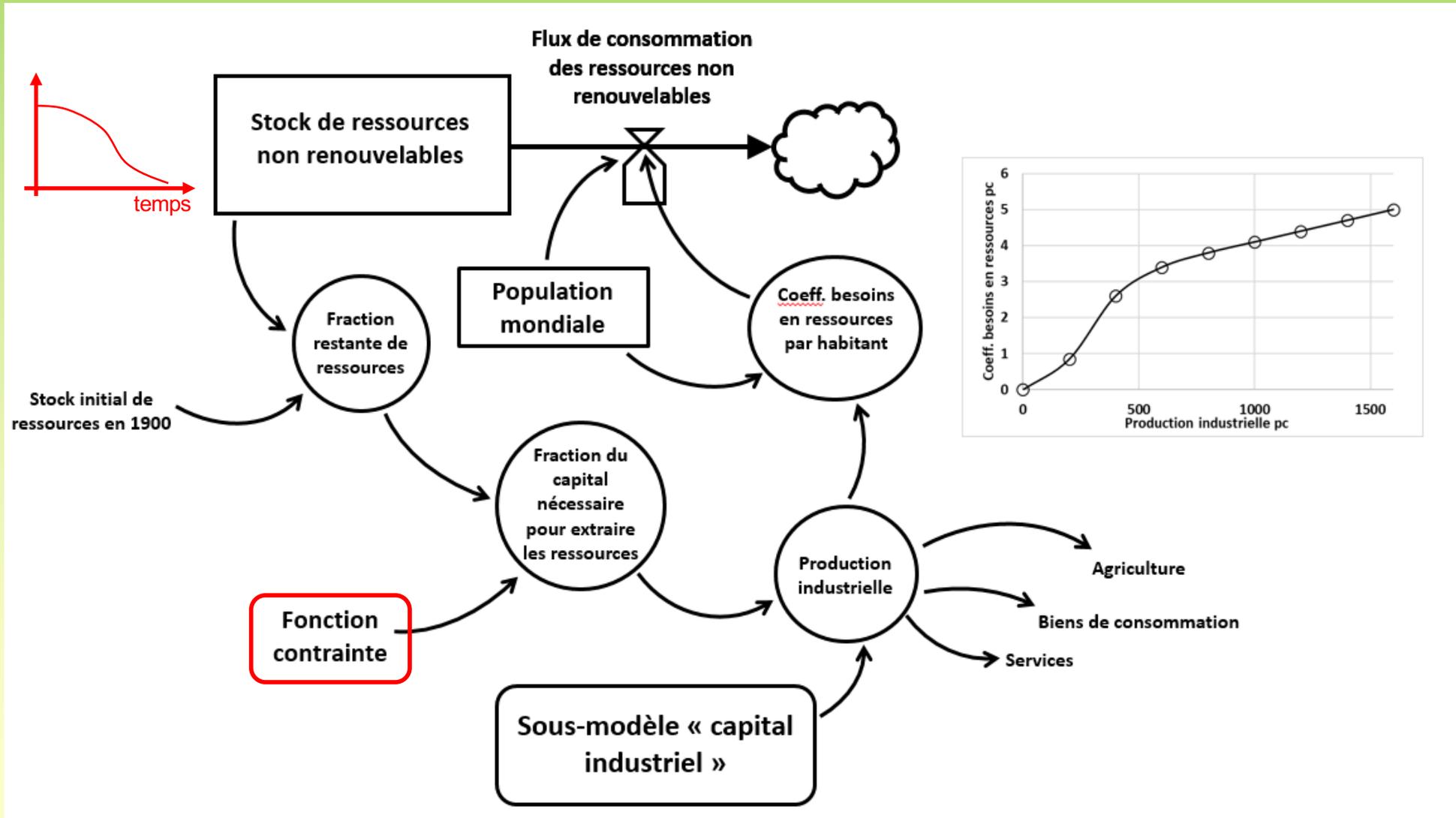
*= taux de mortalité de la tranche × nb de personnes dans cette tranche*

Avec *taux de mortalité de la tranche = f(espérance de vie)*



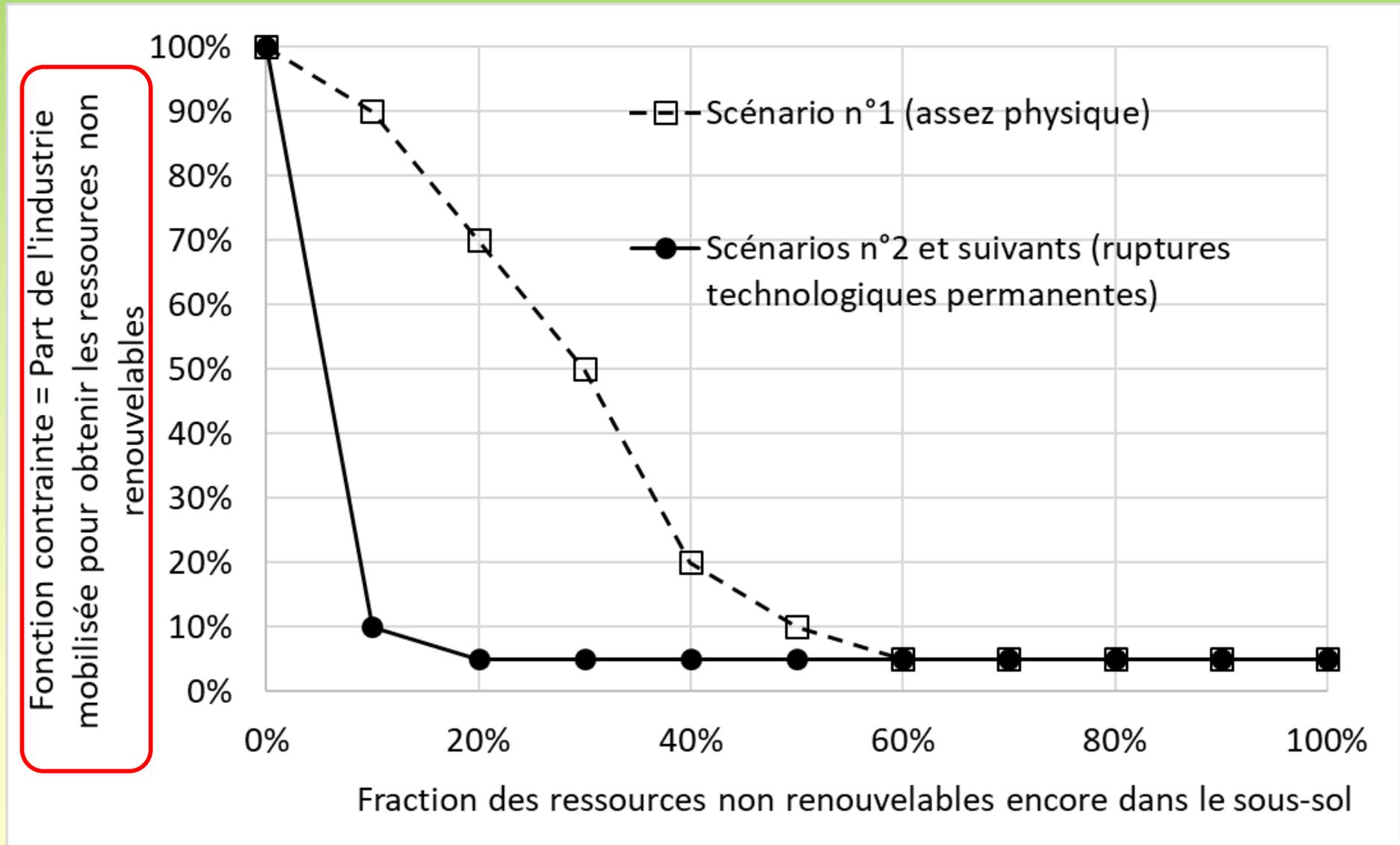
# Les boucles de rétroaction de WORLD3

## Ressources non renouvelables : le coup de génie de WORLD3

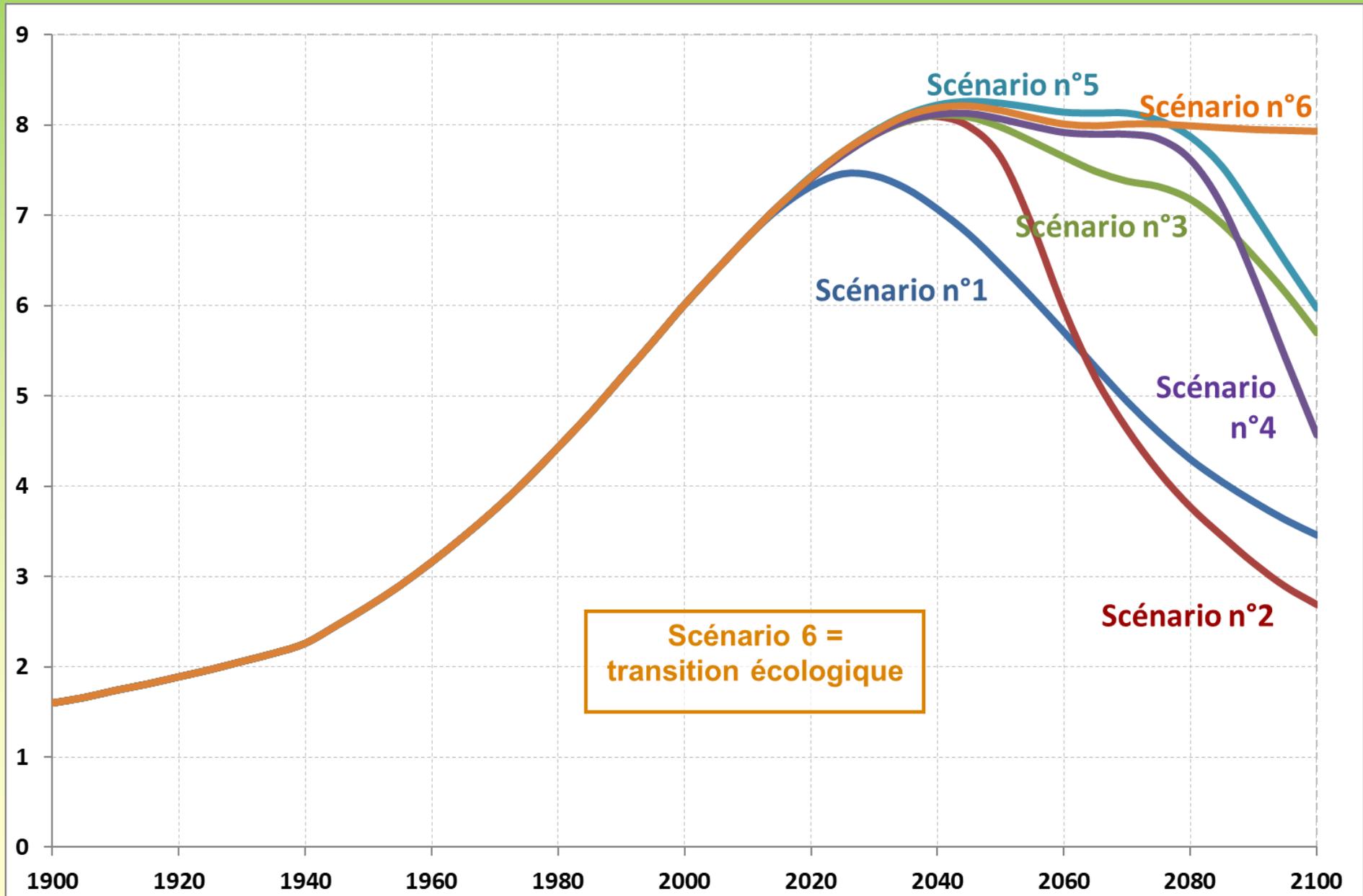


# Les boucles de rétroaction de WORLD3

## « Mining » des ressources non renouvelables



# Les résultats de *WORLD3* : population



Scénario 6 =  
transition écologique