

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) ⇒ **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)

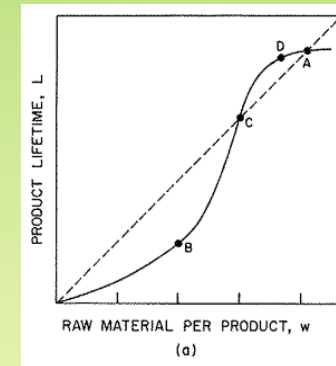
$$S = \frac{P \cdot W}{L}$$

W : quantité de matériau par objet

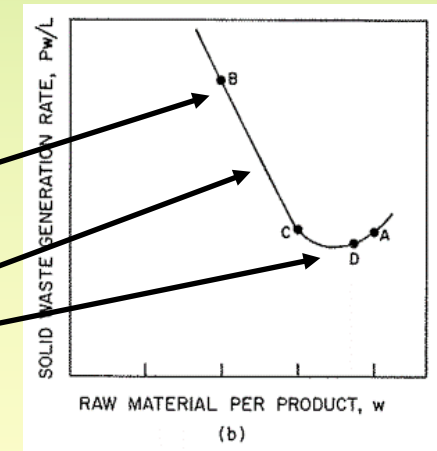
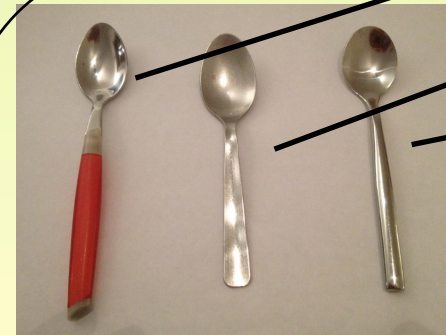
- Réduire la quantité de matériau utilisé dans chaque produit (dans une proportion adéquate)
- Mieux concevoir les produits

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^{ème} vie ? 3^{ème} vie ? Attention...



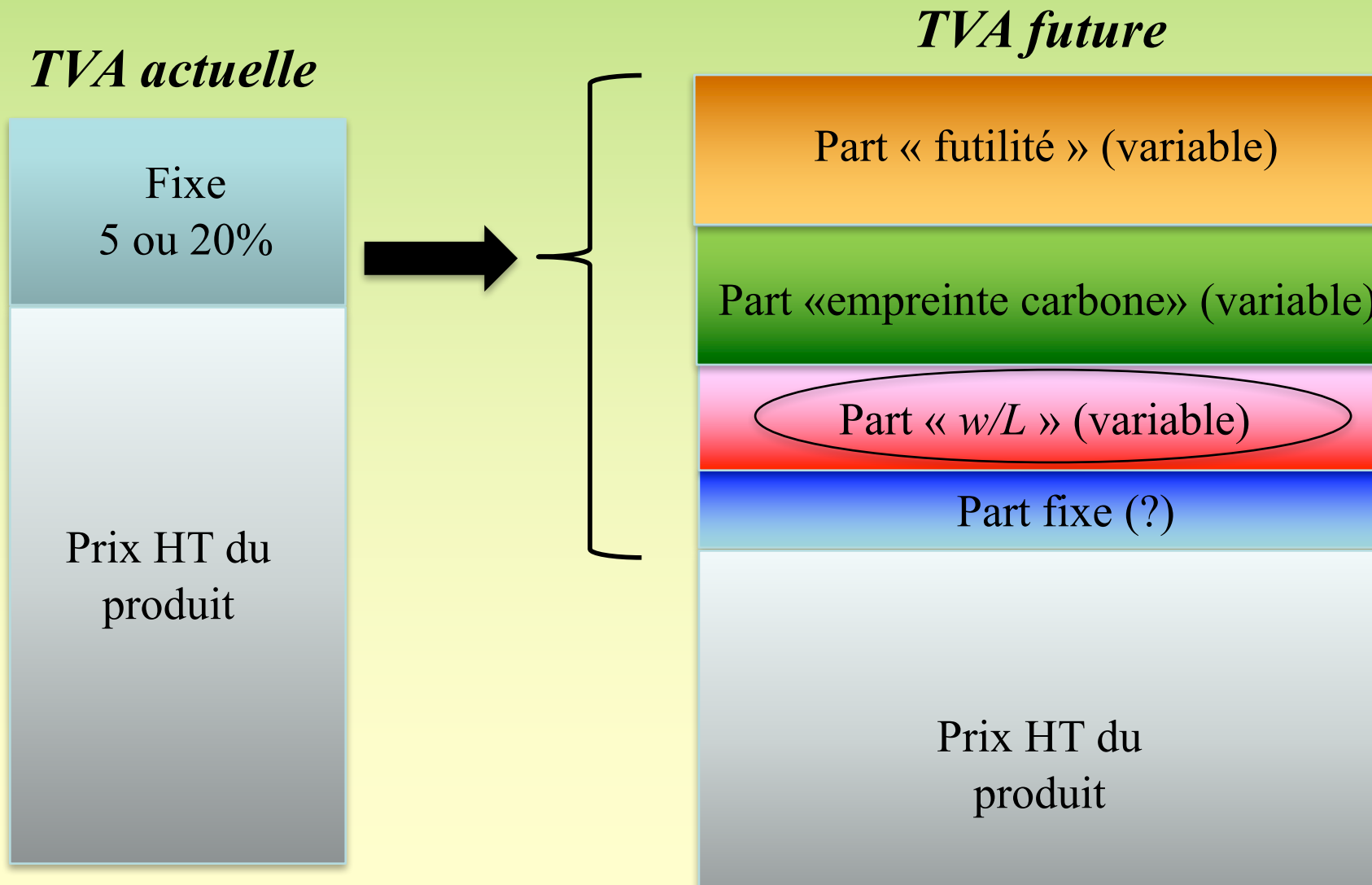
Taxons en fonction de W/L !



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

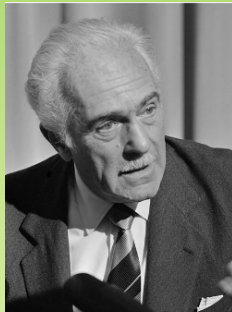
1/ La dynamique des systèmes (vue de ma fenêtre)

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)

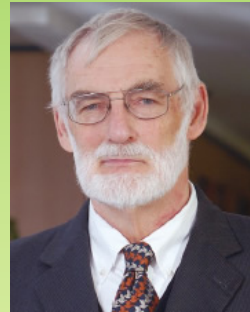
Club de Rome, rapports Meadows et *WORLD3*



Aurelio Peccei



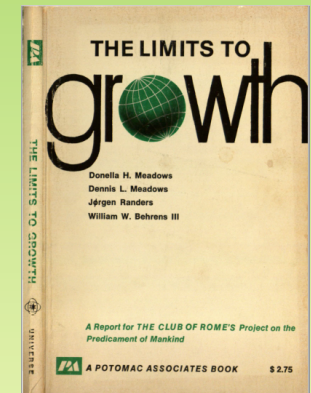
Jay Forrester



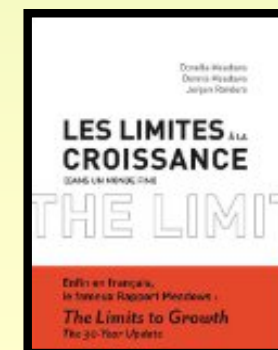
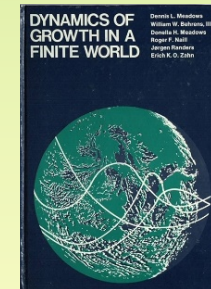
Dennis Meadows



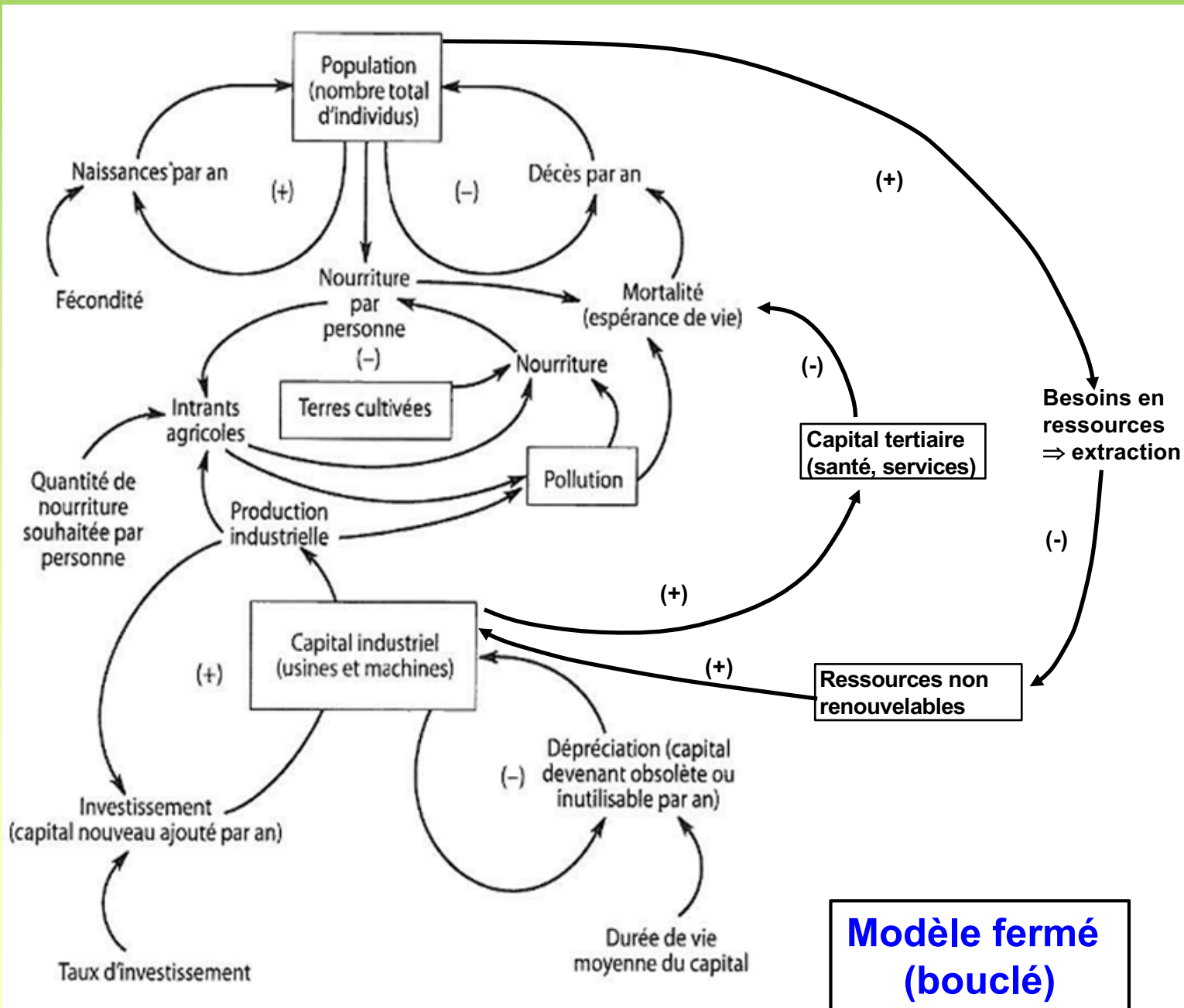
Donella Meadows



- 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* :

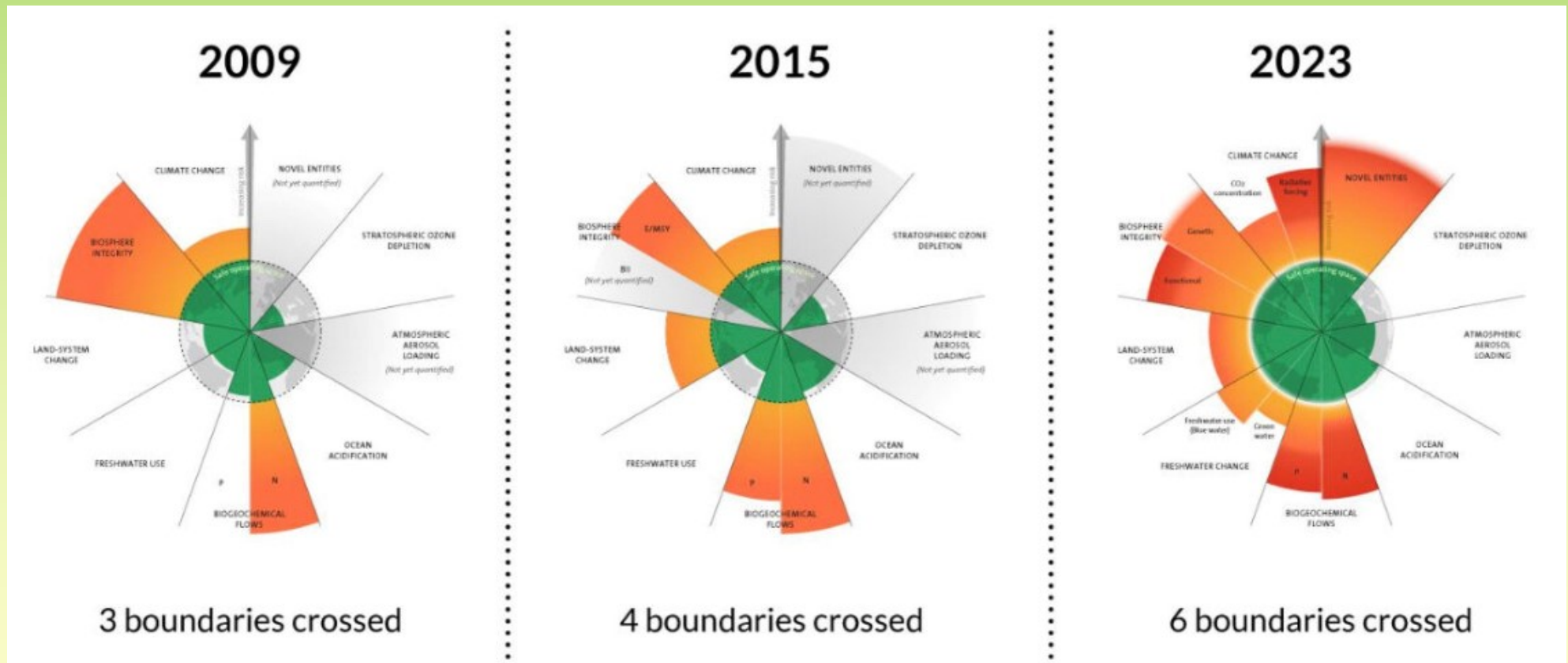
- Le changement climatique
- L'accès à l'eau douce
- Les cycles biochimiques (azote, phosphore...)
- L'acidification des océans
- L'érosion de la biodiversité
- Les inégalités sociales
- Les risques de guerre
- Les différentes régions du monde
- Les tensions économiques

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^{ième} 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

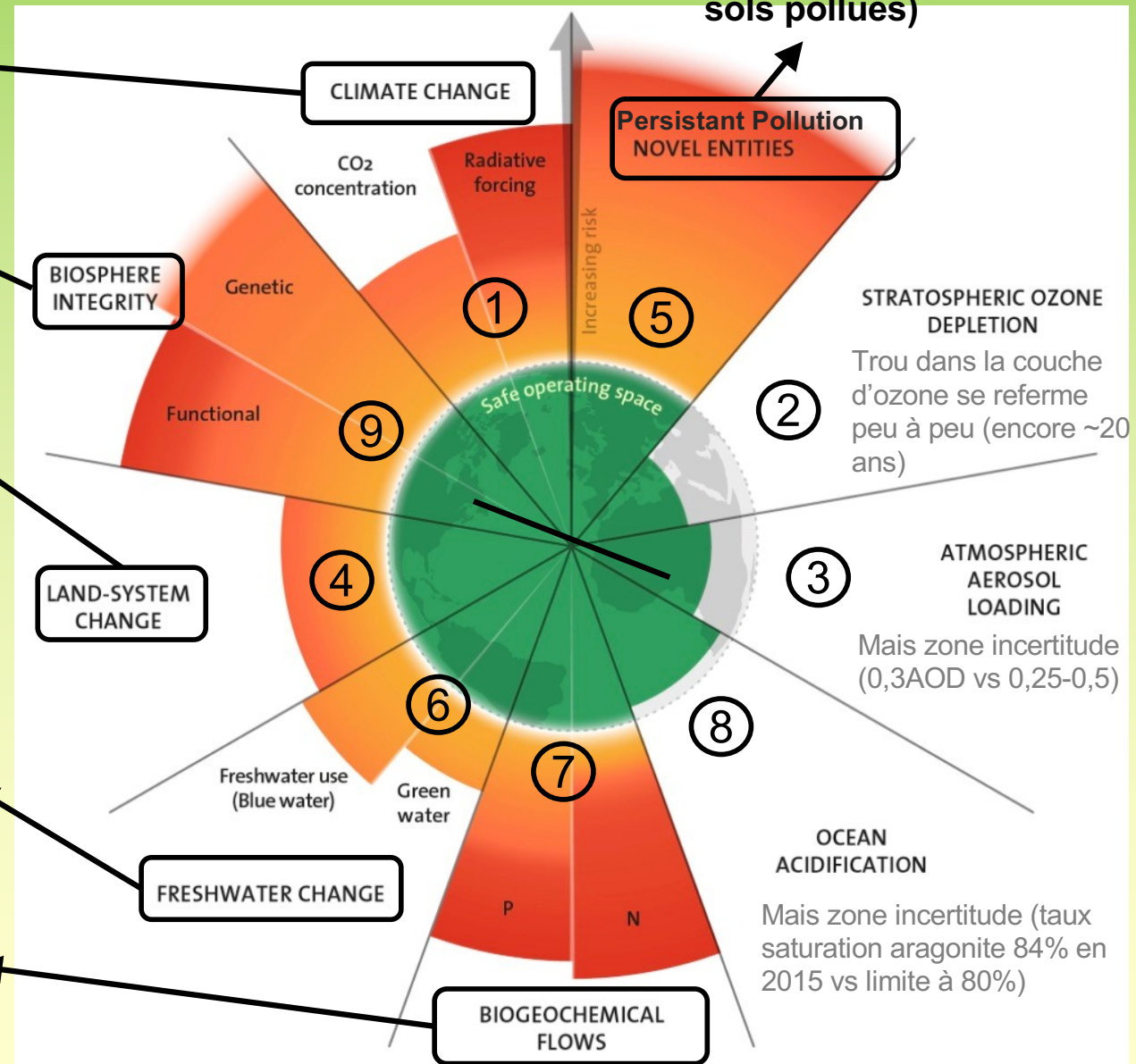
Effondrement espèces 10 à 100x plus rapide que tolérable

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

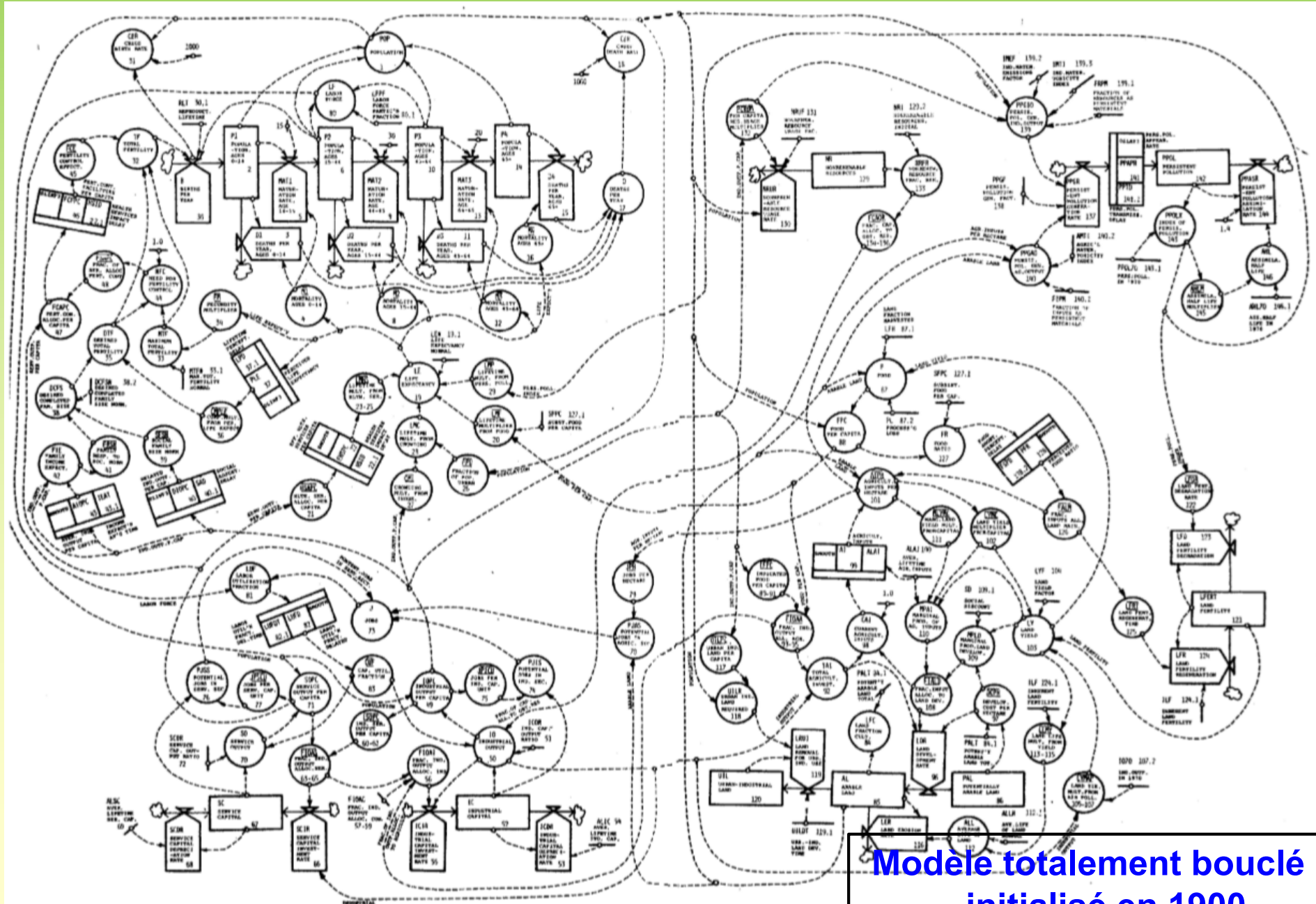
Blue water = eau des rivières, lacs et nappes; franchie en 2022 (conso >4000km³/an).

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



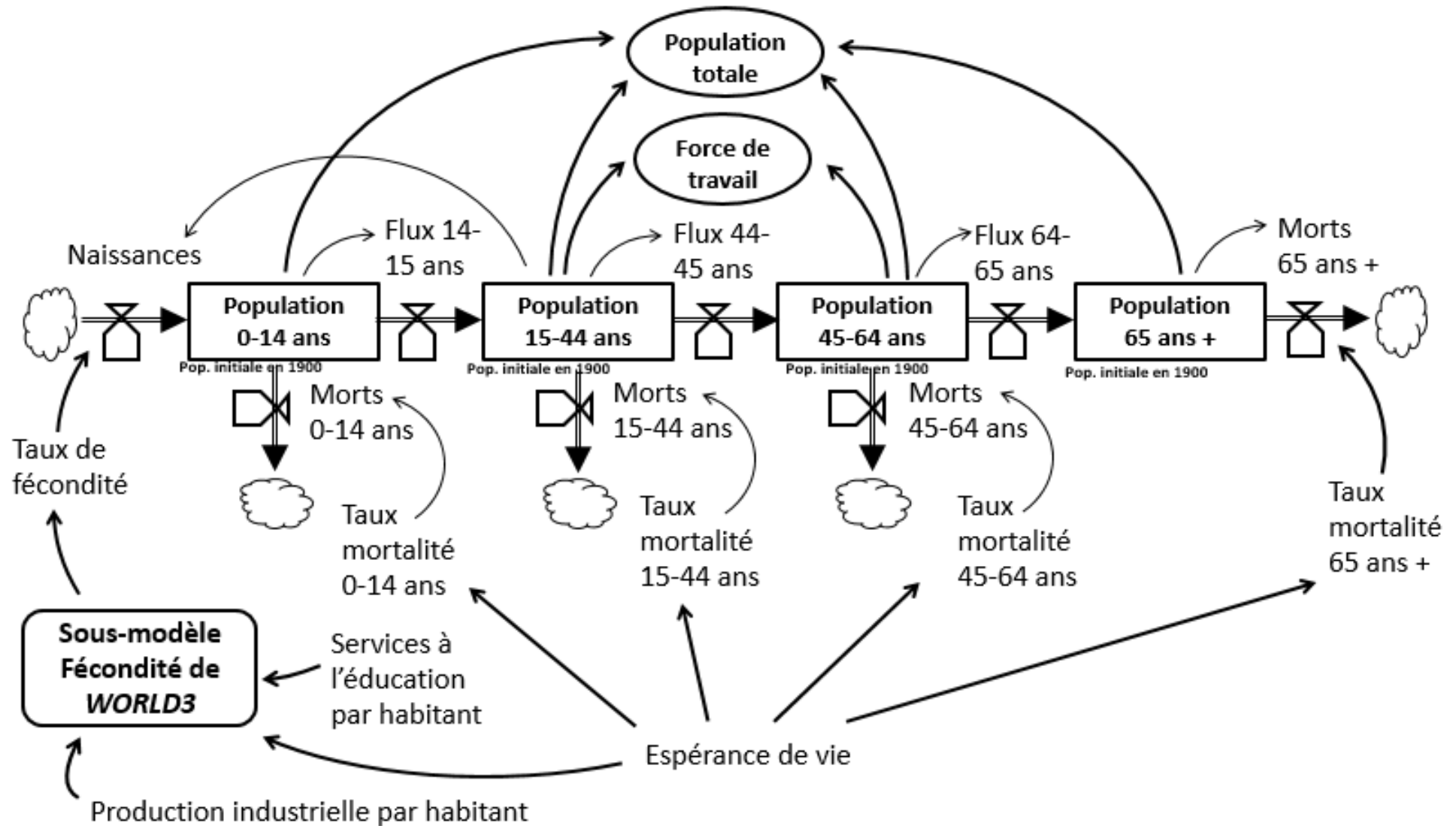
WORLD3 : modèle original 1972



Modèle totalement bouclé & initialisé en 1900

Les boucles de rétroaction de WORLD3

Démographie



Les boucles de rétroaction de WORLD3

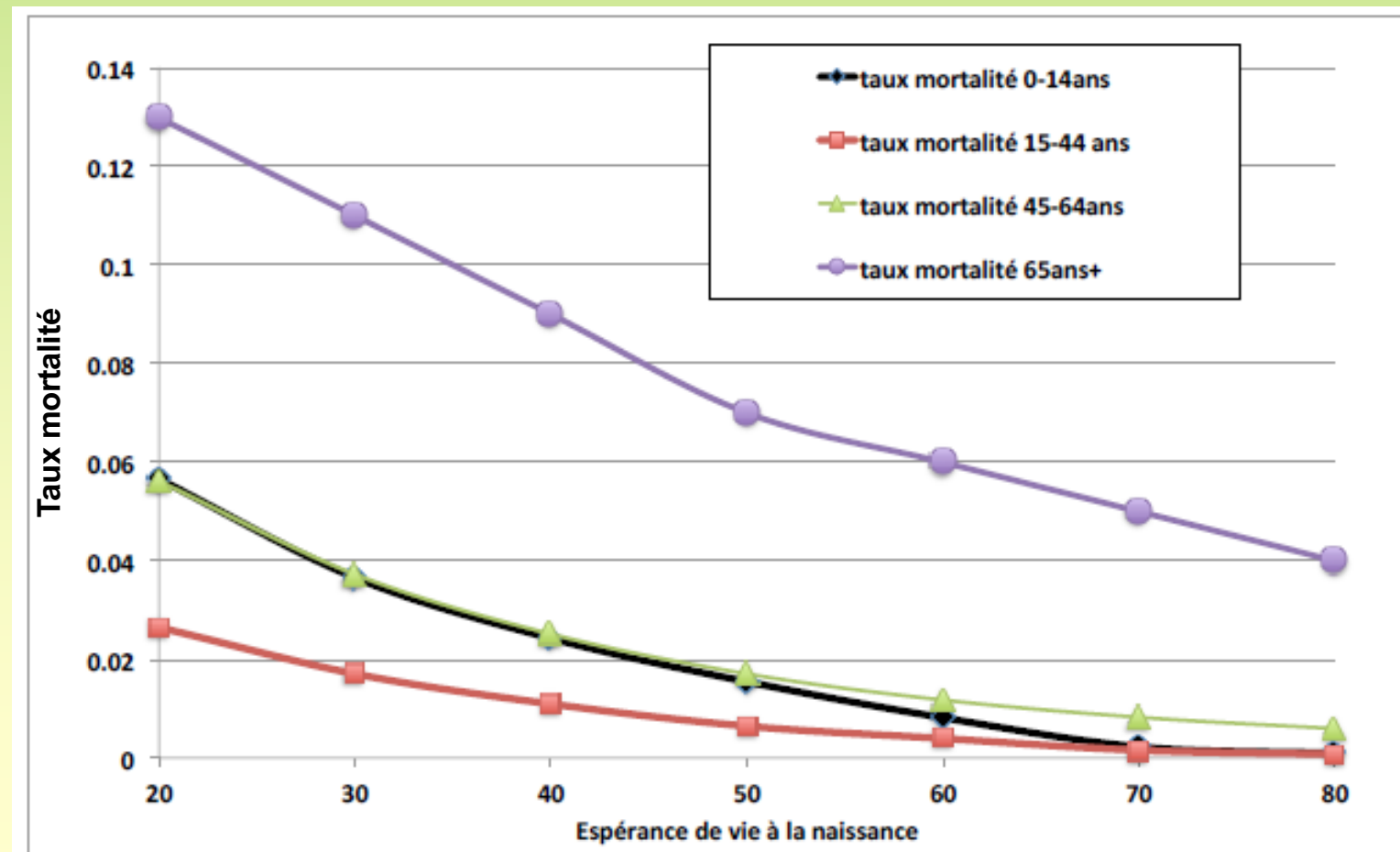
Démographie et mortalité

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

Nb de morts par an d'une tranche de population

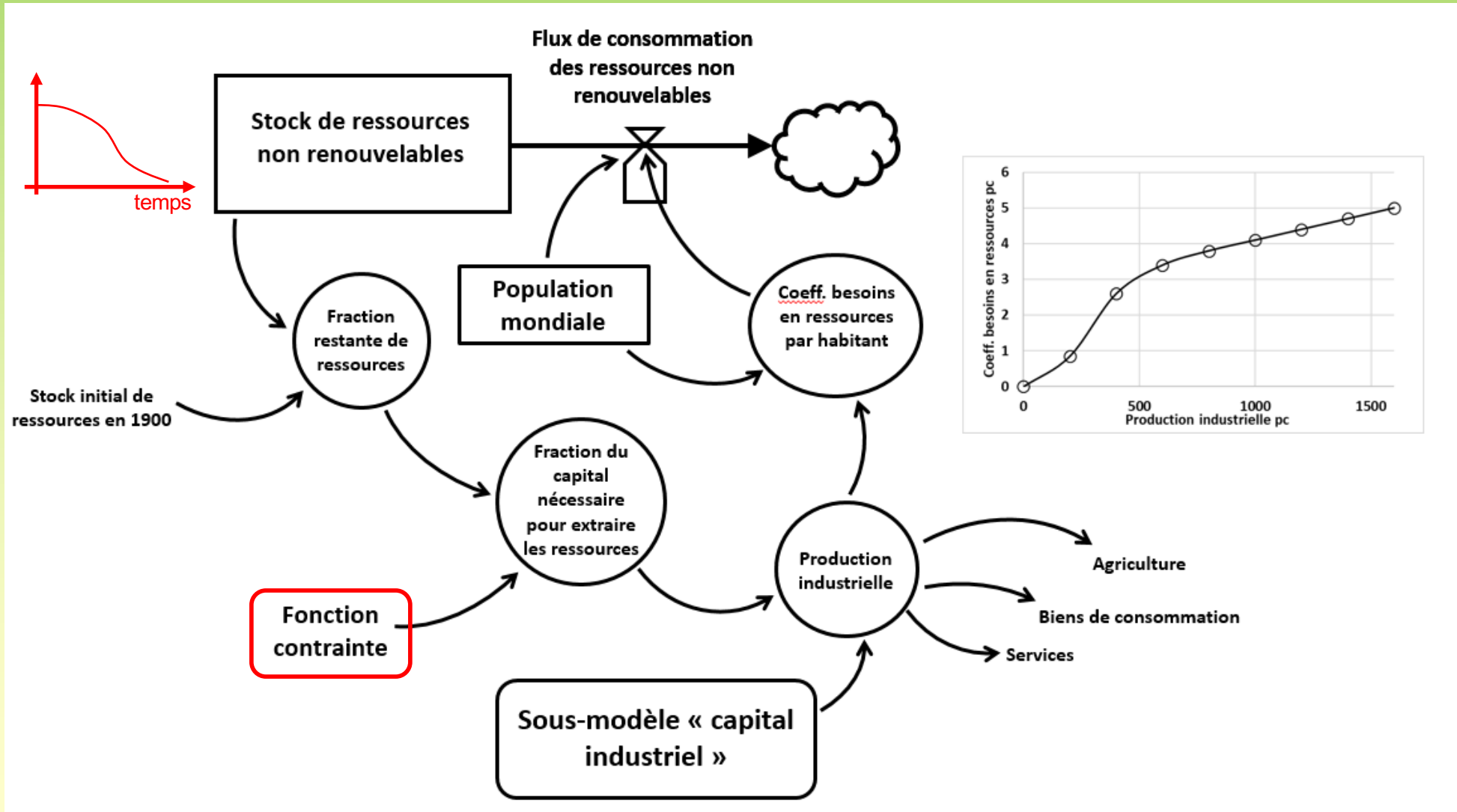
= taux de mortalité de la tranche × nb de personnes dans cette tranche

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



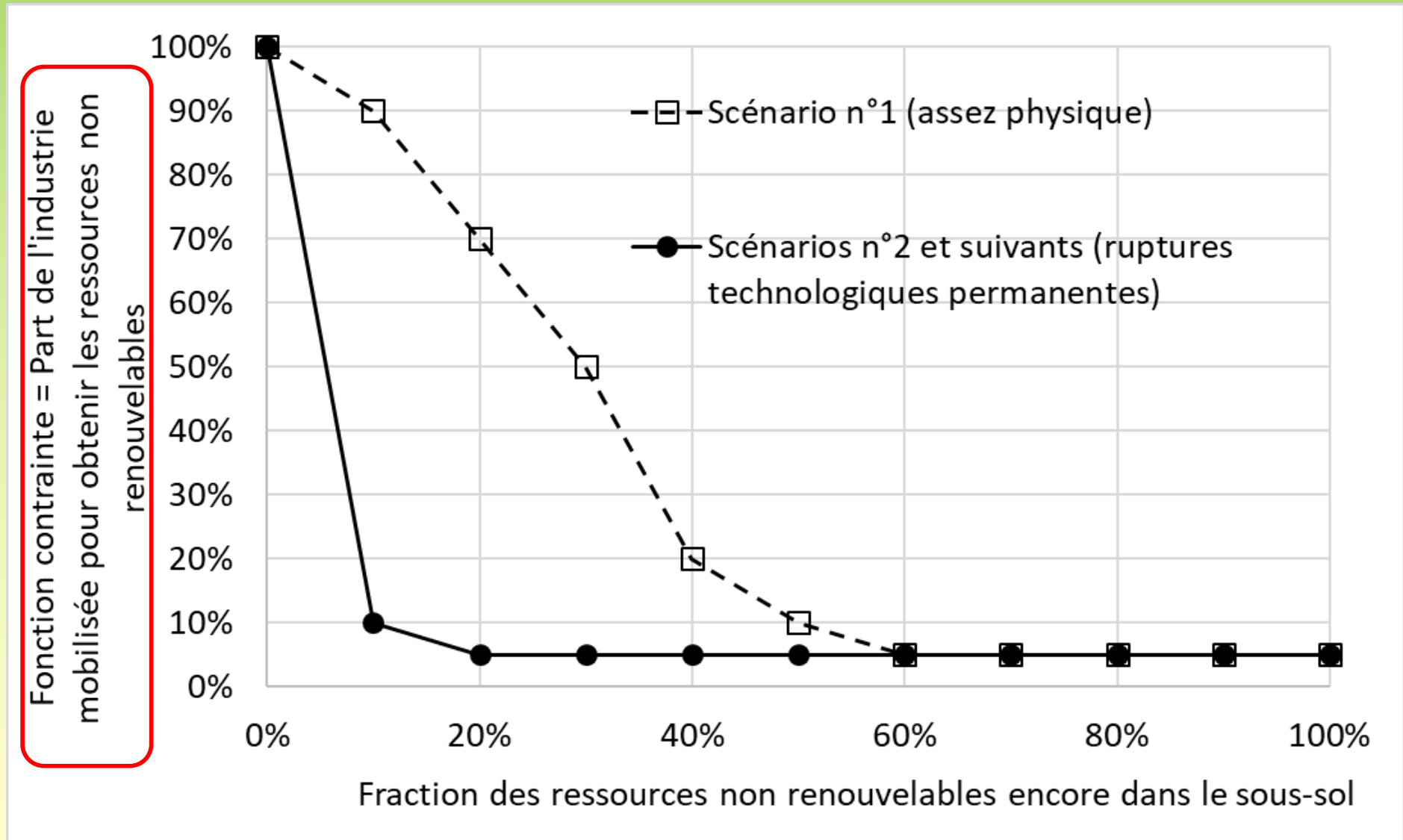
Les boucles de rétroaction de WORLD3

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

