Le Mans Université | Notre ambition, c'est vous.

UEO « Limites planétaires et risques d'effondrement »

Dominique Py

2022-2023

Plan de l'UEO

I. Les limites de la planète
II. L'effondrement des sociétés complexes
III. Fausses solutions et vrais blocages
IV. Se préparer et s'adapter

II L'effondrement des sociétés complexes

1. **Croissance et dépassement**
2. **« Limits to growth »: le rapport du Club de Rome et le modèle World3**
3. **« Effondrement »: l'étude de Jared Diamond**
4. Effondrement et sociétés complexes: le modèle de Joseph Tainter
5. Les cinq stades de l'effondrement, Dmitry Orlov
6. Effondrement et œuvres de fiction

La légende du jeu d’échecs

Le roi des Indes voulut offrir une récompense à l’inventeur du jeu d’échecs. Celui-ci lui demande de déposer un grain de riz sur la première case de l’échiquier, deux sur la deuxième, quatre sur la troisième, et ainsi de suite pour remplir l'échiquier en doublant la quantité de grain à chaque case.

Le roi accepte cette récompense d’apparence modeste… mais ruine ainsi son royaume

La légende du jeu d'échecs

Case 1: 2^0 = 1 grain
Case 2: 2^1 = 2 grains
Case 3: 2^2 = 4 grains
…
Case 64: 2^{63} grains = $9{,}22 \times 10^{18}$

Total = 18×10^{18} = 18 milliards de milliards
= 720 millions de tonnes (si 1 grain = 0,04g)
= 1 000 années de production mondiale

Progression **exponentielle**: 2^n

Taux de croissance

Un pays a un taux de croissance économique de 5% par an. Au bout de combien d'année son PIB aura-t-il doublé? On suppose que le PIB est de 100 l'année de référence

Année 0: 100

Année 1: 105

Année 2: 110,25

…

…

Taux de croissance

Avec un taux de croissance de 5%, le PIB double tous les 14 ans environ.

Année 0: 100

Année 1: 105

Année 2: 110,25

…

…

Année 14: 197,99

Année 15: 207,89

Taux de croissance

Pour des taux faibles (<10%), le nombre d'années nécessaires au doublement peut être *estimé* par 70/taux

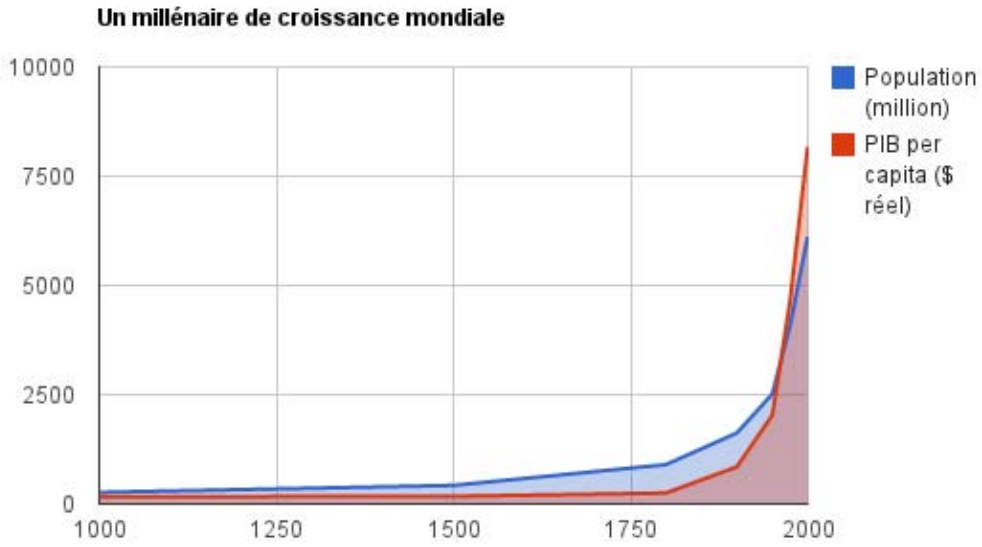
Taux	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	10 %
Années	72	36	24	18	14	12	10	7

Croissance de 2% = le PIB double tous les 36 ans

→ progression exponentielle de la production et de la consommation

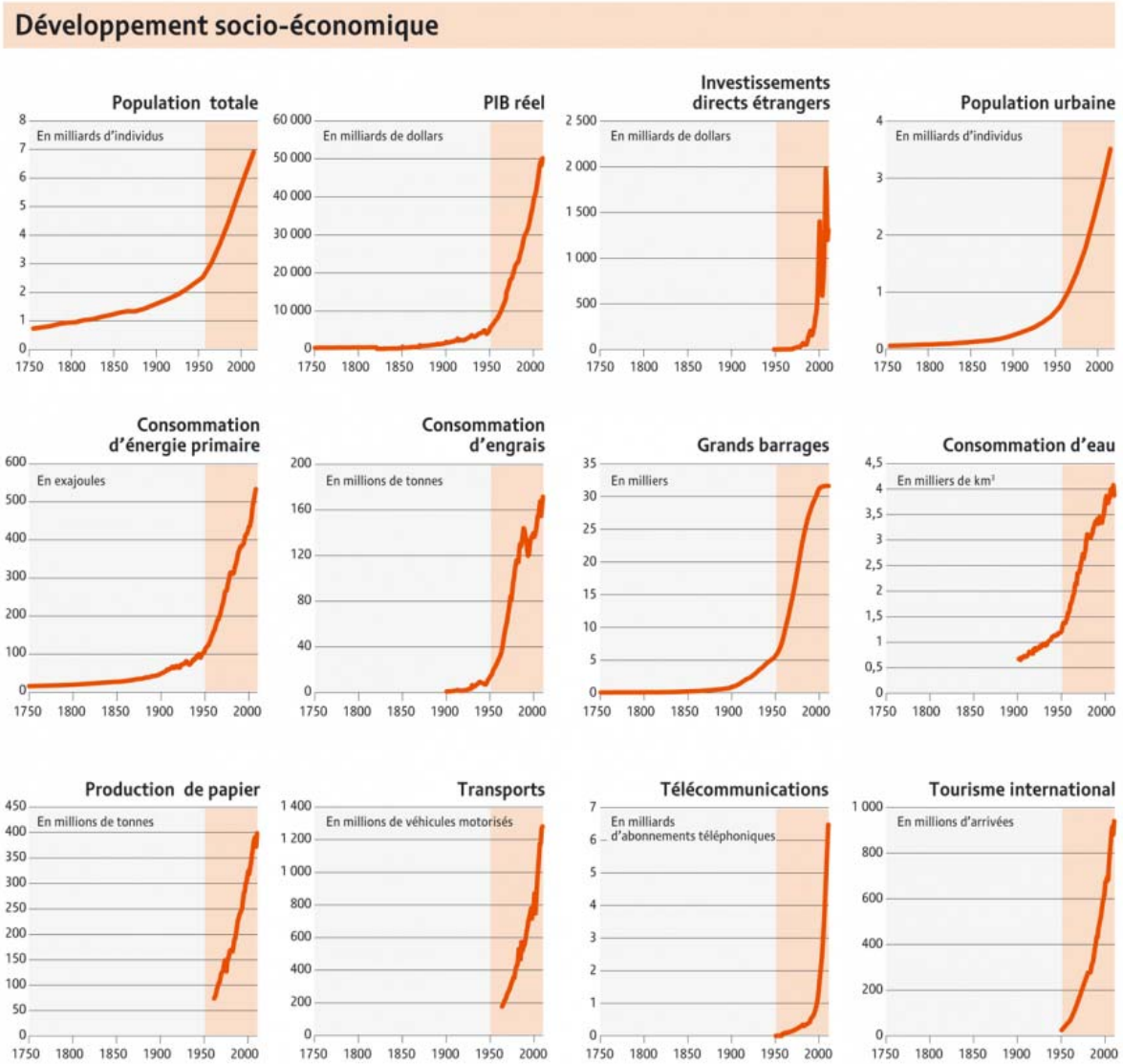
Croissance mondiale du PIB

Années	Taux de croissance annuel mondial
1820-1870	0,93%
1870-1913	2,11%
1913-1950	1,85%
1950-1973	4,91%
1973-2008	3,25%
2009	-1,10%
2010-2019	3,16%
2020	-3,11%
2021	5,86%



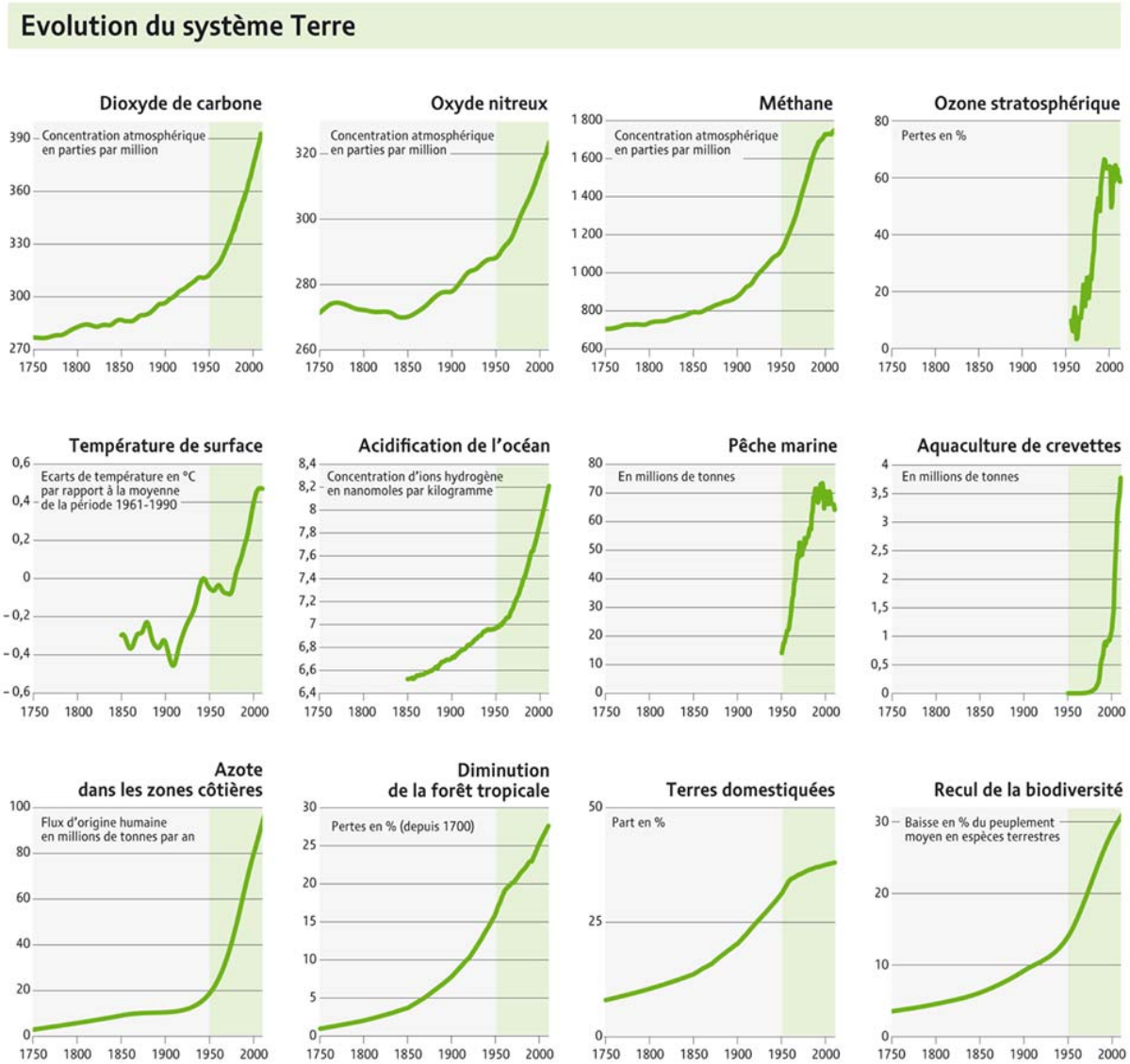
(Banque mondiale) (Wikipédia)

La « grande accélération »



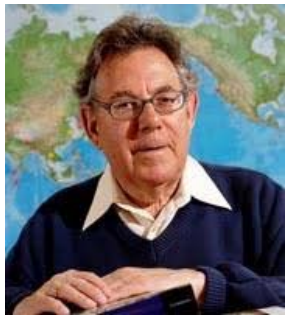
Source : Will Steffen, Wendy Broadgate, Lisa Deutsch, Owen Gaffney et Cornelia Ludwig, « The trajectory of the Anthropocene : the Great Acceleration », *The Anthropocene Review*, 2015 (données : International Geosphere-Biosphere Programme et Stockholm Resilience Centre).

La « grande accélération »



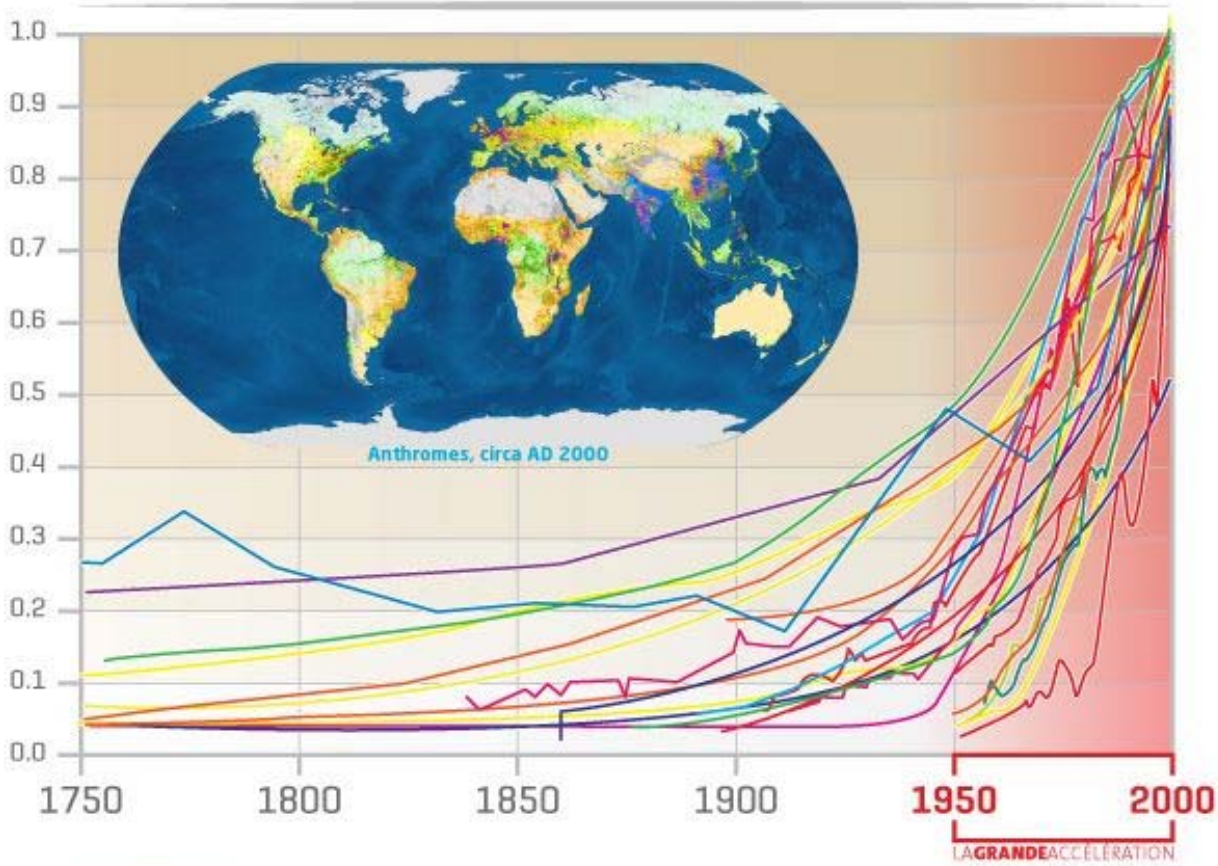
Notion d'«anthropocène »

- Terme proposé par le prix Nobel de chimie Paul Crutzen
- Désigne l'époque géologique qui succèderait à l'Holocène (10 000 ans) depuis la révolution industrielle
- Période ou l'activité humaine serait devenue la force géologique dominante
- Le terme est de plus en plus utilisé mais n'est pas officiel, il fait toujours débat



L'Anthropocène

Vingt-quatre indicateurs ; un graphique



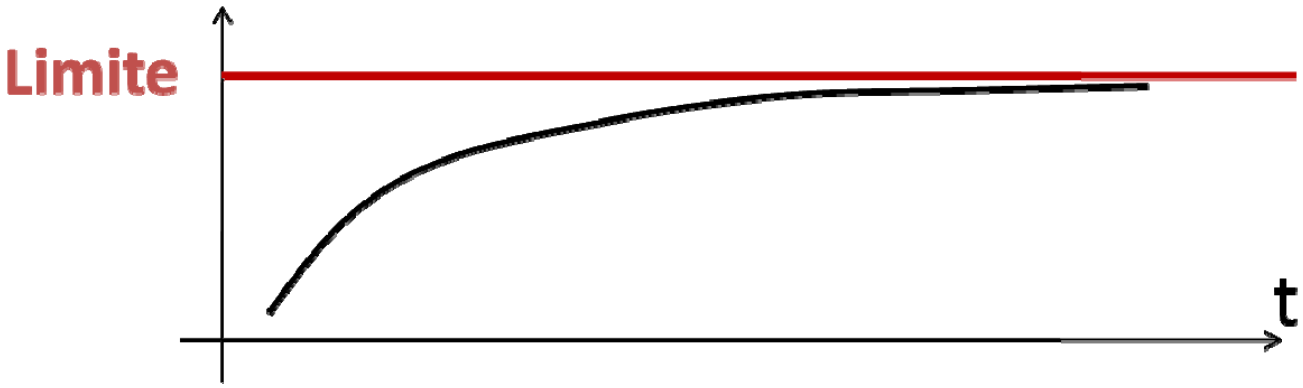
LES INDICATEURS:

1. Population mondiale
2. Total du PIB réel
3. Investissements directs à l'étranger
4. Concentration du CO_2 atmosphérique
5. Concentration du N_2O atmosphérique
6. Concentration du CH_4 atmosphérique
7. Appauvrissement de l'ozone atmosphérique
8. Températures surfaciques de l'hémisphère Nord
9. Grandes inondations
10. Construction des barrages de rivières
11. Utilisation de l'eau
12. Consommation de fertilisants
13. Population urbaine
14. Consommation de papier
15. Nombre de restaurant McDonald
16. Nombre des pêcheries exploitées
17. Structures des zones côtières
18. Biogéochimie des zones côtières
19. Véhicules motorisés
20. Nombre de téléphones
21. Tourisme international
22. Disparition des forêts tropicales et prairies
23. Terres domestiquées
24. Nombre d'espèces éteintes

(Institut Michel Serres)

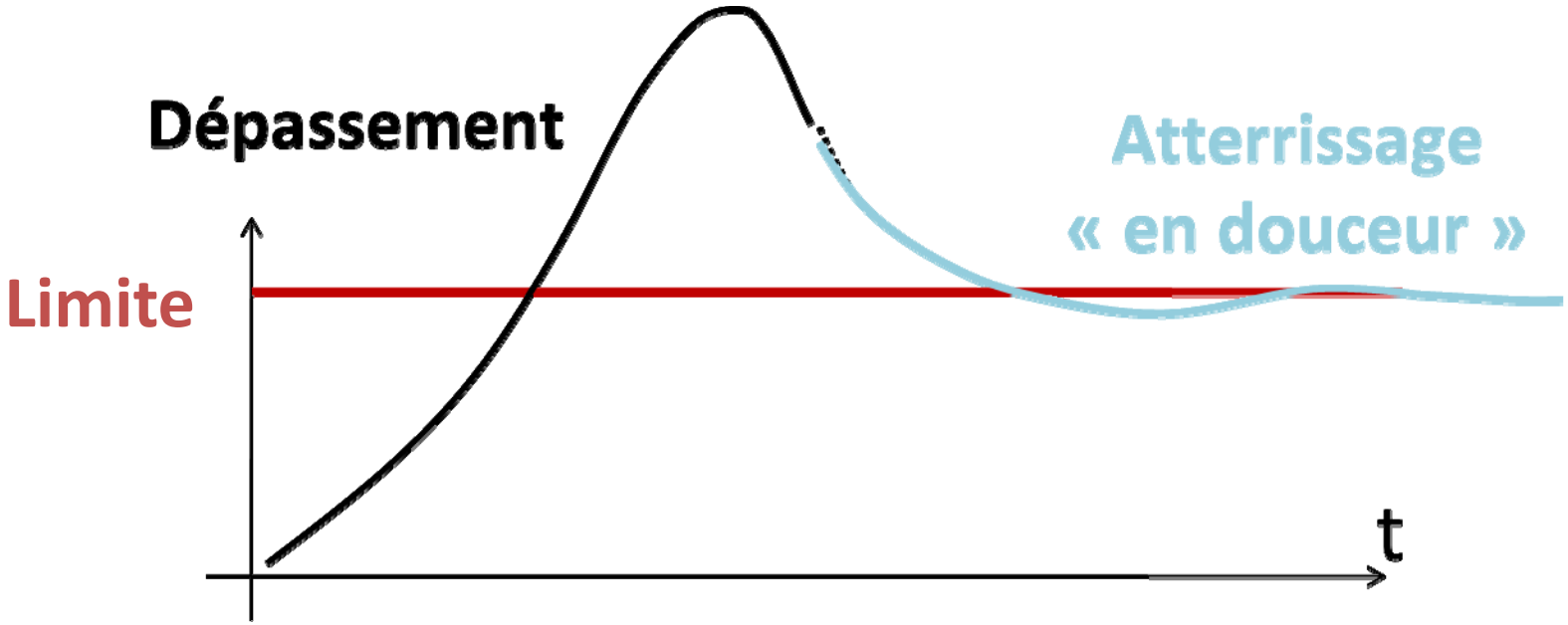
Croissance et limites

Que se passe-t-il quand un système en croissance est confronté à une limite de ressources?



1) La croissance ralentit et le système atteint un niveau stationnaire durable

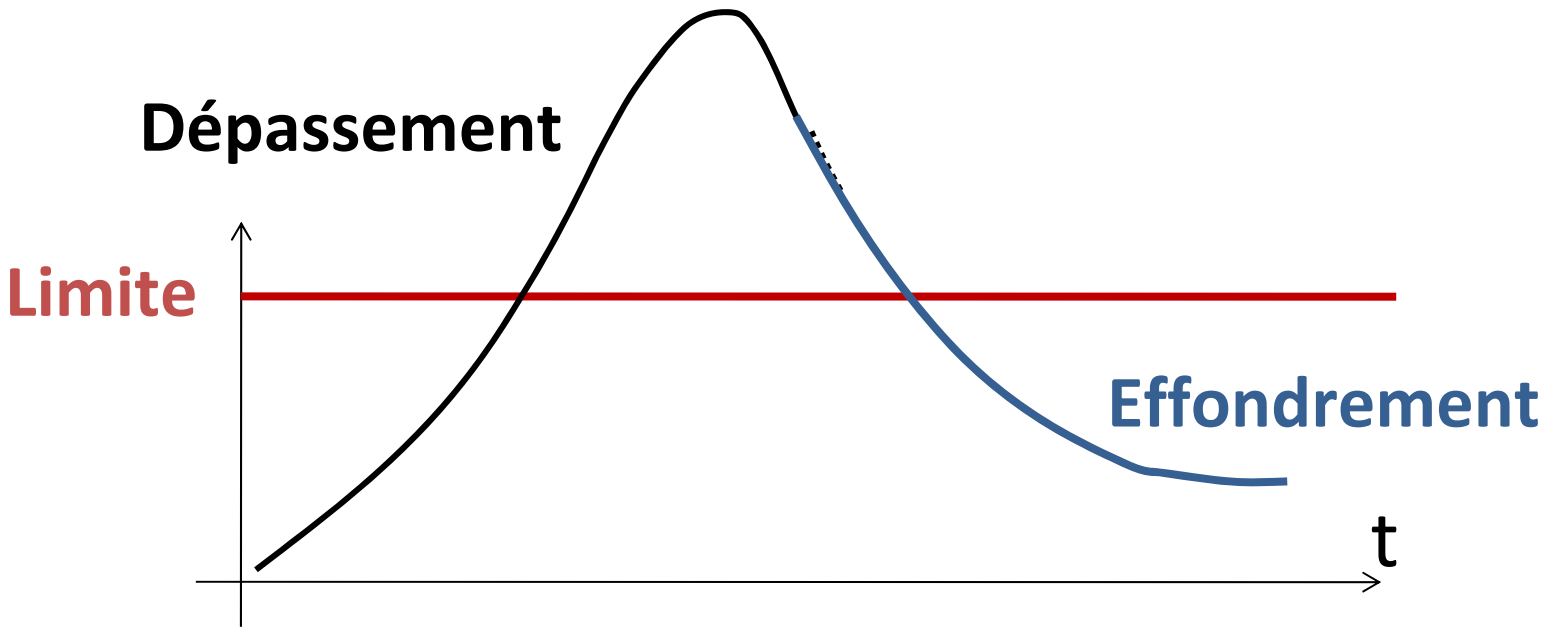
Croissance et limites



2) La limite est franchie (dépassement) puis le système oscille autour de la limite

Exemple: relations prédateur-proie

Croissance et limites



3) La limite est franchie (dépassement) puis le système décroît rapidement (effondrement)

Exemple: introduction de rennes sur une île d'Alaska

II L'effondrement des sociétés complexes

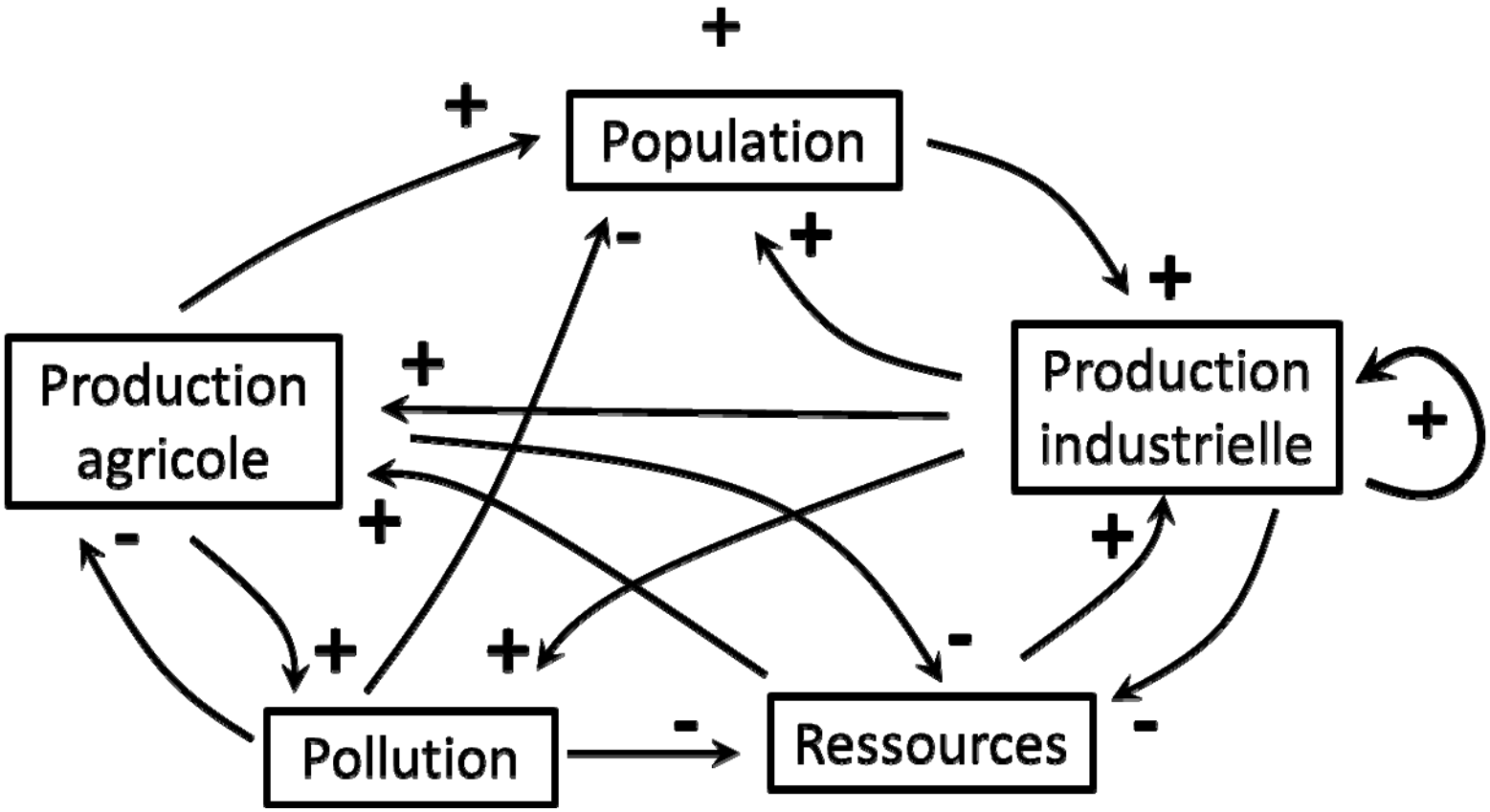
1. Croissance et dépassement
2. **« Limits to growth »: le rapport du Club de Rome et le modèle World3**
3. « Effondrement »: l'étude de Jared Diamond
4. Effondrement et sociétés complexes: le modèle de Joseph Tainter
5. Les cinq stades de l'effondrement, Dmitry Orlov
6. Effondrement et œuvres de fiction

« Limits to growth »: le rapport du Club de Rome

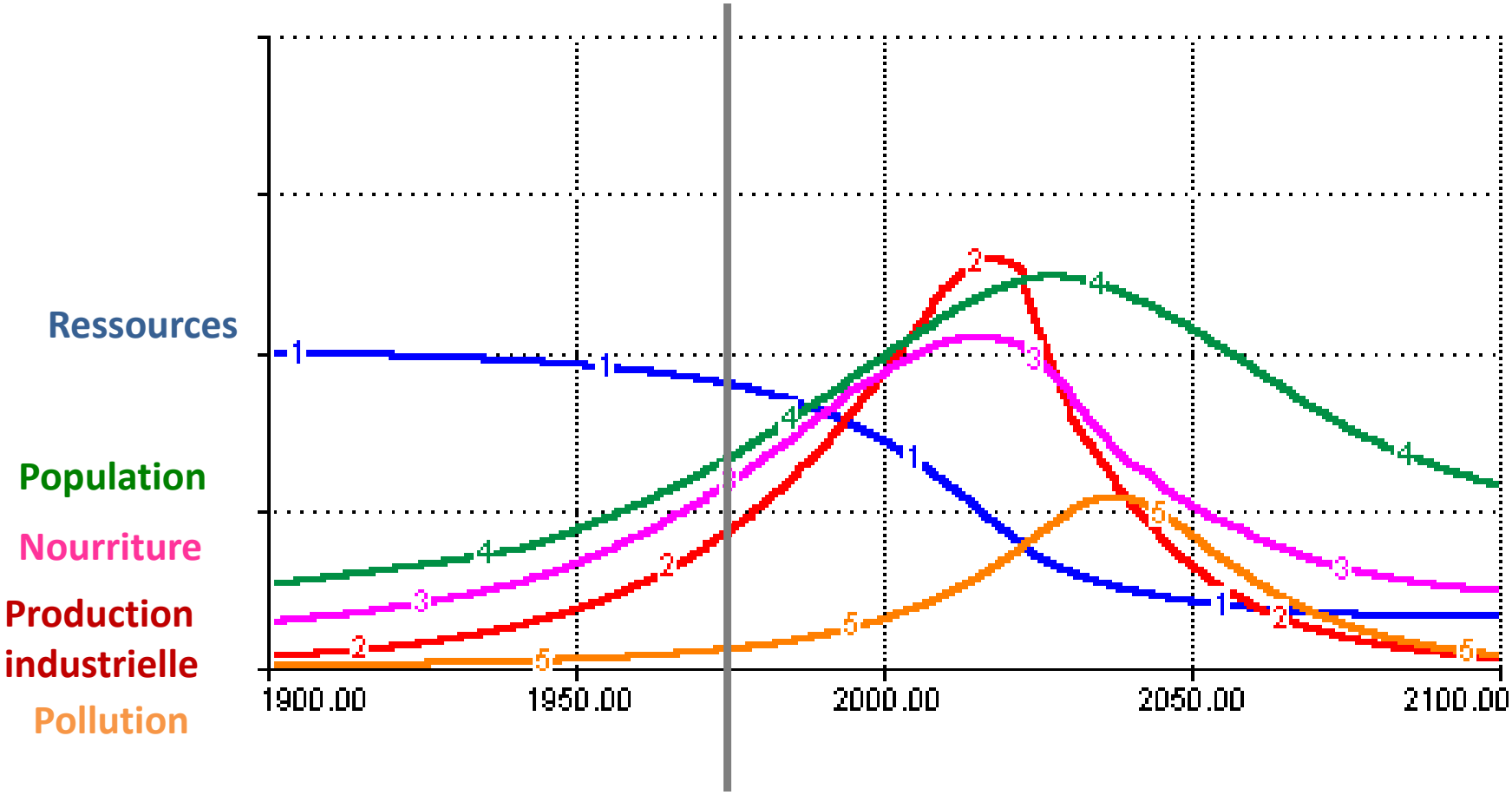
- Le Club de Rome: groupe de réflexion international fondé en 1968 (http://www.clubofrome.org/)
- Objectif: réfléchir aux grands défis de la société
- En 1970, il commande un rapport à une équipe du MIT (Dennis et Donella Meadows, Jorgen Randers)
- Publié en 1972, « Limits to growth » (traduit en français par « Halte à la croissance? ») s'appuie sur le modèle informatique World 3 pour examiner différents scénarios à l'horizon 2100

Les modèles World (1, 2, 3)

Modèles intégrés économie-environnement



Scénario de référence « standard run »



« Limits to growth » 1972

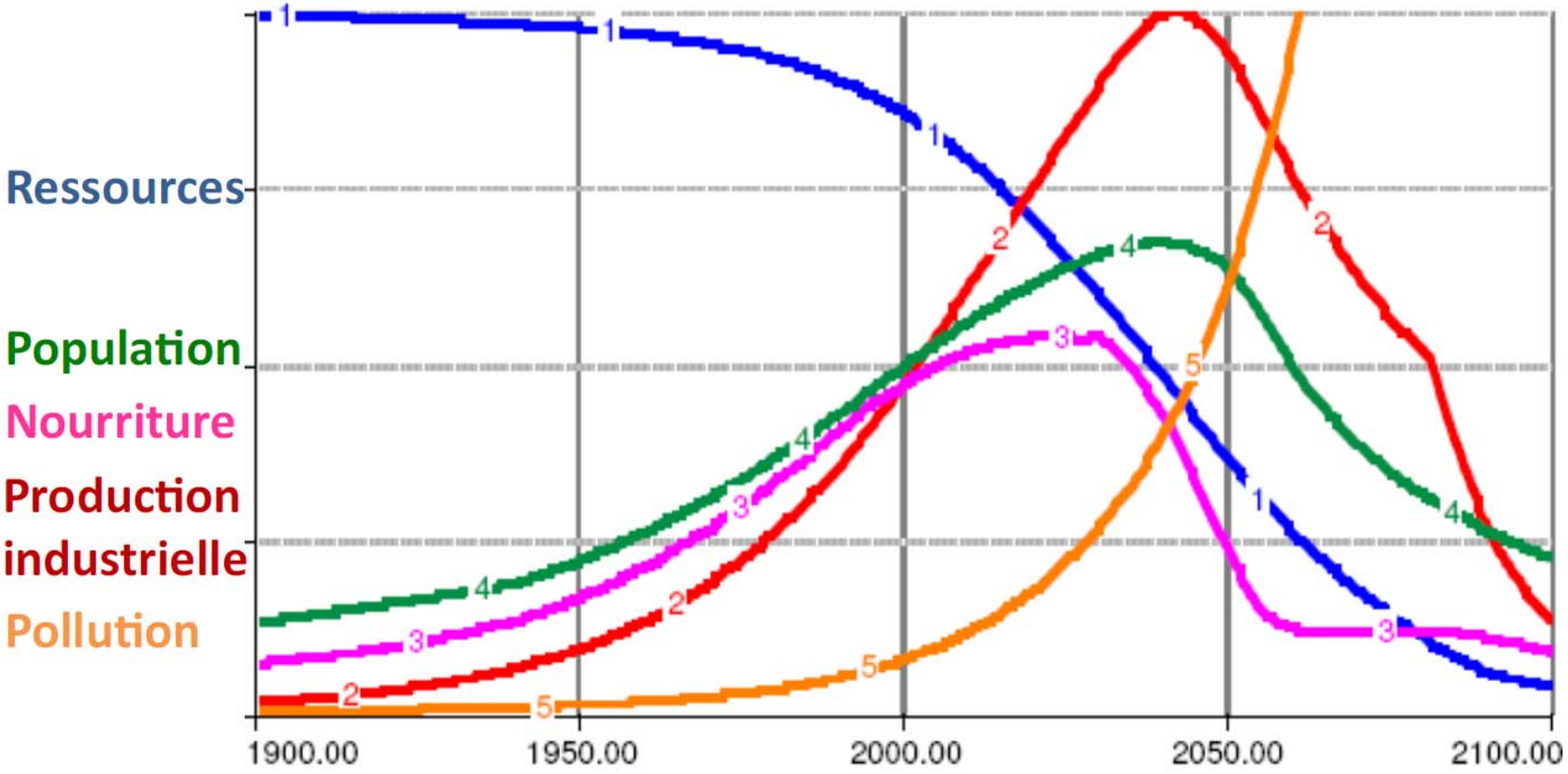
Scénarios alternatifs

- Scénarios 2 à 6: ajout de solutions technologiques
- Scénarios 7 et 8: ajout de politiques sociales volontaristes
- Scénario 9 et 10: les deux ensemble (mis en place plus ou moins tôt)

Scénario 2

Ressources non renouvelables abondantes

Crise de pollution globale



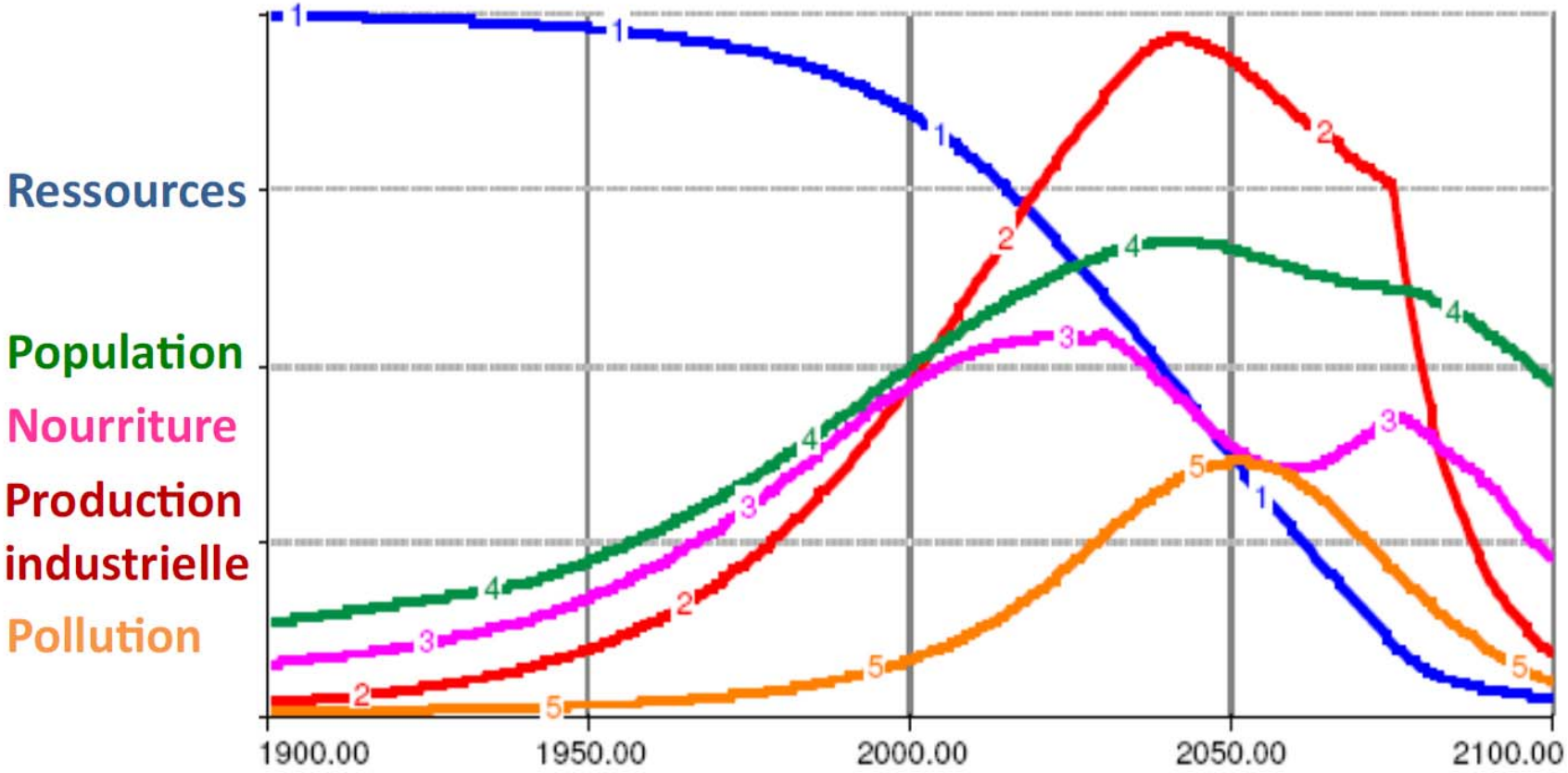
Scénario 3

Ressources non renouvelables abondantes

+

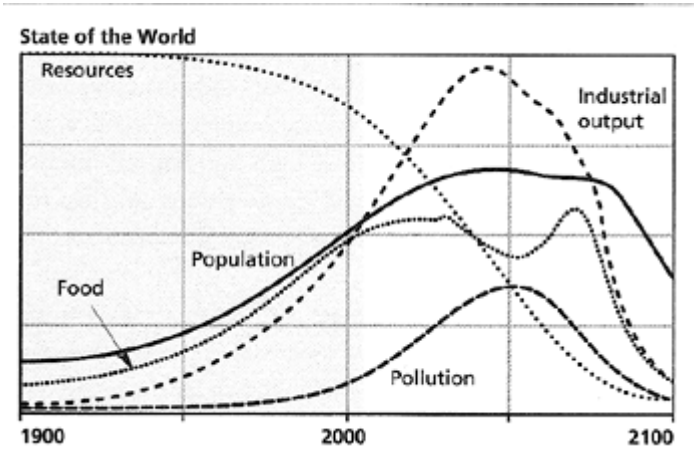
Développement de technologies de contrôle de la pollution

Crise alimentaire

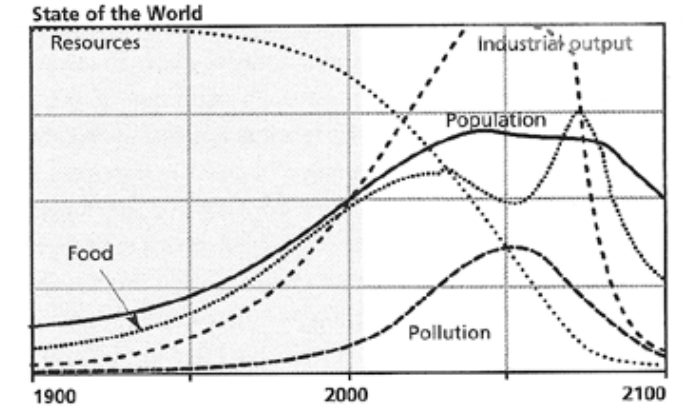


Scénarios 4 et 5

Scénario 4: idem + augmentation des rendements agricoles → crise des terres arables en 2070



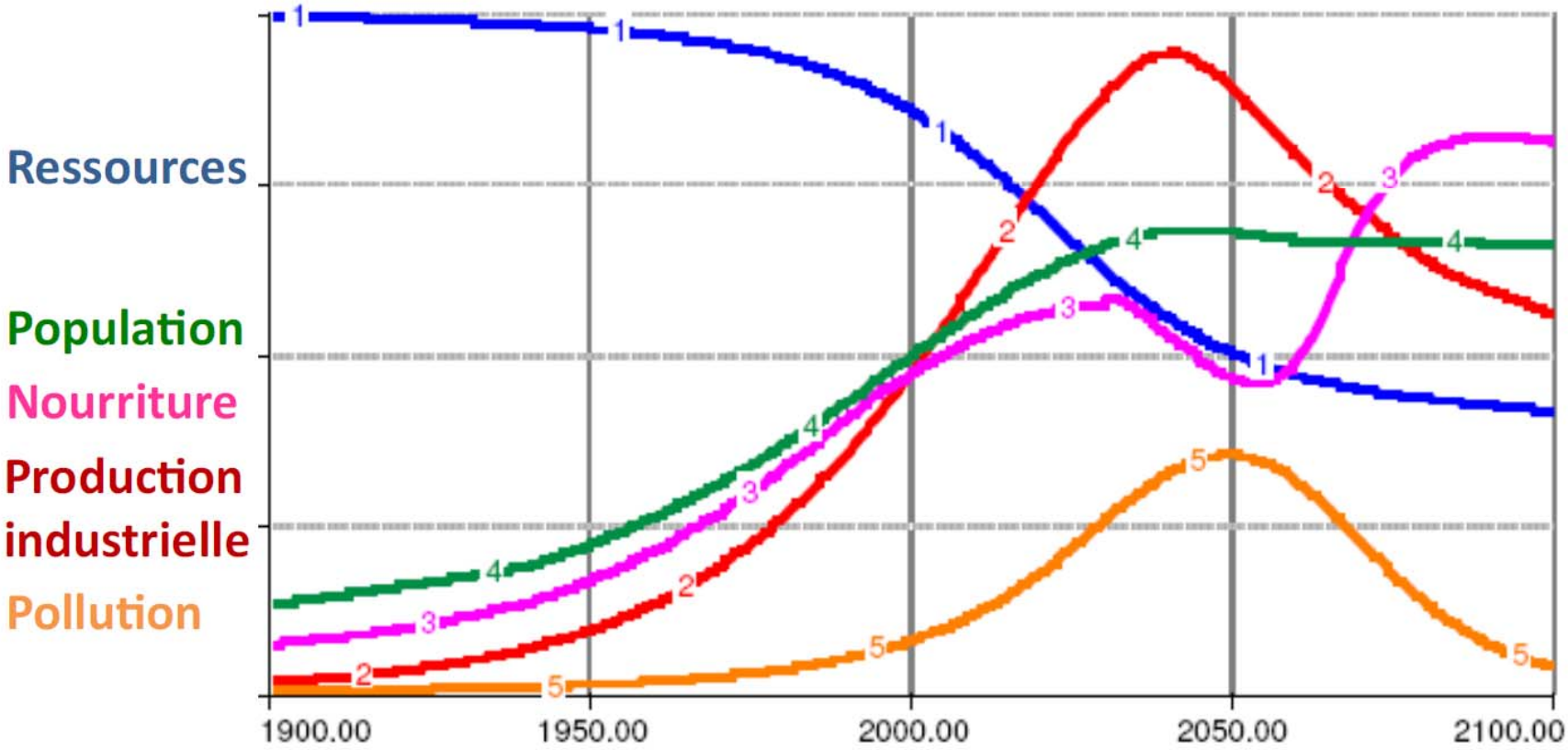
Scénario 5: idem + lutte contre l'érosion des terres → report de la crise à la fin du siècle



Scénario 6

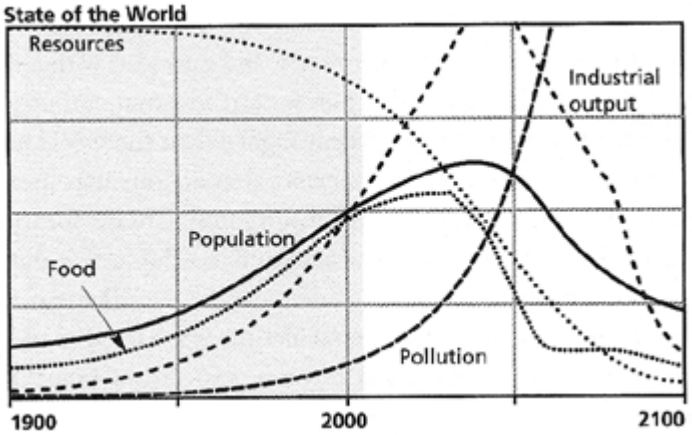
Ressources non renouvelables abondantes +
Développement de technologies de contrôle de la pollution, d'amélioration des rendements agricoles, de protection des sols, et d'efficacité d'utilisation des ressources

Crise des coûts des technologies développées

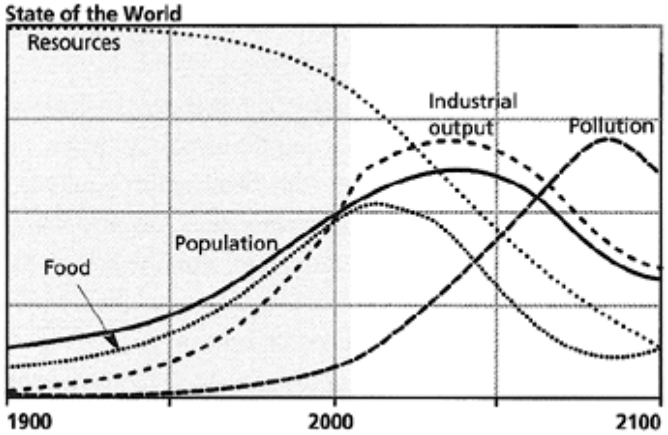


Scénarios 7 et 8

Scénario 7: standard + limitation des naissances (2 enfants par couple) → crise de la pollution



Scénario 8: idem + limitation individuelle de la consommation → crise alimentaire



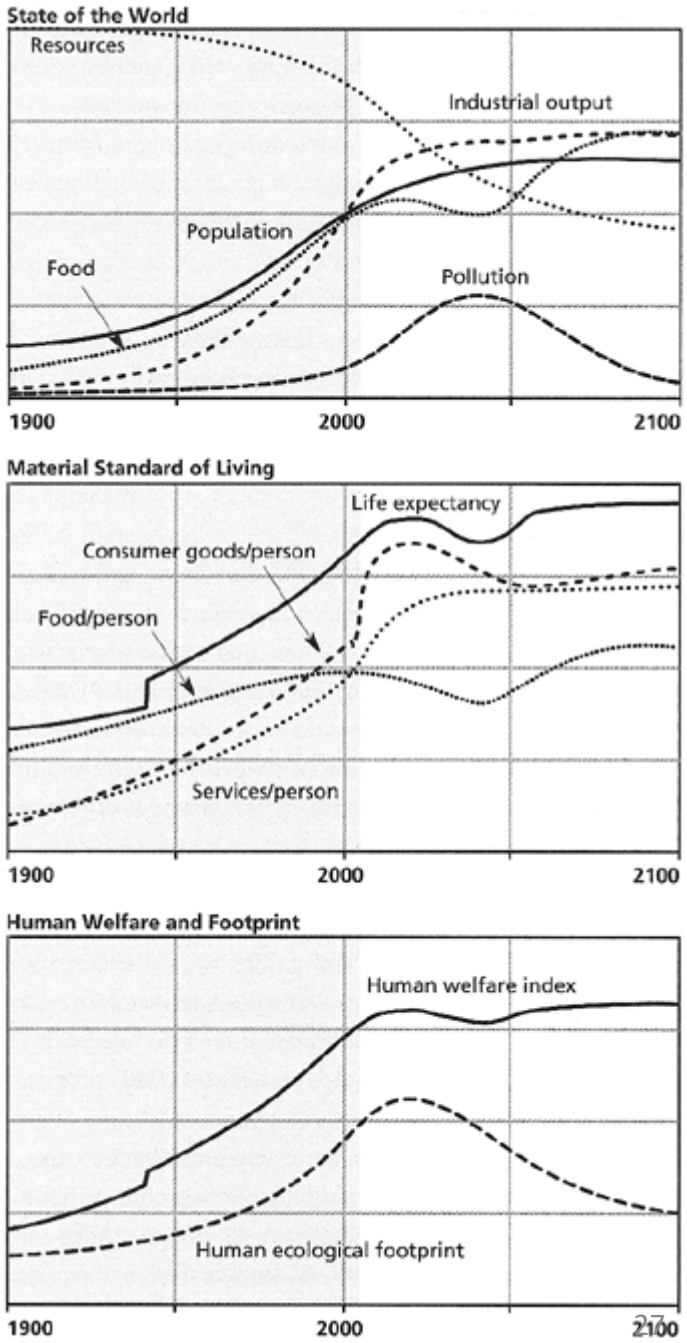
Scénario 9

Limitation des naissances (2 enfants) + limitation individuelle de la consommation

ET

Techniques de contrôle de la pollution, d'amélioration des rendements agricoles, de protection des sols et d'efficacité énergétique

→ scénario soutenable



Les limites de la modélisation

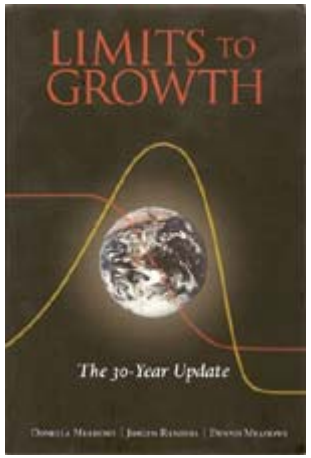
Les auteurs du rapport soulignent que:

- le modèle est une simplification de la réalité (pas de différences entre pays, pas de prise en compte des guerres, de la corruption…)
- le modèle ne fait pas de prédictions: il donne des tendances (ne pas prendre les dates au pied de la lettre)

Réception du rapport

- Le rapport a été traduit en 37 langues et diffusé à 12 millions d'exemplaires
- Reçoit un écho important (première conférence de l'ONU sur l'environnement à Stockholm en 1972) et donnera naissance à la notion de « développement durable »
- Très forte critiques venant des milieux économiques, pas de réelle prise en compte au niveau politique

LtG: the 30-year update



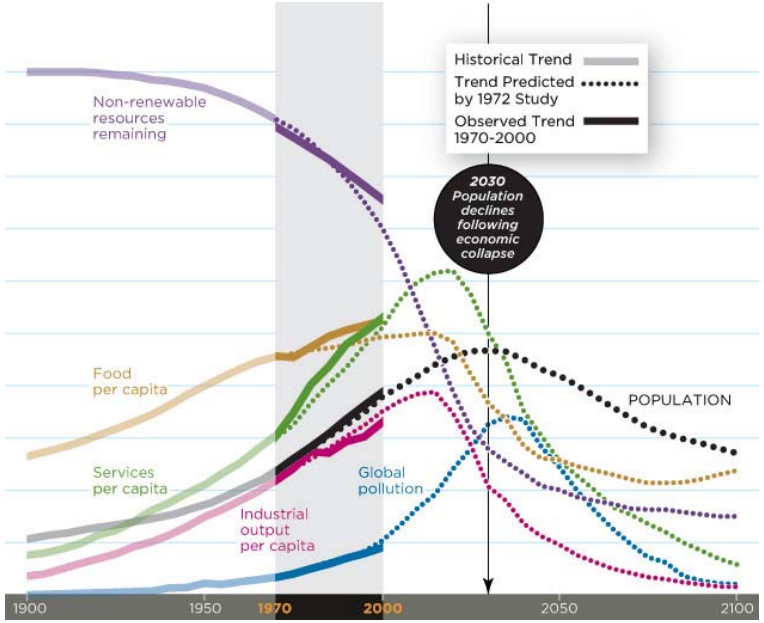
- Les trois auteurs publient en 2002 une version mise à jour
- Elle intègre la notion d'empreinte écologique et insiste sur le dépassement (*overshoot*) pressenti en 1972 et constaté en 2002
- Plusieurs scénarios, dont le dernier représente le scénario « durable »
- Insiste sur l'urgence de mettre en place les mesures requises par ce scénario

« L'éventail des futurs possibles recouvre une grande variété de chemins. Il y aura peut-être un effondrement brutal ; il est aussi possible qu'il y ait une transition en douceur vers la soutenabilité. Mais les futurs possibles n'incluent pas une croissance infinie des flux matériels. Ce n'est pas une option dans une planète finie. »

Comparaison avec les observations

- En 2008 puis en 2012, Graham Turner compare les prévisions du scénario standard avec les données réelles

- En 2020, Gaya Herrington compare quatre scénarios avec les données réelles et conclut que les plus proches sont les scénarios 2 (standard avec ressources doublées) et 6 (crise des coûts technologiques)



Extrait de documentaire

https://youtu.be/3yvK8B1DGvY

« Dernière alerte: 40 ans après Les limites de la croissance », documentaire de 2012 réalisé par Enrico Cerasuolo (50 mn)

Extrait (de 17’10 à 27’):

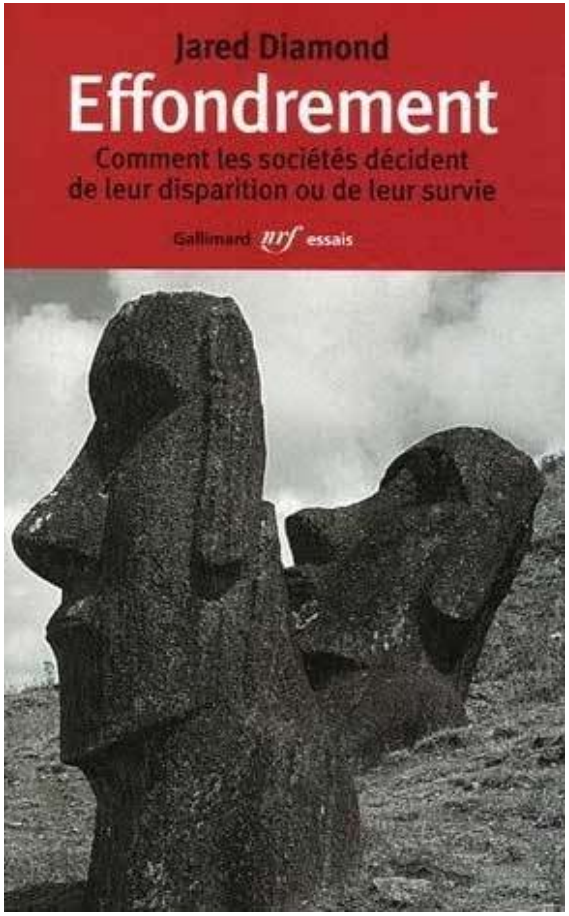
les réactions au rapport « Limits to growth » dans le monde

II L'effondrement des sociétés complexes

1. Croissance et dépassement
2. « Limits to growth »: le rapport du Club de Rome et le modèle World3
3. **« Effondrement »: l'étude de Jared Diamond**
4. Effondrement et sociétés complexes: le modèle de Joseph Tainter
5. Les cinq stades de l'effondrement, Dmitry Orlov
6. Effondrement et œuvres de fiction

« Effondrement » de Jared Diamond

- Jared Diamond (né en 1937) est géographe et biologiste à l'université de Californie, auteur de livres de vulgarisation scientifique
- « De l'inégalité parmi les sociétés », Prix Pulitzer en 1998
- « Effondrement » paraît en 2005 (traduit en français en 2006)



Comment les sociétés ont-elles disparu dans le passé?

- Une crise environnementale peut-elle entraîner le déclin d'un civilisation?
- Diamond liste plusieurs causes: déforestation, érosion des sols, chasse ou pêche excessive, mauvaise gestion de l'eau…
- Il conclut qu'aucune civilisation n'a disparu uniquement à cause de facteurs environnementaux

Cinq facteurs d'effondrement

1. Problèmes environnementaux
2. Changement climatique
3. Voisins hostiles
4. Perte de relations commerciales
5. Facteurs politiques, sociaux, ou religieux

environnement

externes

internes

Selon Diamond, il faut que plusieurs facteurs se conjuguent pour provoquer l'effondrement

L'île de Pâques

- Vers l'an 900 : colonisation de l'île de Pâques par des polynésiens
- Déforestation achevée vers 1600
- Perte de ressources alimentaires (fruits)
- Surexploitation et disparition des oiseaux
- Perte de matériaux : bois pour la construction de logements, de pirogues, feuilles de palmier (toits, voiles, paniers), écorces (cordes, étoffes), bois de chauffe
- Érosion des sols (pluie, vent), lessivage des nutriments
- Famine, chute démographique
- Chaos politique (renversement du pouvoir en place), conflits (destruction des statues)
- En 1620 : construction des dernières statues
- En 1720: arrivée des premiers européens

NB: plusieurs des interprétations de Diamond ont été remises en question ultérieurement

L'île de Pâques

Causes:

- Surexploitation des ressources
- Facteurs politiques et sociaux
  - Rivalités entre clans
  - Prestige lié à la construction de statues

Les Mayas

- Début de la civilisation «classique» vers 250 après J.C. et développement rapide (monuments, bâtiments, systèmes complexes de gestion de l'eau, agriculture), jusqu'à une apogée au 8e siècle
- Fin 8e – début 9e siècle : effondrements des différentes cités, progressivement abandonnées
- « Redécouverte » par les occidentaux au 19e

Les Mayas

Causes

- Surexploitation des ressources, déforestation et érosion des sols
- Changement climatique: période de sécheresses
- Guerres et conflits entre les cités
- Facteurs politiques et sociaux, rôle des élites

Pitcairn et Henderson

- Iles de Polynésie sud-est
- Colonisées vers l'an 800
- Importants échanges commerciaux entre les îles (pierre, métal, produits de la mer), qui prennent fin avant 1500
- Plus aucun habitant en 1600
- Causes
  - Dégradation environnement
  - Fin des échanges commerciaux

Les indiens Anasazis

- Sud-ouest des Etats-Unis, nombreux effondrements entre 1000 et 1500
- Environnement fragile, sols pauvres et pluviosité faible
- Anasazis: de l'an 600 à 1200, canalisation de l'eau, hauts bâtiments en pierre, outils, poteries…
- Causes
  - Surexploitation de l'environnement
  - Sécheresses répétées (1130-1180)
  - Baisse du commerce
  - Facteurs politiques et sociaux

Les Vikings au Groenland

- Venus d'Europe, les Vikings sont présents au Groenland du 10e au 15e siècle
- Ils développent un élevage et une agriculture incompatibles avec les sols fragiles mais n'exploitent pas les produits de la mer, pour des raisons culturelles
- Difficulté à maintenir des échanges avec la Norvège éloignée et contacts hostiles avec les Inuits
- Période de refroidissement climatique

☞ L'ensemble des cinq causes peut avoir contribué à l'effondrement de la colonie du Groenland

Quelles leçons pour le présent?

Diamond examine également

- des sociétés modernes confrontées à des crises environnementales (Montana, Chine, Australie)
- des sociétés ayant surmonté leurs problèmes environnementaux (île de Tikopia dans le Pacifique, Japon médiéval, îles Fidji)

Sa conclusion est optimiste et volontariste: l'effondrement n'est pas inéluctable, nos sociétés peuvent encore réagir pour l'empêcher

Réception du livre

- Le livre a reçu beaucoup d'écho et il a été accueilli favorablement dans l'ensemble
- Critiques
  - Des archéologues et historiens réfutent les interprétations de Diamond, qui sont contredites par des études récentes (île de Pâques)
  - Trop pessimiste ou trop optimiste?
  - Lister des causes d'effondrement ne permet pas d'appréhender le phénomène globalement

Références

- Steffen W. et al., *The Trajectory of the Anthropocene: the Great Acceleration*, The Anthropocene review, 2015
- Meadows D. et al., *The limits to growth*, New York, 1972
- Meadows D. et al., *Limits to growth: The 30-year update*, Chelsea Green Publishing, 2004
- Turner G., *A comparison of The Limits to Growth with 30 years of reality*, Global environmental change 18.3 (2008): 397-411
- Turner, G. "On the cusp of global collapse? Updated comparison of The Limits to Growth with historical data." GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society 21.2 (2012): 116-124.
- Herrington, G. "Update to limits to growth - Comparing the World3 model with empirical data", Journal of Industrial Ecology, 1–13 (2020)
- Diamond, J. *Effondrement: comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie*, Gallimard, 2006.
- "*Questioning collapse : human resilience, ecological vulnerability, and the aftermath of empire*", éds P. McAnany et N. Yoffee, Cambridge University Press (2010)

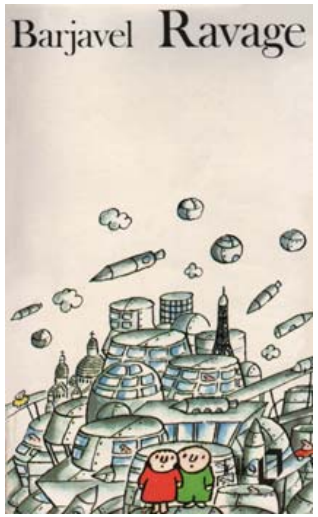
Pour la prochaine séance

Trouver, parmi celles que vous connaissez, une œuvre de fiction (roman, BD, film, série…) qui évoque un futur soit avec peu ou pas de technologie/d'énergies fossiles et :

- identifier les hypothèses retenues par l'auteur pour caractériser ce futur
- indiquer celles qui vous paraissent réalistes et celles qui vous paraissent invraisemblables

☞ mise en commun au prochain cours

Exemple: « Ravage »



Roman de René Barjavel publié en 1943.

L'action se déroule en 2052 dans une société hyper-technologique. Un jour, l'électricité disparaît subitement et les villes sombrent dans le chaos. Un petit groupe réussit à quitter Paris pour atteindre à pied le sud de la France et reconstruit une civilisation agricole.

- l'hypothèse de rupture totale et instantanée d'électricité est peu vraisemblable
- mais la description d'une société brutalement privée de technologie est dans l'ensemble assez crédible

TP: simulateur simplifié du modèle World3

But du TP: utiliser le simulateur pour étudier différents scénarios, en modifiant les paramètres de départ, et observer les résultats.