Comprendre les phénomènes d'effondrement de sociétés. Quel avenir pour la nôtre ?

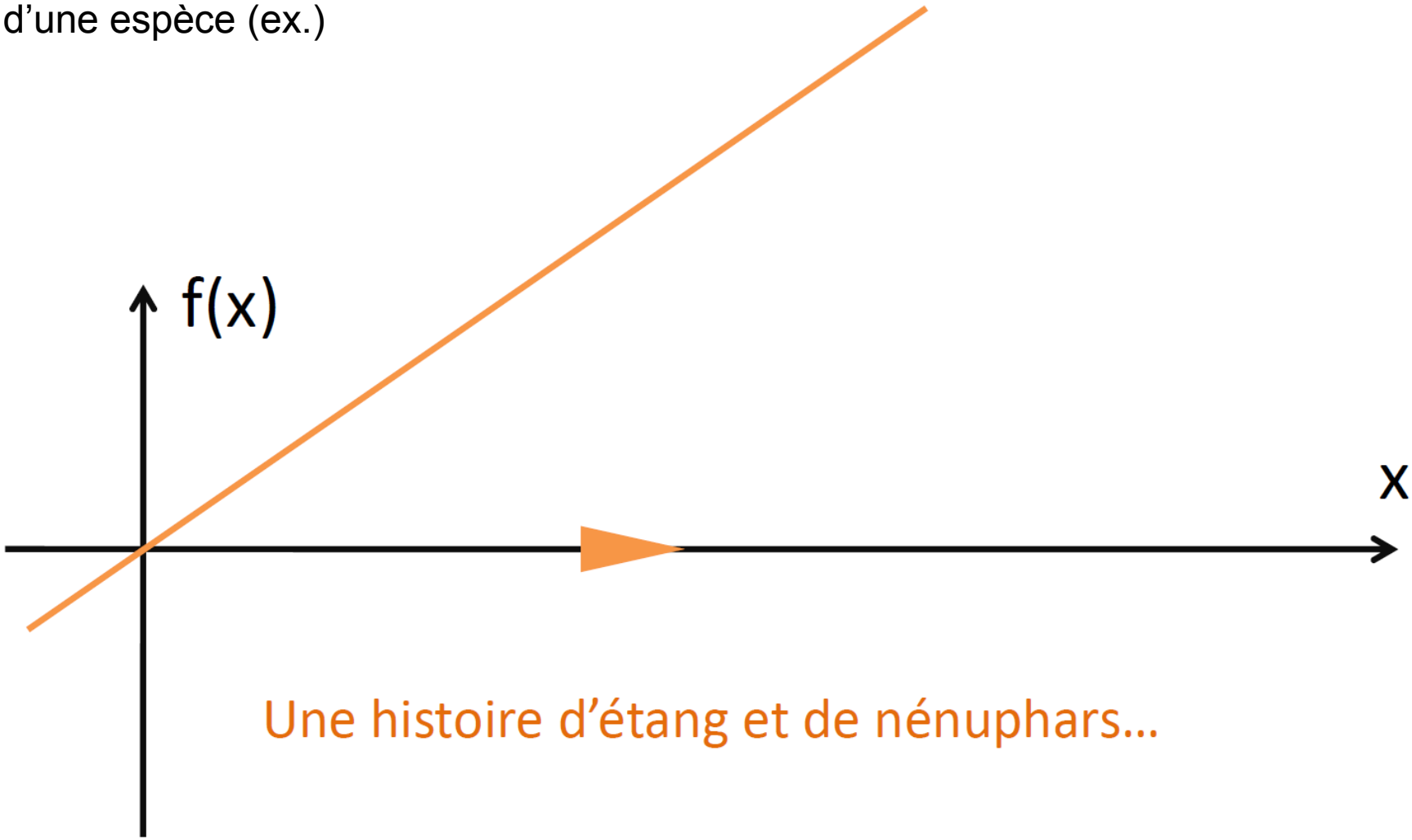
Emmanuel Prados
Équipe INRIA STEEP

« Café In » INRIA Sophia Antipolis, 10 novembre 2016

1. Linéaire

x(t) = nombre d'individu d'une espèce (ex.)

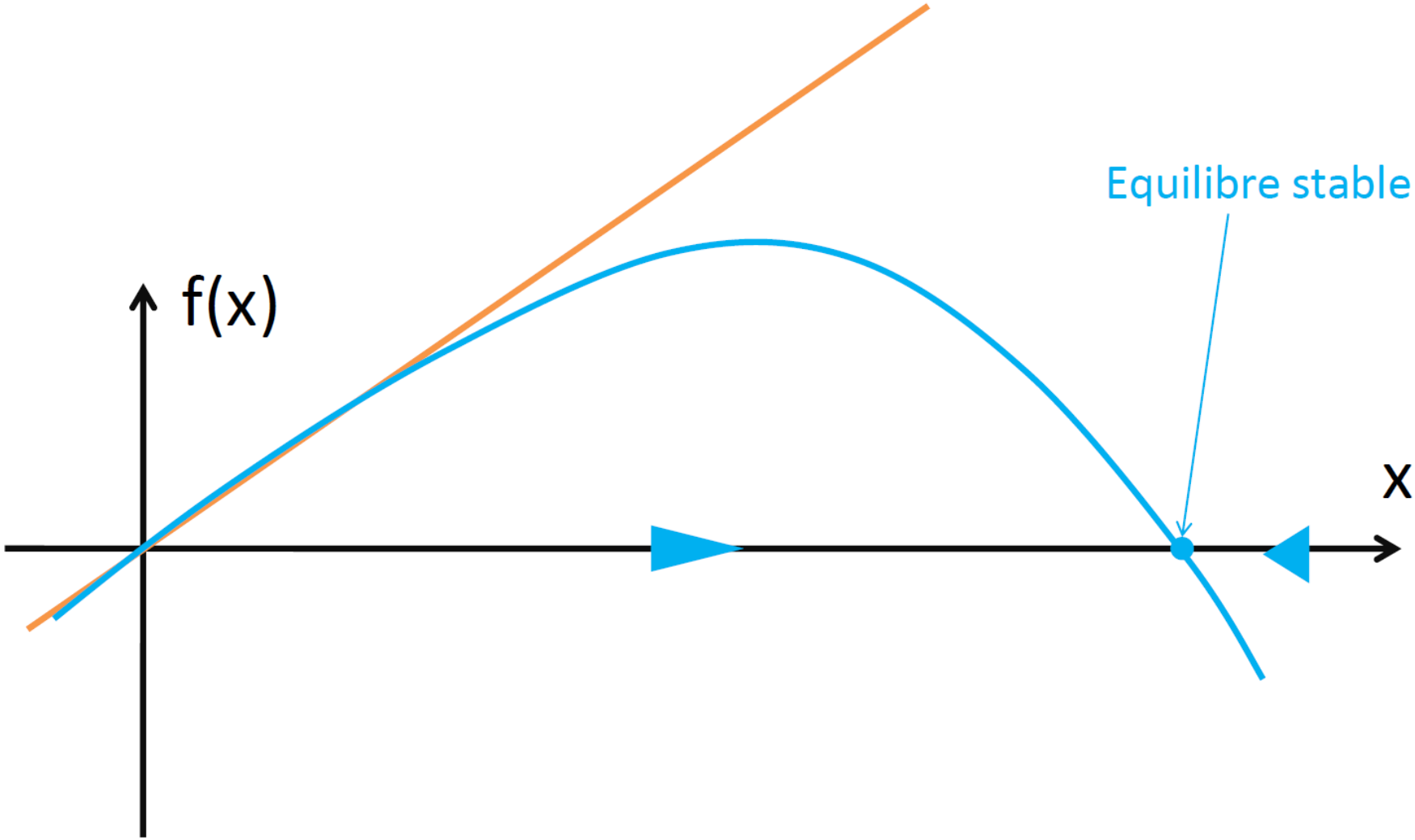
$$dx/dt = f(x)$$



Une histoire d'étang et de nénuphars…

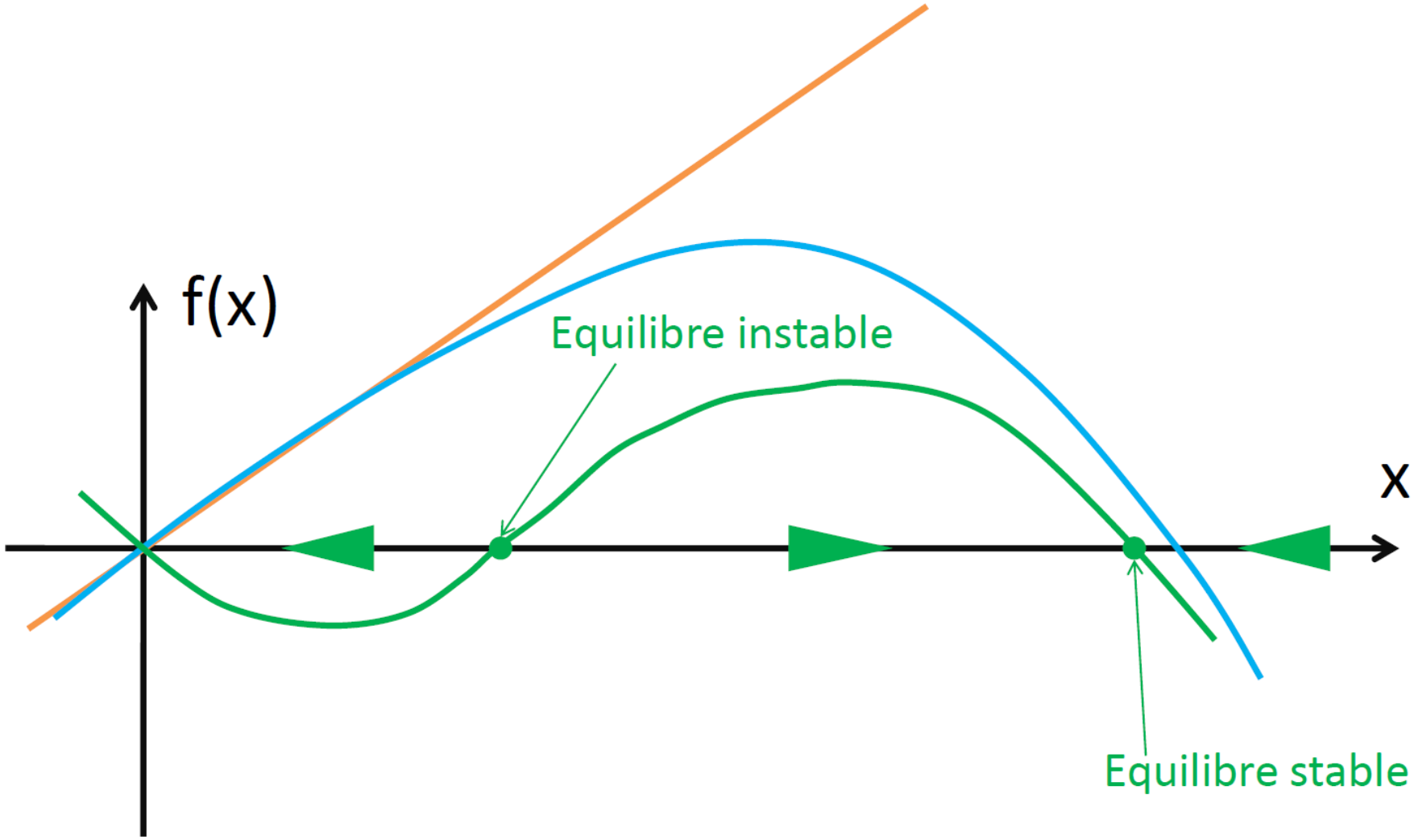
1. Linéaire
2. = 1 + ressources limitées

$$dx/dt = f(x)$$



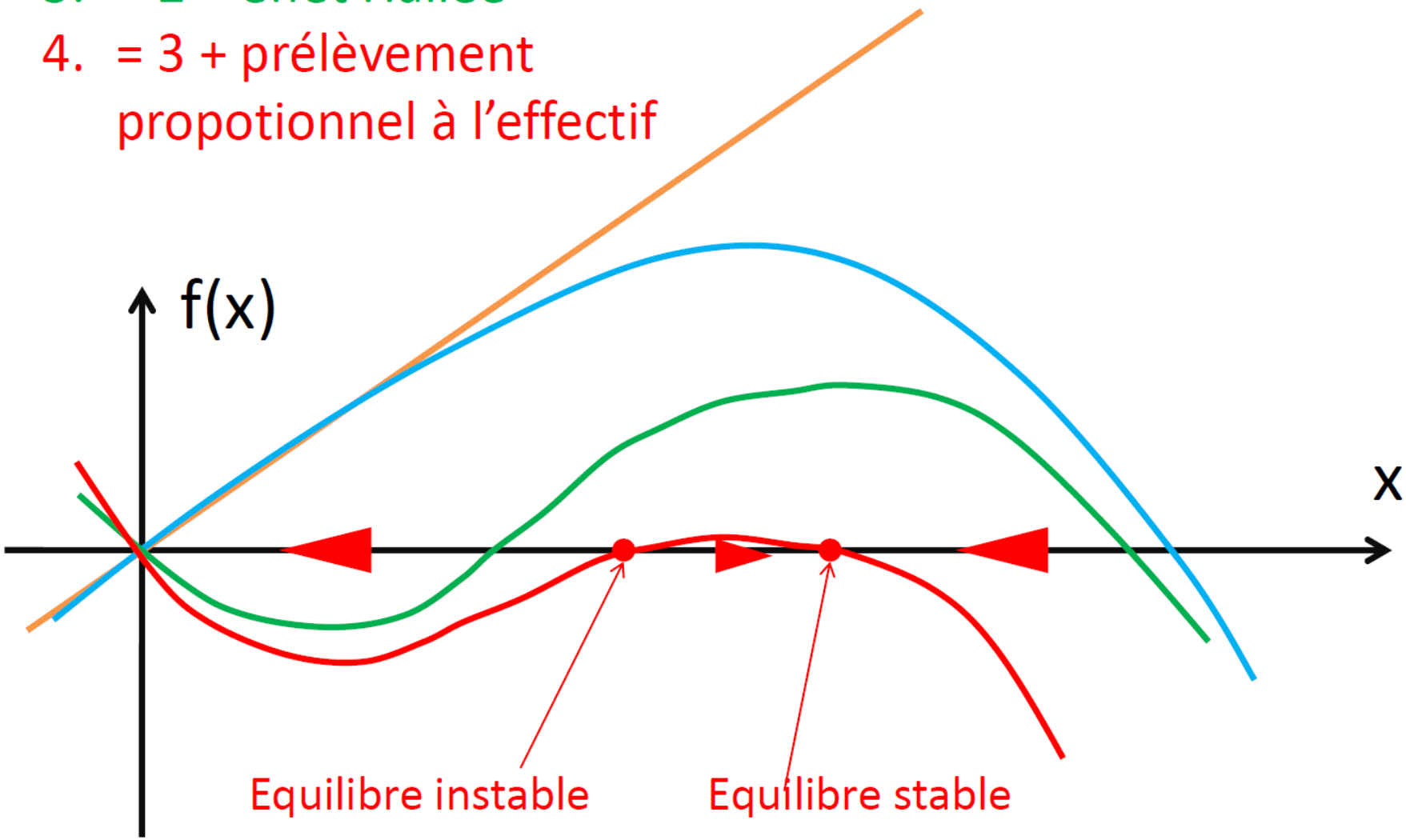
1. Linéaire
2. = 1 + ressources limitées
3. = 2 + effet Hallee

$$dx/dt = f(x)$$



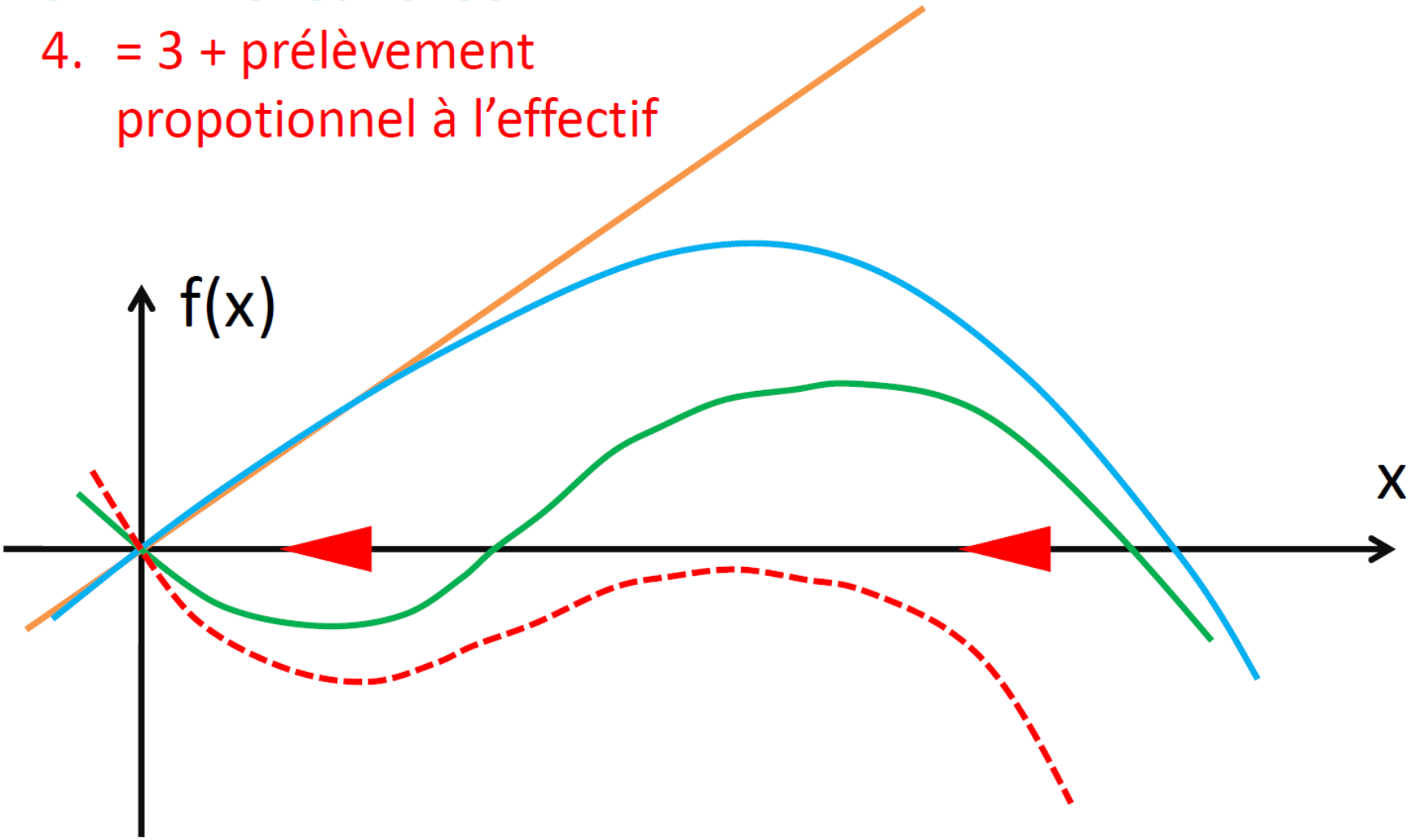
1. Linéaire
2. = 1 + ressources limitées
3. = 2 + effet Hallee
4. = 3 + prélèvement propotionnel à l'effectif

$$dx/dt = f(x)$$



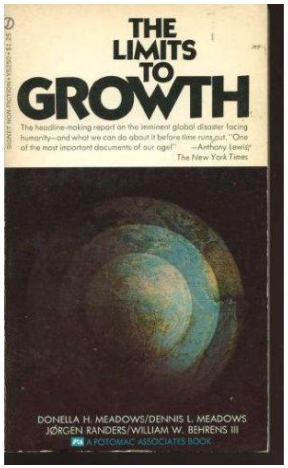
1. Linéaire
2. = 1 + ressources limitées
3. = 2 + effet Hallee
4. = 3 + prélèvement propotionnel à l'effectif

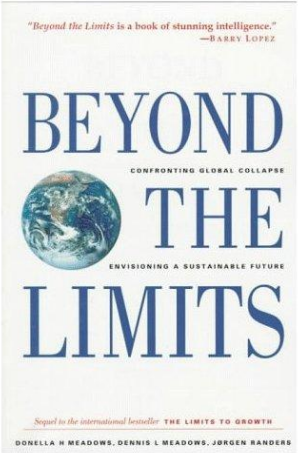
$$dx/dt = f(x)$$

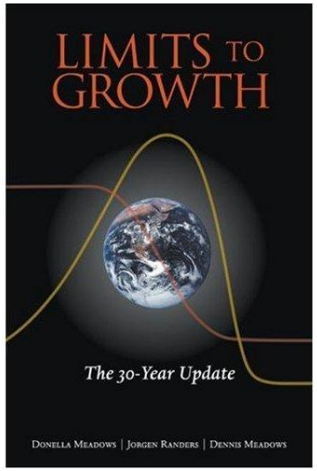


Le rapport du club de Rome, ou rapport « Meadows »

- **8 avril 1968** : création du « Club de Rome »
- Objectif : réfléchir aux « grands problèmes du monde », notamment l'interaction entre l'économie et l'environnement
- **1970** : Jay Forrester, MIT, modèle « World 1 »
- **1972** : Sortie de « Limits to growth », mise en œuvre du modèle « World 3 », sous la direction de Dennis Meadows, improprement traduit en français par : « Halte à la croissance ! »
- **1992** : « Beyond the limits »
- **2004** : « Limits to growth, the 30-year update »

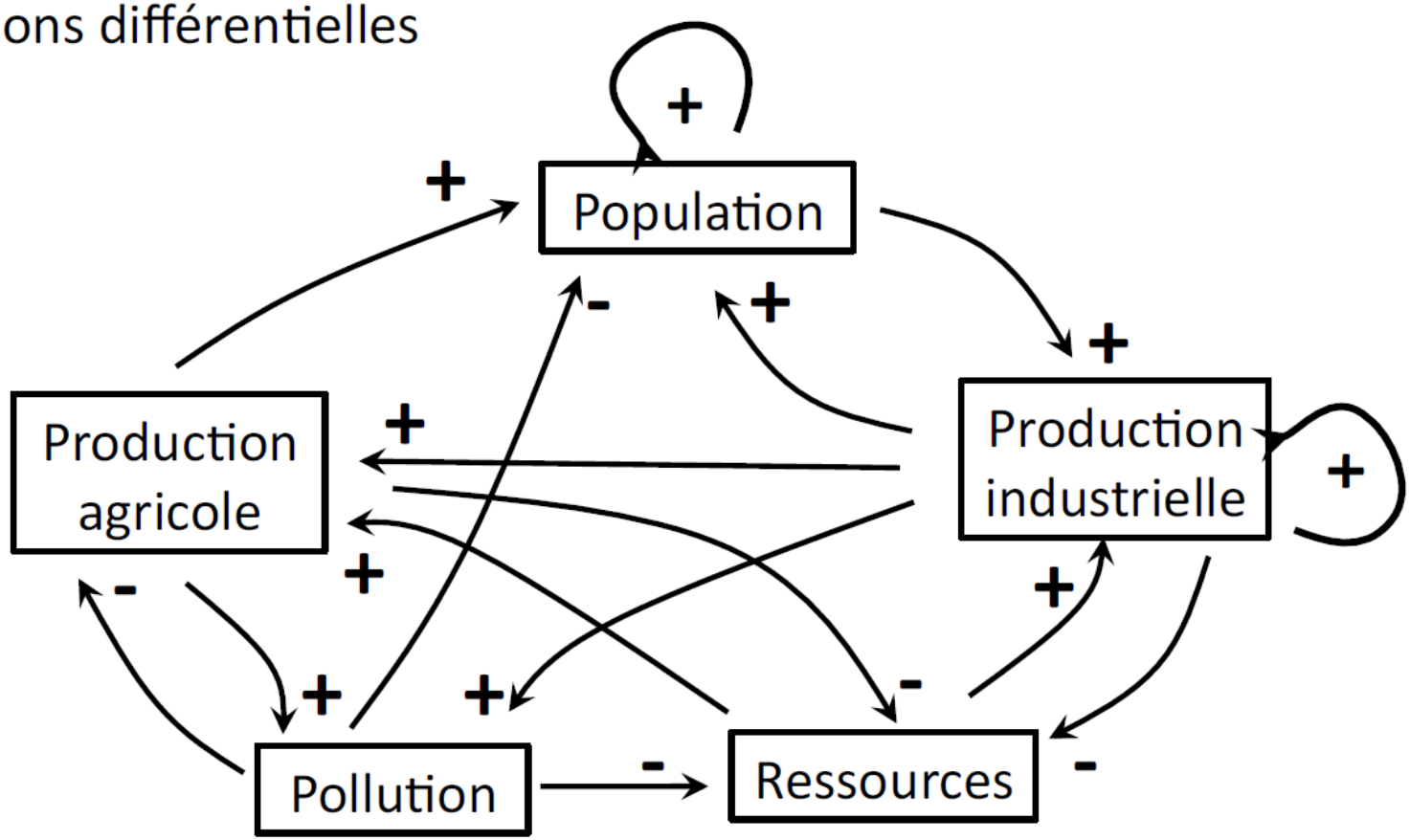




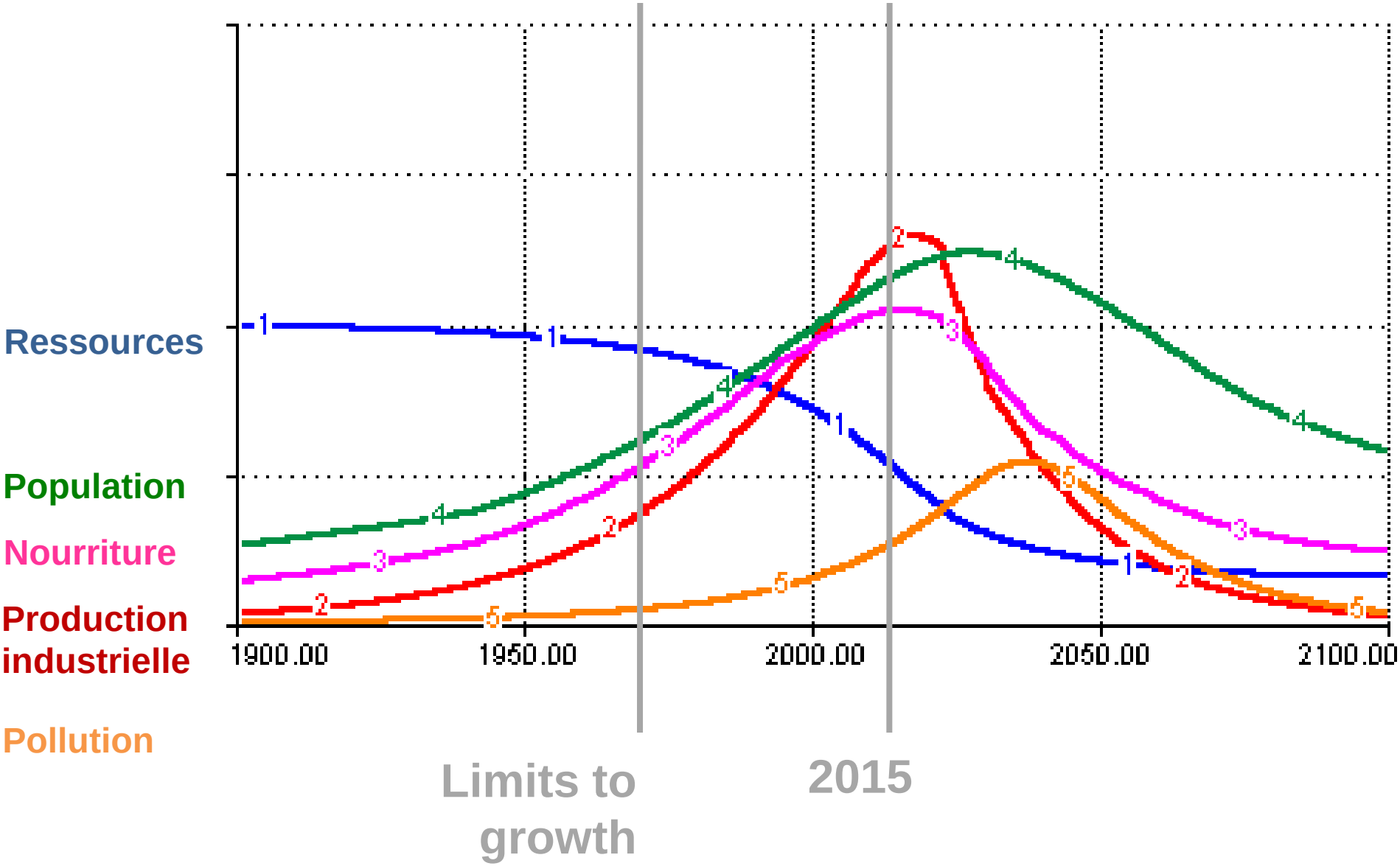


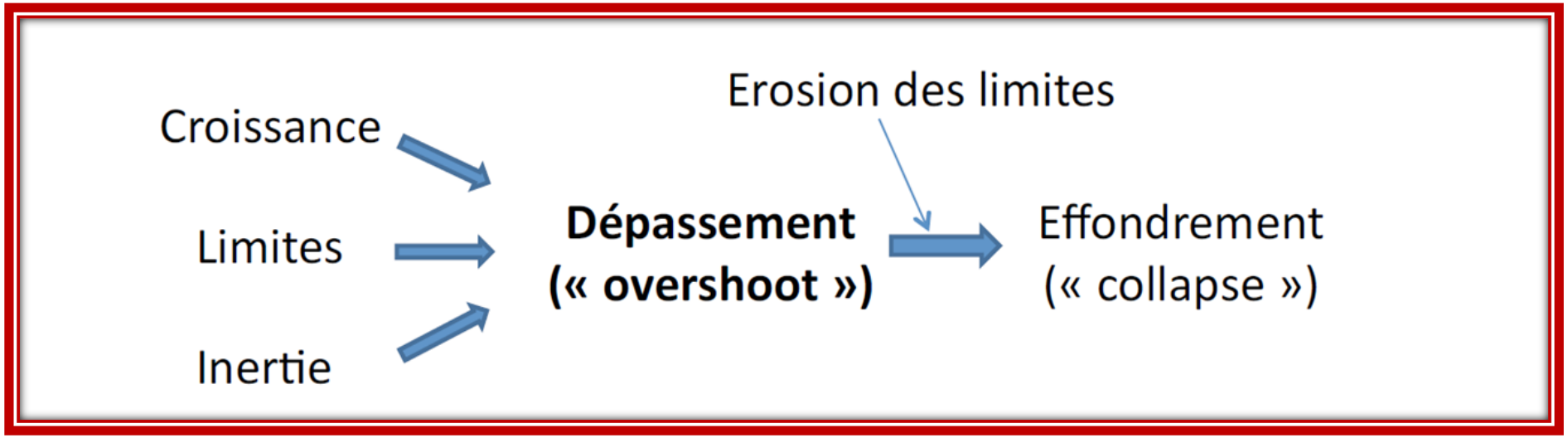
Les modèles « World» (1,2,3)

Modèles « intégrés » économie-environnement
Equations différentielles

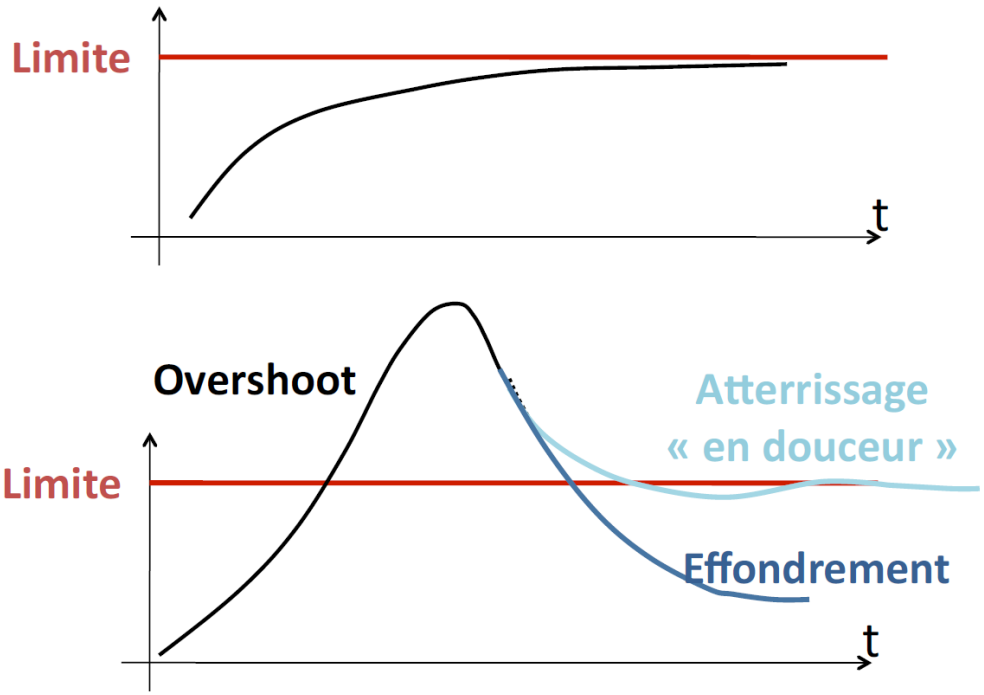


Scénario 1 (scénario de référence)





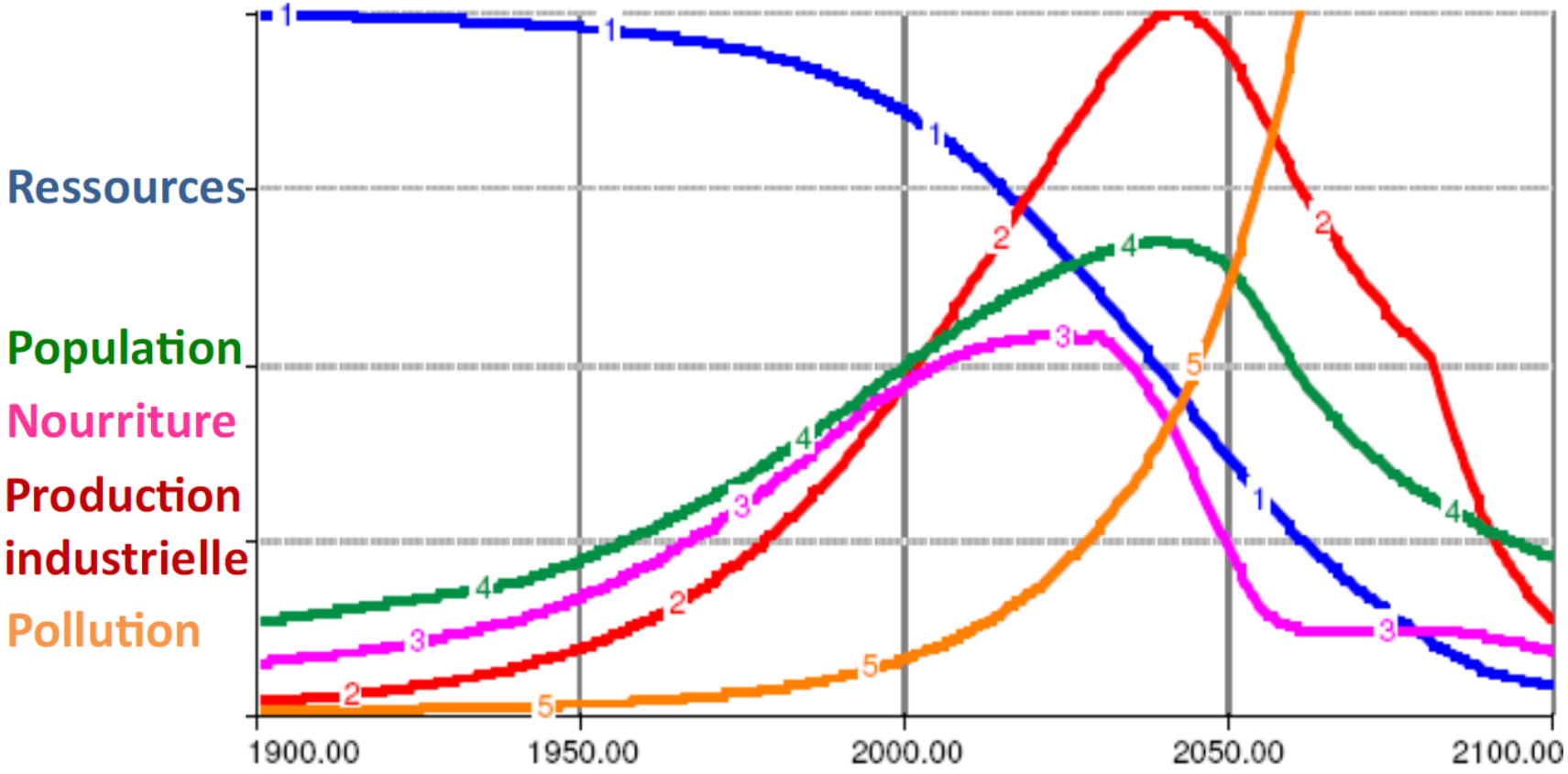
Confrontations à une limite



Scénario 2

Ressources non renouvelables abondantes

Crise de pollution globale



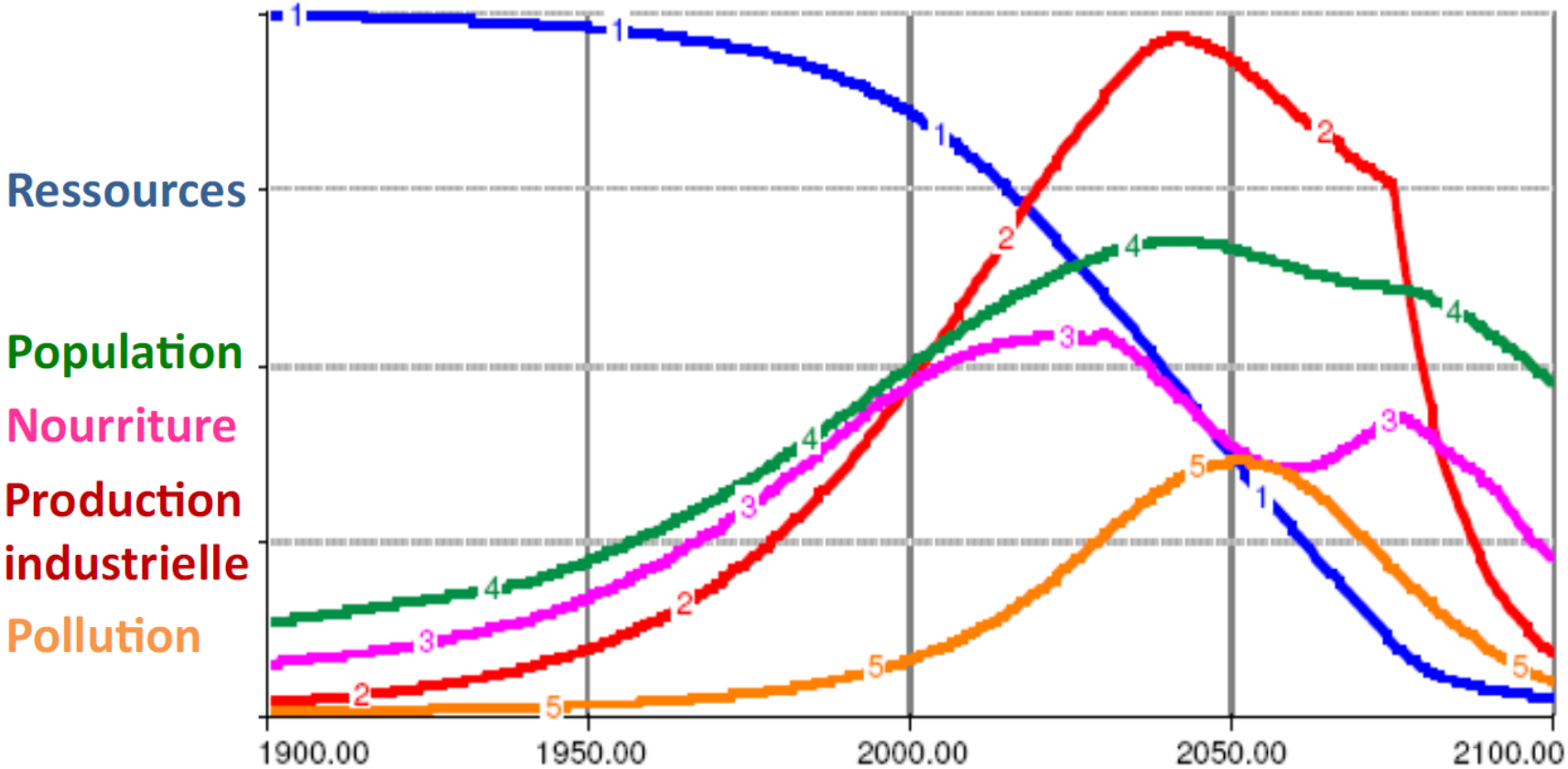
Scénario 3

Ressources non renouvelables abondantes

+

Développement de technologies de contrôle de la pollution

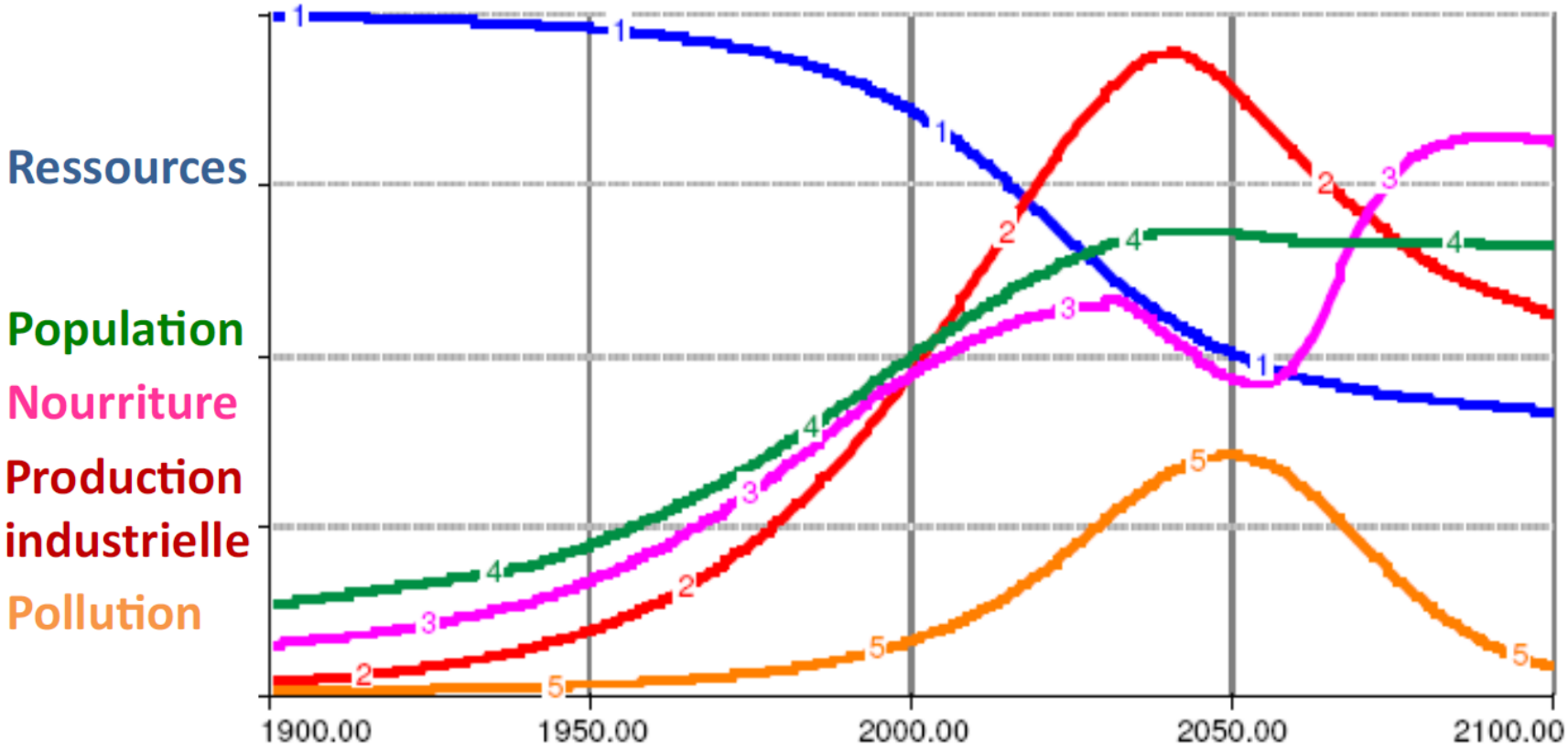
Crise alimentaire



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



Conclusion du rapport Meadows

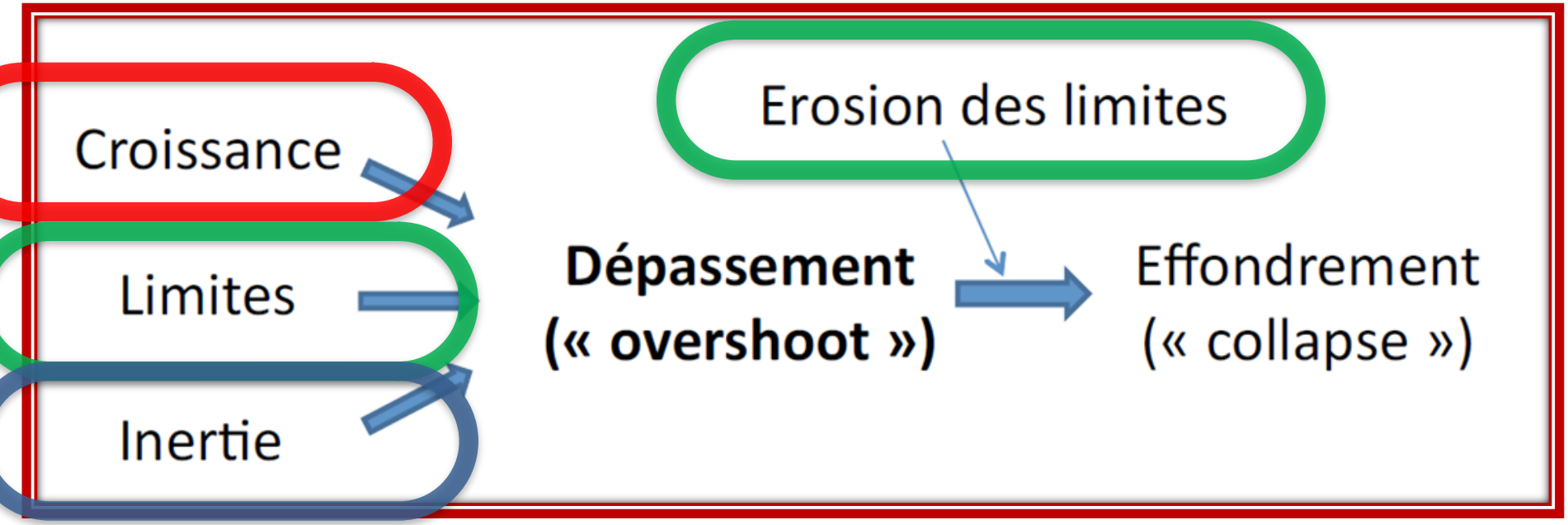
Un effondrement de la civilisation industrielle sera difficile à éviter

Effondrement =

- diminution de la production industrielle
- diminution de la production agricole
- diminution de la population

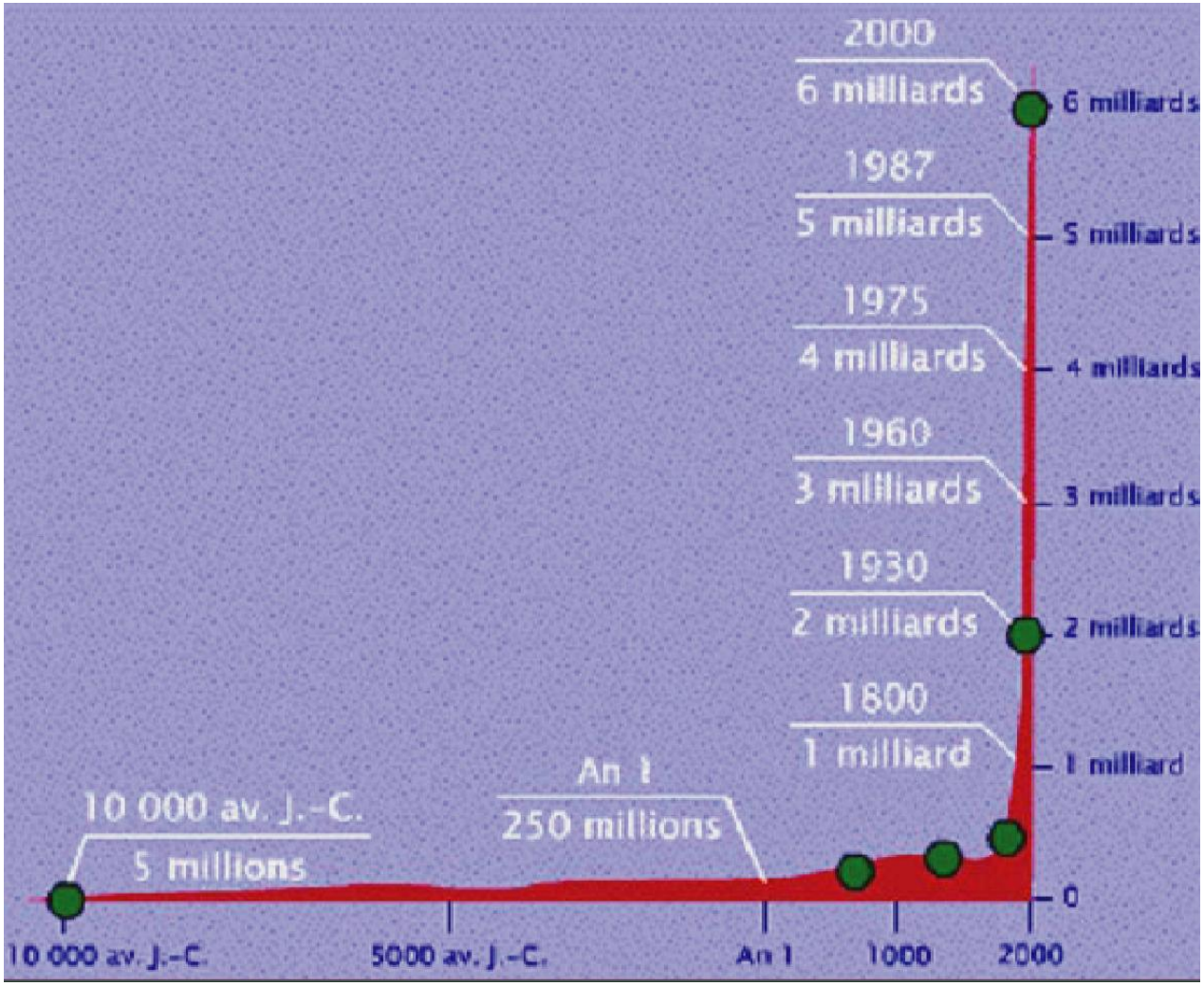
… **au cours du 21ème siècle**

Où en sommes nous aujourd’hui ?



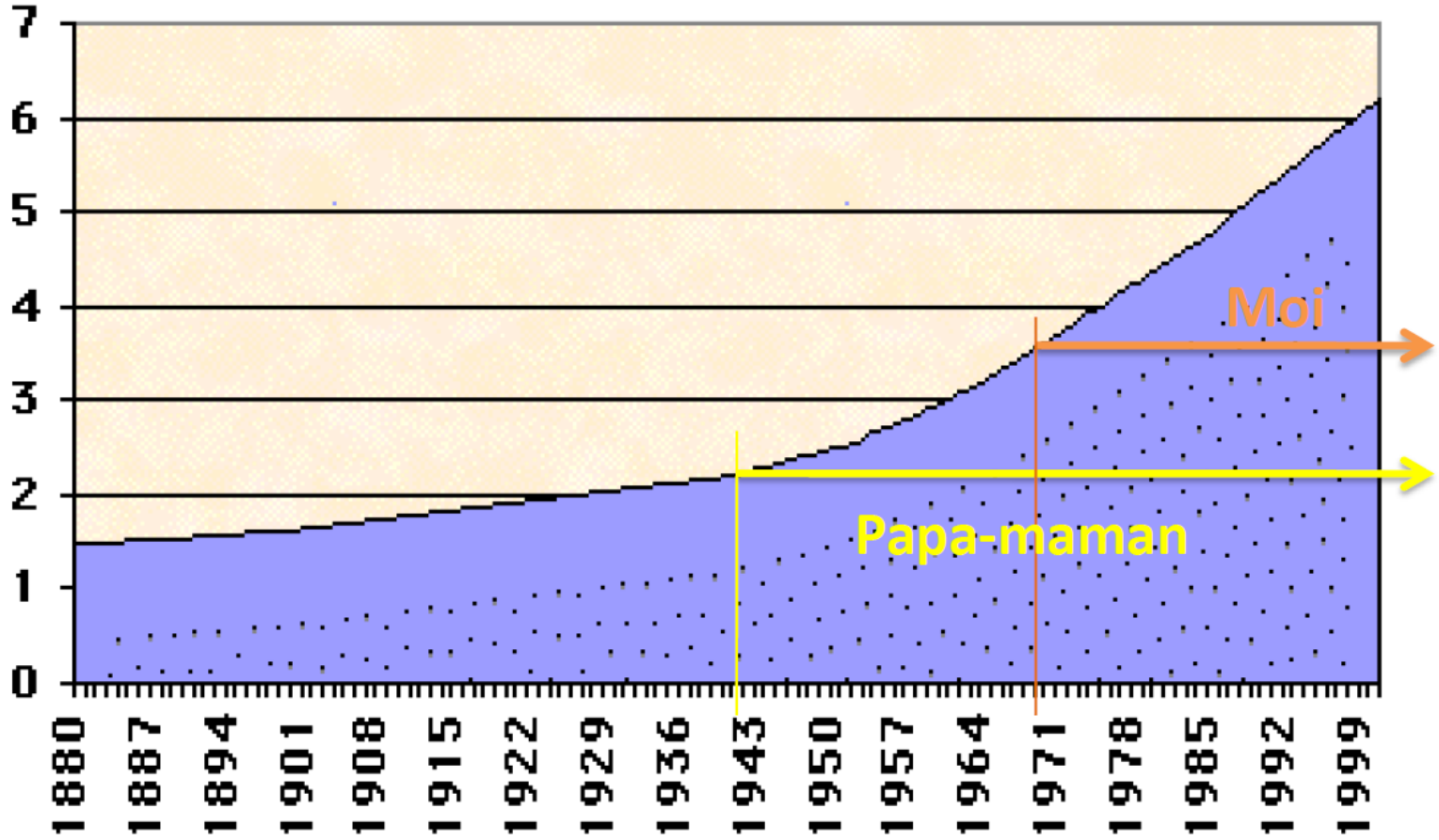
3 ingrédients

Croissance !!!!



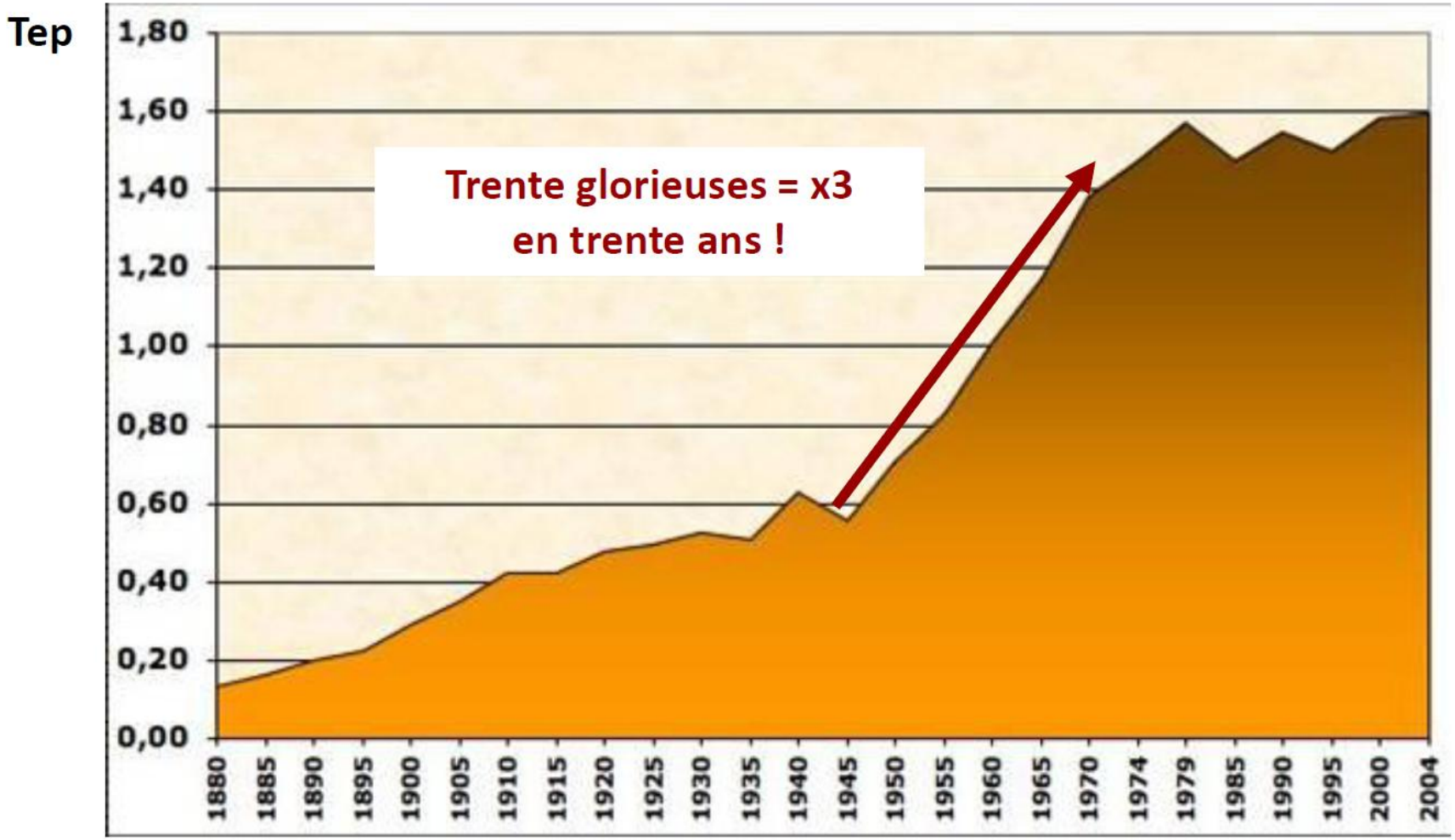
Population mondiale

7,43 milliards au premier juillet 2016



Population mondiale depuis 1880. Source : Musée de l'Homme

Consommation d'énergie

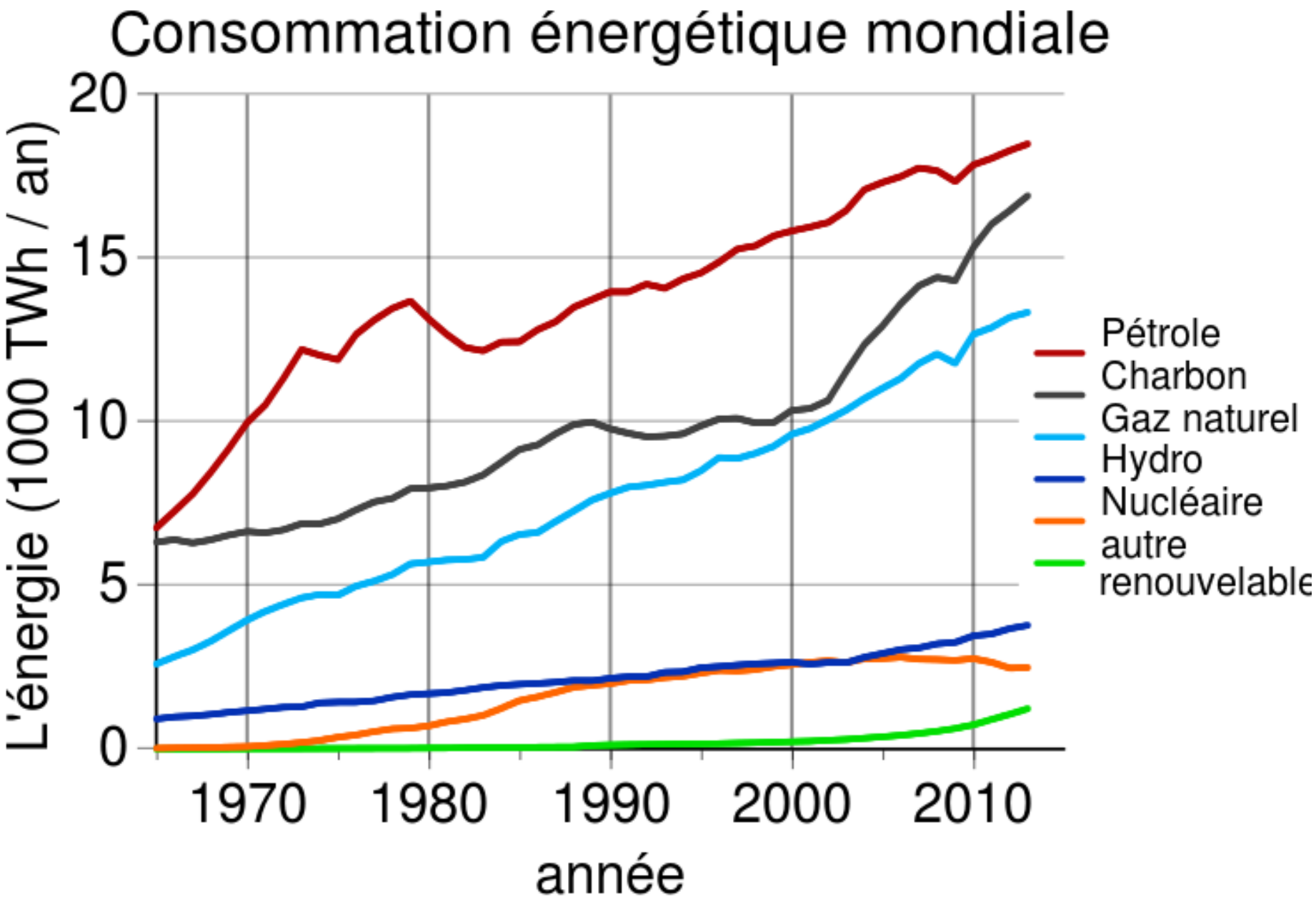


Consommation mondiale d'énergie primaire (hors biomasse) …

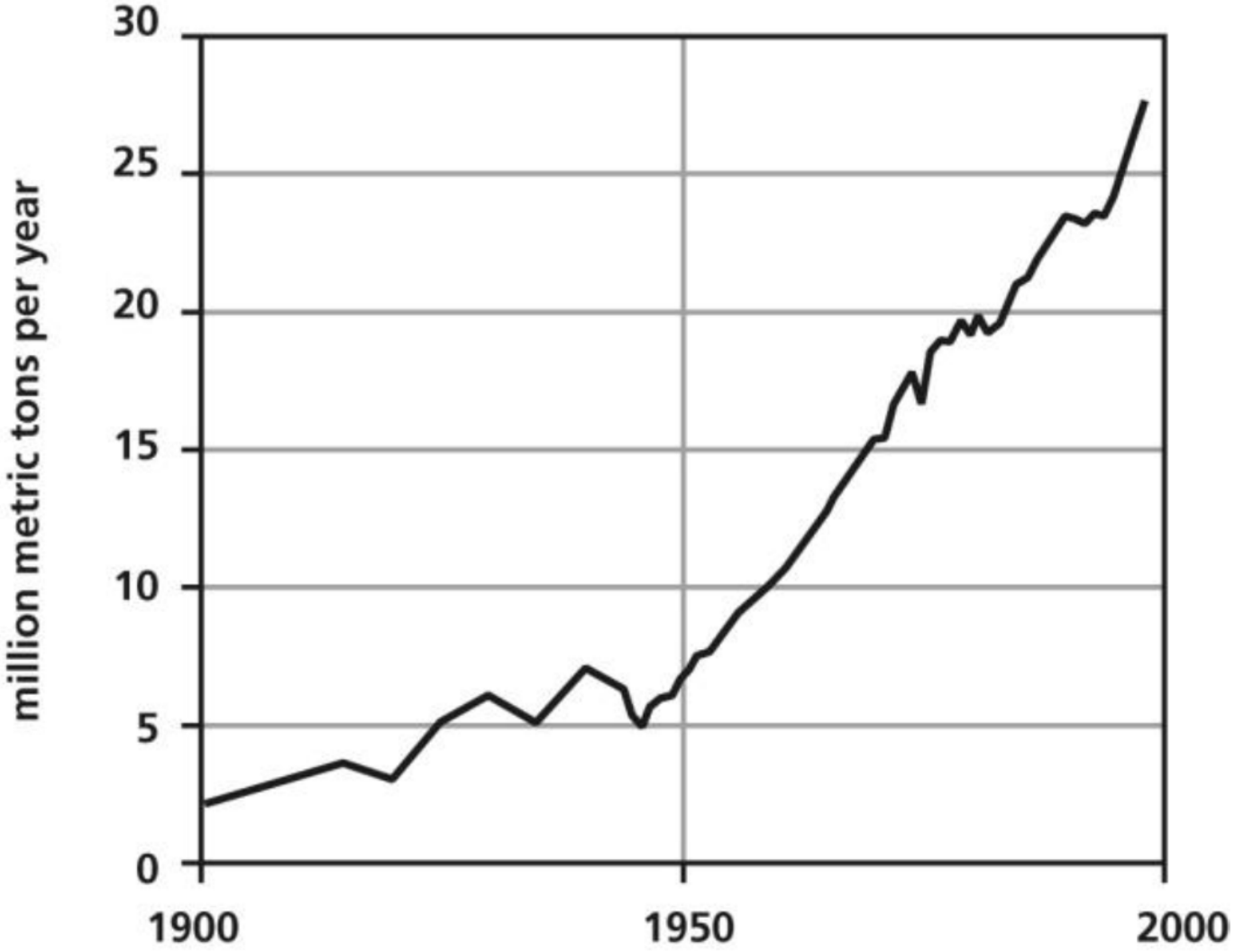
x 7 en un siècle

… par personne !

(source : J-M. Jancovici)


Consommation énergétique mondiale
L'énergie (1000 TWh / an)
20
15
10
5
0
1970
1980
1990
2000
2010
année
Pétrole
Charbon
Gaz naturel
Hydro
Nucléaire
autre renouvelable

Métaux : toujours plus !

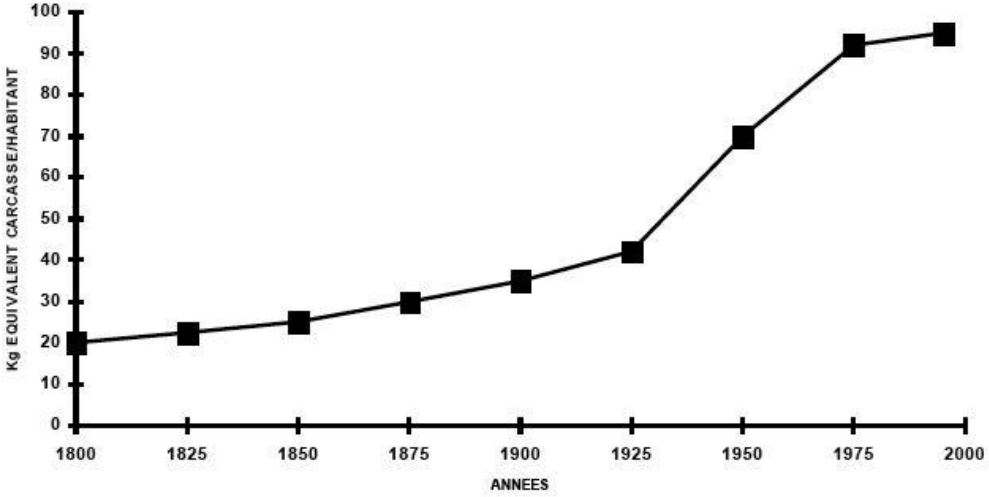


Consommation globale de cuivre + plomb + zinc + fer + nickel

x 10 à x 15

Source : Limits to growth

Consommation de viande : toujours plus !

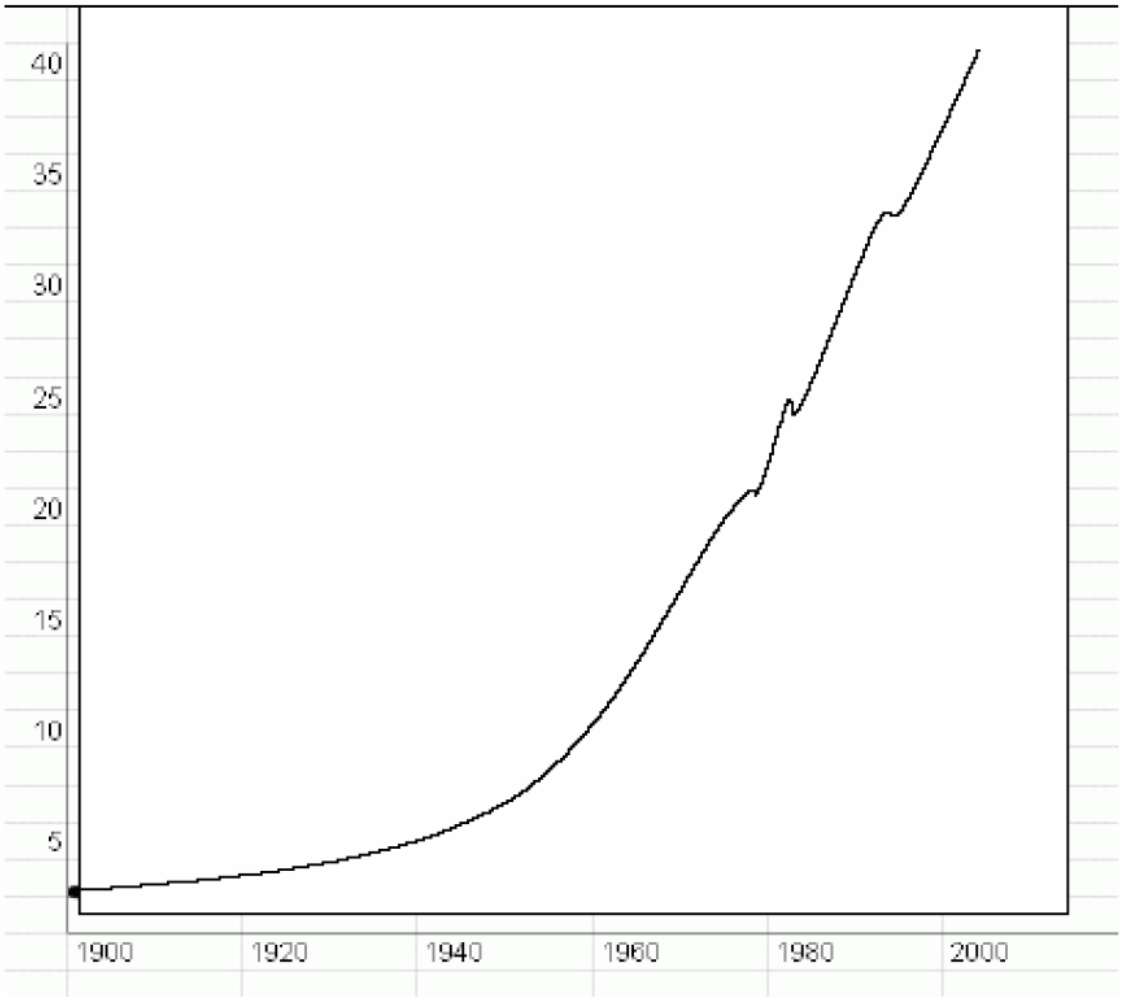


France : **x 5** en deux siècles
(source : Bernard Sauvant, INRA)

Monde : **x 2** en cinquante ans
(source : World ressource institute)

… par personne !

Croissance économique depuis un siècle



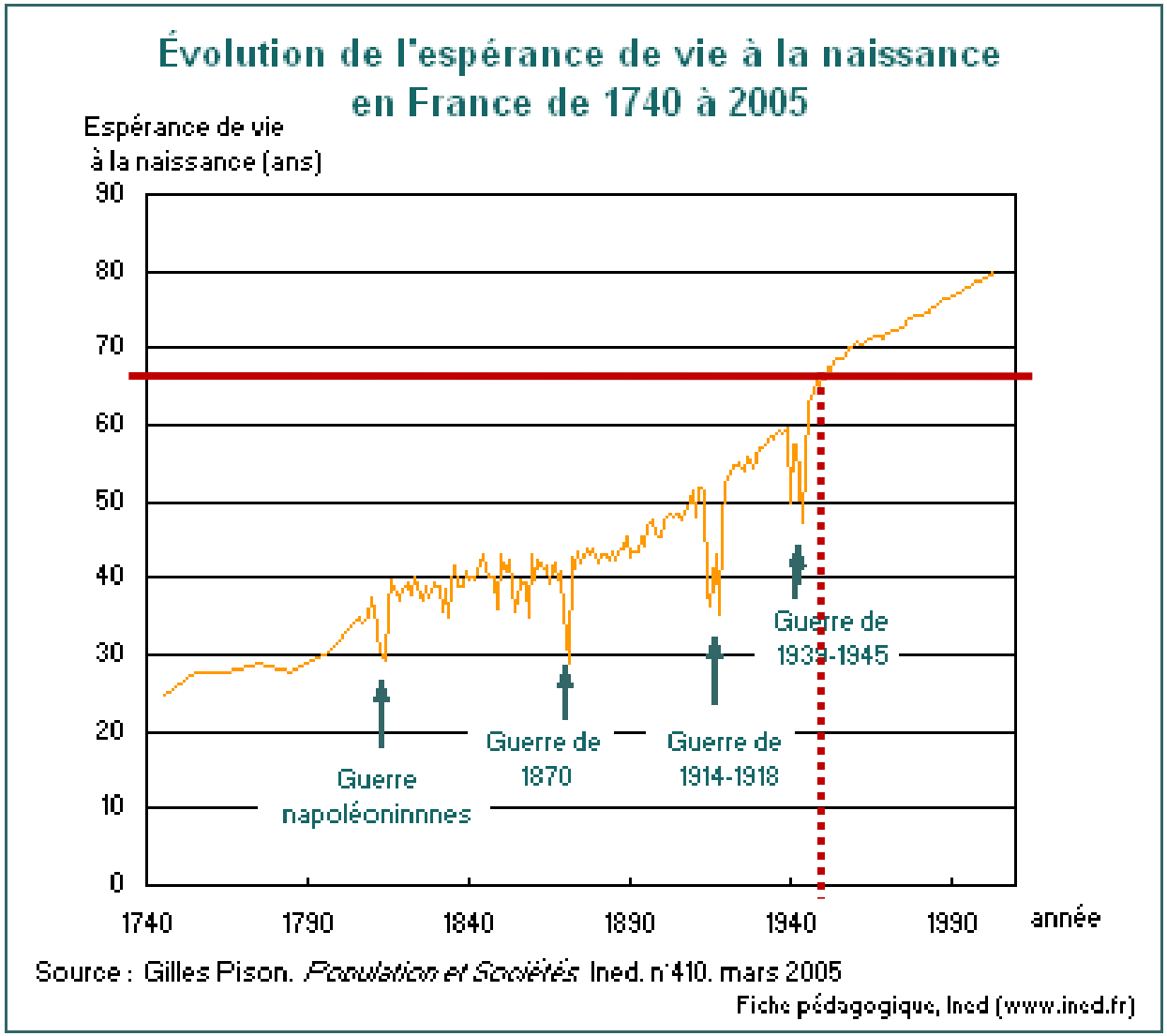
PIB mondial de 1900 à 2000

(reconstitution, car le PIB date de l'après-guerre), en dollars de 1990

x 20 environ

Source : Maddison, 1995

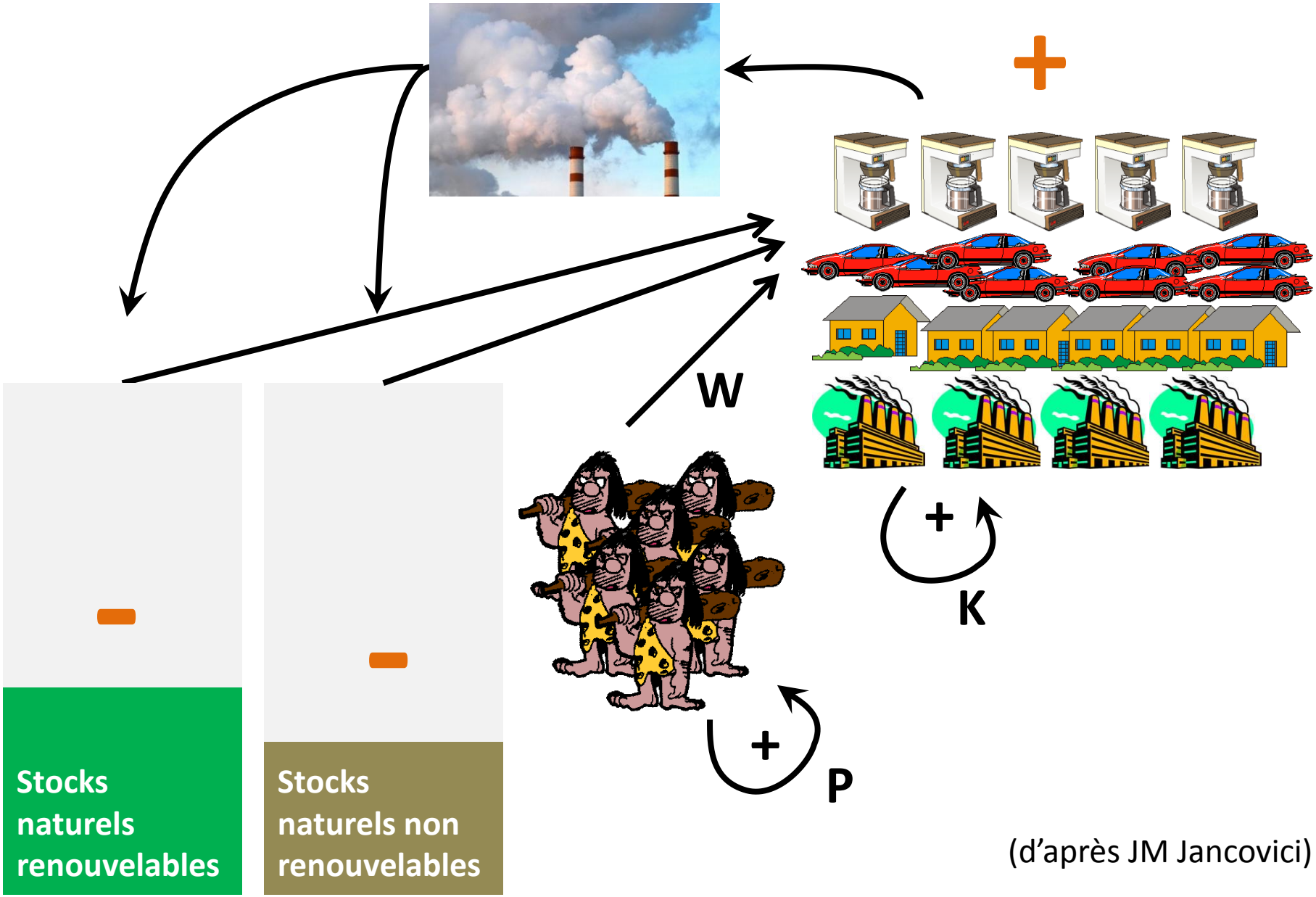
Espérance de vie…



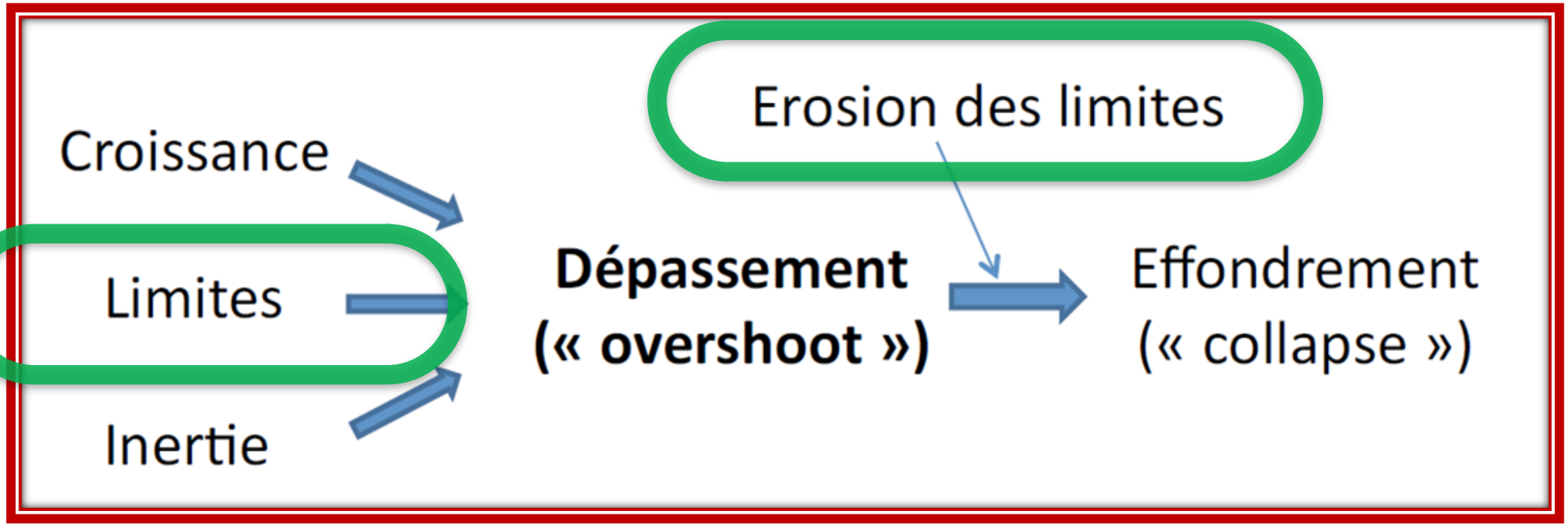
(source : INED)

Espérance de vie aujourd'hui : Monde : 67,3 ans

Le stock et le PIB



(d'après JM Jancovici)



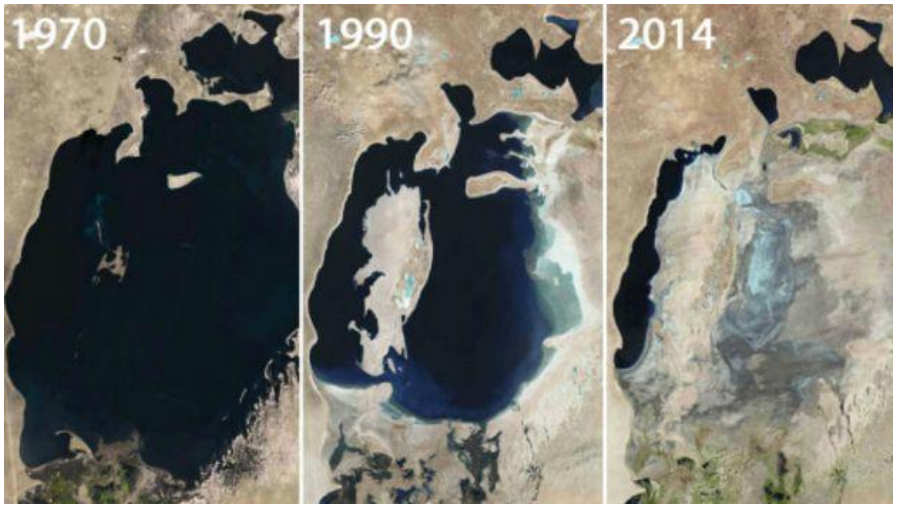
3 ingrédients

Erosion des limites :
Des fondements dégradés …

- Baisse des nappes phréatiques
- Erosion des sols et progressions des déserts
- Climat et élévation de la température
- Et encore plus encore….

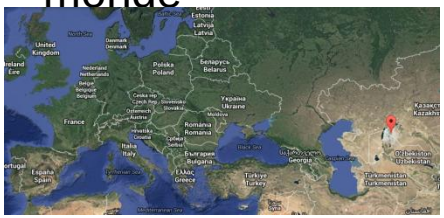
Eau de surface

Mer d'Aral

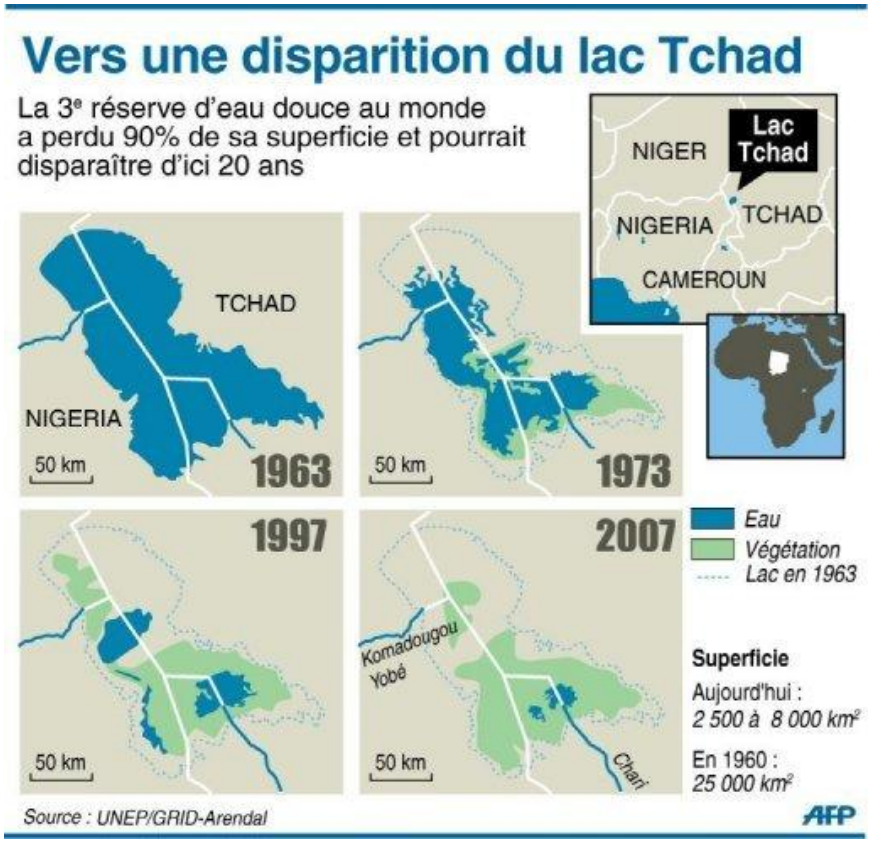


<u>1960</u>

- 66 458 km^2
- 4ième étendue lacustre du monde



Lac Tchad



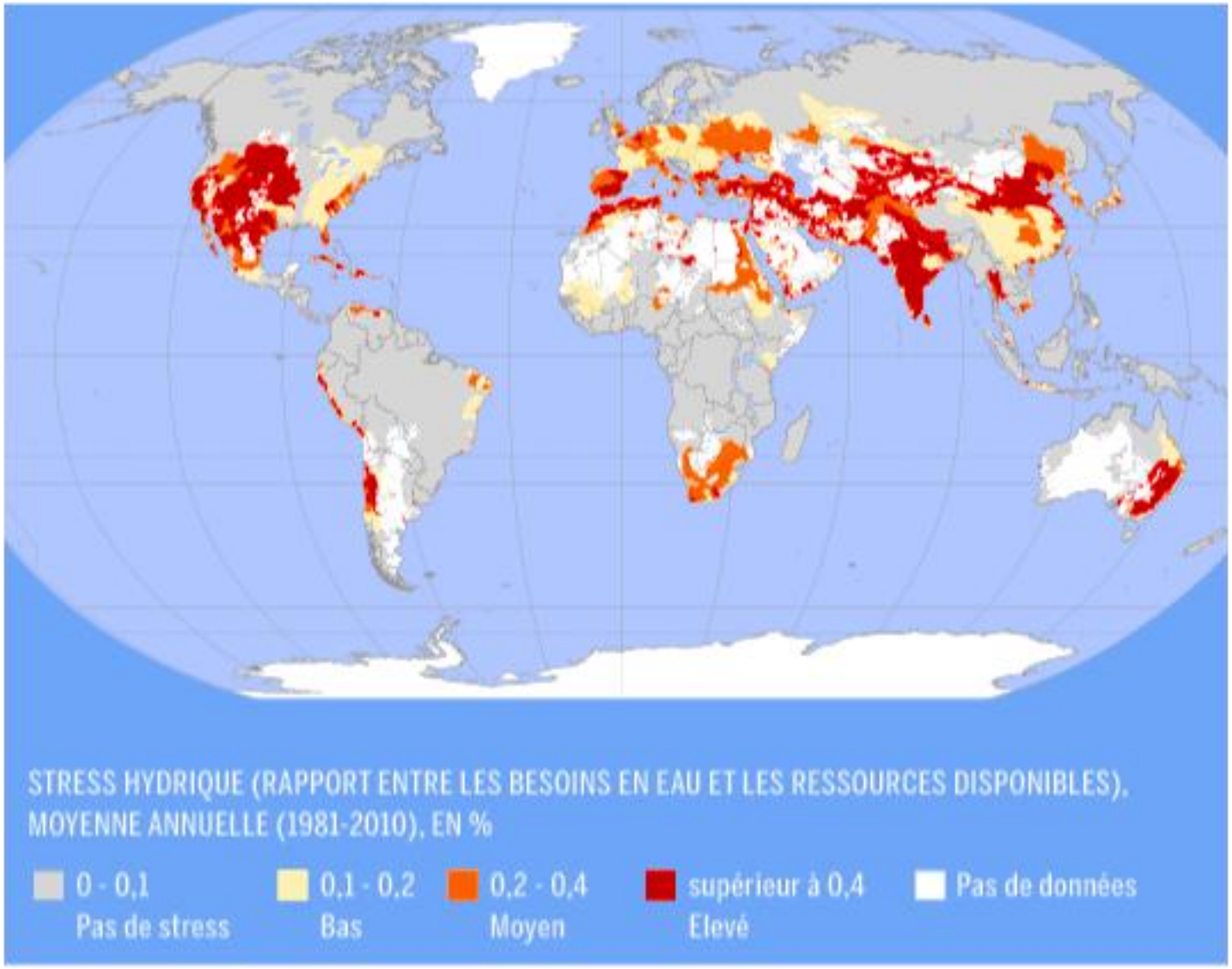
Yémen

- Nappes phréatiques renouvelables
- **Surexploitation**
  - ➔ Niveau des nappes ➘ de 2m par an
  - ➔ Sanaa (cap.; 2M hab.): eau courante 1j sur 4
  - ➔Taiz: eau courante 1j sur 20

- **Conséquences:**
  - Pop ➚ + ➘ nappes phréatiques: ➘1/3 des récoltes en 40 ans; 80% des céréales sont importées

- **Avenir compromis:** pétrole ➘; industrie= Ø; 60% des enfants = malnutrition et sous alimentation chronique

Un stress hydrique qui touche une large partie du globe !!!



The United Nations World Water Development Report 2015

Un stress hydrique qui touche une large partie du globe !!!

Nappes phréatiques chutent et puits s'assèchent dans près de

20 pays dont USA, Chine et l'Inde

qui représentent

50% de la production céréalière du monde!

The United Nations World Water Development Report 2015

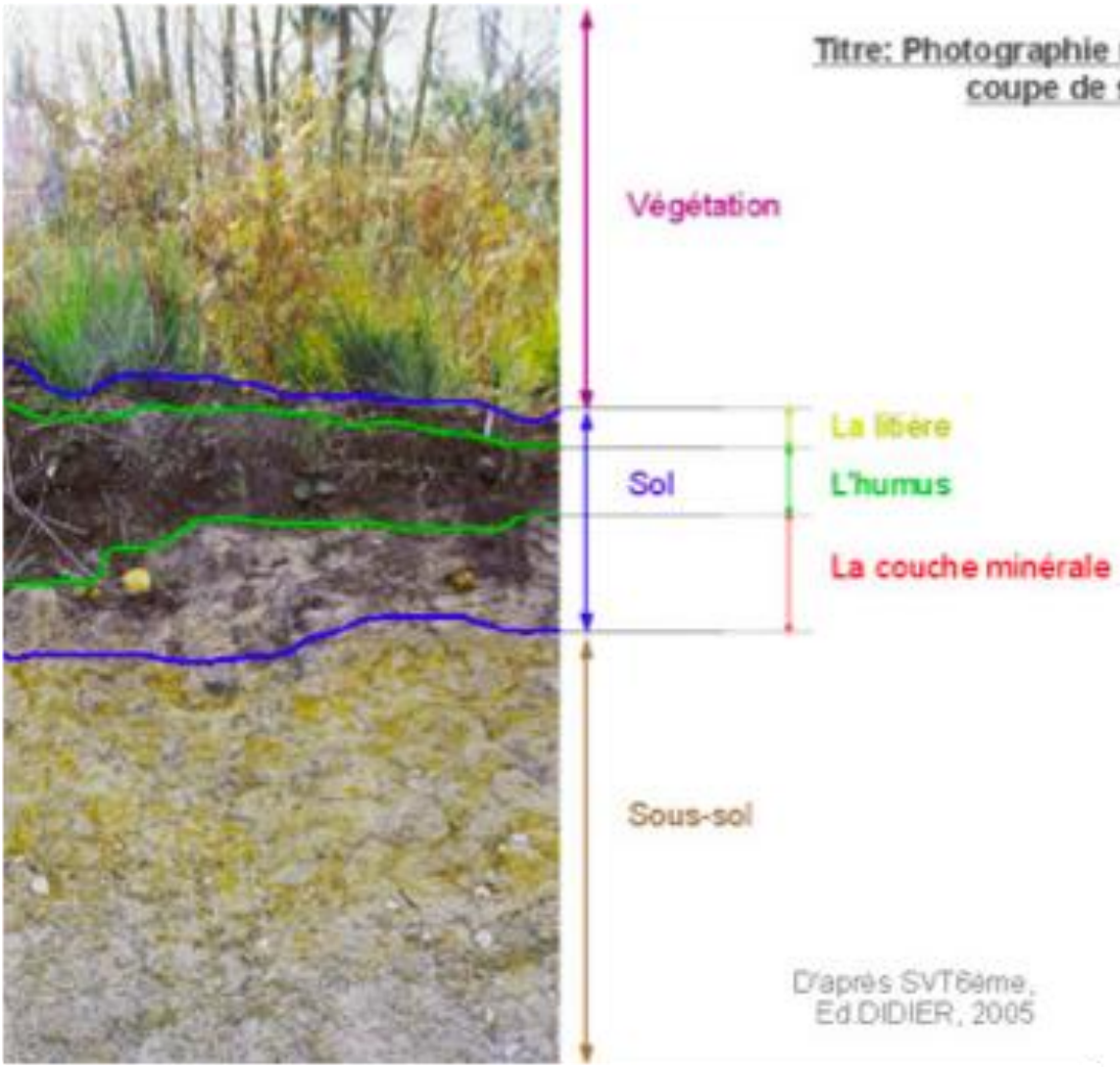
Un stress hydrique qui touche une large partie du globe !!!

- 50% de la population mondiale vit dans des pays où les réserves d'eau diminuent par surexploitation des nappes aquifères.
- 70% des prélèvement d'eau douce sont destinés à l'irrigation!
- 40% des récoltes mondiales provient de terres irrigués!!!

The United Nations World Water Development Report 2015

Erosion des sols et progressions des déserts

L'érosion des sols ?? C'est quoi?



Quelques chiffres globaux

- **25% des surfaces continentales en** désertification!

⇒Menace la vie quotidienne de **+ d'1 milliard de personnes**; éleveurs et agriculteurs dans **+ d'une centaine de pays.**

- **1/3 des terres cultivées soumis à l'érosion excessive**.

⇒Réduction productivité naturelle:

Perte d'1 cm de couche arable => **baisse des rendements de 2,5%** (blé, maïs)

Rapport des Nations Unies août 201

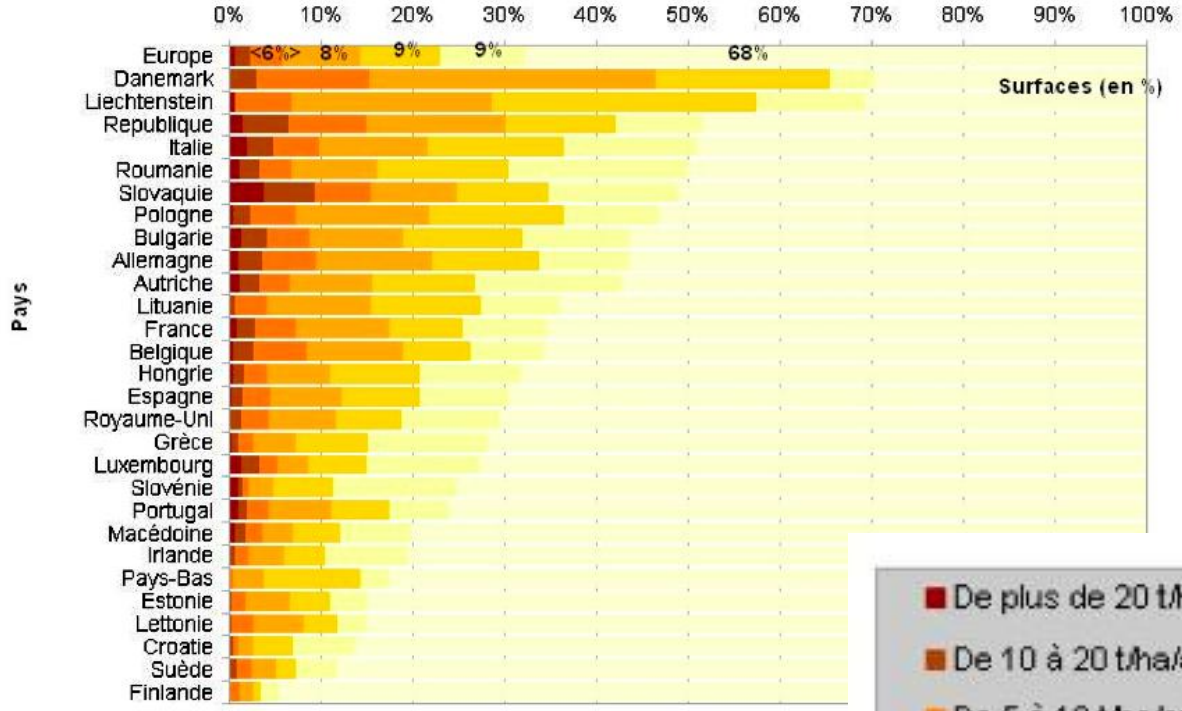
Une accélération alarmante!

- Progression de la désertification: (en moyenne)
  - 1950-1975 : + 1500 km^2 par an (progression constant)
  - 1985 : + 2100 km^2 par an
  - Fin XXième siècle (2000): + 3600 km^2 par an

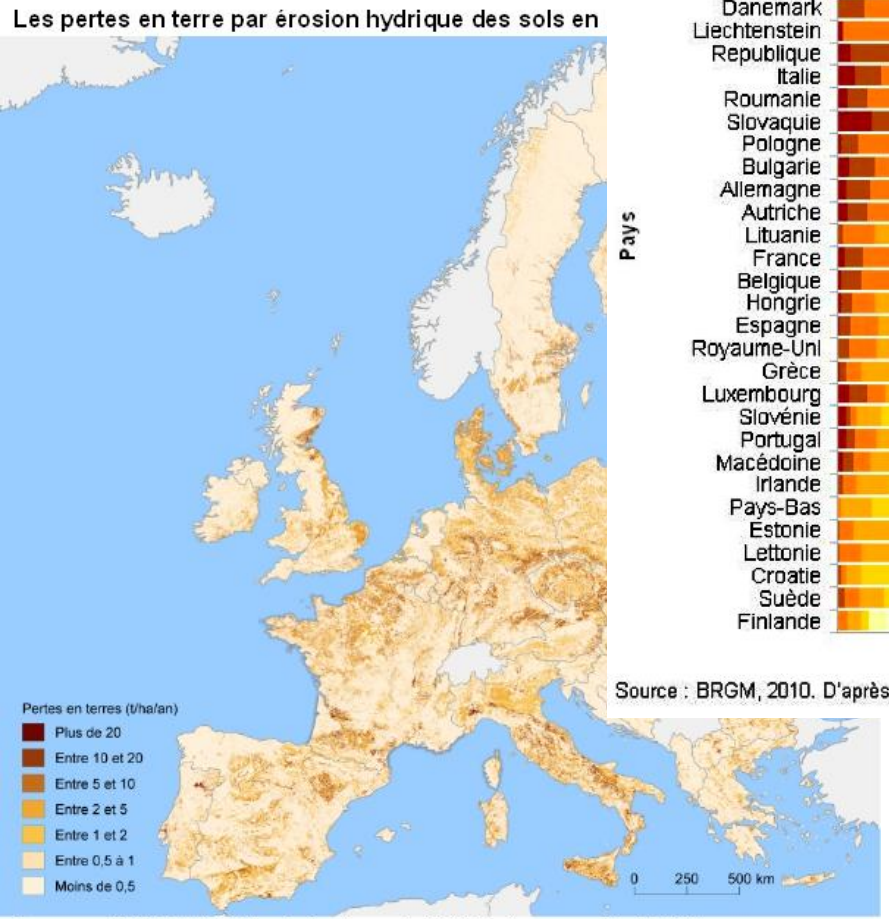
Rapport des Nations Unies août 201

Même en France et en Europe!

Surfaces concernées par les pertes en terre par érosion hydrique des sols en France métropolitaine
En % par pays



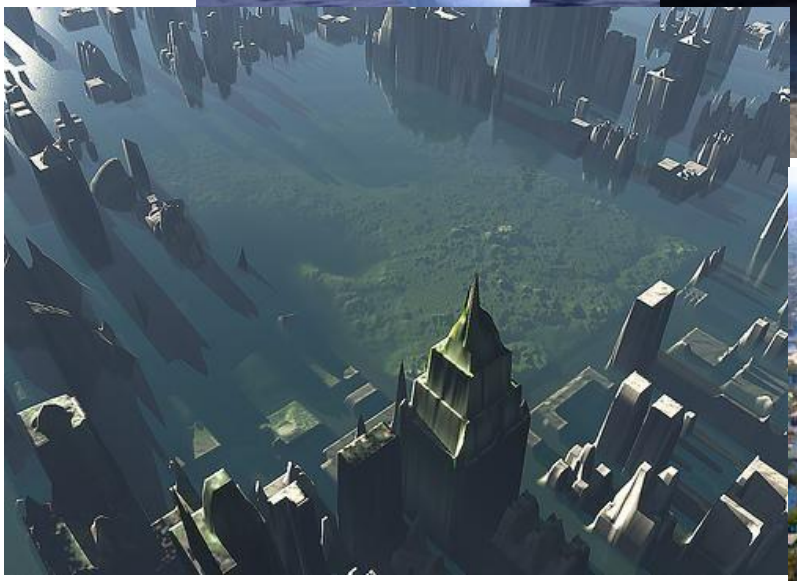
Source : BRGM, 2010. D'après Cerdan et *al.* , 2010. Traitements : SoeS, 2013.



Sources : BRGM, 2010. D'après Cerdan et *al.*, 2010. Traitements : SOeS, 2013.

- De plus de 20 t/ha/an
- De 10 à 20 t/ha/an
- De 5 à 10 t/ha/an
- De 2 à 5 t/ha/an
- De 1 à 2 t/ha/an
- De 0,5 à 1 t/ha/an
- De 0 à 0,5 t/ha/an

Elévation de la température (changement climatique)



Elévation de la température et insécurité alimentaire

Changement climatique

- Réchauffement global, bouleversement pluviosité
- ↗ fréquence et intensité des évènements extrêmes

Impacts directs sur une agriculture développée pendant une période climatique stable (11 000 ans)

- **↗ du niveau des mers**
  (2m au cours de ce siècle)
- **Fonte des glaciers**

Impacts indirects sur l'agriculture beaucoup plus important!

Urgence: éviter l'emballement climatique!
Toujours dans les pires scenarios du GIEC…

Elévation du niveau des mers

Une élévation de 1m du niveau des mers impliquerait :

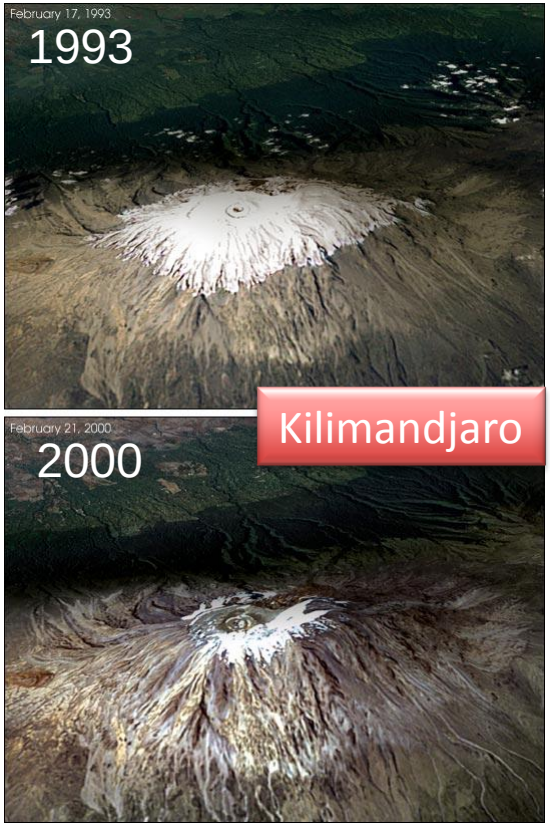
[exemples]

➔50% des rizières du Bangladesh submergées (160 millions d'habitants)

➔Delta du Mékong submergé : Delta où est produit 50% du riz du Vietnam, deuxième exportateur mondial de riz!

La fonte des glaciers…

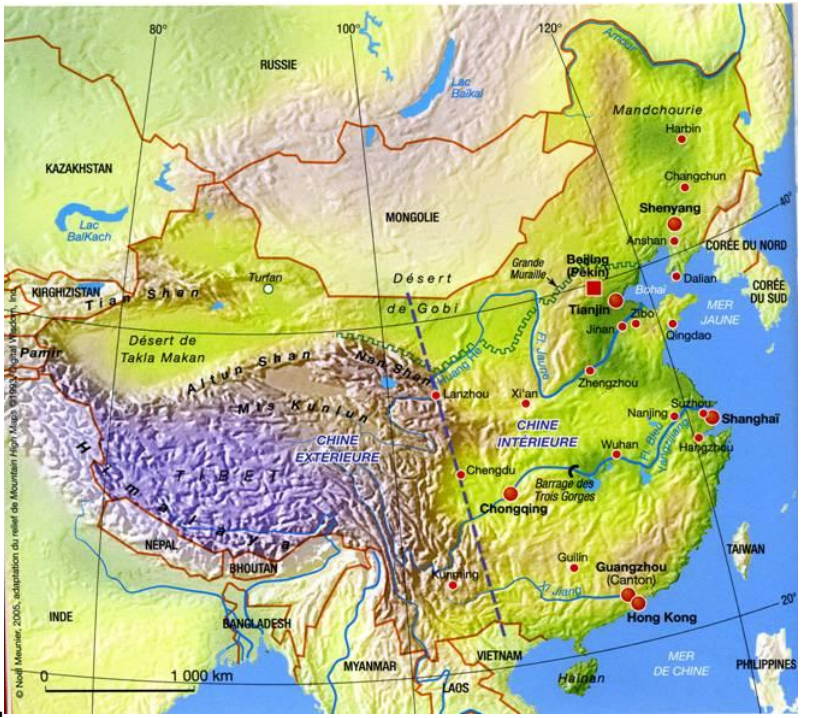
- USA: parc national des Glacier (Montana):
  - 1910: 150 glacier
  - 2010 : plus que 25 glaciers
- Afrique: Mont Kilimandjaro:
  - Perte de 85% du volume de glace entre 1912 et 2007
  - Disparition entre 2020 et 2050
- Les glaciers des Andes tropicales ont diminué de 30 à 50 % en 30 ans
- Alpes, Himalaya, plateau Tibétain…



La fonte des glaciers…

- **La plus importante menace pour la sécurité alimentaire mondiale!**
  - Glacier = Alimentation des grands fleuves **<u>en saison sèche</u>**
  - Cumul avec la baisse des nappes phréatiques
- **En particulier en Chine et Indes:**

glacier	fleuve	Importance	population
plateau tibétain (2/3 des glaciers fondus en 2060)	Fleuve jaune (Chine)	précipitations très faible dans moitié Nord de la Chine	147 millions de personnes
	Yang-Tseu-Kiang	130 millions de tonnes de Riz	369 millions de personnes
Mangotri	Gange (Inde)	principale source d'irrigation de l'Inde	407 millions de personnes



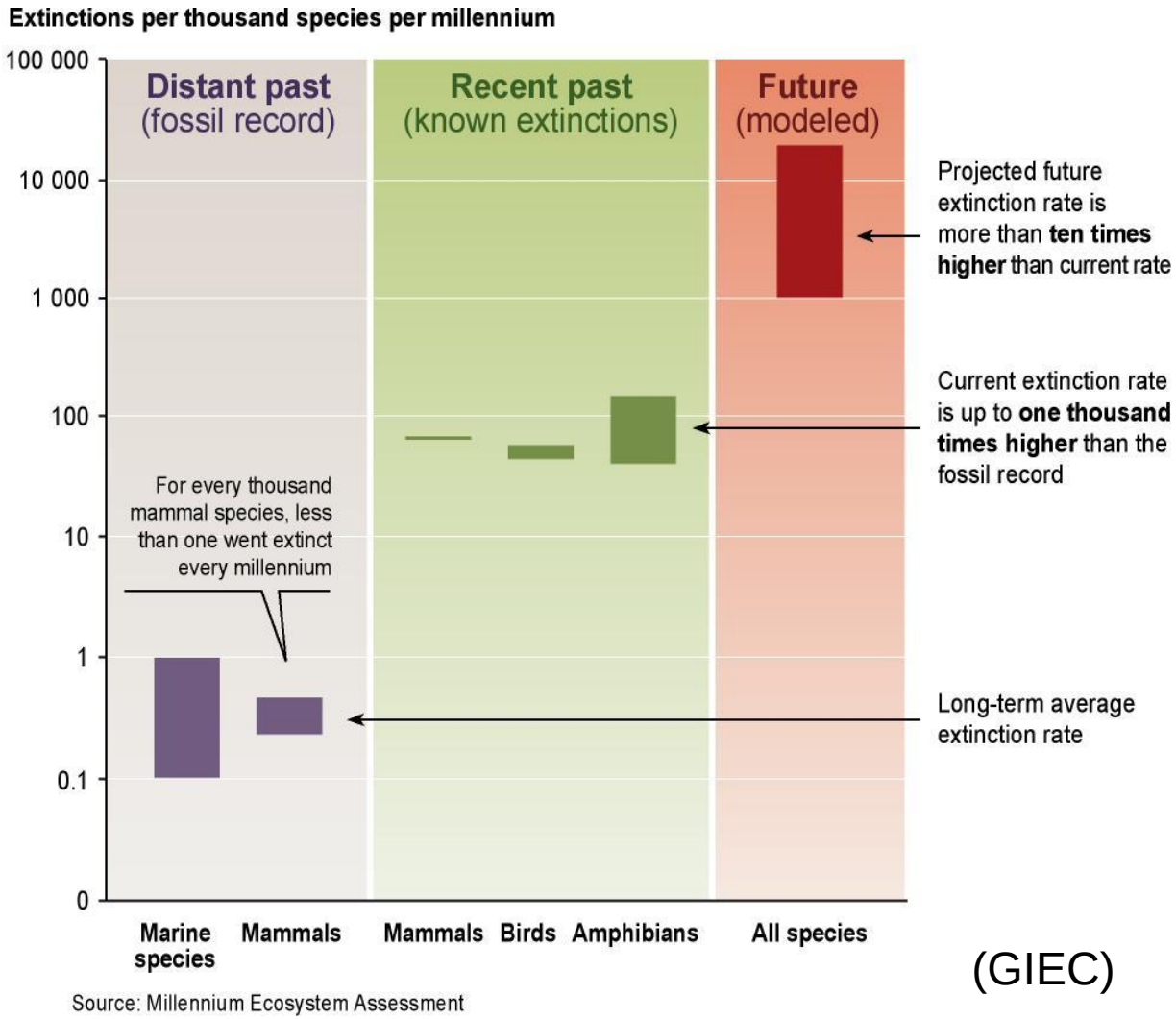
… Asie Centrale (Afghanistan), Pérou, Bolivie, *etc.*

Biodiversité : la 6ème grande extinction

- Rythme actuel d'extinction des espèces :
17 000 à 100 000 par an
= 2 à 10 par heure
(= entre 100 et 1000 fois plus que la moyenne naturelle à long terme)

- Liste rouge de l'UICN :
mammifères : 1 sur 4
oiseaux : 1 sur 8
amphibiens : 1 sur 3

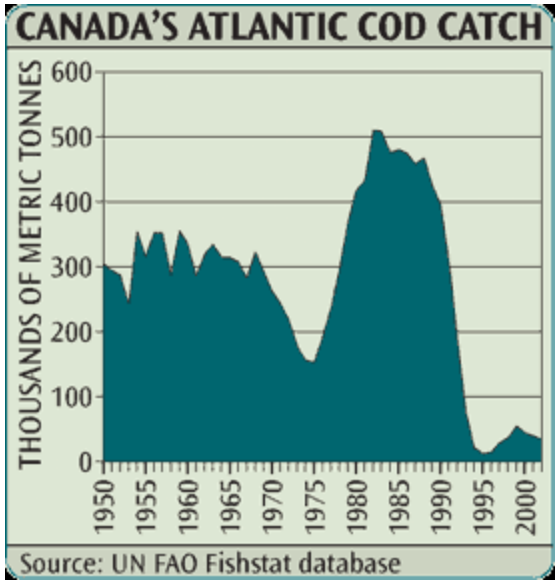
- 20% de toutes les espèces vivantes pourraient avoir disparu en 2030



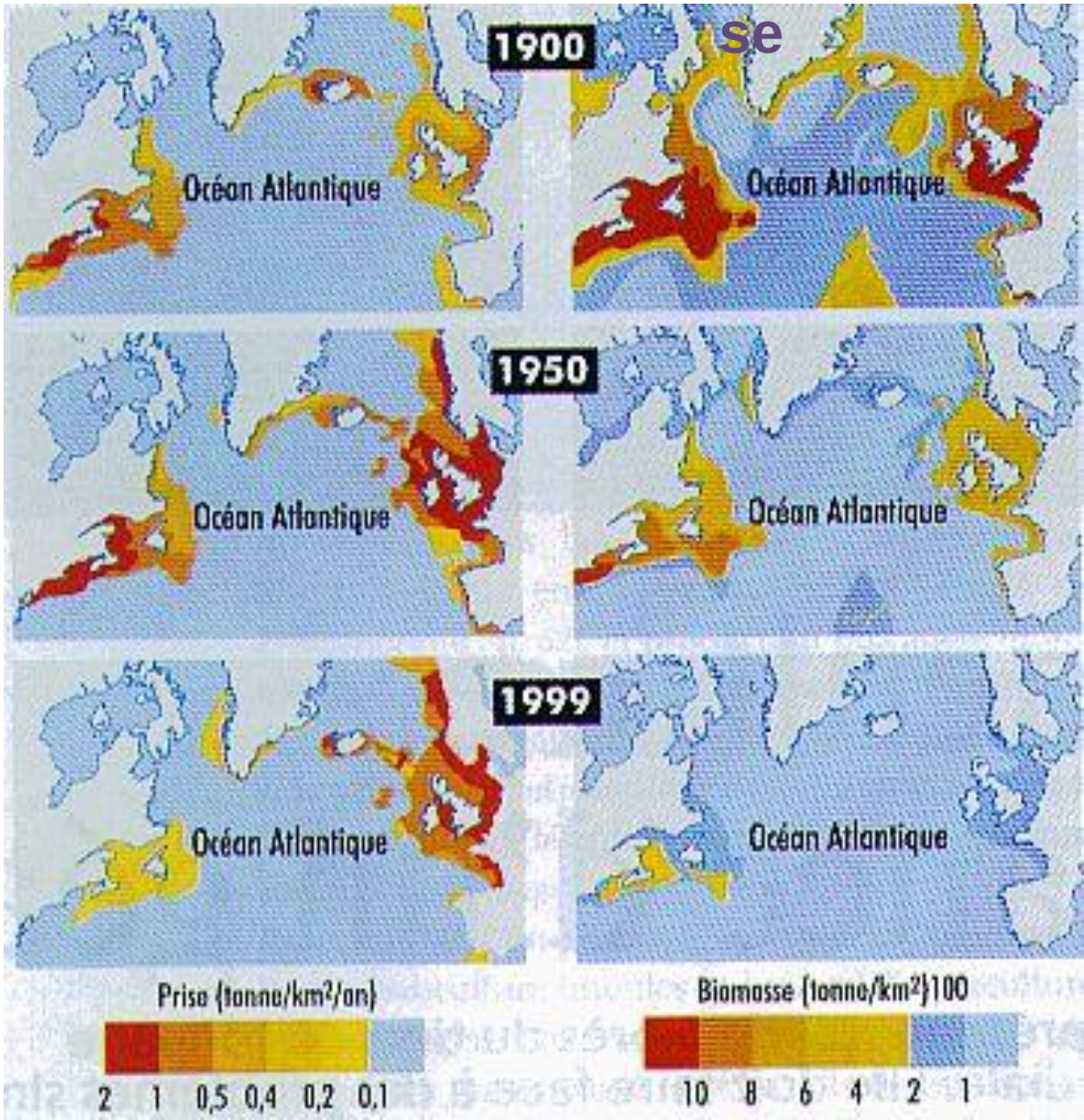
(GIEC)

Une mer sans poissons

Prises et biomasse de poissons
Niveau trophique > 3,5
(reconstitué à partir de 23 modèles de réseaux trophiques
La Recherche, juillet 2002)



Prises, morue atlantique, Canada

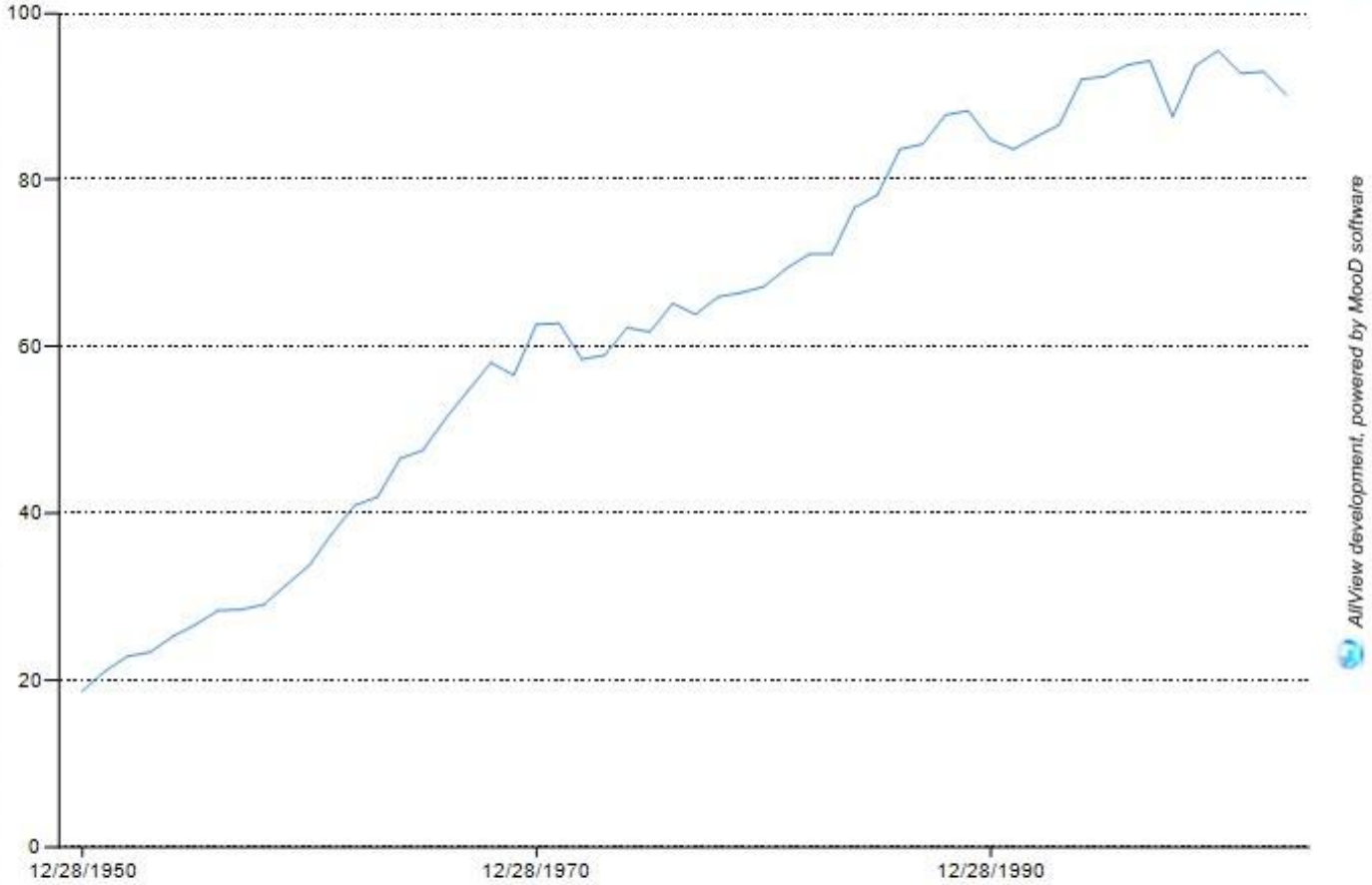


Stagnation des prises de pêche

Fish catch 1950-2003 (Million tons)

Last 30 years

	Value
1977	63.9
1978	66
1979	66.5
1980	67.2
1981	69.4
1982	71.1
1983	71.1
1984	76.7
1985	78.2
1986	83.7
1987	84.3
1988	87.8
1989	88.3
1990	84.8
1991	83.7
1992	85.2
1993	86.6
1994	92.1
1995	92.4
1996	93.8
1997	94.3
1998	87.6
1999	93.7
2000	95.5
2001	92.8
2002	93
2003	90.2



Source: Compiled by Earth Policy Institute from U.N. Food and Agriculture Organization, FISHSTAT Plus, electronic database, at www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp, updated March 2005; United Nations, World Population Prospects: The 2004 Revision (New York: February 2005).

Source : Earth policy institute / Alternative planétaire

Minerais

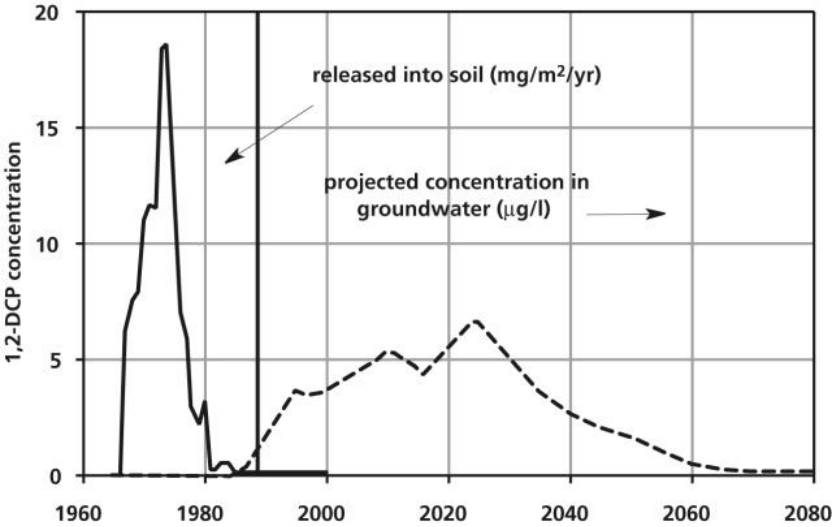
Evolution de la teneur en cuivre des minerais exploités aux Etats-Unis
(**source** : U.S. Bureau of Mines ; USGS)

Au Canada, les navires transportant des déchets contenant plus de **50 parties par million de PCB** doivent demander une autorisation spéciale.

Certains bélougas contiennent plus de **500 parties par million de PCB**

Polluants organiques persistants

Polychlorobiphényles, DDT, métaux lourds, …



Lente percolation des polluants dans les eaux souterraines

Quantité de PCB en Europe (dans des transformateurs) : 200 000 tonnes

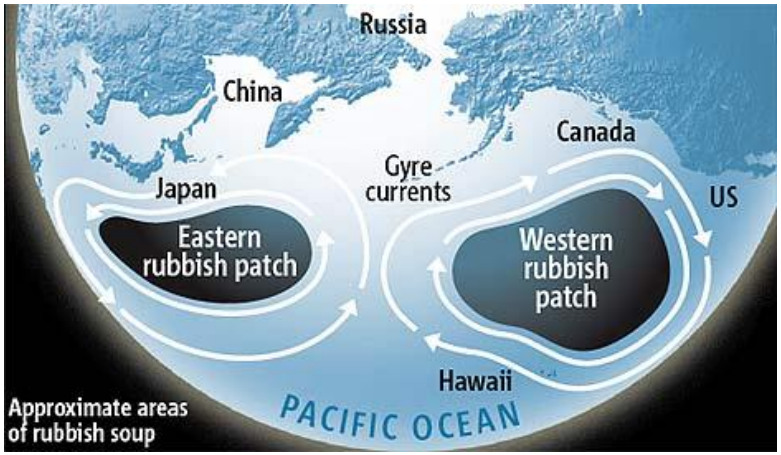
Déchet toxique dangereux

St Laurent, Canada

Une mer de plastique

Durée de vie des déchets plastiques : environ 500 ans

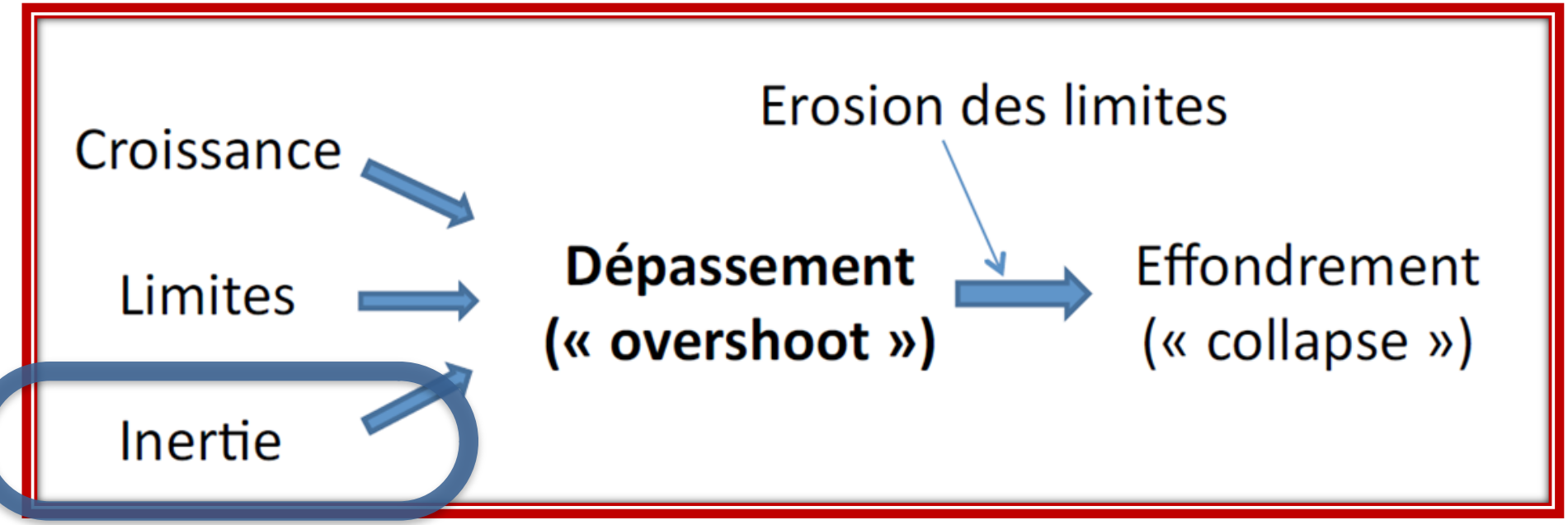
Vecteurs d'intoxication (fixent DDT, PCB)



Source : Charles James Moore (Algalita Marine Research Foundation), Environmental Research 108 (2008) 131–139

Laysan albatross chick, Kure Atoll, 2002, photo: Cynthia Vanderlip, AMRF

+ micro plastiques…



3 ingrédients

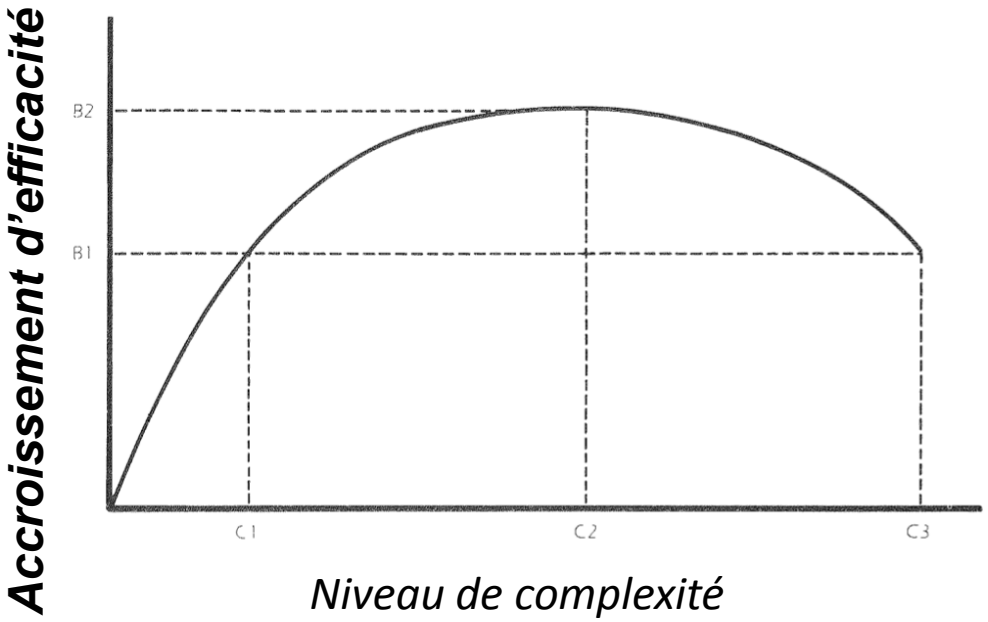
Inertie

- Exemple: les CFCs et la couche d'ozone:
  - 1ère alerte sérieuse en 74, premiers traités internationaux à la hauteur du problème en 2000:
  - Plus de 25 ans de négociations pour un problème bien identifié, à impact économique limité
  - Accords non universellement appliqués, contrebande…

Complexité sociétale et effondrement

- **Société = structure de résolution des pbmes**
- **Coût de maintien de la société = énergie**
- **Complexité implique accroissement des coûts par unité**
- **Passé l'optimum, complexification = boucle auto-entretenue**

J.Tainter, "The collapse of complex societies"



= source structurelle de la croissance des flux et du retard de réaction

Équation de Kaya

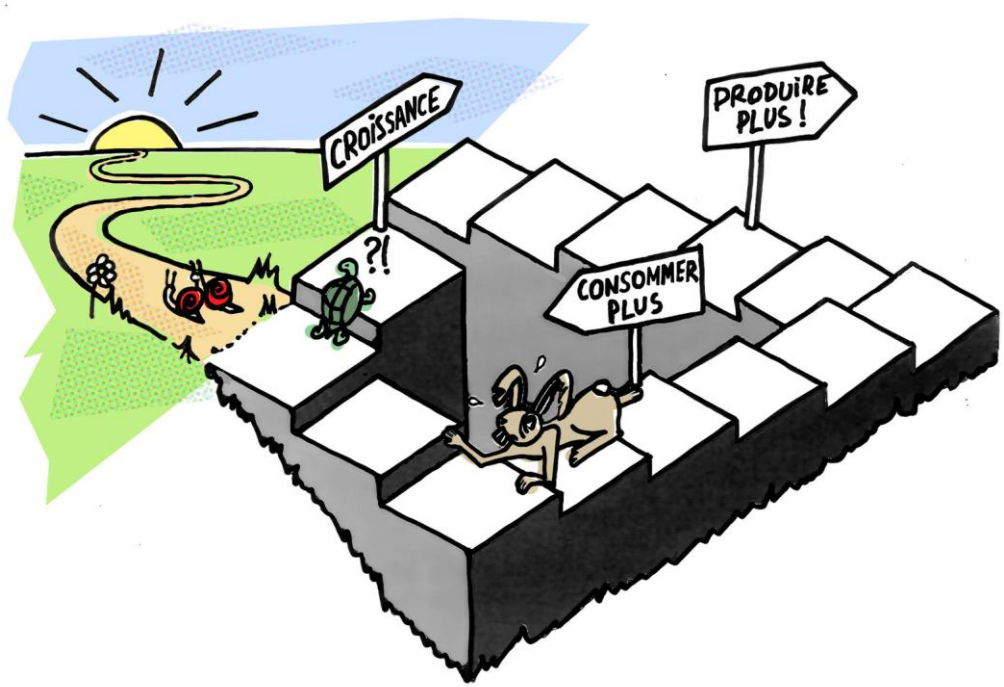
$$CO_2 = \text{Population} \times \frac{\text{PIB}}{\text{Population}} \times \frac{\text{Energie}}{\text{PIB}} \times \frac{CO_2}{\text{Energie}}$$

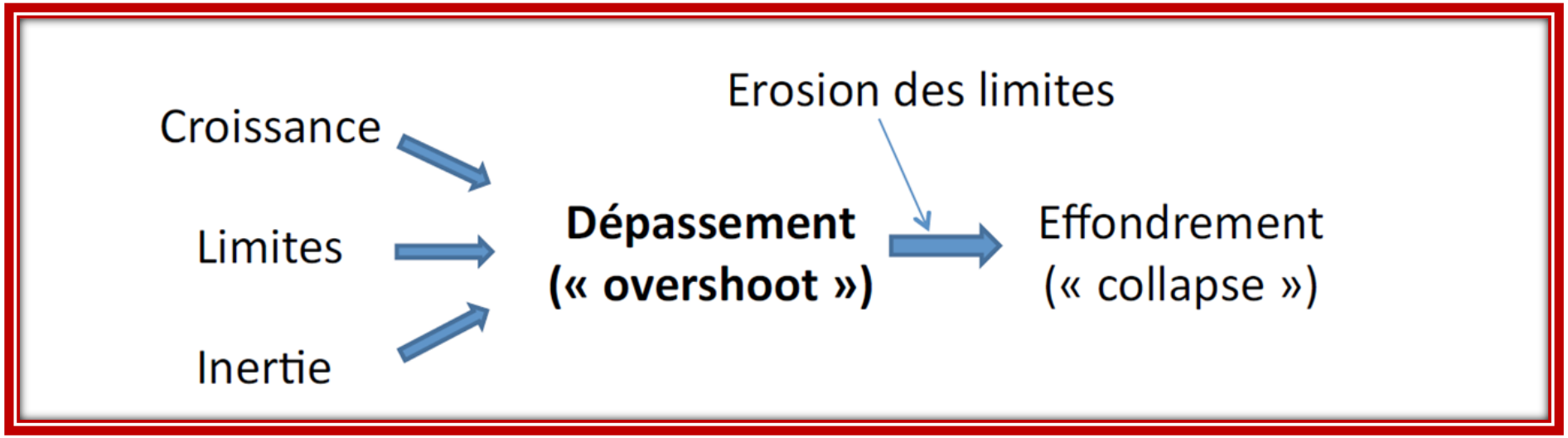
Variable d'ajustement ???

PIB / population: souhait = augmenter de 2% par an minimum;
→ multiplication par 2,2 en 40 ans

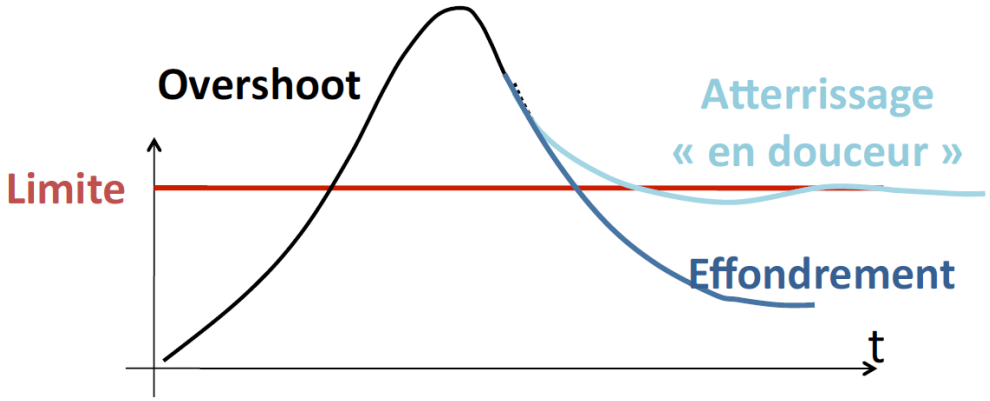
Diviser les émissions de GES mondiales par 3 en 2050 (hausse de la population pris en compte)
⇒ **diviser le produit des ratios Energie/PIB et CO2/Energie par 10 !**

Un système économique basé sur la croissance



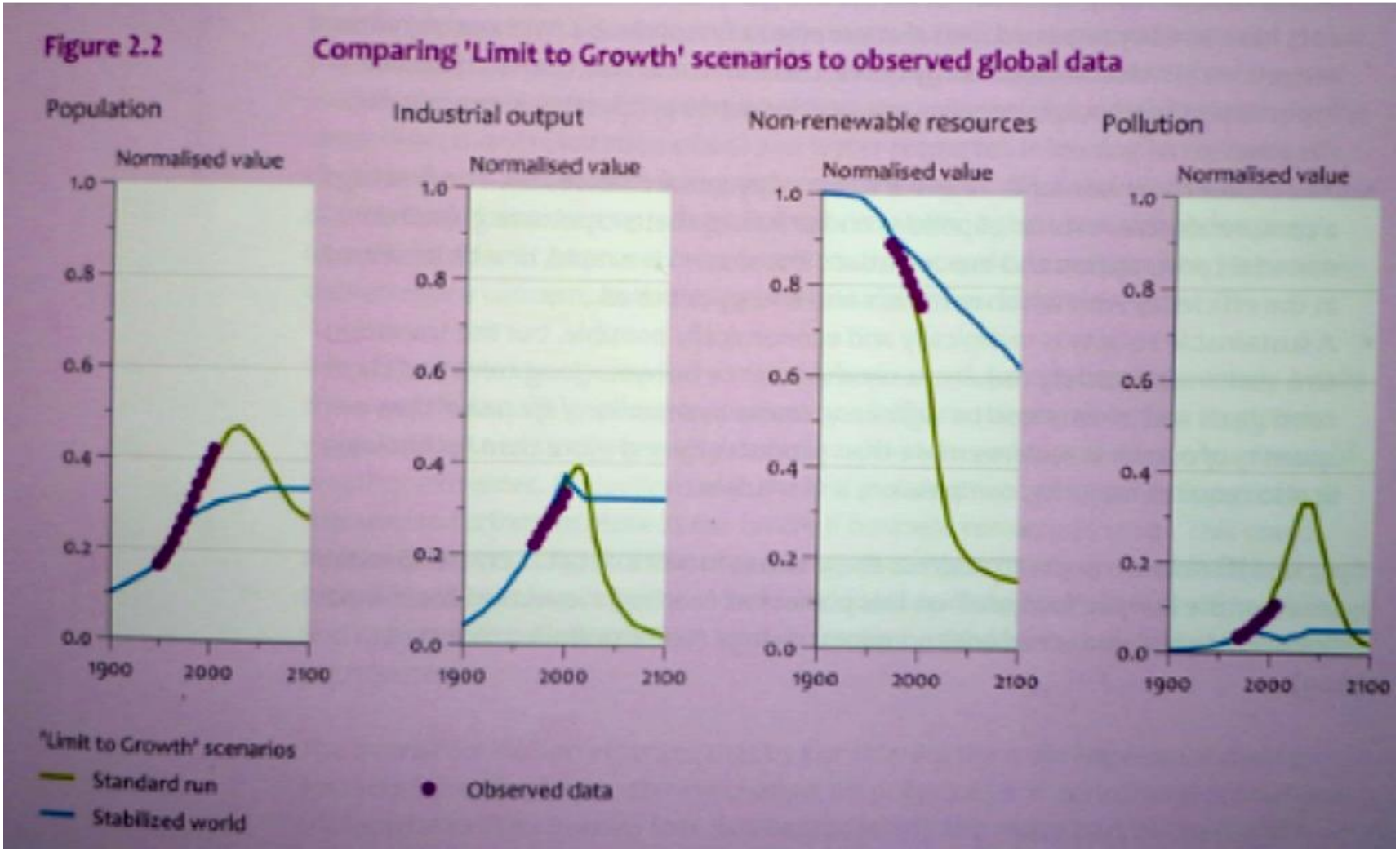


Tous les ingrédients sont là..



Le Club de Rome et le monde réel :

Turner 2012

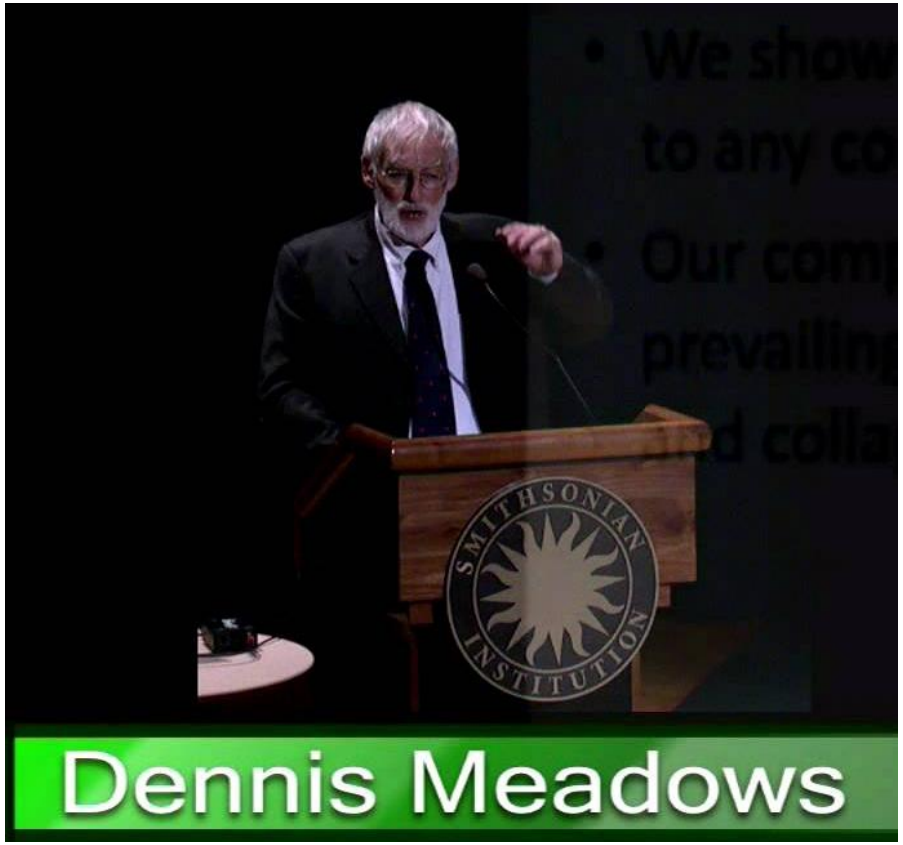


BUSINESS AS USUAL : Dennis Meadows (1972) aurait raison ?

Dennis Meadows - 2012

Perspectives on the Limits of Growth:

It is <u>too late</u> for sustainable development



Moscow, Russia
18 April, 2012

https://www.youtube.com/watch?v=f2oyU0RusiA

Vous n’y croyez toujours pas ?

Peut-on tirer des leçons de l'histoire ?

Iles de Pâque

1722 : premiers européens débarquent sur l'île de Pâques

- terre pauvre, pas d'arbre, pas d'arbustes de plus de 3 mètres
- peu de ressources alimentaires
- pas d'animal comestible (sauf rat et quelques poulets)
- embarcations des insulaires : petites pirogues peu étanches

Iles de Pâque

Etudes botaniques ont montré l'existence passée d'une forêt riche à la végétation luxuriante
Palmiers (tronc jusqu'à deux mètres de diamètre, hauteur jusqu'à 30m)
Au moins 6 espèces d'oiseaux terrestres indigènes (aujourd'hui aucun), au moins 25 espèces d'oiseaux de mer en période de nidification (site le plus riche de tout le pacifique)

Effondrement de l’île de Pâques

- Vers l’an 900 : colonisation de l’île de Pâques par des polynésiens
- Déforestation totalement achevée vers 1600
- Perte de ressources alimentaires sauvages : fruits sauvages comestibles, noix, sève de palmier (-> vin, miel, sucre), oiseaux
- Pénurie de ressources halieutiques (plus de possibilité de pêcher en haute mer le marsouin, qui représente 30% des ossements retrouvés dans les dépotoirs anciens, le thon)
- Seule ressource alimentaire animale sauvage restante : le rat
- Perte de matériaux : bois pour la construction de logements, de pirogues, pour fabriquer des harpons, feuilles de palmier (toits, voiles, paniers), écorces (cordes, étoffes), bois de chauffe, plumes des oiseaux
- Erosion des sols (pluie, vent), dessication, lessivage des nutriments
- Famine, chute démographique (diminution d’environ 70% de la population)
- Chaos politique (renversement du pouvoir en place par chefs militaires), conflits (destruction des statues, pointes de lances), famine (statues de personnages affamés), cannibalisme (récits de cannibalisme dans la tradition orale, os humains retrouvés dans les détritus)
- 1620 : érection des derniers moaï(le plus grand, le Paro, un des derniers)
- L’effondrement a suivi de très près l’apogée démographique, culturel, l’érection des plus grandes statues (disparition de 70% de la population)

Effondrement de l’île de Pâques

Mayas

Cabo Catoche
YUCATAN
Uxmal
Chichen Itza
Basses Terres du Nord
Tulum
CAMPECHE
Campeche
QUINTANA ROO
YUCATAN PENINSULA
Chetumal
Basses Terres du Sud
Orange Walk
Belize City
Oaxaca
Palenque
Tikal
BELIZE
GUATEMALA CITY

Effondrement des mayas

- Début de la civilisation «classique» vers 250 après JC
- Augmentation exponentielle (monuments, bâtiments), jusqu'à une apogée au 8ème siècle après JC.
- Fin 8ème siècle –début 9ème siècle : effondrement (dernière date figurant sur un monument en 909 après JC)(en fait de multiples effondrements sur une période plus étendue)
- Signes de maladies et de malnutrition sur les ossements humains retrouvés

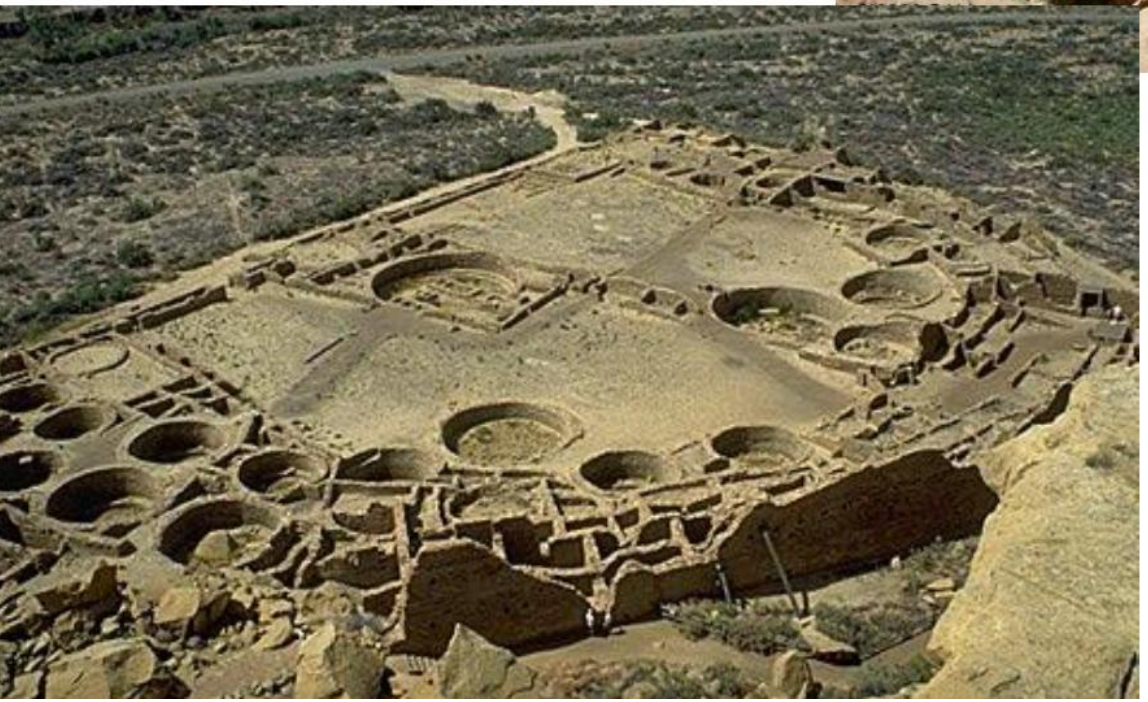
Causes :

1. Croissance démographique (Malthus)
2. Déforestation puis épuisement et érosion des sols, sécheresse due à la déforestation
3. Conflits pour les ressources (maximum juste avant l'effondrement)
4. Sécheresse sans territoire de repli disponible
5. Manque de clairvoyance des dirigeants mayas

Indiens Anasazis

Sud-ouest des Etats-Unis : effondrements de nombreuses civilisations entre 1000 et 1500 après JC (3600 sites archéologiques)

Environnements fragiles :
- pluviosité faible
- sols fragiles
- arbres poussent lentement



Chaco canyon : plus hauts bâtiments d'Amérique du nord jusqu'en 1880 (construction des gratte-ciels de Chicago)

Effondrement des Anasazis

- Apparition vers 600 après JC
- Effondrement à partir de 1120 et disparition entre 1150 et 1200 après JC
- Tentatives de canalisation de l'eau aboutit à la création d'arroyos (petits canyons), baisse de la nappe phréatique
- Déforestation
- Sécheresse 1130-1180 (élément déclencheur, mais pas la cause profonde)

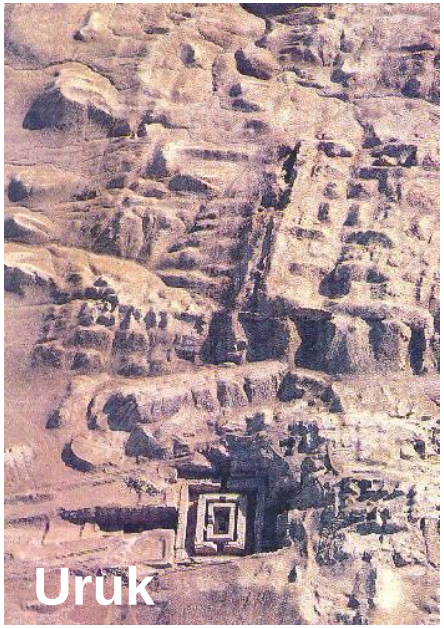
Sumériens

Croissant « fertile »

4500 av JC : naissance de la civilisation de Sumer
Culture de l'épeautre (variété de blé), irrigation, civilisation « hydraulique », premières villes, première écriture (cunéiforme)

Irrigation a causé un enrichissement progressif des sols en sel (remontée des eaux de la nappe phréatique)
Pénurie de ressources alimentaires
Civilisation disparue vers 2000 av JC

Le croissant fertile aujourd'hui : quelques sites archéologiques sumériens



Effondrement des sumériens

Irrigation a causé un enrichissement progressif des sols en sel (remontée des eaux de la nappe phréatique)

Pénurie de ressources alimentaires

Civilisation disparue vers 2000 av JC

Autres effondrements

- Vikings (Groenland)
- Empire Khmer d'AnkorVat (Extrême Orient)
- Grèce mycénienne des Achéens (Europe)
- Crète minoenne
- Harrapande la vallée de l'Indus (Inde)

- Sociétés modernes …

Accepter l’éventualité d’un effondrement ?

- Difficultés… Raisons du déni.
- Pourquoi faut-il regarder les choses en face et envisager un effondrement ?
- Vers quoi allons nous ?
- Que Faire ?

Se représenter un effondrement…

- Effondrement rapide ou déstructuration lente ?
  - > succession de crises, paliers…
- Quels seront les déclencheurs (accélérateurs) ?

Comment cela va se manifester ?

Bilan des analyses de Lester Brown :

- Emergence d'une géopolitique de la pénurie alimentaire
- Tensions croissantes, états défaillants
- Flot grandissant des réfugiés environnementaux

(entre autres)

En 2016, 1 personne sur 113 est un réfugié dans le monde

Haut-commissariat de l'ONU pour les réfugiés

Quoi faire ?

Lester Brown :

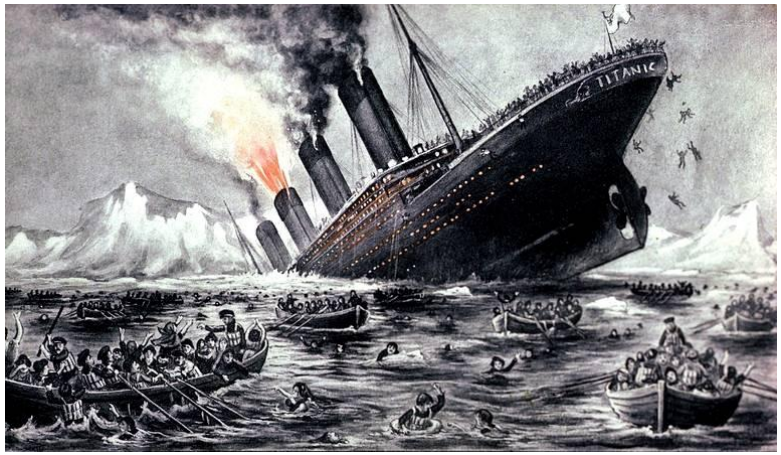
- Les solutions techniques existent !

Le problème est **<u>politique</u>**

+ toutes sortes de blocages de natures diverses dont **<u>sociologiques</u>**…

Option actuellement choisie :

Tirer son épingle du jeu « à tout prix »



Syndrome du Titanic

Sir Cosmo Edmund Duff Gordon embarque dans le canot n° 1 qui part avec 12 personnes. Prévu pour 40, le canot n'est pas retourné chercher d'autres passagers…

97 % des passagères de première classe ont survécu
55 % pour les passagères de troisième classe

Renforcer sa richesse pour augmenter ses chances….

« Quand nous regardons le visage de chaque réfugié, surtout ceux des enfants et des femmes, nous ressentons leur souffrance, et un être humain qui a de meilleures conditions de vie a la responsabilité de les aider. Mais, d’un autre côté, il y en a trop à présent»

Dalaï-lama, prix Nobel de la paix, mai 2016, Frankfurter Allgemeine Zeitung.

« L’enfer des vivants n’est pas chose à venir. S’il y en a un, c’est celui qui est déjà là, l’enfer que nous habitons tous les jours, que nous formons d’être ensemble. Il y a deux façons de ne pas en souffrir. La première réussit aisément à la plupart : accepter l’enfer, en devenir une part jusqu’au point de ne plus le voir. La seconde est risquée et demande une attention, un apprentissage, continuels : chercher et savoir reconnaître qui et quoi, au milieu de l’enfer, n’est pas l’enfer, et le faire durer, et lui faire de la place. »

Italo Calvino, Les villes invisibles, 1972.

https://team.inria.fr/steep/seminars/les-conferences-debats-comprendre-et-agir/

Presentation | People | Research | Projects | Publications | Seminars | Jobs | News | Contact | Intranet | Videos

↑ Return to Seminars

Cycle conférences – débats « Comprendre et agir »

L'équipe de recherche STEEP propose un cycle de conférences – débats « Comprendre et agir ». Les conférences « Comprendre et agir » éclairent les questions de sociétés pour agir sur notre monde. Elles s'adressent à tous, citoyens et chercheurs, et se fixent pour but de mettre en évidence dans un langage accessible, les connaissances scientifiques pointues et les questionnements éthiques pour participer à la décision et pour agir ensemble sur un monde partagé. **Format de la conférence: L'exposé dure 30 minutes et est suivi d'un débat avec le public. Ces conférences sont filmées et les vidéos directement accessibles.**

Pour suivre toute notre Actu' : **Twitter: @STEEP_INRIA**
Pour être informé des dépôts des vidéos : **Abonnez vous à notre chaine YouTube!**

Liste des conférences – débats « Comprendre et agir » organisées par STEEP:

1. Limiter le changement climatique … Pourquoi n'y arrive t-on pas ? [17 / 12 / 2015 — Denis Dupré]
2. Nourrir sainement 9 milliards d'êtres humains : possible ou impossible ? [14 / 01 / 2016 — Denis Dupré]
3. Agir vite et mieux : que faut-il changer ? [11 / 02 / 2016 — Denis Dupré]
4. La crise permanente [08 / 04 / 2016 — Marc Chesney]
5. Injustices institutionnalisées et innovation sociale [22 / 06 / 2016 — Emmanuel Raufflet]
6. Réinventer l'agriculture et l'alimentation du XXIe siècle ? [28 / 06 / 2016 — Gilles Billen]

Réinventer l'agriculture et l'alimentation du XXIe siècle ?

- **Date : mardi 28 juin 2016**
- **Heure :** 11h30 – 12h30
- **Lieu :** Inria Grenoble – Rhône-Alpes – Grand Amphi

Conférence de **Gilles Billen,** biogéochimiste, Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie.

L'agriculture est en crise. Les solutions de court terme pour accroître la productivité du secteur et assurer des débouchés à l'international, quite à réduire les contraintes imposées par la protection de l'environnement, ne font qu'aggraver les causes du mal. Un regard un peu plus distancé, celui de la biogéochimie, permet d'imaginer d'autres voies pour penser l'agriculture de demain, à l'échelle locale comme à l'échelle mondiale. Et concilier la production de nourriture pour 9 milliards d'êtres humains avec le respect de la qualité de l'eau, de l'air et des sols

Quelques références

- **L. Brown**: Le plan B : Pour un pacte écologique mondial
- **Meadows** et al. : Les Limites à la croissance (dans un monde fini), 2012 [*Limits to Growth: The 30-Year Update*]
- J. **Diamond**: *Effondrement, 2006* [*Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*]
- **P. Servigne et R. Stevens:** Comment tout peut s'effondrer: Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes
- Le site de J.-M. **Jancovici** : www.manicore.com

MERCI à Emmanuel Risler,

Pierre-Yves Longaretti et Denis Dupré.