



www.cnrs.fr



<https://www.sorbonne-universite.fr>



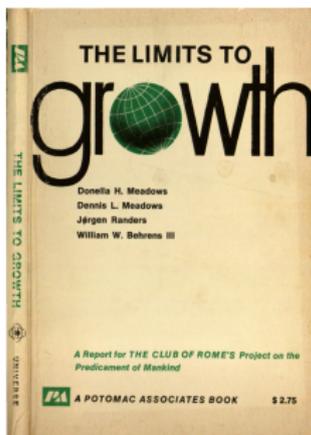
<https://lcpmr.cnrs.fr>



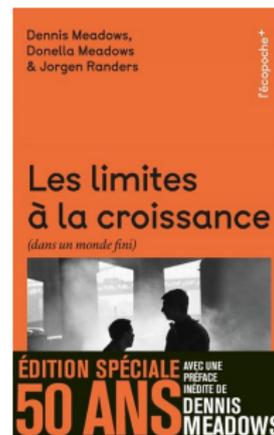
<https://labos1point5.org/>

The Limits to Growth

(In a finite world)



https://www.lemonde.fr/economie/article/2022/06/24/la-croissance-francaise-devrait-atteindre-2-3-en-2022_6131902_3234.html



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Dernière mise à jour : 23 mai 2024

[Lien de mise à jour](#)

Introduction à ce support

Bien qu'ils soient indiqués en page de garde, ce support ne parle pas au nom du CNRS, des universités ou des laboratoires mentionnés par les logos.

Ce support est à destination des enseignants qui désirent introduire les sujets d'environnement, climat, ressources, énergie et biodiversité à leurs élèves. Tout ce que contient cette présentation est libre d'accès : les textes, les images (pour les récupérer : "Clic droit + Copier l'image"), les réflexions ; voire la présentation totale.

Ce support de cours sur les limites à la croissances à été rédigé par Romain JARRIER (romain.jarrier@at.upmc.fr), et corrigé par le Groupe de Travail Clim'@ction du laboratoire LCP-MR (<https://lcpmr.cnrs.fr/>). Il s'agit là d'une retranscription du livre sous forme de présentation.

Certaines slides comportent des liens vers les sujets affiliés au contenu de la slide, si ces liens sont soulignés et en bleu, le support est finalisé ; si le renvoi est en noir non souligné, le support est encore à faire.

Ce projet est soutenu par le Groupement De Recherche labo1.5 (<https://labos1point5.org/le-gdr>) dont certains membres ont relu les supports. Dans le cas de cette présentation, les relecteurs sont :

- Groupe de Travail Clim'@ction du LCP-MR
- XXX (XXXX@xxxx.com)
- YYY (YYYY@yyyy.com)

Remerciements :

- Pierre-Yves LONGARETTI (STEEP, INRIA et IPAG, CNRS, UGA, Grenoble)

Forme de ce support

Un lien de mise à jour de ce support est disponible en bas de la page de garde.

Ce fichier est la version "Lecture" : les slides et les images sont donc intégrales ce qui permet d'imprimer le fichier en version papier.

Si ce sujet vous intéresse, je vous conseille la [Version "présentation"](#) qui amène les diapositives plus doucement : les textes et les images arrivent pas à pas. Dans les supports, de nombreuses images se construisent au fur et à mesure avec le texte associé qui apparaît en fonction de l'état de l'image et permet donc une meilleur compréhension du raisonnement.

A savoir que les deux versions ("Lecture" et "Présentation") sont identiques dans leur contenu, seule la forme est différente.

Une vidéo est aussi disponible : [Vidéo du 13 octobre 2023](#)

Afin d'avoir accès aux fichiers sources $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$, aux images et au fichier bibliographie, vous pouvez les télécharger au lien suivant : [Fichier sources](#)

Afin d'avoir les liens des autres supports, qui concernent d'autres sujets, cliquer sur le lien suivant : [Document de travail](#)

Dans ce document, toutes les citations et les éléments de l'en-tête (sections et cercles) sont des liens internes : cliquez dessus pour s'y rendre, et utiliser la combinaison de touche "**alt + flèche gauche**" pour revenir là où vous étiez.

Sommaire

- 1 Introduction
 - Contexte
 - Quelques termes
 - La croissance
- 2 État des lieux
 - Sources renouvelables
 - Sources non-renouvelables
 - Les exutoires
- 3 World3
 - Introduction
 - Les scénarios
- 4 Conclusion

Sommaire

1 Introduction

- Contexte
- Quelques termes
- La croissance

2 État des lieux

- Sources renouvelables
- Sources non-renouvelables
- Les exutoires

3 World3

- Introduction
- Les scénarios

4 Conclusion

Sommaire

- 1 Introduction
 - Contexte
 - Quelques termes
 - La croissance
- 2 État des lieux
 - Sources renouvelables
 - Sources non-renouvelables
 - Les exutoires
- 3 World3
 - Introduction
 - Les scénarios
- 4 Conclusion

Origines [1] p.15-16

Début de l'étude en 1970.

Travail du groupe Dynamique des Systèmes de la « Sloan School of management » du MIT.

À la demande d'un groupe informel et international : « Le club de Rome ».

Ce groupe est composé de personnalités du monde des affaires, de dirigeants et de scientifiques.

Dennis MEADOWS (enseignant au MIT) a donc constitué une équipe pour mener la 1^{ère} étude :

Alison A. ANDERSON, PhD (États-Unis)

Erich K.O. ZAHN, PhD (Allemagne)

Ilyas BAYAR (Turquie)

Jay M. ANDERSON, PhD (États-Unis)

Farhad HAKIMZADEH (Iran)

William W. BEHRENS III, PhD (États-Unis)

Judith A. MACHEN, PhD (États-Unis)

Steffen HARBORDT, PhD (Allemagne)

Donnella H. MEADOWS, PhD (États-Unis)

Peter MILLING, PhD (Allemagne)

Nirmala S. MURTHY (Inde)

Roger F. NAILL, PhD (États-Unis)

Jorgen RANDERS, PhD (Norvège)

Stephen SCHANTZIS (États-Unis)

John A. SEEGER, PhD (États-Unis)

Mariyn WILLIAMS (États-Unis)

Financé entre autre par la société Volkswagen.

Fin de l'étude en 1972 avec la sortie du livre « *The limits to growth* », aussi connu sous le nom du rapport au Club de Rome ou le rapport MEADOWS.

Sujet^[1] p.16-19

Répondre à des questions telles que :

Les politiques actuelles nous conduisent-elles vers un avenir soutenable ou vers l'effondrement ?

Que peut-on faire pour créer une économie humaine qui fournisse de tout en quantité suffisante à tous ?

Traite du dépassement des limites écologiques planétaires :

- Utilisation des ressources
- Émissions des polluants et des déchets dans les exutoires

Soit des conséquences de notre mode de vie et de notre croissance économique sur notre avenir :

- Nous dirigeons-nous vers un effondrement ?
- Ou bien vers une adaptation en douceur de l'empreinte écologique de l'humanité à la capacité de charge de la planète ?

Sommaire

1 Introduction

- Contexte
- Quelques termes
- La croissance

2 État des lieux

- Sources renouvelables
- Sources non-renouvelables
- Les exutoires

3 World3

- Introduction
- Les scénarios

4 Conclusion

Définition : Dépassement^[1] p.38-39

Lorsque l'on va trop loin, au-delà de certaines limites.

Les conditions du dépassement :

- ① Croissance, accélération et/ou changement rapide (boire trop d'alcool)
- ② Dépassement de certaines limites que le système ne peut franchir sans risque (être soûl)
- ③ Retard ou erreur dans la prise de conscience et dans la mise en place de mesures pour maintenir le système en-deçà des limites (vomissement, gueule de bois)

Autre exemple : accélération d'une voiture, puis inattention, qui rencontre ensuite une plaque de verglas → sortie de route.

Phénomène ordinaire et quotidien, peut-être un changement physique, psychologique, financier, biologique, politique. . .

Les limites : très diverses, peuvent être imposées par des paramètres physiques, psychologiques, biologiques, politiques. . .

Les retards : inattention, données erronées, information obtenue en retard, réflexes ralentis, bureaucratie lente. . .

La quasi-totalité des dépassements sont sans conséquence grave.

Ce qui n'est pas le cas du sujet du rapport MEADOWS : la croissance mondiale de la population et de l'économie matérielle.

Définition : Ressources^[1] p.111-112

Les ressources peuvent être :

- Physiques :
 - Renouvelable : le sol, l'eau, la forêt, les poissons. . .
 - Non renouvelable : combustible fossile, minéral. . .
- Besoins sociaux : paix, stabilité sociale, égalité, éducation. . .

Les besoins sociaux ne sont pas pris en compte dans cette étude.

Définition : Exutoire^[1]

Un exutoire est l'endroit où l'on déverse les polluants et les déchets

Définition : Effondrement^[5] p.17,[6]

Appelons « effondrement » de la société mondialisée contemporaine le processus à l'issue duquel les besoins de base (eau, alimentation, logement, habillement, énergie, mobilité, sécurité) ne sont plus fournis [à un coût raisonnable] à une majorité de la population par des services encadrés par la loi.^[2]

Les grandes catégories des risques identifiés d'un effondrement^[3] :

- Économique : instabilité du marché (→ énergie) et de la finance...
- Géopolitiques : conflits
- Environnemental : changement climatique, perte biodiversité, catastrophes naturelles...
- Sociétaux : inégalités, sécurité alimentaire, accès à l'eau, risques sanitaires, migration...
- Technologique : infrastructure des réseaux (communication, énergie, transports...)

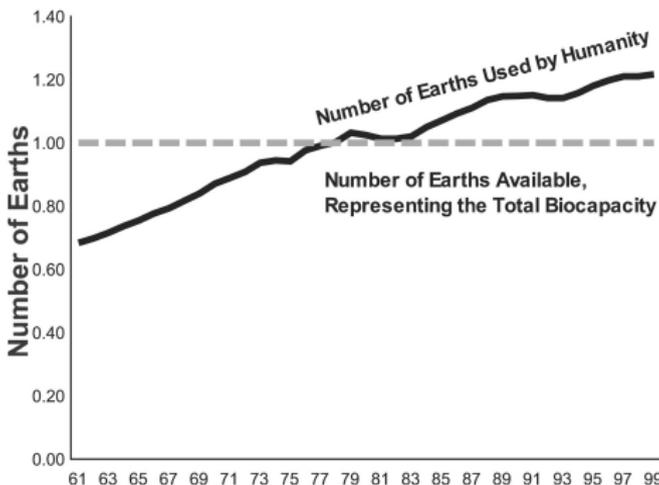
A savoir qu'un effondrement est toujours multifactoriel.

Exemples probables d'effondrements^[4] :

- Mayas
- L'île de Pâques
- Empire Romain

Définition : Empreinte écologique^[8]

L'empreinte écologique mesure la quantité de surface terrestre bioproductive nécessaire pour produire les biens et services que nous consommons et absorber les déchets que nous produisons.



Empreinte écologique de l'humanité en fonction de l'année^[7]

L'empreinte écologique est calculée selon la somme de :

- Surface de terre cultivée, pâturage, forêt (bois énergie/matériel), zone de pêche
- Surface de terre artificialisée pour une population donnée (villes, routes, usines...)
- Surface de forêt nécessaire pour absorber le CO₂ émis par l'Homme

Sommaire

1 Introduction

- Contexte
- Quelques termes
- La croissance

2 État des lieux

- Sources renouvelables
- Sources non-renouvelables
- Les exutoires

3 World3

- Introduction
- Les scénarios

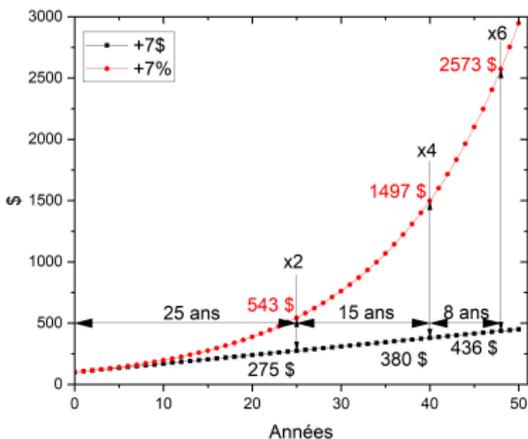
4 Conclusion

Croissance exponentielle^[1] p.62-76

La 1^{ère} cause du dépassement : l'augmentation, celle-ci est (presque) toujours exponentielle. Les auteurs insistent sur le caractère difficilement perceptible d'une exponentielle sur le long terme.

Quelques exemples :

- Énigme du nénuphar dans la mare dont la surface double tous les jours
- Plier 4 fois en deux un morceau de tissu → 16 épaisseurs, soit 1 cm. Quelle épaisseur si on le plie en deux 33 fois au total ? → ~5400 km
- Augmentation d'une somme de 100 \$: soit +7 \$/an soit **+ 7 %/an**
- Le temps de doublement en fonction de la croissance :



Taux [%]	Temps [année]
0,1	720
0,5	144
1,0	72
2,0	36
3,0	24
4,0	18
5,0	14
6,0	12
7,0	10
10,0	7

Croissance exponentielle : qui, quoi ?^[1] p.62-76

La population humaine...

↳ donc la consommation...

↳ donc la consommation de ressources...

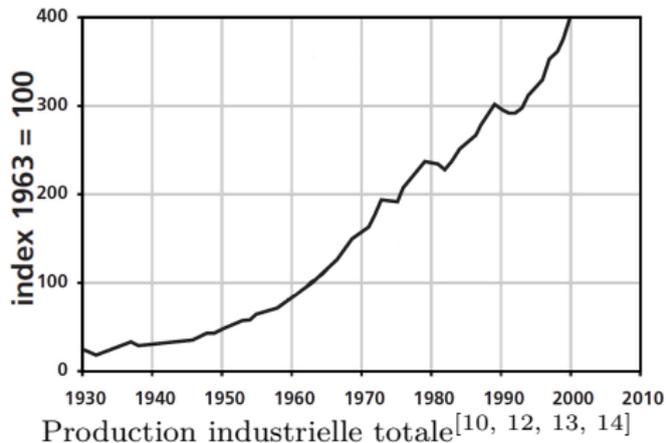
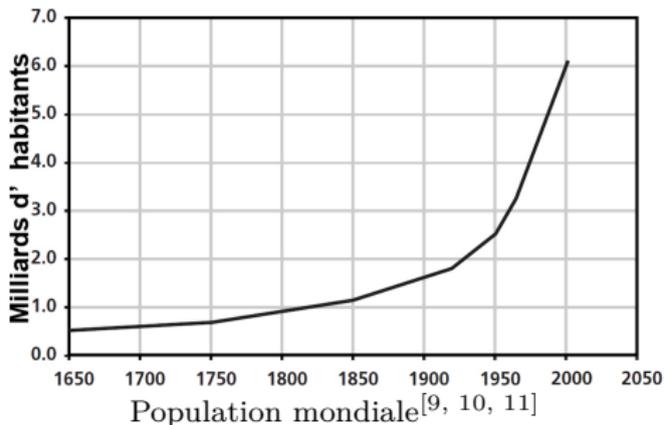
↳ donc augmente la quantité de déchets...

Notre économie...

↳ car la production industrielle est exponentielle...

↳ donc la consommation de ressources...

↳ donc augmente la quantité de déchets...



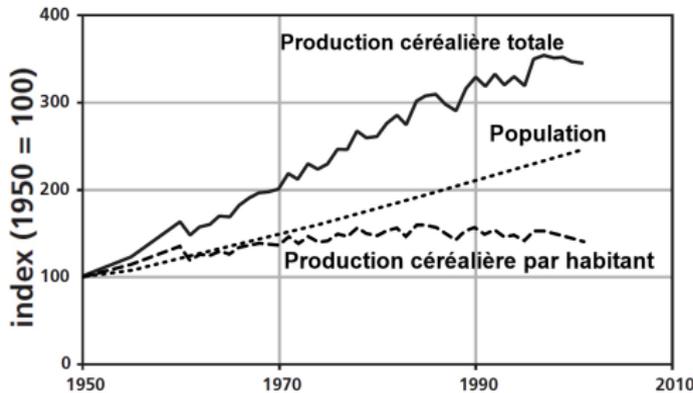
Sommaire

- 1 Introduction
 - Contexte
 - Quelques termes
 - La croissance
- 2 État des lieux
 - Sources renouvelables
 - Sources non-renouvelables
 - Les exutoires
- 3 World3
 - Introduction
 - Les scénarios
- 4 Conclusion

La nourriture, la terre, le sol^[1] p.118-134 : Production

La terre est une ressource, mais aussi un exutoire.

Depuis 1985 : la production de céréales par habitant diminue.



Pertes post-récolte : 10 à 40 %^[17]

Une grande partie nourrit les animaux.

- Le maïs dans le monde^[18] :
 - 60% alimentation animale
 - 30% industrie (bioéthanol, amidon)
 - 10% alimentation humaine
- France : 80% de la surface agricole^[19]

Sous-nutrition de 850 millions de personnes (1996)^[20].

Pourtant, théoriquement, nous pourrions nourrir toute la population^[21].

Limite évidente → la terre cultivée^[22] : (Superficie des USA ≈ 1 milliard d'hectares)

Terre arable disponible : entre 2 et 4 milliards d'hectares

Terre cultivée : ~1,5 milliards d'hectares (En France : 26,8 millions soit 45% du pays^[23])

→ Chiffre constant depuis ~1970

La nourriture, la terre, le sol^[1] p.118-134 : Dégâts

Nous abandonnons des terres cultivables (érosion, salinisation, urbanisation, désertification)

100 Mha irrigués ont été salinisés^[24] ($\sim 2 \times$ l'Espagne)

Perte d'humus par an^[25] : - 25 millions de tonnes à l'ère pré-industrielle
 - 300 millions de tonnes au XX^{ème} siècle
 - 760 millions de tonnes les 50 dernières années

→ Diminution de la fertilité des terres, empêche la captation du CO₂ atmosphérique

Érosion des sols (de léger à profond)^[26] : - 38% des surfaces agricoles
 - 21% des pâturages permanents
 - 18% des surfaces boisées

Urbanisation^[27] : - Ville de Jakarta : 20 000 hectares par an ($\sim 2 \times$ Paris)
 - Viêtnam : 20 000 hectares par an
 - Thaïlande (1989-1994) : 34 000 hectares pour le golf ($\sim 3,5 \times$ Paris)
 - Chine (1987-1992) : 6,8 Mha (l'Auvergne-Rhône-Alpes)
 - Chine (1987-1992) : conversion 3,8 Mha de forêt/pâturage en culture
 - USA : 170 000 hectares pour l'asphalte par an (\sim l'Essonne)

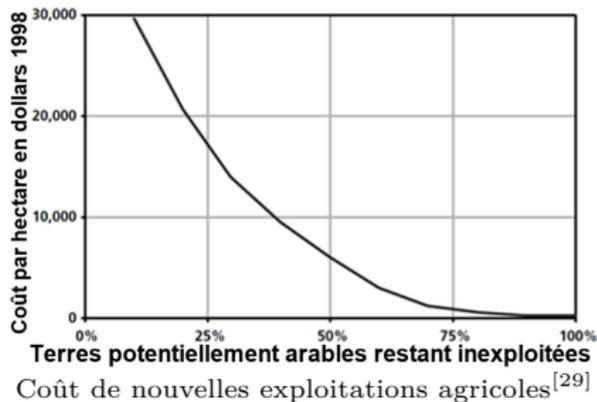
Désertification^[28] : - 25% des surfaces continentales concernées
 - Accélération : +1500 km²/an fin 1960 ; +3600 km²/an en 2000

110 Mha subissent une baisse de productivité^[24] ($\sim 2 \times$ la France)

La nourriture, la terre, le sol^[1] p.118-134 : Évolution

Pour palier cette perte, nous mettons en culture de nouvelles terres.

Mais de moins bonne qualité et qui coutent plus cher à mettre en œuvre.



Terre plus sèche

Sols en pente

Sols peu profonds

Températures moins clémentes

Pour palier :

→ Plus de machine

→ Plus d'engrais

→ Plus de pesticides

→ *etc...*

L'irrigation de plus en plus nécessaire fait baisser le niveau des nappes phréatiques.

L'utilisation excessive d'engrais détruit la vie aquatique :

→ Zone morte du Mississippi^[30] = 21 000 km² = 3/4 de la Bretagne

Les engrais masquent les dommages de la terre, mais cette méthode est non durable.

→ Cela retarde les signaux de fertilité des sols

→ Le retard amène au dépassement des limites

Nous mettons en culture des terres moins fertiles.

Nous laissons derrière nous des terres incultes et improductives.

Voir supports Agriculture, Eau, Biodiversité, [Limites planétaires](#), Cycle C/N/P

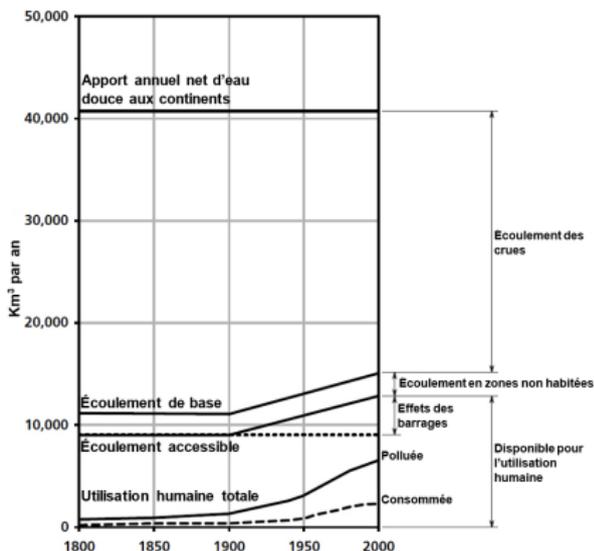
L'eau^[1] p.134-146 : Apports

Ressource régionale, dépendante des saisons.

Voir support Eau

L'eau est une ressource et un exutoire.

Sa limitation impact les autres flux : alimentation, pêche, énergie, vie sauvage.



Limite : 40 700 km³/an

Accessible	Non accessible
→ 8 900 km ³ /an	Écoulement des crues : → 29 000 km ³ /an
Barrage (des crues) : → 3 500 km ³ /an	Zone non habitée : → 2 100 km ³ /an
Total utilisable : → 12 400 km³/an	

Les barrages :

- Apportent énergie, régularité débit
- Inondent des terres très fertiles

Sur la quantité totale utilisable (12 400 km³/an) :

- Consommation : 2 290 km³/an
- Pollution (diluer, évacuer) : 4 490 km³/an
- Soit au total : 6780 km³/an ≈ 50%

Ressources en eau douce par an^[31]

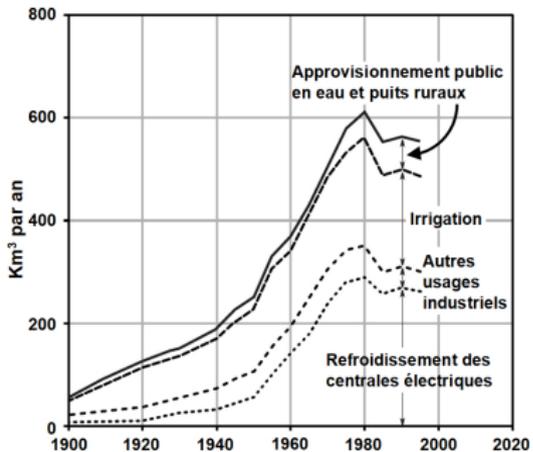
Désalinisation de l'eau : 6,5 km³/an ≈ 0,1% de l'eau utilisée^[32].

La consommation d'eau a augmenté 2 fois plus vite que la population^[17].

L'eau^[1] p.134-146 : Utilisation

Les prélèvements diminuent à certains endroits par manque d'eau.

Aux États-Unis : la consommation a doublé tout les 20 ans, mais depuis 1980 : -10%.



Consommation d'eau aux États-Unis^[32]

Autre explication :

- Délocalisation d'une partie de l'industrie
- Augmentation de l'efficacité :
 - Recyclage et traitement des eaux usées
 - Irrigation

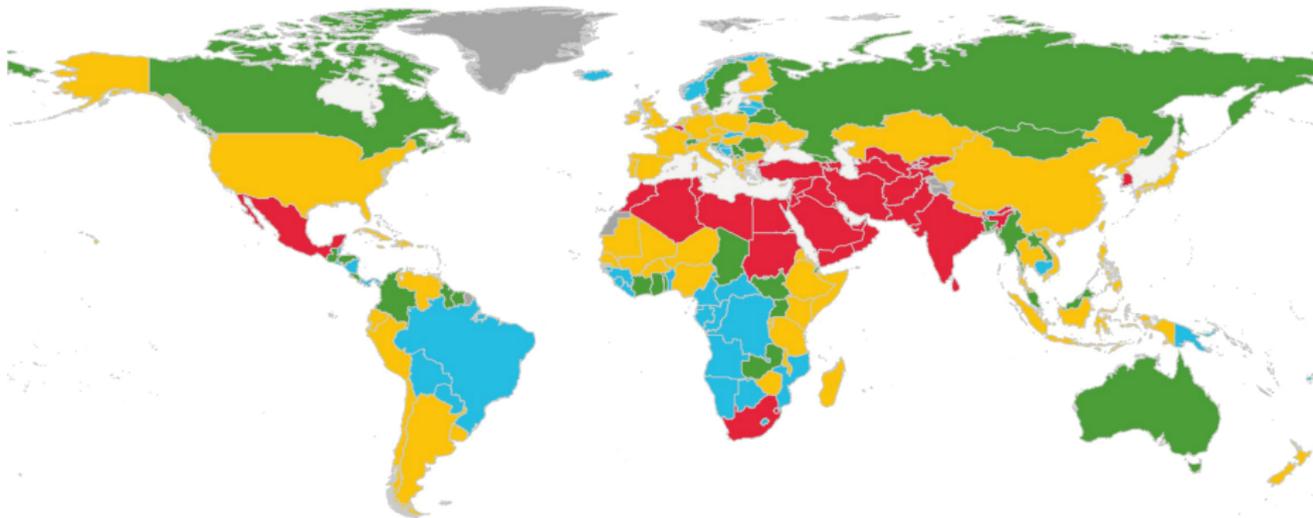
Surexploitation des sources d'eau^[33] :

- États indiens agricoles (Penjab et Haryana) : -50 cm/an des nappes phréatiques
- Chine du Nord : de 30 km³/an les puits
- États-Unis (aquifère d'Ogalalla) : de 12 km³/an
- États-Unis (Californie) : de 1 km³/an les eaux souterraines
- Afrique du Nord et Moyen-Orient : les nappes aquifères du désert

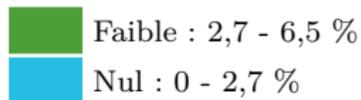
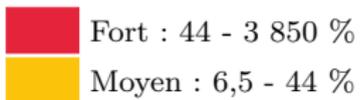
L'eau^[1] p.134-146 : Stress hydrique

Niveau de stress hydrique :

Rapport de la demande sur l'approvisionnement, en %



Stress hydrique mondial en 2019^[34]



L'eau^[1] p.134-146 : Conséquences

Certains fleuves s'assèchent pendant une partie de l'année, voir toute l'année pour l'irrigation et la consommation :

- Colorado, Huang He, Nil, Gange, Indus...
- Mer d'Aral

Les nappes phréatiques ne se rechargent plus, l'eau salée s'y infiltre, ou celles-ci s'écroulent.

Au début de la pénurie, problème local.

Ensuite cela devient un problème international^[35] :

- Augmentation du prix des céréales (1 tonnes de céréales \approx 1000 tonnes d'eau)
- Guerres
- Famines

Les solutions locales possibles pour palier au manque d'eau^[36] :

- Importer des céréales (si pays riche)
- Augmenter l'efficacité de l'eau (si pays riche et voisins non conciliants)
- Importer de l'eau (si voisins conciliants)
- Désaliniser l'eau (si riche et voisins non conciliants)
- S'appropriier par la force (si voisins non conciliants)

Nouveau problème : le changement climatique, qui, globalement amènera pour :

- Les zones humides : plus de pluviométrie (inondation, épidémie)
- Les zones arides : moins de pluviométrie (sécheresse)

Les forêts^[1] p.146-160 : Constat

Ressource indispensable :

- Modèrent le climat
- Contrôlent les inondations et luttent contre la sécheresse
- Atténuent l'érosion dûes aux pluies
- Évitent l'effondrement des sols en pente
- Préservent les cours d'eau et les littoraux
- Abritent de très nombreuses espèces

Forêts tropicales : 7% de la surface du globe → 50% des espèces vivantes

- Absorbent le CO₂ atmosphérique

L'homme s'en sert pour de nombreux usages : habitation, chauffage, nourriture, médicaments, menuiserie. . .

Avant l'agriculture : environ 6 à 7 milliards d'hectares^[37].

Aujourd'hui : environ 3,9 milliards d'hectares (dont 0,2 pour les plantations forestières).

La moitié de ces pertes ont eu lieu entre 1950 et 1990, principalement dans les tropiques.

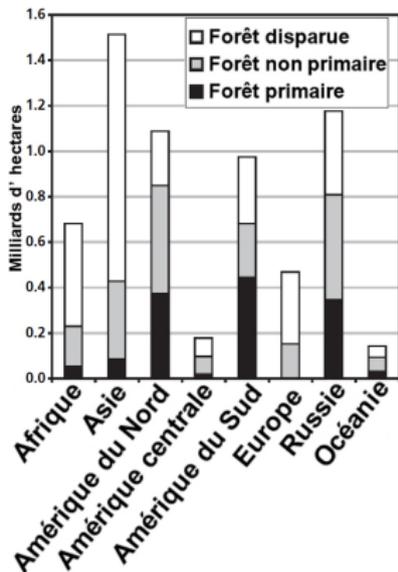
La destruction des forêts tempérées (Amérique du Nord, Europe) s'est produite avant 1900.

4/5 de forêts primaires ont été détruites^[38].

Soit ~5,2 milliards d'hectares.

Surface du continent Africain ≈ 3 milliards d'hectares

Les forêts^[1] p.146-160 : Destruction



Surface totale de forêt^[38]

La réalité sera un mixe de ces 3 scénarios

Perte en surface des forêts tropicales par an (FAO) :

→ 1980 : 11,4 Mha/an

→ ~1985 : 20 Mha/an

→ 1990 : 14 Mha/an (changement de politique du Brésil)

→ fin des années 90 : 15 Mha/an

(10 Mha : surface de l'Égypte)

Statistiques de la conversion de la forêt primaire :

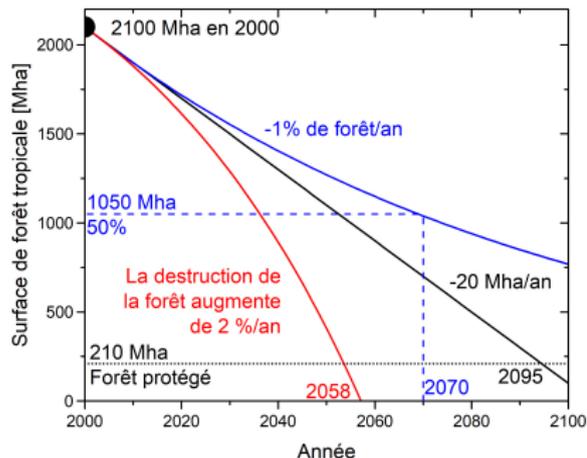
→ Vers l'agriculture/élevage, construction d'infrastructure

→ Ne tient pas compte : feux de forêt, exploitation du bois

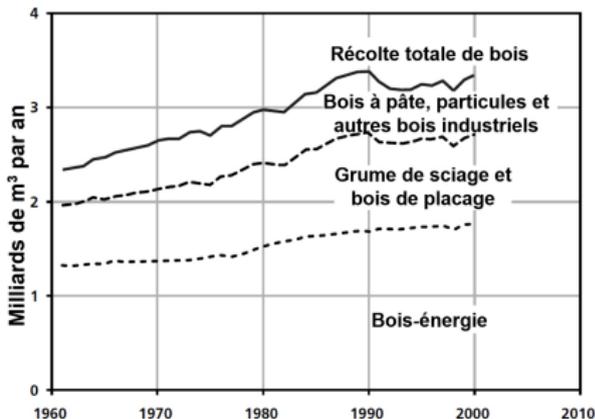
→ On peut estimer que la perte est d'environ 1% par an

Scénario :

- Tendance actuelle
- **Optimiste**
- **Pessimiste**



Les forêts^[1] p.146-160 : Utilisation



Consommation mondiale de bois^[16]

Les facteurs de la déforestation :

- Les états : rembourser leurs dettes (Vente ou location de surface)
- Les entreprises : vendre
- Les éleveurs/agriculteurs : avoir de la terre
- Les populations pauvres : se chauffer
- Le marché noir^[39]

Selon la FAO, entre 1950 et 1996, la consommation de papier a été multipliée par 6^[40].

Si la planète consommait autant de bois que la moyenne OCDE.

→ Il faudrait doubler la production de bois^[41].

Faune et flore^[1] p.160-166 : Services écosystémiques

Ce sont les espèces naturelles : animaux, végétation, poisson, microbes, *etc.* . .

Cet ensemble rend des services difficilement chiffrable, mais indispensable à toute vie^[42] :

(Liste pèle-mêle. . .)

- Purification de l'air et de l'eau
- Absorption et stockage de l'eau (limite la sécheresse et les inondations)
- Décomposition, décontamination et séquestration des déchets
- Régénération des nutriments du sol, constitution de la structure du sol
- Pollinisation
- Contrôle des nuisibles
- Dissémination des graines et des nutriments
- Modération des phénomènes extrêmes en matière de vent et de température ;
stabilisation partielle du climat
- Fourniture d'une grande variété de produits agricoles, médicinaux et industriels
- Développement et entretien du pool génétique et de la biodiversité (permet tout ce qui est cité ci-dessus)
- Faculté à mettre en place des stratégies de survie, de résilience, d'évolution et de diversification depuis 3 milliards d'années (Homo habilis : -2,7 M d'années^[43])
- Source d'inspiration esthétique, spirituelle et intellectuelle sans pareil

Tentative de chiffrer ces services : 33 000 milliards \$ (PNB mondial : 18 000 milliards \$)^[44]

Nous sommes à l'aube d'une nouvelle extinction de masse^[45].

Faune et flore^[1] p.160-166 : Menaces

Étonnamment, 50% des espèces peuvent survivre si on détruit 90% de leur habitat.

Madagascar : 12 000 espèces de plantes, 190 000 d'animaux répertoriés, 60% sont endémiques
→ 90% de la forêt a disparu

Les coraux^[46] : → 30 % dans un état critique (en ~2000)
→ 95% de ceux étudiés en 1997 sont dégradés et subissent une perte d'espèce

Mondialement, sur les espèces répertoriées, la proportion d'espèces menacées d'extinction^[47] :
→ 40% des espèces de d'insectes^[48]
→ 30% des 25 000 espèces de poissons^[49]
→ 24% des 4 700 espèces de mammifères^[49]
→ 13% des 270 000 espèces de plantes^[50]
→ 12% des 10 000 espèces d'oiseaux^[49]

Le WWF compte autrement : le nombre d'individus d'un grand nombre d'espèces, puis moyenne les résultats :

→ En l'an 2002 : perte de plus de 1/3 depuis 1970^[51]

→ En l'an 2022 : perte de plus de 69% depuis 1970^[52]

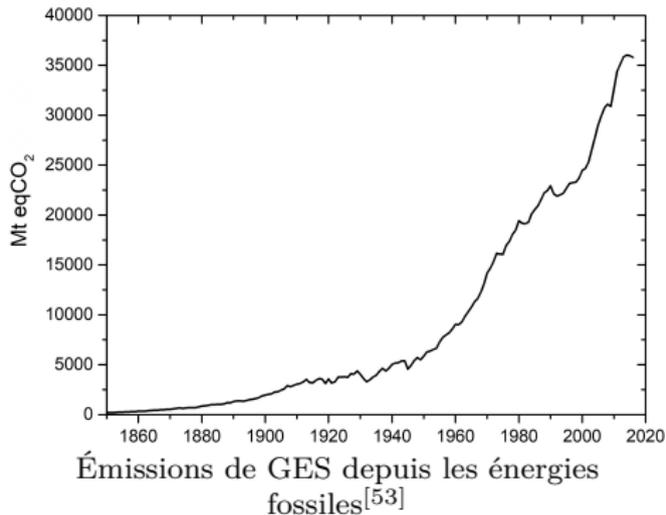
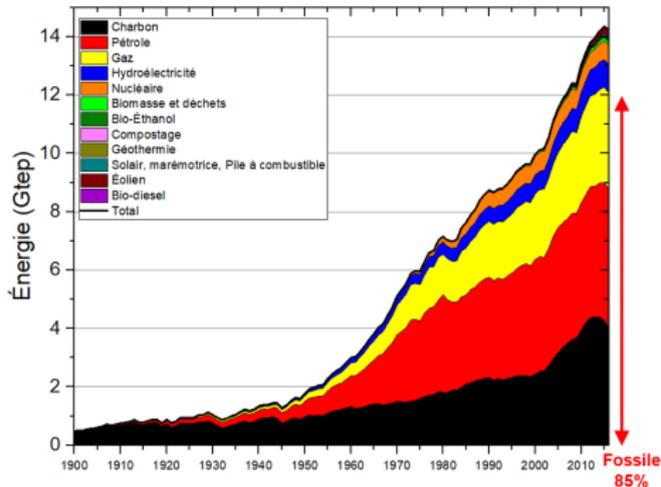
Et la perte de certaines espèces peut en entrainer d'autres par réaction en chaîne.

Globalement, le taux d'extinction est 1000 fois plus fort que si l'homme n'intervenait pas.

Sommaire

- 1 Introduction
 - Contexte
 - Quelques termes
 - La croissance
- 2 État des lieux
 - Sources renouvelables
 - Sources non-renouvelables
 - Les exutoires
- 3 World3
 - Introduction
 - Les scénarios
- 4 Conclusion

Les énergies fossiles [1] p.166-185

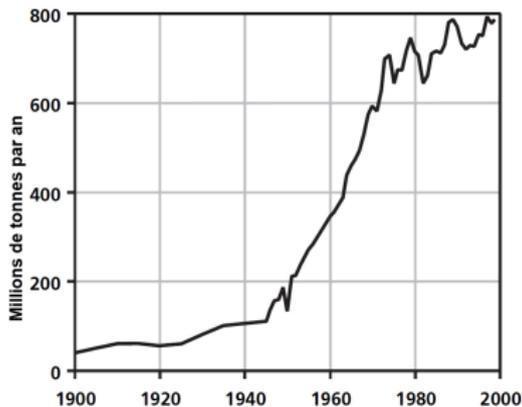


Émissions de CO₂

↪ Augmentation de l'effet de serre

↪ Changement climatique

Les matières^[1] p.185-198 : Extractivisme



Consommation mondiale d'acier^[54, 55, 56, 57]



Consommation mondiale de cuivre, plomb, zinc, étain et nickel^[54, 55, 56, 57]

Consommation $\times 4$ entre 1950 et 1990

Pour l'acier, après 1980 : fléchissement de l'augmentation :

- Chocs pétrolier : augmentation du prix des matières à forte intensité énergétique
- Apparition de réglementations environnementales et problématique des déchets
- Avènement du plastique, allègement de nombreux produits métalliques
- Stagnation de l'économie dans les années 80 : industrie lourde durement impactée :

très forte baisse de la demande de métaux de base^[58]

Si toute l'humanité vivait comme un états-unien moyen, il faudrait :

- $\times 5$ pour l'acier, $\times 8$ pour le cuivre, $\times 9$ pour l'aluminium

Les matières^[1] p.185-198 : Ressources

Métal	Production annuelle moyenne		Réserves identi- fiées en 1999 [Gt]	Durée de vie des réserves (2% de crois- sance) [Années]
	1997-99 [Mt/an]	Croissance [%]		
Bauxite	124	2,9	25	81
Cuivre	12	3,4	0,34	22
Fer	560	0,5	74	65
Plomb	3,1	-0,5	0,064	17
Nickel	1,1	1,6	0,046	30
Argent	0,016	3,0	0,00028	15
Étain	0,21	-0,5	0,008	28
Zinc	0,8	1,9	0,19	20

Durée de vie des ressources minières : réserves^[59]

Métal	Stock de ressources (croûte terrestre [Tt])	Durée de vie des ressources (2% de croissance) [Années]
Bauxite	2 000 000	1 070
Cuivre	1500	740
Fer	1 400 000	890
Plomb	290	610
Nickel	2,1	530
Argent	1,8	730
Étain	40,8	760
Zinc	2200	780

Durée de vie des ressources minières : ressources^[59]

Voir support [Extractivisme](#)

Sommaire

- 1 Introduction
 - Contexte
 - Quelques termes
 - La croissance
- 2 État des lieux
 - Sources renouvelables
 - Sources non-renouvelables
 - Les exutoires
- 3 World3
 - Introduction
 - Les scénarios
- 4 Conclusion

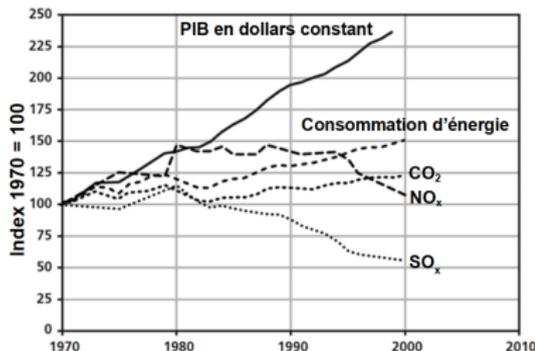
Exutoires^[1] p.198-218 : Évolution

Les exutoires : le sol, l'eau et l'atmosphère

En 1972, peu de pays avaient un ministère de l'environnement. En 2000, peu n'en ont pas. De nombreux groupes d'intérêts pour l'environnement ont été créés à partir de 1970. Le bilan est mitigé : le problème de la pollution est loin d'être résolu.

Mais des progrès ont eu lieu :

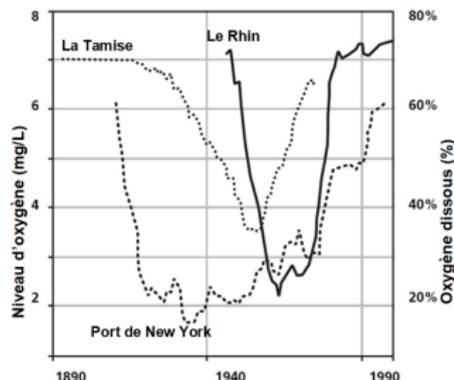
- Prise de conscience du problème
- Exemple du trou dans la couche d'ozone
- Interdiction du plomb dans les carburants
- Les polluants comme le Ce^{137} ; le DDT, SO_2 , NO_x , certains métaux lourds (Cd, Hg) ont diminué
- Dépollution de certains fleuves



Polluants atmosphériques^[60, 61, 62, 63, 64]

Ces progrès sont dus soit par :

- Législation
- Efficacité énergétique
- Prise de conscience



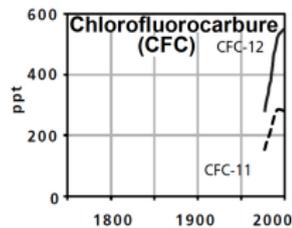
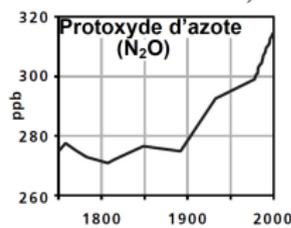
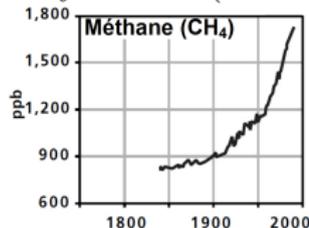
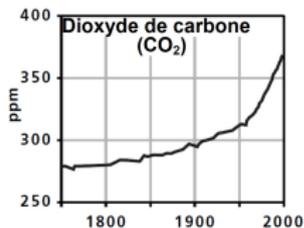
Oxygénation de certains fleuves^[61, 65, 66, 67, 68]

Voir supports Pollution et déchets, Environnement

Exutoires^[1] p.198-218 : Limites

Les déchets les plus difficiles à éliminer :

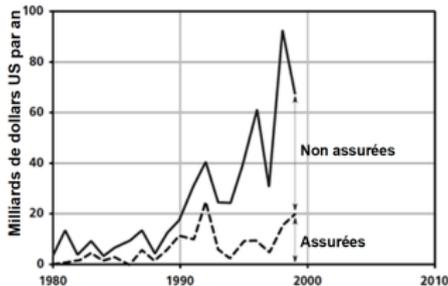
- Nucléaire
- Gaz à effets de serre
- Produits chimiques synthétisés (CFC : chlorofluorocarbure)



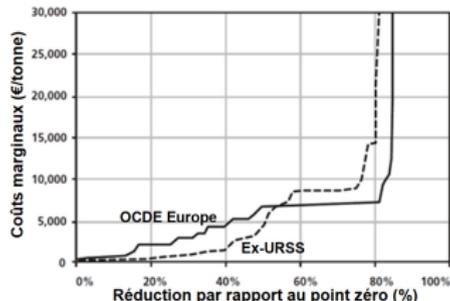
Concentrations en gaz à effet de serre + CFC au niveau mondial^[69, 70, 71, 72, 73]

Même les économistes se sont inquiétés du problème (changement climatique)^[74].

Nous pouvons toujours dépolluer, mais cela à un coût :



Pertes économiques dans le monde dues à des catastrophes climatiques^[75]



Coût de la dépollution pour le N₂O^[76, 77]

Sommaire

- 1 Introduction
 - Contexte
 - Quelques termes
 - La croissance
- 2 État des lieux
 - Sources renouvelables
 - Sources non-renouvelables
 - Les exutoires
- 3 World3
 - Introduction
 - Les scénarios
- 4 Conclusion

Sommaire

- 1 Introduction
 - Contexte
 - Quelques termes
 - La croissance
- 2 État des lieux
 - Sources renouvelables
 - Sources non-renouvelables
 - Les exutoires
- 3 World3
 - Introduction
 - Les scénarios
- 4 Conclusion

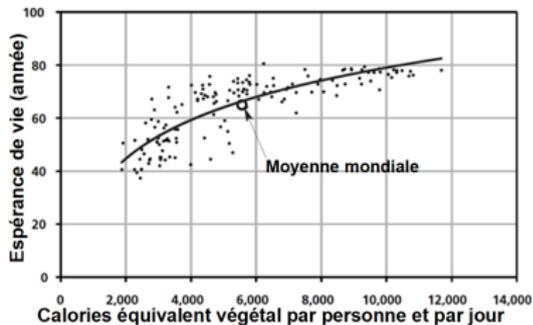
Explications^[1] p.228-238

Modèle : représentation simplifiée de la réalité.

Il s'agit des réflexions et de la compréhension des auteurs du monde réel.

Il est composé de boucles de rétroaction (plusieurs dizaines) variant les stocks ou les flux.

Prend en compte le temps pour que les phénomènes se produisent (retard et déploiement).



Tout cela s'appuie sur des formules mathématiques.
La plupart sont non-linéaires.

1 point = 1 pays

Nutrition et espérance de vie^[16, 78]

Prend en compte les données mondiales :

- Ne prend pas en compte la localisation géographique
- Ne représente pas séparément les riches et les pauvres
- Ne suit pas l'évolution des différents types d'aliments
- Fais la distinction entre ressource renouvelable ou non, mais ne suivra pas chaque type de minéraux ou de combustible
- Ne tient pas en compte le désordre social, les guerres ou la corruption

Pour aller plus loin : « *Dynamics of Growth in a finite World* »^[29].

Objectifs^[1] p.239-246

World3 veut suivre la croissance de l'impact humain et la capacité de charge de la planète.

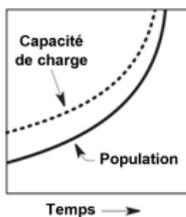
Comment la population mondiale et l'économie matérielle, toutes deux en plein essor, peuvent-elles interagir avec la capacité de charge limitée de la planète et s'y adapter durant les décennies à venir ?^[1] p.240

Capacité de charge : Capacité de l'environnement à encaisser l'impact de la population, et à le reconstituer.

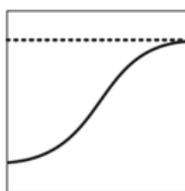
- Si nous sommes au-dessus → détérioration permanente, avenir non-durable.
- Si nous sommes en-dessous → détérioration temporaire.

Les solutions possibles :

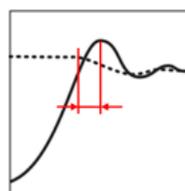
- Nous sommes loin des limites ou celles-ci croissent plus vite que les individus : cas a)
- Croissance forte, suivie d'une stabilisation en douceur : cas b)
- Croissance forte, dépassement de la capacité de charge, puis stabilisation : cas c)
- Croissance forte, dépassement de la capacité de charge, puis effondrement : cas d)



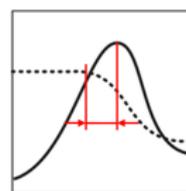
a) Croissance continue



b) Approche sigmoïde



c) Dépassement et oscillation

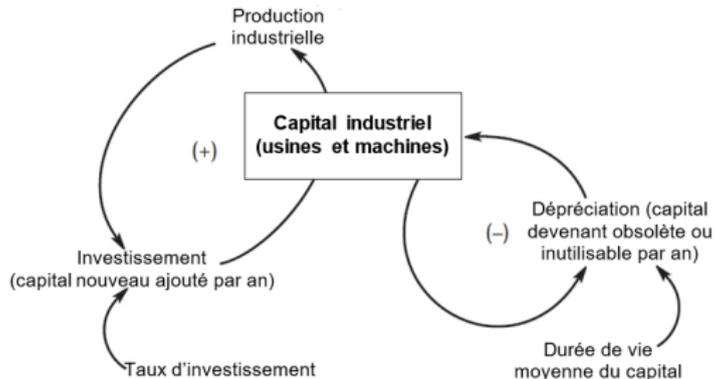
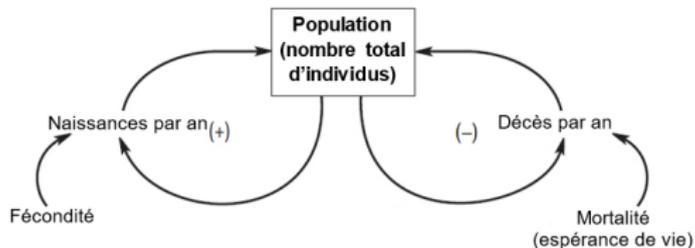


d) Dépassement et effondrement

La force du modèle est la prise en compte de la temporalité entre dépassement et réaction^[79]
Ce qui fera la différence entre les scénarios c) et d)

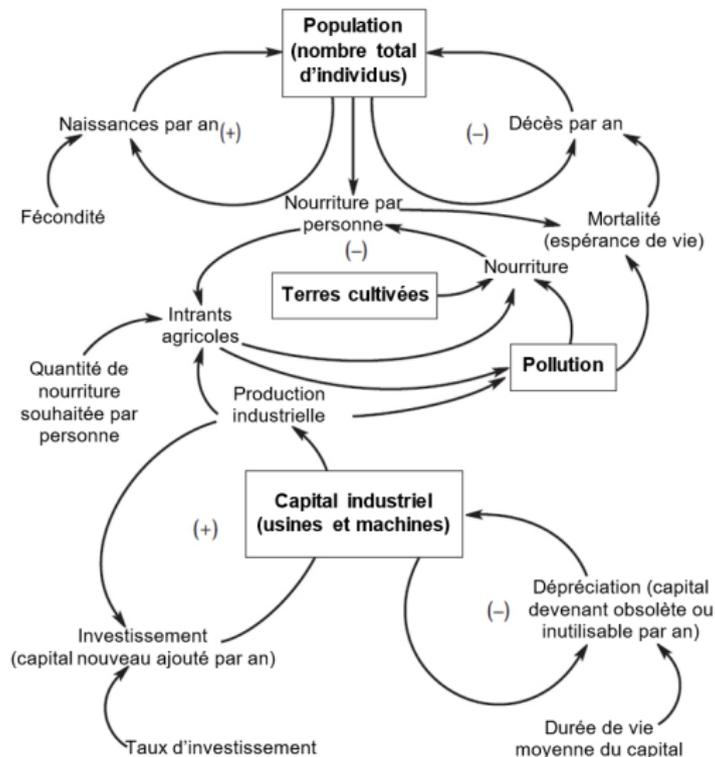
Structure : Boucles de rétroaction^[1] p.246-254

Exemple de la population et du capital industriel

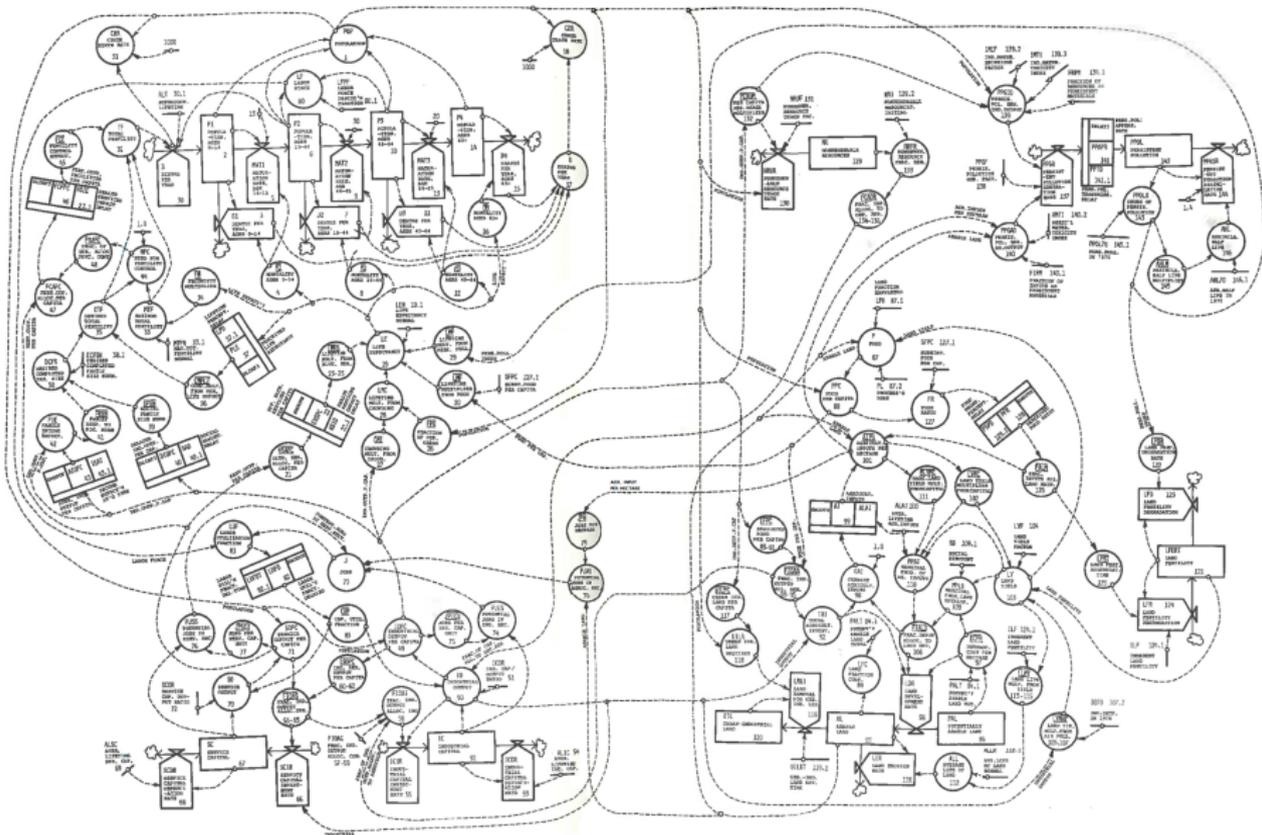


Structure : Influence des paramètres^[1] p.246-254 (1/2)

Influence indirect du capital industriel sur la population via la nourriture



World3 : Structure intégrale^[80]



World3 : Précisions^[79]

Ce modèle se veut qualitatif et non quantitatif.

↔ La date exacte des phénomène importe peu.

↔ Les valeurs exactes des variables importent peu.

World3 est qualitatif dans le sens où il est capable d'estimer le retard et les conséquences de nos actions (ou non actions) sur un (des) paramètre(s).

Il ne prédit pas, mais fait des projections selon les scénarios établies.

Les techniques / technologies injectées dans les différents scénarios ne sont pas forcément du technosolutionnisme.

↔ Elles permettent d'établir les impacts de telle ou telle action

World3 : Paramétrage^[1] p.246-254

315 paramètres

Fonctions mathématiques reliant les paramètres

Fonctions de délai

5 grandes familles :

- Ressources non-renouvelables
- Capital industriel
- Agriculture
- Population
- Pollution

De nombreux scénarios ont été réalisés.

Seuls quelques-uns ont seront présentés.

Avec les paramètres de sortie suivants :

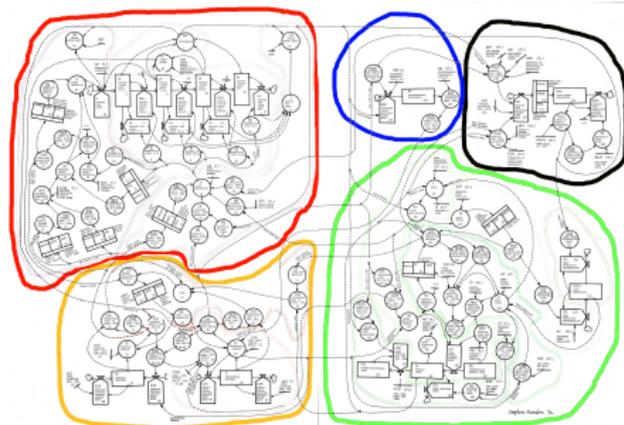


Diagramme de World3 et des familles^[81]

État de la planète

- Ressources non-renouvelables (0-2.10¹²)
- Production industrielle (0-4.10¹²)
- Nourriture (0-6.10¹²)
- Population (0-12.10⁹)
- Pollution (0-40)

Niveau de vie matériel + Empreinte écologique

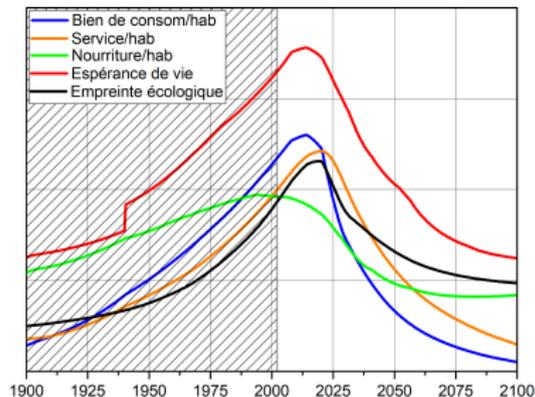
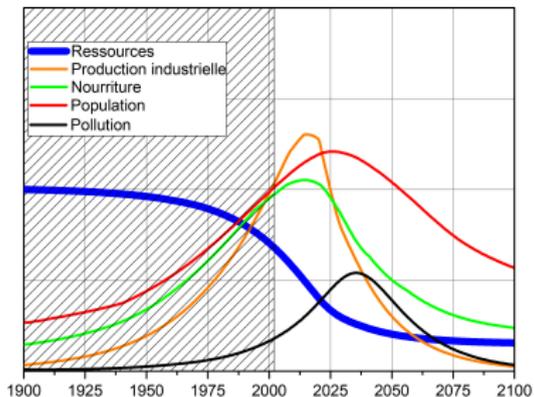
- Bien de consommation par habitant (0-250)
- Service par habitant (0-1000)
- Nourriture par habitant (0-1000)
- Espérance de vie (0-90)
- Empreinte écologique (0-4)

Sommaire

- 1 Introduction
 - Contexte
 - Quelques termes
 - La croissance
- 2 État des lieux
 - Sources renouvelables
 - Sources non-renouvelables
 - Les exutoires
- 3 World3
 - Introduction
 - Les scénarios
- 4 Conclusion

Scénario 1^[1] p.283-289,[82]

Scénario 1 : réalisé avec des données jugées « réalistes » ⇒ Effondrement !!

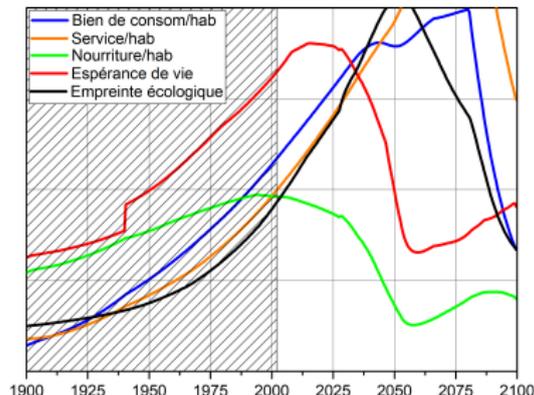
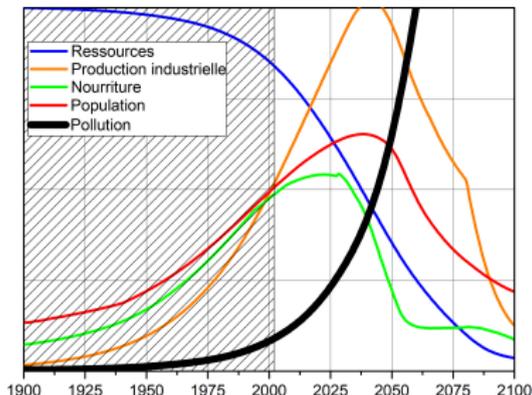


Crise des ressources → elles deviennent chères, tous les secteurs sont impactés

Scénario 2^[1] p.290-293,[82]

Scénario 2 : ⇒ Effondrement !!

- Multiplier par 2 les ressources et technologie pour des ressources moins chères (Scénario 2)



Crise de la pollution → les terres ne sont plus fertiles → plus assez de nourriture

↪ Investissement dans la nourriture (intrants agricoles)

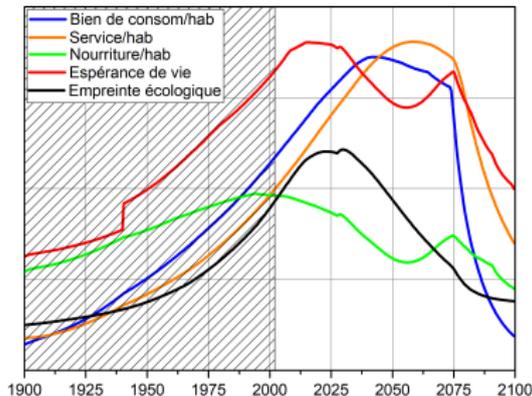
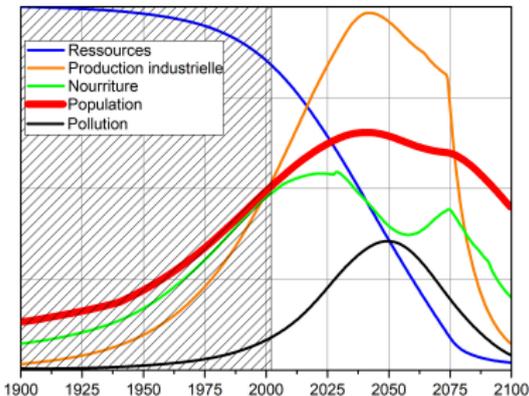
↪ Plus de capital dans les autres secteurs

Scénario 3^[1] p.346-352,[82]

Scénario 3 (cumulé avec le scénario 2) : ⇒ Effondrement !!

- Multiplier par 2 les ressources et technologie pour des ressources moins chères (Scénario 2)

- Technologie/technique de dépollution lancée en 2002 (Scénario 3)

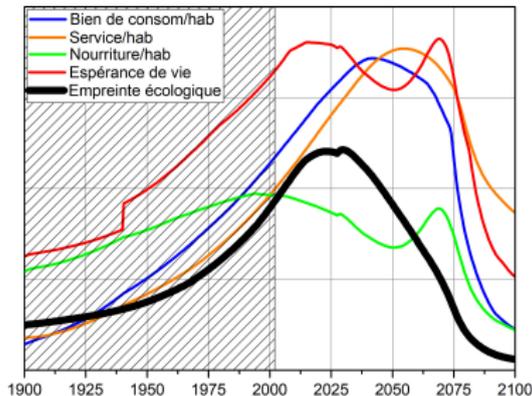
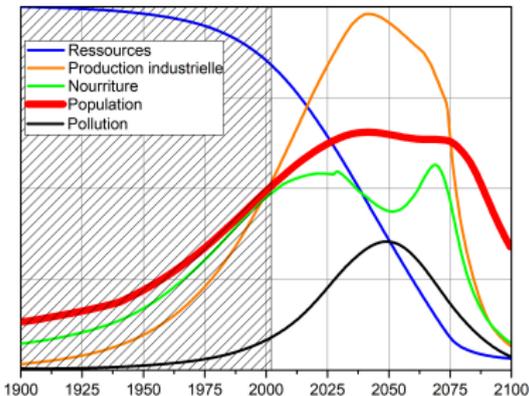


Trop de population → trop d'érosion et d'urbanisation → pas assez de nourriture :
↳ Trop de capital mis dans l'agriculture (intrants agricoles) et plus de ressources
↳ Plus assez dans l'industrie → Les autres secteurs chutent

Scénario 4^[1] p.353-355,[82]

Scénario 4 (cumulé avec le scénario 3) : ⇒ Effondrement !!

- Multiplier par 2 les ressources et technologie pour des ressources moins chères (Scénario 2)
- Technologie/technique de dépollution lancée en 2002 (Scénario 3)
- Technologie/technique augmentant les rendements agricoles lancée en 2002 (Scénario 4)



Crise de l'érosion (et urbanisation) → Cultures redirigées vers des sols moins bons

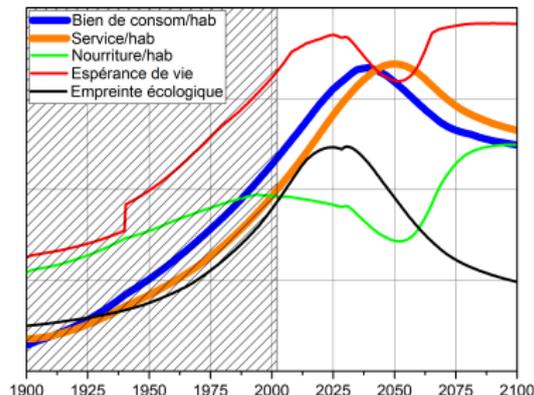
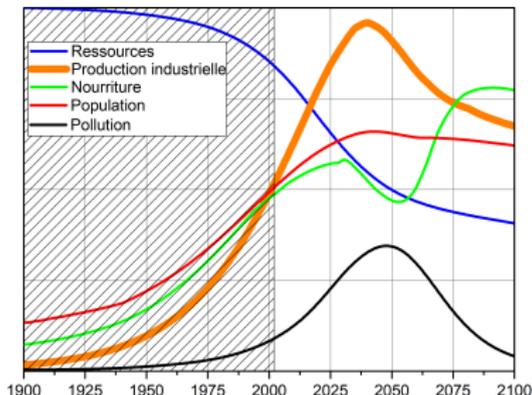
↪ On dope ces terres avec des intrants agricoles, ce qui aggrave le problème

↪ Trop de capital dans l'agriculture, plus de ressources pour le reste

Scénario 6^[1] p.359-361,[82]

Scénario 6 (cumulé avec le scénario 5) : ⇒ Pas d'effondrement !!

- Multiplier par 2 les ressources et technologie pour des ressources moins chères (Scénario 2)
- Technologie/technique de dépollution lancée en 2002 (Scénario 3)
- Technologie/technique augmentant les rendements agricoles lancée en 2002 (Scénario 4)
- Technologie/technique de lutte de l'érosion des sols lancée en 2002 (Scénario 5)
- **Technologie/technique augmentant de l'efficacité des ressources lancée en 2002 (Scénario 6)**



Crise des coûts → Tout le capital est investi dans les technologies

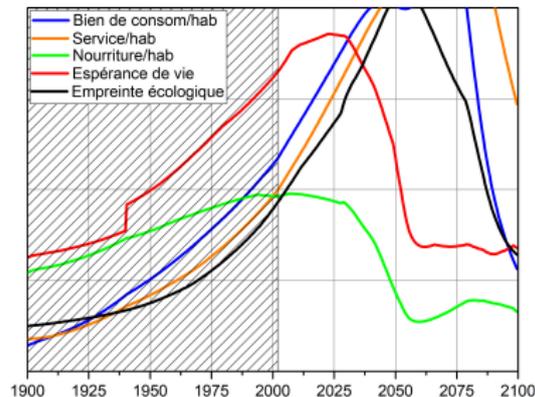
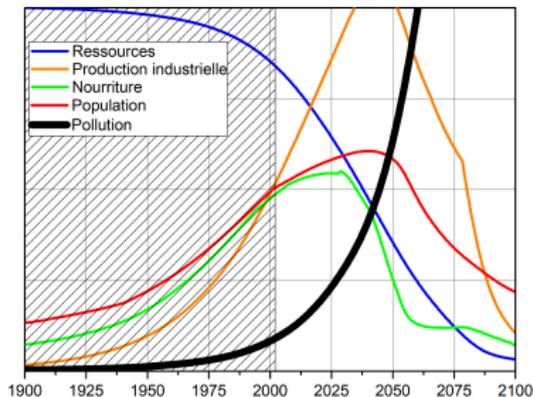
↪ La qualité de vie (service et bien de consommation) est négligée → chute

↪ Ce qui rend la vie chère

Scénario 7^[1] p.390-393,[82]

Scénario 7 (cumulé avec le scénario 2) : ⇒ Effondrement !!

- Multiplier par 2 les ressources et technologie pour des ressources moins chères (Scénario 2)
- **Contrôle des naissances à 2 enfants par femme, à partir de 2002 (Scénario 7)**



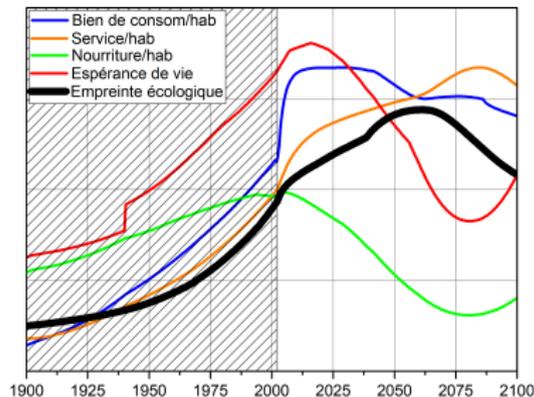
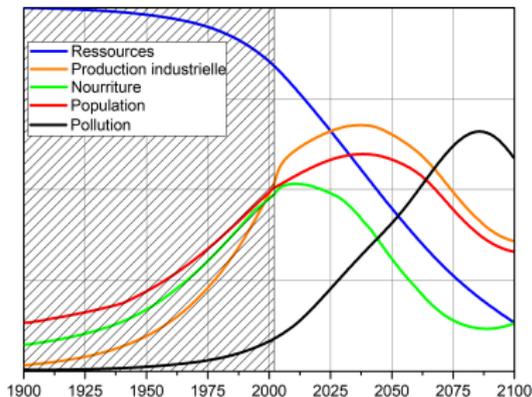
Crise de la pollution

- ↪ chute de l'espérance de vie
- ↪ chute de la nourriture

Scénario 8^[1] p.393-396,[82]

Scénario 8 (cumulé avec le scénario 7) : ⇒ Effondrement !!

- Multiplier par 2 les ressources et technologie pour des ressources moins chères (Scénario 2)
- Contrôle des naissances à 2 enfants par femme, à partir de 2002 (Scénario 7)
- **Limitation de la production industrielle par habitant (Scénario 8)**



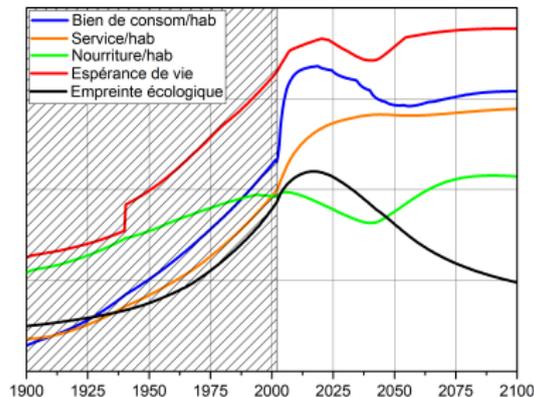
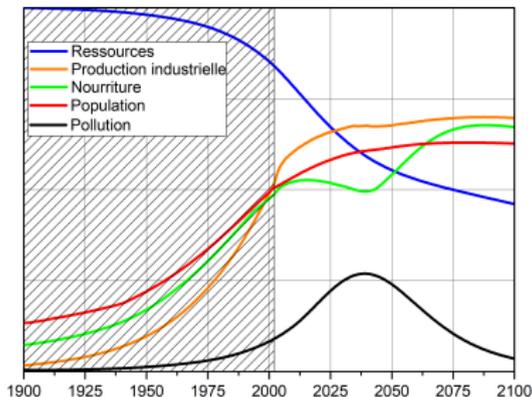
Crise de l'empreinte écologique

- ↪ Les sols sont abimés
- ↪ Trop de capitaux dans l'agriculture

Scénario 9^[1] p.396-401,[82]

Scénario 9 (cumule des scénarii 6 et 8) : ⇒ Pas d'effondrement !!

- Multiplier par 2 les ressources et technologie pour des ressources moins chères (Scénario 2)
- Contrôle des naissances à 2 enfants par femme, à partir de 2002 (Scénario 7)
- Limitation de la production industrielle par habitant (Scénario 8)
- Technologie/technique de dépollution lancée en 2002 (Scénario 3)
- Technologie/technique augmentant les rendements agricoles lancée en 2002 (Scénario 4)
- Technologie/technique de lutte de l'érosion des sols lancée en 2002 (Scénario 5)
- Technologie/technique augmentant de l'efficacité des ressources lancée en 2002 (Scénario 6)

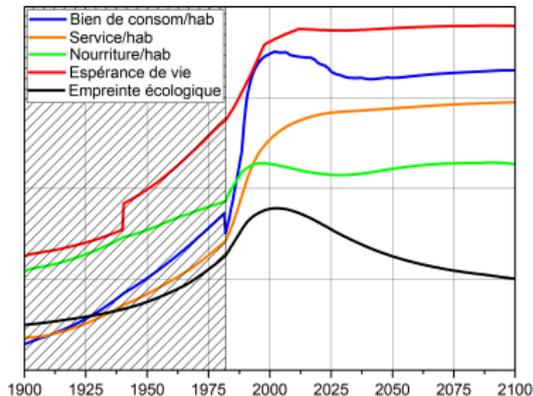
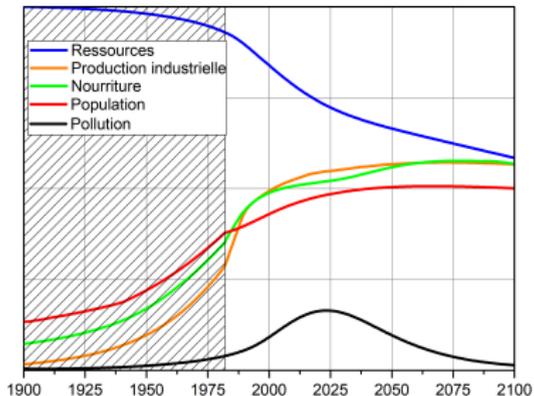


Équilibre

Scénario 10^[1] p.401-405,[82]

Scénario 10 (cumule des scénarii 6 et 8) : ⇒ Pas d'effondrement !!

- Multiplier par 2 les ressources et technologie pour des ressources moins chères (Scénario 2)
- Contrôle des naissances à 2 enfants par femme, à partir de 1982 (Scénario 7)
- Limitation de la production industrielle par habitant (Scénario 8)
- Technologie/technique de dépollution lancée en 1982 (Scénario 3)
- Technologie/technique augmentant les rendements agricoles lancée en 1982 (Scénario 4)
- Technologie/technique de lutte de l'érosion des sols lancée en 1982 (Scénario 5)
- Technologie/technique augmentant de l'efficacité des ressources lancée en 1982 (Scénario 6)



Équilibre, par rapport au scénario 9 : - 6 milliards d'habitants plutôt que 8
- moins de pollution
- plus ressources restantes (55% plutôt que 45%)

Sommaire

- 1 Introduction
 - Contexte
 - Quelques termes
 - La croissance
- 2 État des lieux
 - Sources renouvelables
 - Sources non-renouvelables
 - Les exutoires
- 3 World3
 - Introduction
 - Les scénarios
- 4 Conclusion

Contexte et (non) conséquences

Rappel : le modèle ne prend pas compte certains éléments

↪ Point abondamment souligné par les auteurs

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Localisation géographique - Riche / pauvre - Les phénomènes climatiques | <ul style="list-style-type: none"> - Pas de distinction entre les types de ressources
(cuivre, fer, or... ; blé, orge, navets...) - Le côté sociétale (désordre, guerre, corruption) |
|---|--|

Le livre est tout de même est best-seller international^[83] :

↪ 30 langues, 12 millions d'exemplaires.

En 1972 (sorti du rapport), quel était le contexte ?^[84]

Nous sommes dans les trente glorieuses, mais 1973 : Choc pétrolier

→ Marginalisation du rapport

→ Le monde académique se concentre sur des objectifs économiques

↪ et non d'avenir durable...

L'enseignement en management s'oriente sur la compétitivité et l'avantage concurrentiel

Critiques^[84, 85, 86]

La plupart de ceux qui ont critiqué notre rapport ne l'avaient jamais lu. Ils trouvaient juste ses implications inacceptables, comme réduire les combustibles fossiles ou promouvoir la stabilité démographique. En fait, la plupart de ceux qui ont fait l'éloge du rapport ne l'ont pas lu non plus !

Dennis MEADOWS, 10 janvier 2022

Critiques méthodologiques :

Modèle simpliste

La modélisation informatique est considérée comme une pseudo-science

Remise en cause des données

→ Le changement de données n'a jamais affecté significativement les résultats (les auteurs)

Sous-estime l'autorégulation des prix

(↔ Ressource rare → Prix augmente → Consommation baisse)

Critiques sur les conséquences :

Trop adopter le point de vue et les intérêts des pays riches

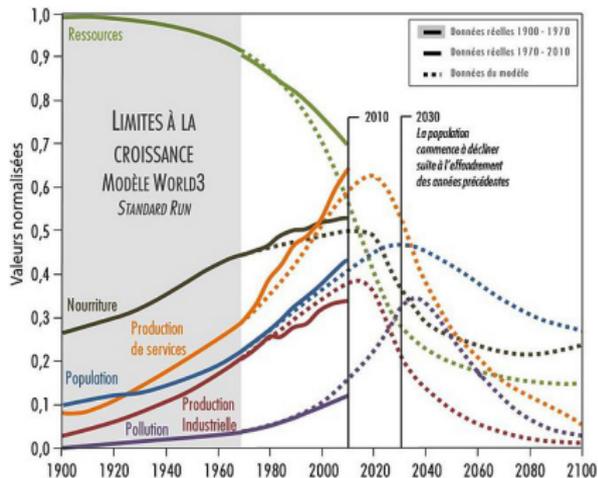
→ Il ne faut pas aider les pays du tiers-monde pour les aider à se développer ?

Trop alarmiste et sous-estime les progrès scientifiques

Prône un monde « *Croissance zéro* » (scénarios 9/10).

→ Les auteurs pensent à de la croissance peu consommatrice : éducation, arts, science...

Conclusion



Rapprochement avec les données réelles :

- En 2012 : Standard run = Scénario 1^[87]
- En 2021 : Scénarios 2 et 6^[88]

Débat sur la pertinence des indicateurs choisis vis à vis du monde réel. . .

Mise à jour des données réelles sur le modèle World3^[87]

Nous détruisons de plus en plus et de plus en plus vite notre environnement.

Si nous voulons concilier bien-être humain et capacité de charge de la planète, il faut :

- Mettre en œuvre des techniques / technologies fortes : seules, elles ne suffisent pas.
- Mettre en place des mesures drastiques : seules, elles ne suffisent pas.
- Faire cela le plus vite possible.

Pour faire cela, il faut modifier en profondeur nos modes de vie, et à tous les niveaux :

- Sociétaux
- Politiques
- Financiers
- Techniques



Je pompe donc je suis

En vous remerciant de votre attention

« Papa, il faut que je t'explique :
Le capital... c'est foutu...
La Vème... c'est foutu...
La société de consommation... c'est fini tout ça...
Les bagnoles... c'est foutu... »

L'aventure c'est l'aventure



Bibliographie

- [1] D.L. MEADOWS, D.H. MEADOWS, and J. RANDERS.
Les limites à la croissance (*dans un monde fini*), édition des 50 ans.
L'écopoche+, 2022.
- [2] Y. COCHET.
L'effondrement, catabolique ou catastrophique ?
In Institut momentum, 2011.
- [3] P.-Y. Longaretti.
Risques systémiques globaux et risques d'effondrement. quels éléments d'analyse scientifique, pour quels types de risques ?
La lettre d'information sur les risques et les crises (LA LIREC), 62 :9–13, 2020.
- [4] J. DIAMOND.
Effondrement.
Folio essais, 2006.
- [5] P. SERVIGNE and R. STEVENS.
Comment tout peut s'effondrer.
Point, 2015.
- [6] J.A. TANTER.
Archaeology of overshoot and collapse.
Annual Review of Anthropology, 35 :59–74, 2006.
- [7] M. WACKERNAGEL, N.B. SCHULZ, D. DEUMLING, A. CALLEJAS LINARES, M. JENKINS, V. KAPOs, C. MONFREDA, J. LOH, N. MYERS, R. NORGAARD, and J. RANDERS.
Tracking the ecological overshoot of the human economy.
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 99(14) :9266–9271, 2002.

- [8] WWF (<https://www.wwf.fr/vous-informer/actualites/reduire-lempreinte-ecologique>). Réduire l'empreinte écologique.
- [9] D.J. BOGUE.
Principles of Demography.
New York, Wiley and Sons, 1969.
- [10] Population Reference Bureau (<https://www.prb.org>).
World population data sheet, visité pour différentes années.
- [11] ONU : World Population Prospects as Assessed in (<https://population.un.org/wpp/>).
World population prospects, 1994.
- [12] ONU : Annuaire statistique
(<https://unstats.un.org/UNSDWebsite/Publications/StatisticalYearbook>).
Statistical yearbook, visité pour différentes années.
- [13] ONU : Industrial Statistical Yearbook
(<https://unstats.un.org/UNSDWebsite/Publications/StatisticalYearbook>).
Statistical yearbook, visité pour différentes années.
- [14] ONU (<https://unstats.un.org/unsd/mbs/app/DataSearchTable.aspx>).
Monthly bulletin of statistics online, visité pour différentes années.
- [15] ONU Food and Agriculture Organization (<http://apps.fao.org/>).
Production yearbook, visité pour différentes années.
- [16] FAOSTAT on-line database(<https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb4477en/>) ONU
Organisation pour l'alimentaire et l'agriculture.
World food and agriculture - statistical yearbook, visité pour différentes années.

- [17] World Resources Institute.
World Resources 1998-99 : Environmental change and human health
(<https://www.wri.org/research/world-resources-1998-99>).
World Resources Institute, 1998.
- [18] Groupement national interprofessionnel des semences et plants
SEMAE (<https://www.semae-pedagogie.org/sujet/mais-importance-economique/>).
L'importance économique de la production du maïs, 2023.
- [19] J.-M. JANCOVICI.
Partie 8 - la comptabilité carbone.
In Mines Paris-Tech - Éléments de base sur l'énergie au XXIe siècle, 2019.
- [20] Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
La sixième enquête mondiale sur l'alimentation.
Rome FAO, 1996.
- [21] G.M. HIGGINS, A.H. KASSAM, L. NAIKEN, G. FISCHER, and M.M. SHAH.
Potential population supporting capacities of lands in the developing world.
Rome FAO, 1982.
- [22] S.J. SCHERR.
Soil Degradation : A Threat to Developing-Country Food Security by 2020 ?
International Food Policy Research Institute, 1999.
- [23] INSEE (<https://www.insee.fr/fr/statistiques/5039859?sommaire=5040030>).
3.2 identité agricole des régions, 2023.

- [24] International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics and United Nations Environment Programme, editors.
Farming Systems Principles for Improved Food Production and the Control of Soil Degradation in the Arid, Semi-Arid, and Humid Tropics, 1986.
- [25] B.G. ROSANOV, V. TARGULIAN, and D.S. ORLOV.
The Earth as Transformed by Human Action : Global and Regional Changes in the Biosphere Over the Past 300 Years, chapter Soil.
Cambridge University Press, 1990.
- [26] L.R. OLDEMAN.
Soil Resilience and Sustainable Land Use, chapter The Global Extent of Soil Degradation.
Cambridge University Press, 1994.
- [27] G. GARDNER.
Shrinking Fields : Cropland Loss in a World of Eight Billion.
Worldwatch Institute, 1996.
- [28] P.-Y. LONGARETTI.
Enjeux environnementaux : Changements globaux, limites planétaires et risques d'effondrement.
In Green University, 2022.
- [29] D.L. MEADOWS, W.W. BEHRENS, D.H. MEADOWS, R.F. NAIL, J. RANDERS, and E.K.O. ZAHN.
Dynamics of Growth in a Finite World.
Wright-Allen Press, 1974.
- [30] J. MCCONNAUGHEY.
Scientists seek ways to bring marine life back to world's dead zones.
Los Angeles Times, 1999.

- [31] S.L. POSTEL, G.C. DAILY, and P.R. EHRlich.
Human appropriation of renewable fresh water.
Science, 271(5250) :785–788, 1996.
- [32] P.H. GLEICK.
The World’s Water 1998-99.
Island Press, 1999.
- [33] S. POSTEL.
Pillar of Sand : Can the Irrigation Miracle Last ?
W. W. Norton, 1999.
- [34] ONU (<https://sdg6data.org/en/maps>).
Un-water, 2023.
- [35] L.R. BROWN.
Water deficits growing in many countries.
Earth Policy Institute, 2002.
- [36] M. FALKENMARK.
Global Resources and International Conflict, chapter Fresh Waters as a Factor in Strategic Policy and Action.
Oxford University Press, 1986.
- [37] ONU Food and Agriculture Organization (<https://www.fao.org/forestry/fr/>).
Évaluation des ressources forestières mondiales, 2000.
- [38] D. BRYANT, D. NIELSEN, and L. TANGLEY.
The Last Frontier Forests : Ecosystems and Economies on the Edge.
Workshop Resources Institute, 1997.

- [39] World Commission on Forests and Sustainable Development.
Our forests, our future : report of the World Commission on Forests and Sustainable Development.
Press Syndicate of the University of Cambridge, 1999.
- [40] ONU Food and Agriculture Organization.
Provisional Outlook for Global Forest Products Consumption, Production, and Trade to 2010.
Rome : FAO, 1997.
- [41] L.R. BROWN.
State of the World 1999, chapter Feeding Nine Billion, page 118.
W. W. Norton, 1999.
- [42] Sous la direction de G.C. DAILY.
Nature's Services : Societal Dependence on Natural Ecosystems.
Island Press, 1997.
- [43] Grand Palais (<https://www.grandpalais.fr/fr/article/premieres-dates-de-lhumanite>).
Premières dates de l'humanité.
- [44] R. COSTANZA, R. D'ARGE, R. DE GROOT, S. FARBER, M. GRASSO, B. HANNON, K. LIMBURG, S. NAEEM, R.V. O'NEILL, J. PARUELO, R.G. RASKIN, P. SUTTON, and M. VAN DEN BELT.
The value of the world's ecosystem services and natural capital.
Nature, 387 :253–260, 1997.
- [45] J. WARRICK.
Mass extinction underway, majority of biologists say.
Washington Post, 1998.

- [46] D. HINRICHSON.
Coral reefs in crisis.
Bioscience, 47(9) :554–558, 1997.
- [47] C.C. MANN.
Extinction : Are ecologists crying wolf?
Science, 253(5021) :736–738, 1991.
- [48] F. SÁNCHEZ-BAYO and K.A.G. WYCKHUYS.
Worldwide decline of the entomofauna : A review of its drivers.
Biological Conservation, 232 :8–27, 2019.
- [49] C. HILTON-TAYLOR and D. BRACKETT.
2000 IUCN Red List of Threatened Species.
International Union for the Conservation of Nature, 2000.
- [50] C. HOLDEN.
Red alert for plants.
Science, 280(5362) :385, 1998.
- [51] WWF.
Rapport Planète Vivante 2002.
WWF, 2002.
- [52] WWF.
Rapport Planète Vivante 2022.
WWF, 2022.
- [53] The Shift Project (<https://theshiftdataportal.org/>).
The Shift Data Portal.

- [54] C.G.M. KLEIN GOLDEWIJK and J.J. BATTJES.
A Hundred Year (1890-1990) Database for Integrated Environmental Assessments (HYDE, version 1.1).
National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), 1997.
- [55] U.S. Bureau of Mines (<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/bureau-mines-minerals-yearbook-1932-1993>).

Minerals yearbook, visité pour différentes années.
- [56] U.S. Geological Survey
(<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/publications>).
Statistical compendium on-line resource.
- [57] Commodity Research Bureau.
The CRB Commodity Yearbook.
Wiley, différentes années.
- [58] J.E. TILTON.
World Metal Demand, Trends and Prospects.
Routledge, 1990.
- [59] Minerals Mining and Sustainable Development Project.
Breaking New Ground : Mining, Minerals and Sustainable Development.
Routledge, 2002.
- [60] World bank (<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>).
World development indicators, 2001.

[61] OECD (<https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/oecdenvironmentaldatacompendium.htm>).

Environmental data : Compendium, visité pour différentes années.

[62] G. MARLAND, T.A. BODEN, and R.J. ANDRES
(<https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/overview.html>).
Global, regional, and national fossil-fuel CO₂ emissions.

[63] World Resources Institute (<https://datasets.wri.org/dataset>).
World resources database, 2000.

[64] OECD
(https://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-balances-of-oecd-countries_19962835-en).
Environmental data : Energy balances, visité pour différentes années.

[65] A. GOUDIE.
The Human Impact on the Natural Environment.
Blackwell, 1993.

[66] P. KRISTENSEN and H. OLE HANSEN.
European Rivers and Lakes : Assessment of Their Environmental State.
European Environmental Agency, 1994.

[67] M.L. O'SHEA and T.M. BROSNAN.
New York Harbor Water Quality Survey.
NY Department of Environmental Protection, 1997.

[68] B. LOMBORG.
The Skeptical Environmentalist : Measuring the Real State of the World.
Cambridge University Press, 2001.

- [69] Carbon Dioxide Information Analysis Center
(<https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/ndps/db1010.html>).
Globally averaged atmospheric CFC-11 concentrations : Monthly and annual data for the period 1975-1992.
- [70] Carbon Dioxide Information Analysis Center
(<https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/ftp/trends/methane/lawdome.259>).
Concentrations of CH₄ from the law dome (east side, "de08" site) ice core(a).
- [71] Carbon Dioxide Information Analysis Center
(https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/co2/sio-keel-flask/sio-keel-flaskmlo_c.html).
Atmospheric CO₂ concentrations (ppmv) derived from in situ air samples collected at Mauna Loa observatory, Hawaii.
- [72] Carbon Dioxide Information Analysis Center
(<https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/co2/siple.html>).
Historical CO₂ record from the siple station ice core.
- [73] R.G. PRINN, R.F. WEISS, P.J. FRASER, P.G. SIMMONDS, D.M. CUNNOLD, F.N. ALYEA, S. O'DOHERTY, P. SALAMEH, B.R. MILLER, J. HUANG, R.H.J. WANG, D.E. HARTLEY, C. HARTH, L.P. STEELE, G. STURROCK, P.M. MIDGLEY, and A. MCCULLOCH.
A history of chemically and radiatively important gases in air deduced from ale/gage/agage.
Journal of Geophysical Research, 105(D14) :17751–17792, 2000.
- [74] R.T. WATSON.
Climate Change 2001 : Synthesis Report, Intergovernmental Panel on Climate Change.
The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001.

- [75] L.R. BROWN, M. RENNER, B. HALWEIL, and Worldwatch Institute.
Vital Signs 2000 : the Environmental Trends That are Shaping Our Future.
W. W. Norton, 2000.
- [76] J. ALCAMOA, P. MAYERHOFER, R. GUARDANS, T. VAN HARMELEN, J. VAN MINNEND, J. ONIGKEIT, M. POSCH, and B. DE VRIES.
An integrated assessment of regional air pollution and climate change in europe : findings of the air-clim project.
Environmental Science & Policy, 5(4) :257–272, 2002.
- [77] T. VAN HARMELEN, J. BAKKER, B. DE VRIES, D. VAN VUUREN, M. DEN ELZEN, and P. MAYERHOFER.
Long-term reductions in costs of controlling regional air pollution in europe due to climate policy.
Environmental Science & Policy, 5(4) :349–365, 2002.
- [78] Nations unies.
World Population Prospects : the 2000 Revision.
ONU, 2001.
- [79] Zoé STEEP.
World3 et le rapport MEADOWS, les limites à la croissance - Questions raisonnées pour aujourd'hui.
2023.
- [80] G. BRANDERHORST.
Update to limits to growth : Comparing the world3 model with empirical data.
Journal of Industrial Ecology, 25(3) :614–626, 2021.

- [81] Mathilde JOCHAUD DU PLESSIX.
Analyse du modèle World3 : sensibilité, dynamique, et pistes d'évolution.
Technical report, INRIA - INSA, 2020.
- [82] J. LEGAVRE (<https://github.com/Juji29/MyWorld3>).
Myworld3, 2022.
- [83] Pro natura
(<https://www.pronatura.ch/fr/2022/une-croissance-sans-limite-meme-50-ans-plus-tard>).
Une croissance sans limite... même 50 ans plus tard, 2022.
- [84] The Conversation (<https://theconversation.com/rapport-meadows-pourquoi-les-alertes-de-1972-ont-ete-ignorees-par-les-chercheurs-en-management-201644>).
Rapport meadows : pourquoi les alertes de 1972 ont été ignorées par les chercheurs en management ?, 2023.
- [85] CAIRN Info (<https://www.cairn.info/revue-regards-croises-sur-l-economie-2020-1-page-208.htm?ref=doi>) Édouard MINE.
Y-a-t-il des limites à la croissance ? Le « Rapport Meadows » et ses prolongements actuels, 2020.
- [86] Socialter (<https://www.socialter.fr/article/dennis-meadows-rapport-explosion-crisis>).
Dennis meadows « nous entrons dans une période d'explosion des crises », 2022.
- [87] G.M. TURNER.
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) :116–124, 2012.

- [88] G. HERRINGTON.
Update to limits to growth. comparing the World3 model with empirical data.
[Journal of Industrial Ecology](#), 25 :614–626, 2021.