

Quelle soutenabilité dans le cadre des limites planétaires ?

Natacha Gondran



INSPIRING INNOVATION



INNOVANTE PAR TRADITION





Au programme...

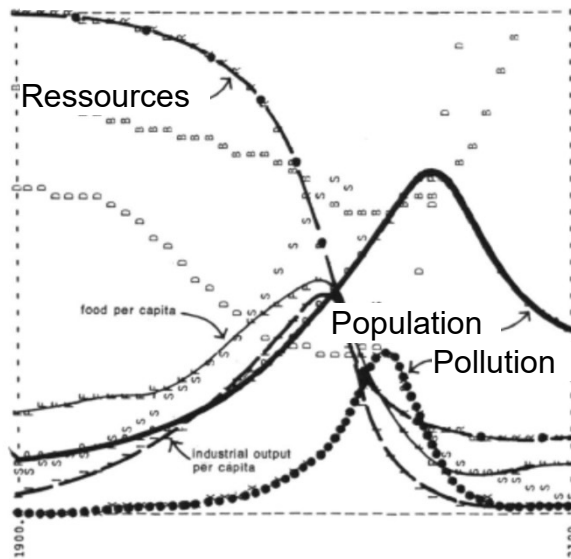
- ✓ De la finitude des ressources aux limites planétaires
- ✓ Les limites planétaires : un outil pédagogique pour représenter les interactions du « système Terre »
- ✓ Limites planétaires et soutenabilités

Une prise de conscience des limites qui évolue ...

Fin du XVIII^{ème} siècle

T. Malthus

An essay on the Principle of Population



XX^{ème} siècle

The Limits to Growth

(D. Meadows et al., 1972)

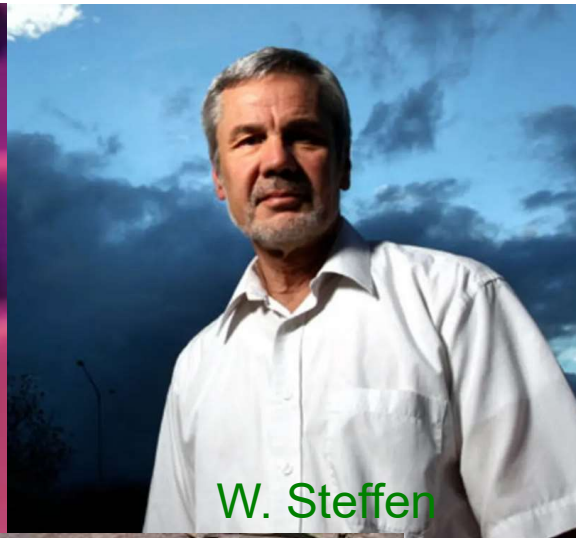
Pari P. Ehrlich – J. Simon en 1980



Une prise de conscience qui évolue ... Début du XXI^{eme} siècle



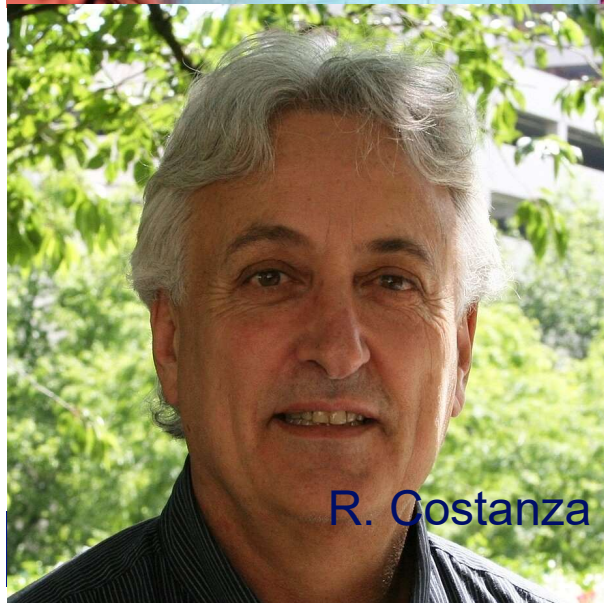
J. Rockström



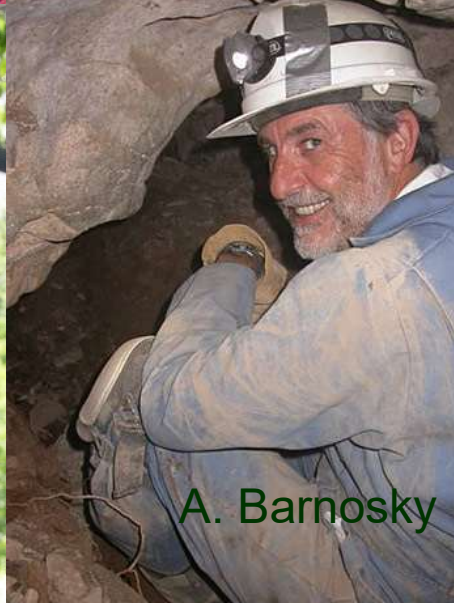
W. Steffen



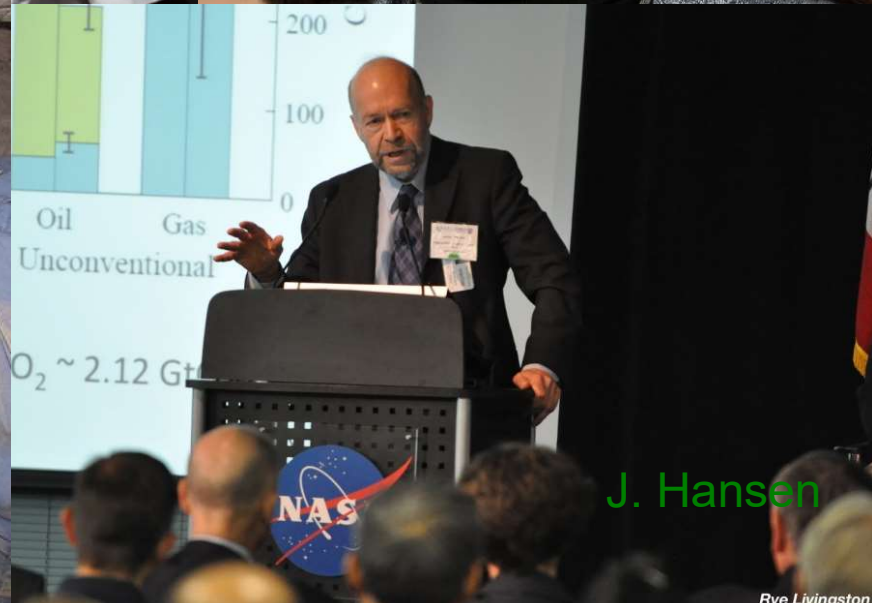
S. Cornell



R. Costanza



A. Barnosky



J. Hansen

Le cadre des limites planétaires ou « espace de fonctionnement sécurisé » (SOS – « Save Operating Space »)



- ***La biosphère atteint différents seuils critiques, non seulement au niveau d'écosystèmes localisés, mais également au niveau planétaire (Rockstrom et al., 2009, Barnosky et al., 2012)***

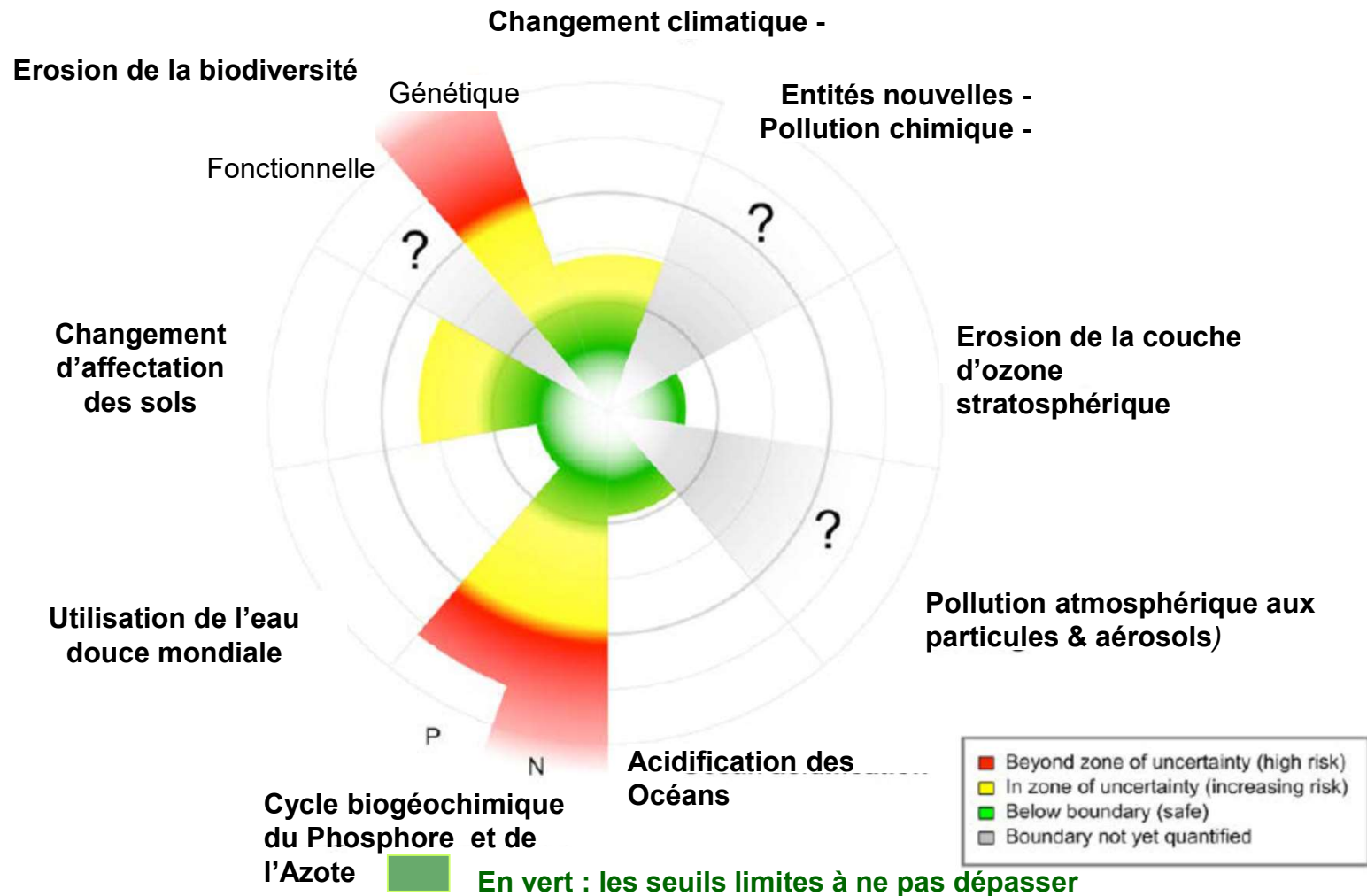


■ Le cadre des limites planétaires ou « espace de fonctionnement sécurisé » (SOS – « Save Operating Space »)

Des publications scientifiques de renom depuis 2009

- BARNOSKY A., MATZKE N., TOMIYA S., WOGAN G., SWARTZ B., QUENTAL T., MARSHALL C., MCGUIRE J., LINDSEY E., MAGUIRE K., MERSEY B., FERRER E. [2011], « Has the Earth's Sixth Mass Extinction Already Arrived? », *Nature*, 471, p. 51-57.
- ROCKSTRÖM J., STEFFEN W., NOONE K., PERSSON A., CHAPIN F.S.I., LAMBIN E., LENTON T.M., SCHEFFER M., FOLKE C., SCHELLNHUBER H.J., NYKVIST B., WIT C.A. DE, HUGHES T., LEEUW S. VAN DER, RODHE H., SÖRLIN S., SNYDER P.K., COSTANZA R., SVEDIN U., FALKENMARK M., KARLBERG L., CORELL R.W., FABRY V.J., HANSEN J., WALKER B., LIVERMAN D., RICHARDSON K., CRUTZEN P., FOLEY J. [2009], « A safe operating space for humanity », *Nature*, 461, 7263, p. 472-475.
- RUNNING S. [2012], « A Measurable Planetary Boundary for the Biosphere », *Science*, 337, 6101, p. 1458-1459.
- STEFFEN W., RICHARDSON K., ROCKSTROM J., CORNELL S.E., FETZER I., BENNETT E.M., BIGGS R., CARPENTER S.R., VRIES W. DE, WIT C.A. DE, FOLKE C., GERTEN D., HEINKE J., MACE G.M., PERSSON L.M., RAMANATHAN V., REYERS B., SORLIN S. [2015], « Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet », *Science*, 347, 6223, p. 1259855-1259855.

Le cadre des limites planétaires ou « espace de fonctionnement sécurisé » (SOS – « Save Operating Space »)

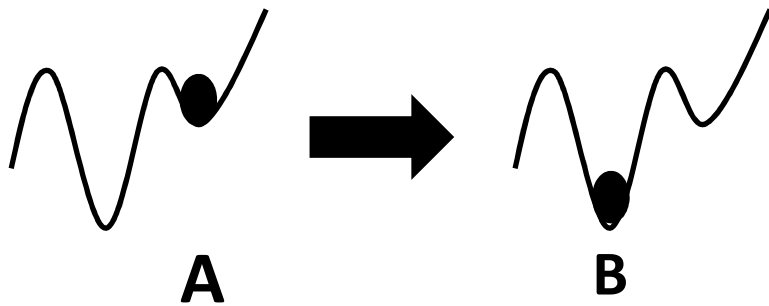


Rester du bon côté de la frontière...

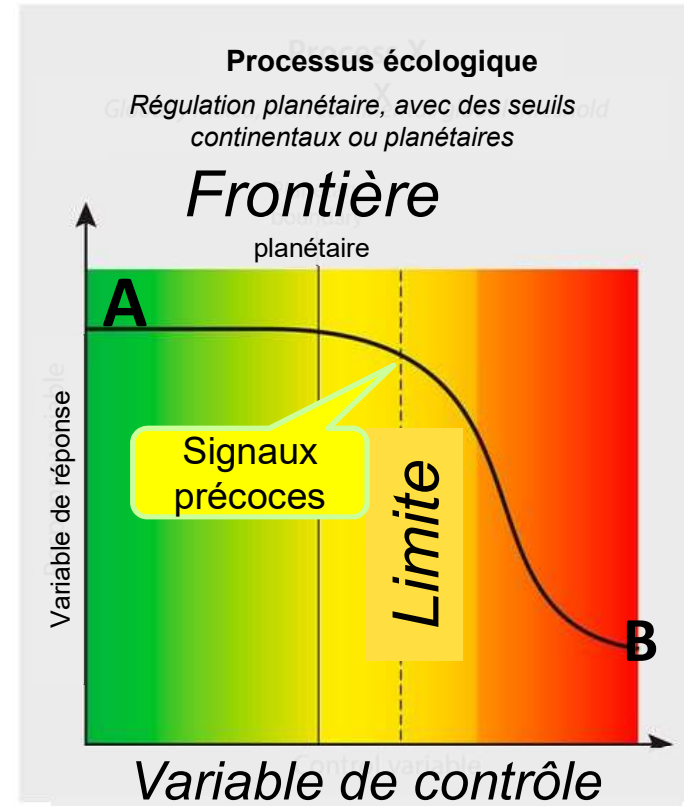


Crédit photo : Annie Griffith
National Geography

Quelques mots de vocabulaire : basculement, frontière et limite



Basculement

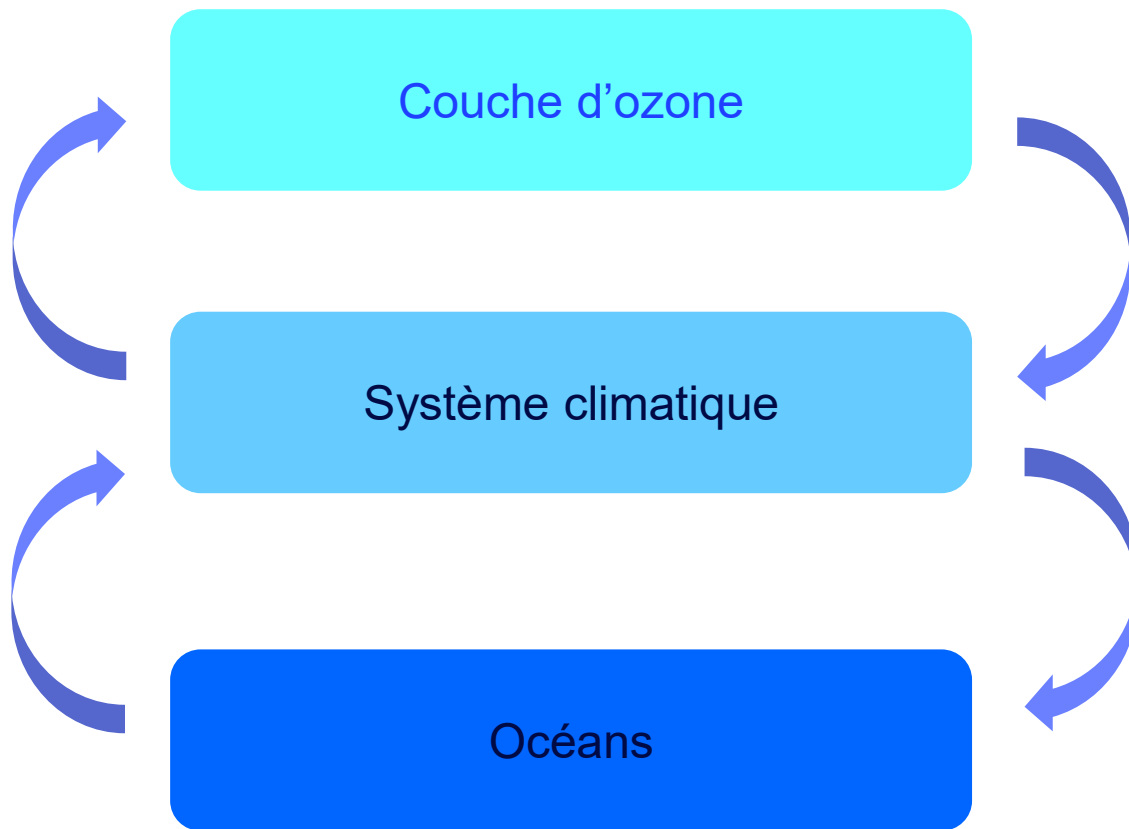


■ Espace de fonctionnement sécurisé

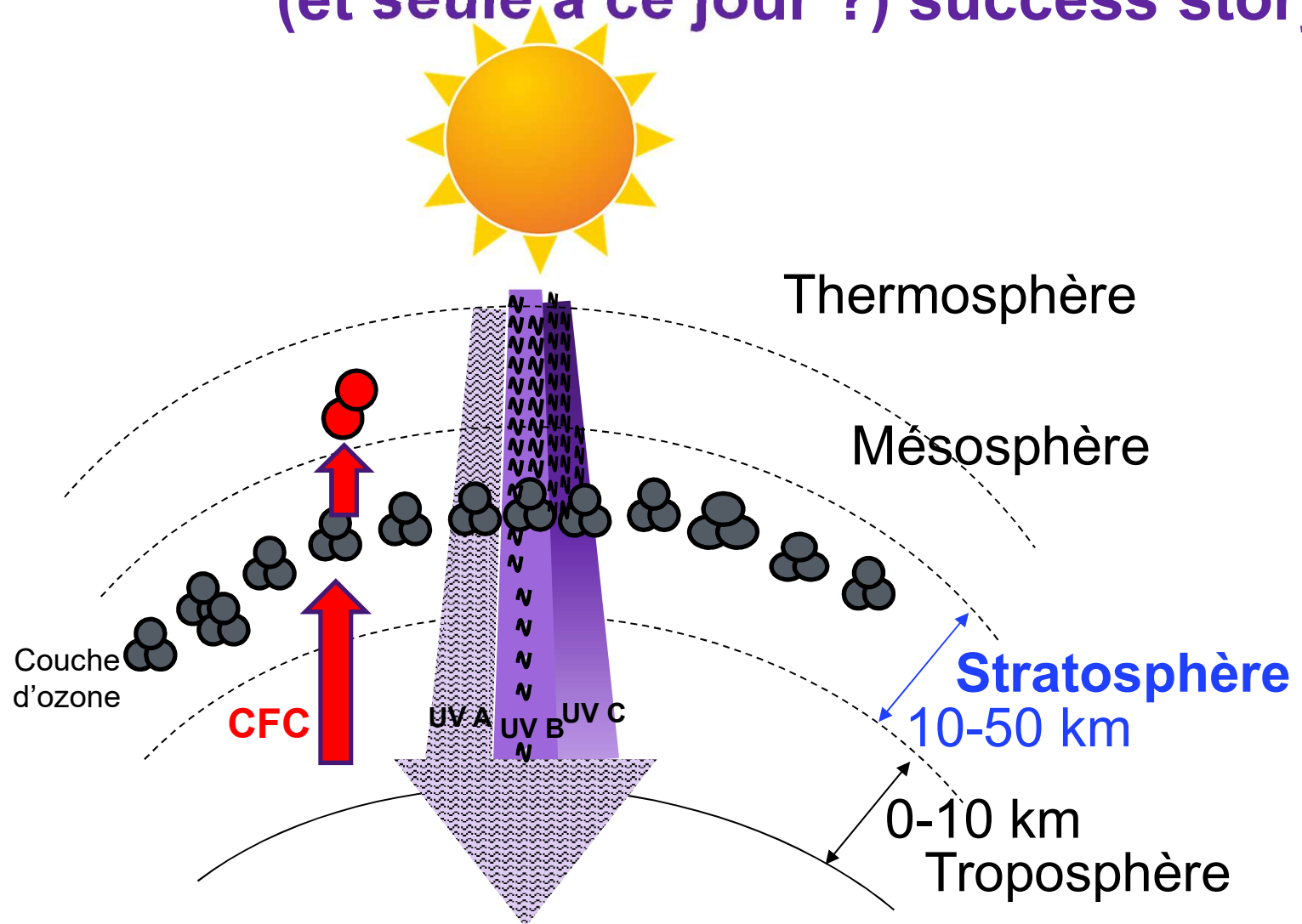
■ Zone d'incertitude : risques d'impacts croissants

■ Niveau dangereux : risques élevés d'impacts importants

Les trois grands processus de régulation planétaires



L'érosion de la couche d'ozone : la première (et seule à ce jour ?) success story



L'érosion de la couche d'ozone : la première (et seule à ce jour ?) success story

Couche d'ozone stratosphérique


Variable de contrôle : Concentration d'ozone dans la stratosphère (en unités Dobson, UD)


Frontière planétaire : 275 UD



Valeur constatée : 285 UD

 Espace de sécurité

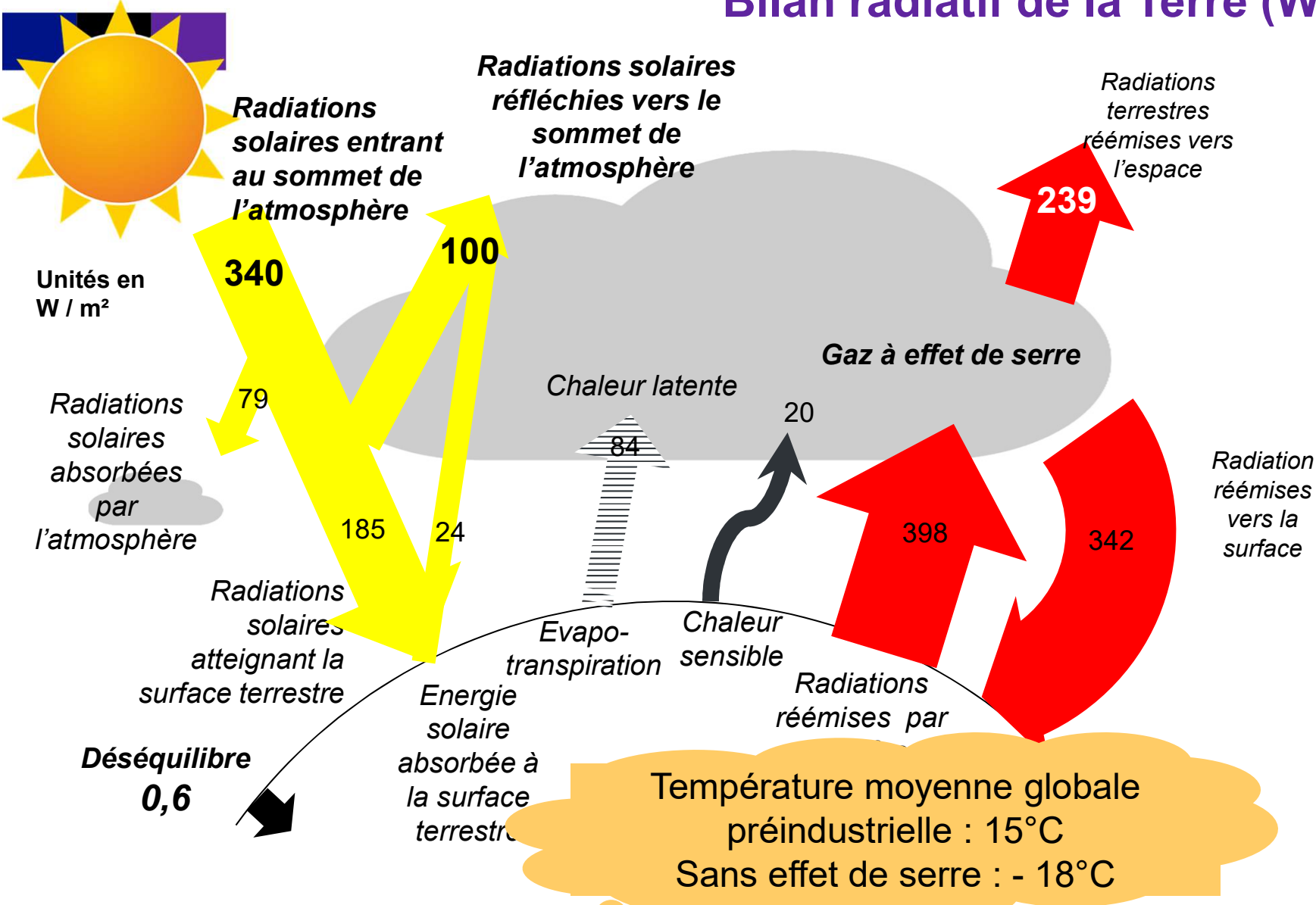
 Zone d'incertitude (risque accru)

 Niveau dangereux (risque élevé)



Changement climatique

Bilan radiatif de la Terre (W/m^2)



Le changement climatique : au bord du précipice...



Variable de contrôle : Concentration de CO₂ dans l'atmosphère (en parties par million - ppm)


Frontière planétaire : 350 ppm




Valeur constatée : 400 ppm

410 ppm (IPCC, 2021)

 Espace de sécurité

 Zone d'incertitude (risque accru)

 Niveau dangereux (risque élevé)

Variable de contrôle 2 : Forçage radiatif (en Watts par m²)


Frontière planétaire : 1 W/m²




Valeur constatée : 2,3 W/m²

2,72 W/m² (IPCC, 2021)

 Espace de sécurité

 Zone d'incertitude (risque accru)

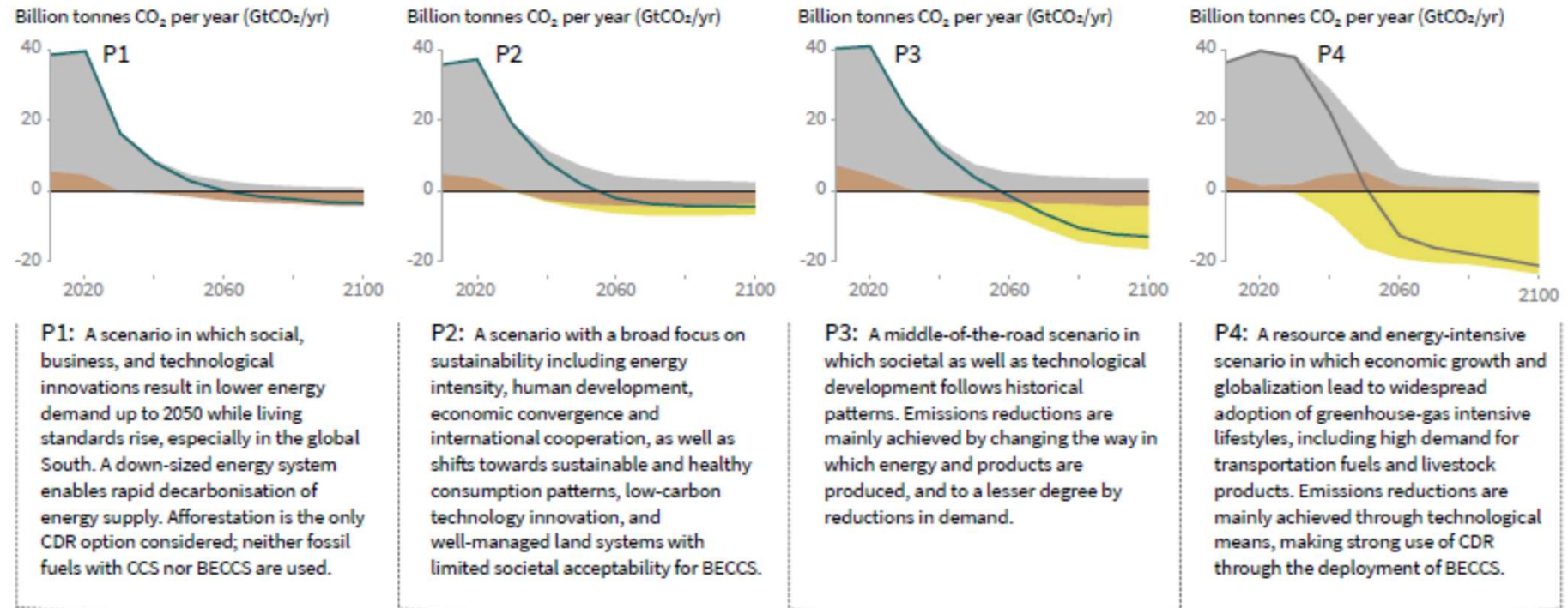
 Niveau dangereux (risque élevé)

(Steffen et al., 2015)

Les scénarios qui permettent d'atteindre les 1,5°C...

Breakdown of contributions to global net CO₂ emissions in four illustrative model pathways

● Fossil fuel and industry ● Utilisation des sols ● Bio-energie avec capture et stockage du carbone

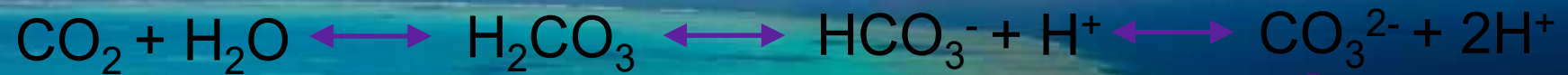


Tous les scénarios reposent sur la séquestration de carbone. Mais ils diffèrent sur la quantité de carbone stockée dans les sols (de 100 à 1000 GtCO₂ sur le XXI^{ème} siècle), la contribution relative des technologies d'utilisation de bioénergie combinées à la capture et séquestration du carbone ainsi que sur la capacité des sols (Forêts, agriculture et autres usages) à stocker le carbone.

Acidification des océans

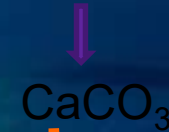
Pompe de solubilité

(↓ si T ↑)



Conditions actuelles d'équilibre : pH = 8,2

(~ 88% de HCO_3^- , 11 % de CO_3^{2-})



*Pompe
biologique du
carbone*

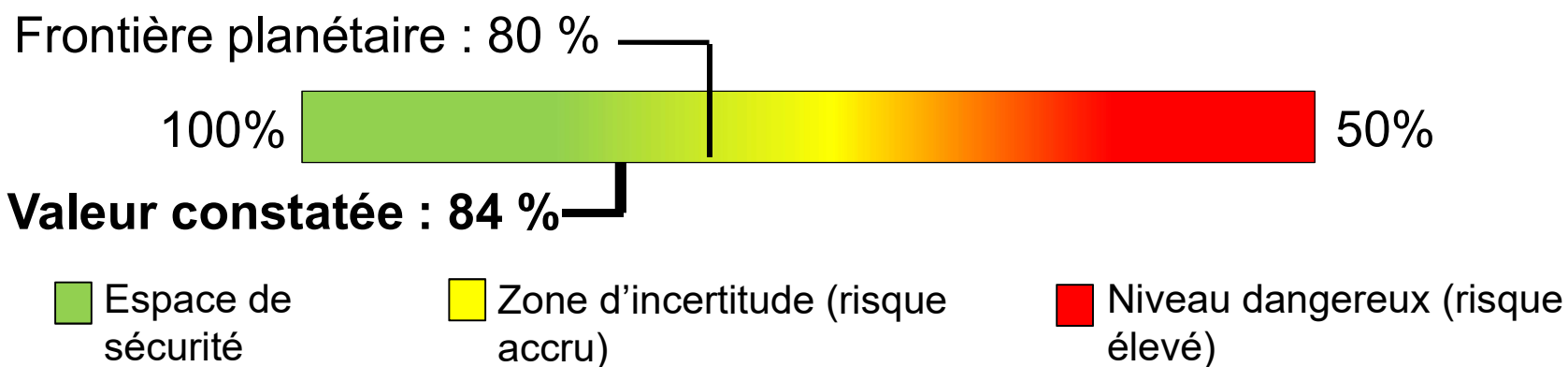
Phytoplancton

Aragonite et calcite

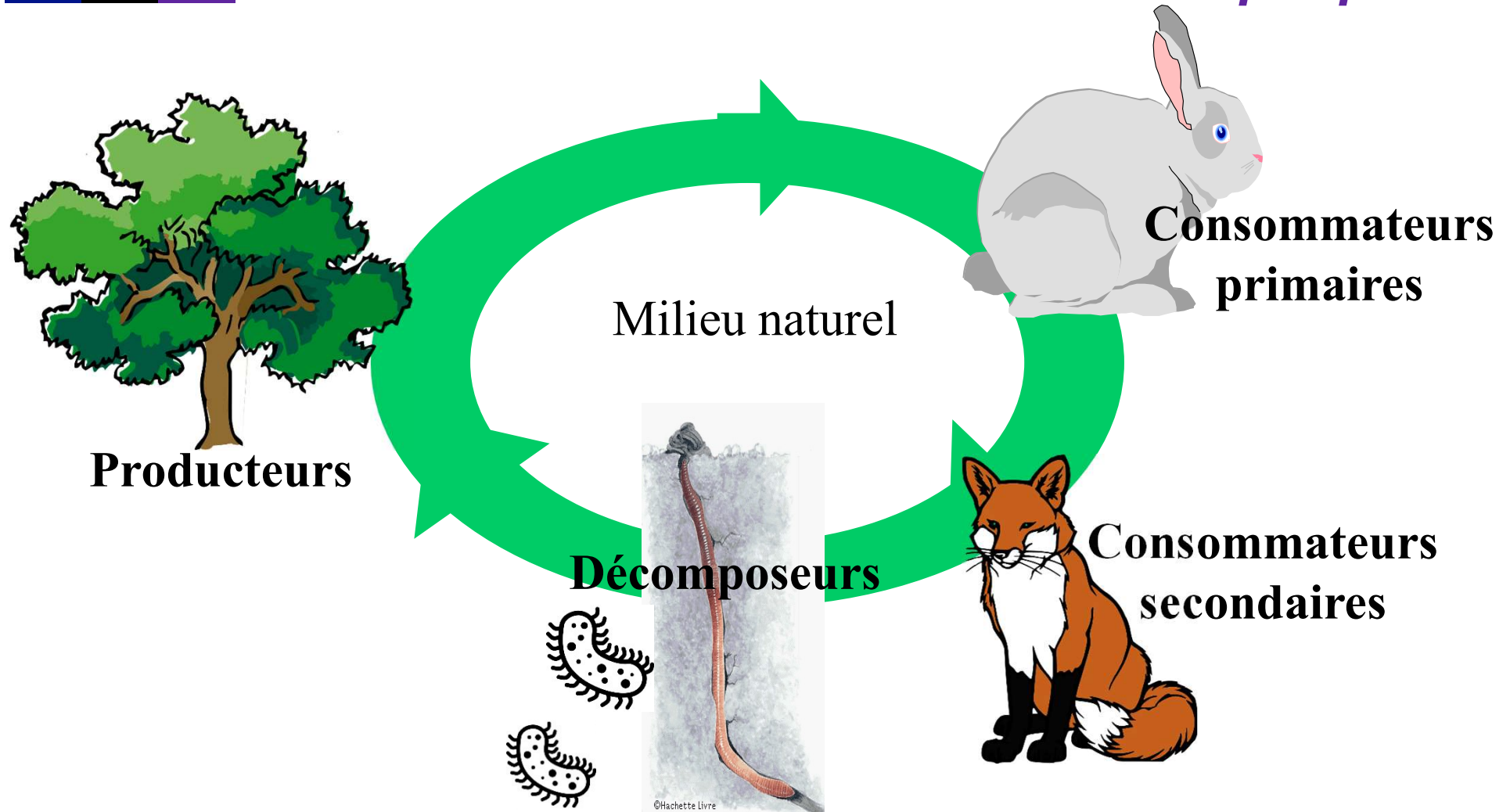


Acidification des océans

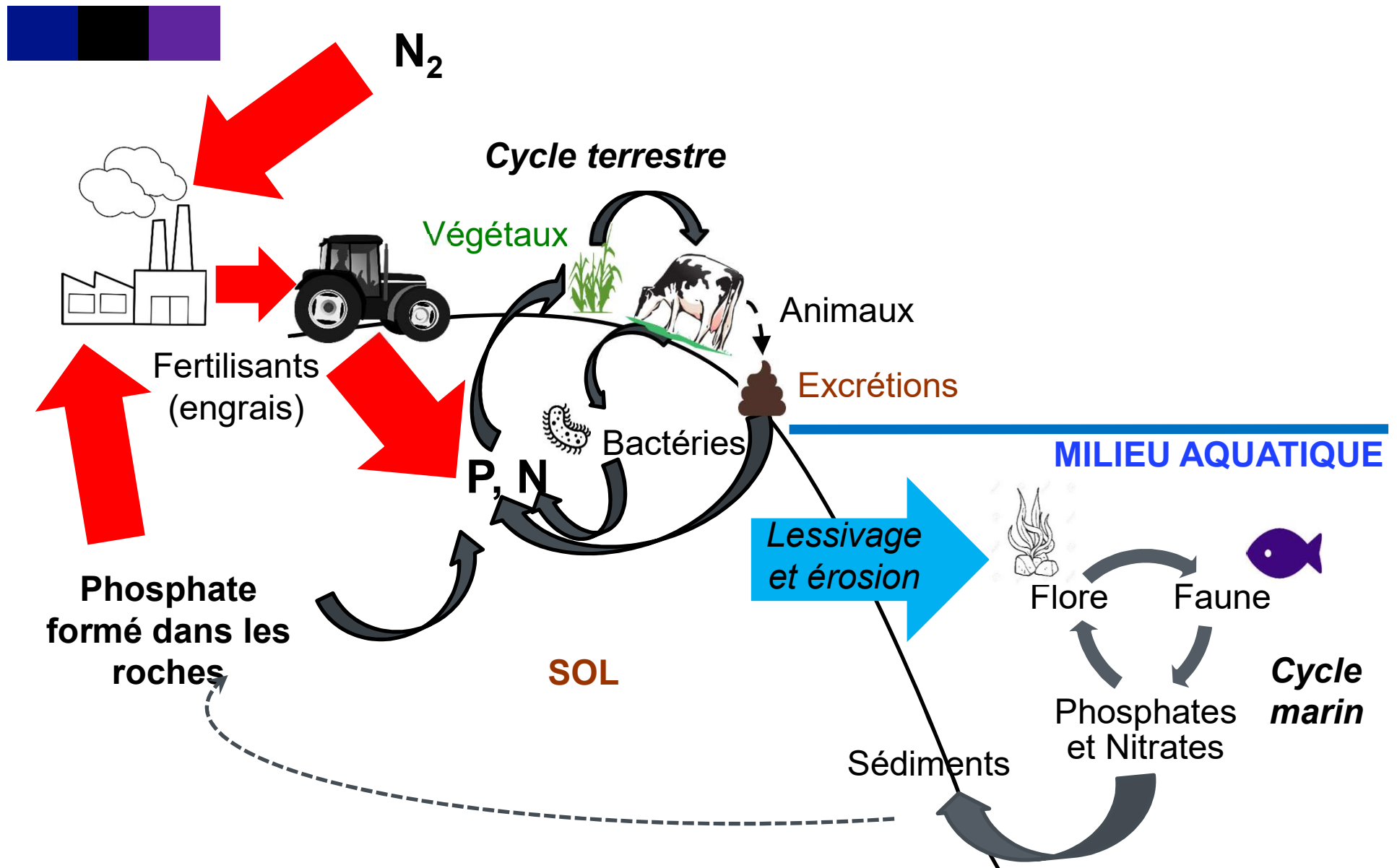
Variable de contrôle : Degré de saturation de l'eau de mer de surface en aragonites (% de la valeur préindustrielle)



La notion de cycles biogéochimique et de chaîne trophique



Déséquilibre des cycles biogéochimique



L'eutrophisation



Le cycle de l'azote : une frontière dépassée

Cycle biogéochimique de l'azote


Variable de contrôle : Azote réactif produit de manière anthropique injecté dans la nature (en téragrammes d'azote par an, Tg N/an)


Frontière planétaire : 62 Tg N/an

0 Tg N/an  200 Tg N/an

Valeur constatée : 150 Tg N/an

 Espace de sécurité

 Zone d'incertitude (risque accru)

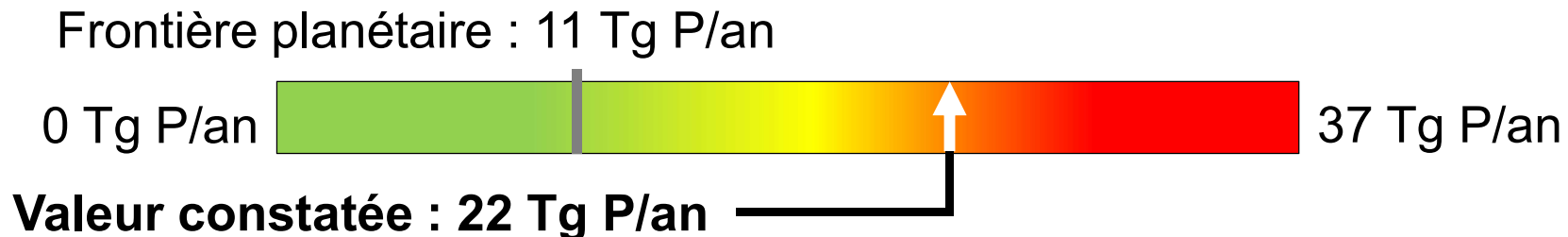
 Niveau dangereux (risque élevé)




Le cycle du phosphore : une frontière dépassée


Cycle biogéochimique du phosphore

Variable de contrôle : Phosphore extrait de manière anthropique injecté dans la nature (en téragrammes de phosphore par an, Tg P/an)



 Espace de sécurité

 Zone d'incertitude (risque accru)

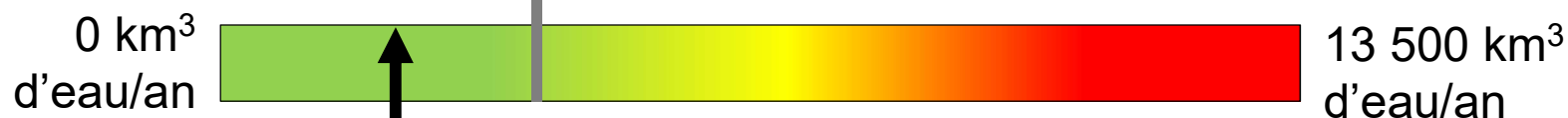
 Niveau dangereux (risque élevé)

Frontières planétaires pour le cycle de l'eau douce

Cycle de l'eau douce

Variable de contrôle : Volume d'eau douce prélevé dans les eaux de surface et les eaux souterraines renouvelables (km^3 eau/an)

Frontière planétaire : $4000 \text{ km}^3/\text{an}$



Valeur constatée : $2600 \text{ km}^3/\text{an}$

■ Espace de sécurité

■ Zone d'incertitude (risque accru)

■ Niveau dangereux (risque élevé)



Frontière planétaire pour le changement d'utilisation des sols

Changement d'utilisation des sols

Variable de contrôle : Erosion de la couverture forestière (% de la couverture forestière actuelle par rapport à 1700)

Frontière planétaire : 75 %



Valeur constatée : 62 %

■ Espace de sécurité

■ Zone d'incertitude (risque accru)

■ Niveau dangereux (risque élevé)



L'érosion de la biodiversité

- **Ensemble des milieux naturels et des formes de vie** (plantes, animaux, champignons, bactéries, virus...) ainsi que **toutes les relations et interactions qui existent entre les organismes vivants eux-mêmes et avec leurs milieux de vie.**

Dimension éthique



Dimension fonctionnelle



L'érosion de la biodiversité

■ 3 niveaux à prendre en compte :

- **la diversité des milieux de vie** : océans, prairies, forêts, espaces végétalisés ... cellules, virus et parasites qui peuvent y vivre ... ;
- **la diversité des espèces** qui vivent dans ces milieux, qui interagissent entre elles (prédation, coopération, symbiose...) et qui interagissent avec leur milieu de vie ;
- **la diversité des individus** au sein de chaque espèce .

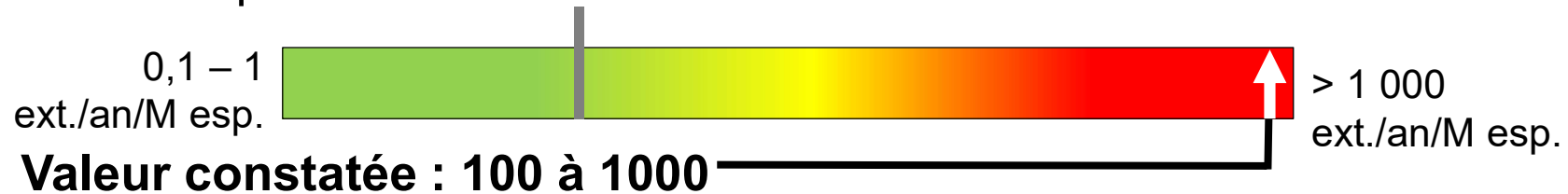


Une frontière largement dépassée : l'intégrité de la biosphère

Intégrité de la biosphère

Variable de contrôle 1 : Taux d'extinction des espèces (nombre d'extinctions d'espèces par an et par million d'espèces)

Frontière planétaire : 10 ext./an/M

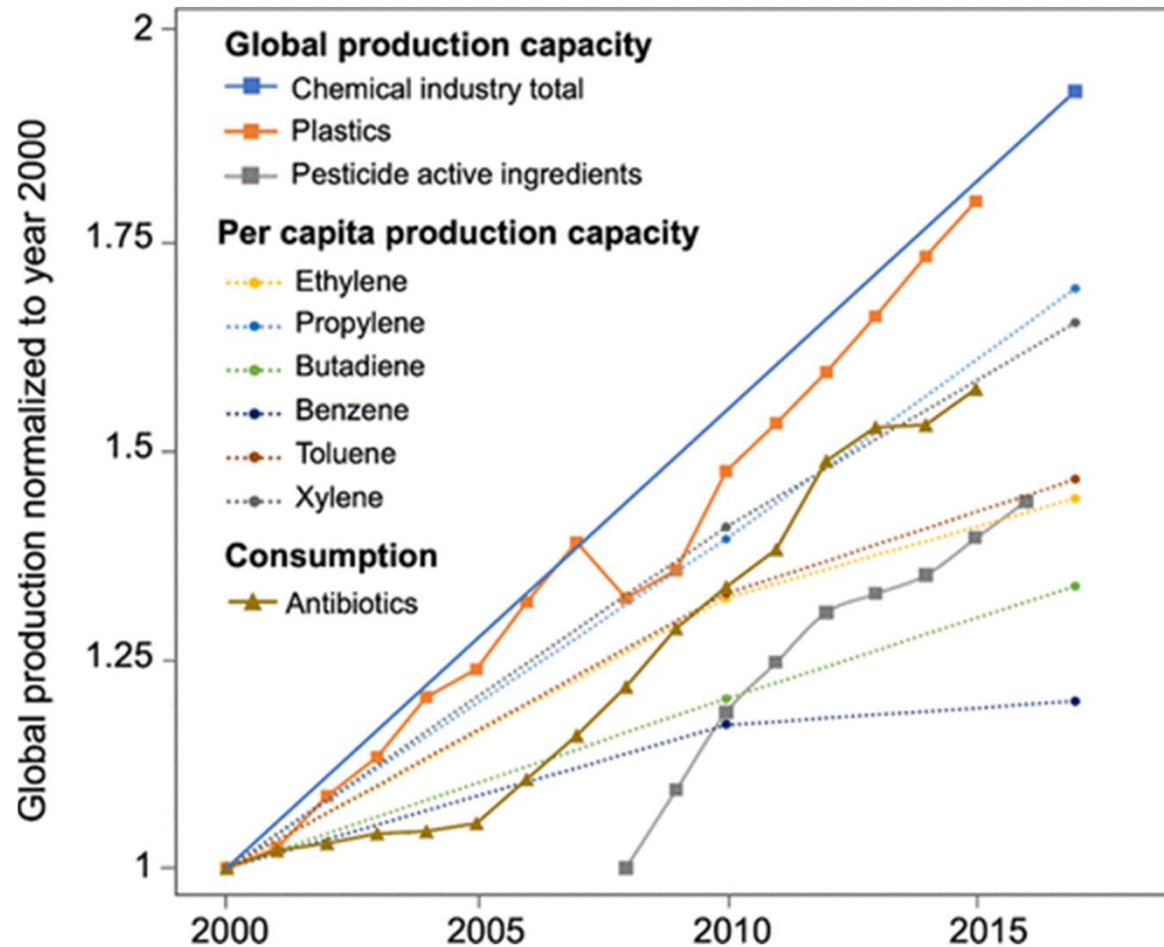


■ Espace de sécurité

■ Zone d'incertitude (risque accru)

■ Niveau dangereux (risque élevé)

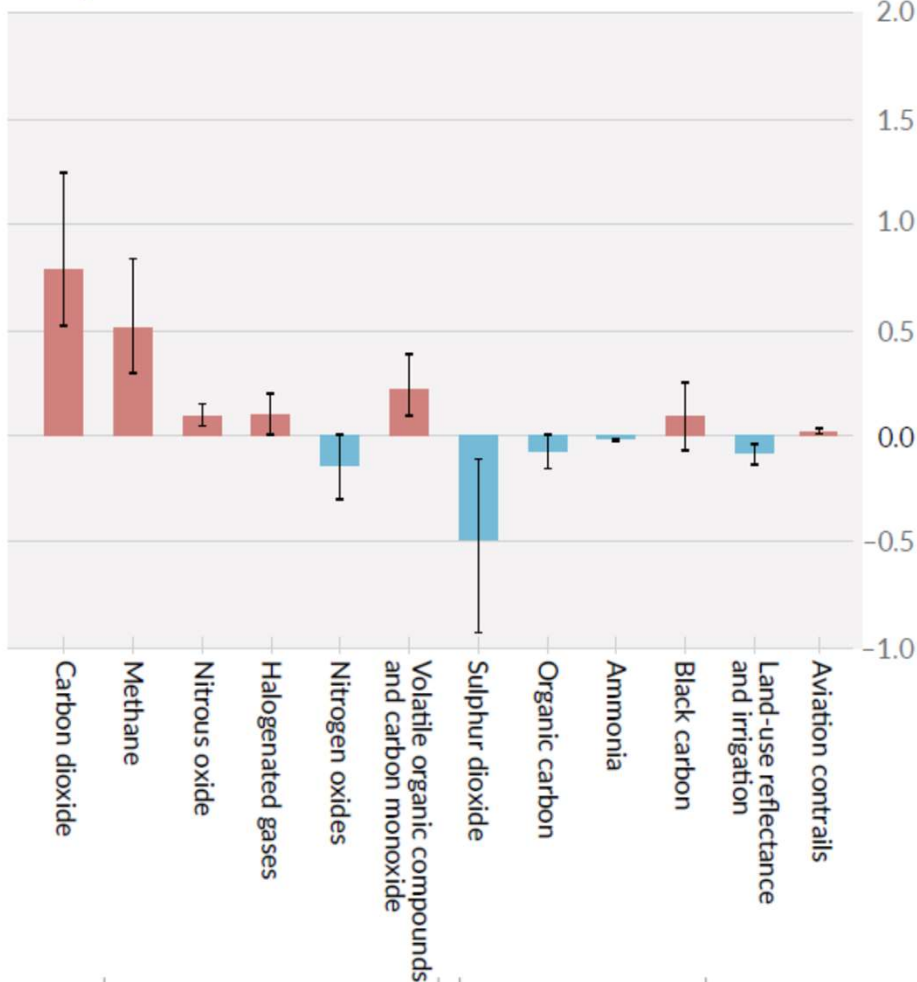
La petite dernière, malheureusement déjà largement dépassée : l'intégration d'entités nouvelles



Current rising global trends of chemical industry production, expressed as the relative growth in some novel entities between 2000 and 2017

Des discussions scientifiques autour des aérosols

(c) Contributions to 2010–2019 warming relative to 1850–1900, assessed from radiative forcing studies






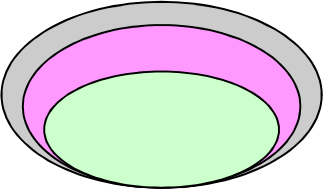
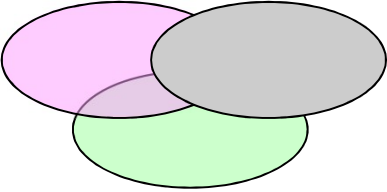
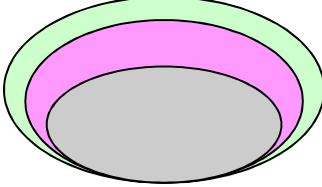
La charge atmosphérique en aérosols

- Modifient les régimes de pluie (mousson, par exemple)
- Modifie le climat, mais bilan global contribue plutôt à limiter le changement climatique (IPCC, 2021) (à l'exception des suies ou black carbone qui le renforcent)

Différentes visions de la soutenabilité



-  Sphère écologique
-  Sphère sociale
-  Sphère économique

		
<p style="text-align: center;">Soutenabilité faible</p> <p>Argument : « le <u>capital naturel</u> est substituable, sa dégradation peut être compensée par la création de capital artificiel (technologie, géo-ingénierie) »</p> <p>Priorité : économique - technique (croissance)</p> <p>Solutions : technoscientifiques</p> <p>Type d'acteurs : entreprises, économistes (néoclassiques), industries</p>	<p style="text-align: center;">Approche consensuelle</p> <p>Argument : « les différentes formes de capitaux (économie-social-environnement) sont pour partie seulement substituables »</p> <p>Priorité : pas de priorité (équilibre)</p> <p>Solutions : intermédiaires, «bricolage»</p> <p>Type d'acteurs : acteurs publics, parapublics, collectivités</p>	<p style="text-align: center;">Soutenabilité forte</p> <p>Argument : « le <u>capital naturel</u> n'est pas substituable, il doit être légué aux générations futures. Le développement doit s'adapter aux limites des écosystèmes »</p> <p>Priorité : écologique (décroissance)</p> <p>Solutions : changements radicaux</p> <p>Type d'acteurs : écologistes, associations de protection de l'environnement, Scientifiques</p>

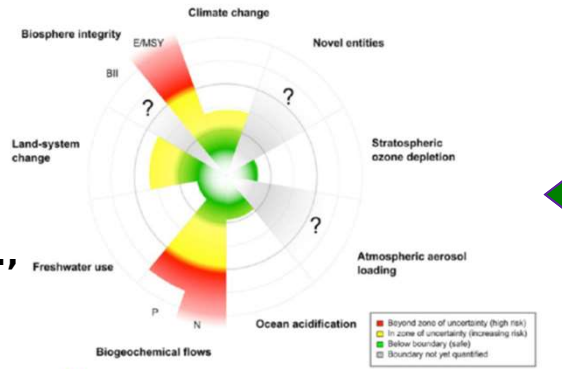


D'après A. Boutaud (2005)

Vers des méthodes d'évaluation absolue de la soutenabilité (entreprise, territoire)



Cadre des limites planétaires (Steffen et al., 2015)



Modélisation



Principes de répartition des impacts:

- Égal par individu
- Capacité à réduire des émissions
- Dette historique
- Valeur ajoutée économique
- ...

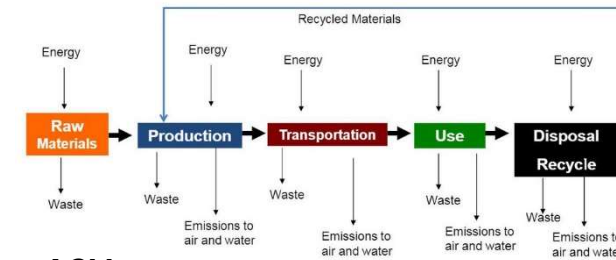
Capacité de charge disponible



Impact environnemental



Analyse de cycle de vie



ACV ou empreintes

Inventaires de cycles de vie

Evaluation des impacts

