

*Journées Normaliennes du Développement Durable
Ecole Normale Supérieure, Rennes
Rennes, 15 janvier 2015*

De la science à l'action: l'écologie et le développement durable

Luc Abbadie

Professeur d'Ecologie

Université Pierre & Marie Curie, Sorbonne Universités

IEES, Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement, Paris

luc.abbadie@upmc.fr

<http://ieesparis.ufr918.upmc.fr>



Un changement de perspective



Institute of Ecology and Environmental Sciences - Paris

Institut d'Écologie et des Sciences de l'Environnement de Paris

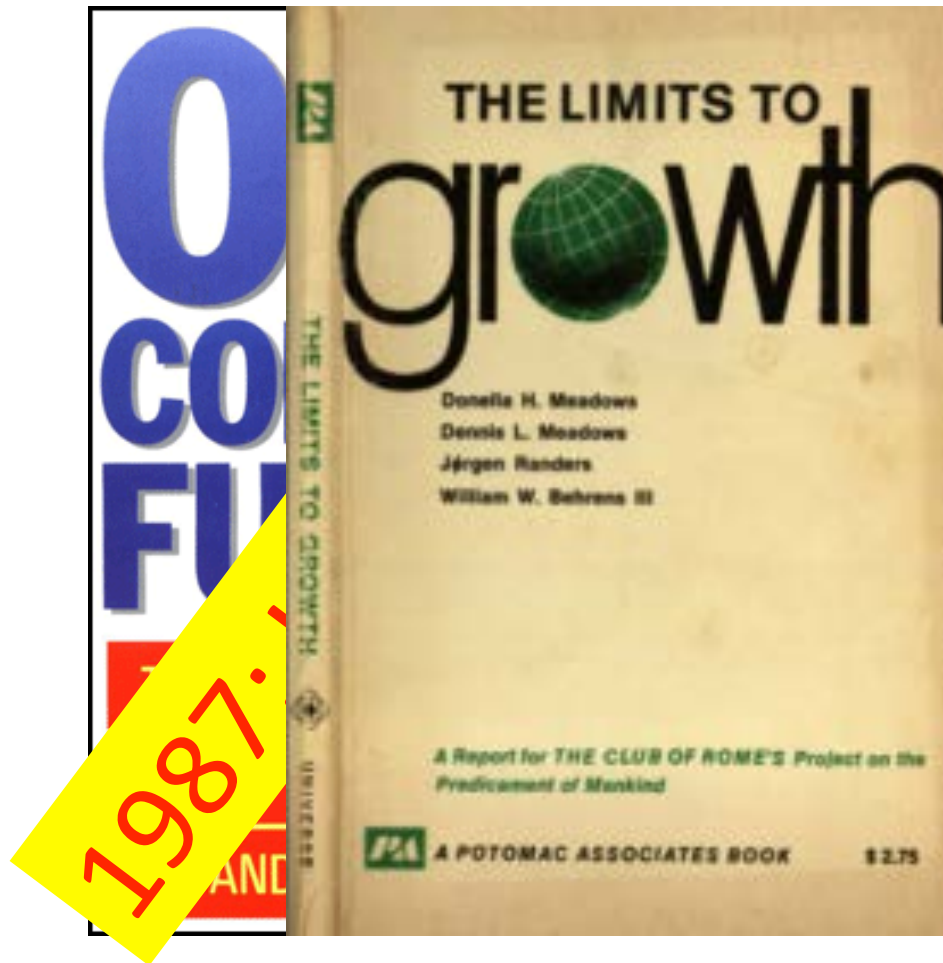
Un changement de perspective



Institute of Ecology and Environmental Sciences - Paris

Institut d'Écologie et des Sciences de l'Environnement de Paris

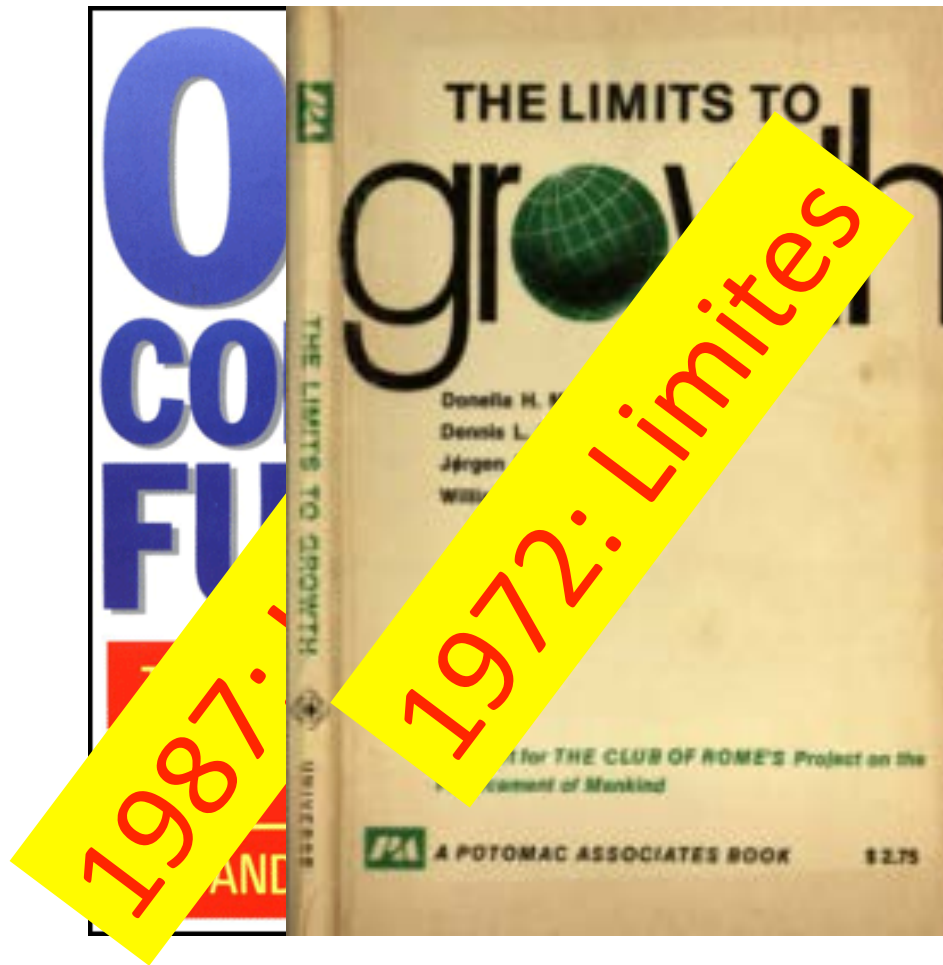
Un changement de perspective



Institute of Ecology and Environmental Sciences - Paris

Institut d'Écologie et des Sciences de l'Environnement de Paris

Un changement de perspective



Institute of Ecology and Environmental Sciences - Paris

Institut d'Écologie et des Sciences de l'Environnement de Paris

Un changement de perspective



Geology of mankind

Paul J. Crutzen

For the past three centuries, the effects of humans on the global environment have escalated. Because of these anthropogenic emissions of carbon dioxide, global climate may depart significantly from natural behaviour for many millennia to come. It seems appropriate to assign the term 'Anthropocene' to the present, in many ways human-dominated, geological epoch, supplementing the Holocene — the warm period of the past 10–12 millennia. The Anthropocene could be said to have started in the latter part of the eighteenth century, when analyses of air trapped in polar ice showed the beginning of growing global concentrations of carbon dioxide and methane. This date also happens to coincide with James Watt's design of the steam engine in 1784.

Mankind's growing influence on the environment was recognized as long ago as 1873, when the Italian geologist Antonio Stoppani spoke about a 'new telluric force' which in power and universality may be compared to the greater forces of earth,

referring to the "anthropozoic era". And in 1926, V. I. Vernadsky acknowledged the increasing impact of mankind: "The direction in which the processes of evolution must proceed, namely towards increasing consciousness and thought, and forms having greater and greater influence on their surroundings." Teilhard de Chardin and Vernadsky used the term 'noosphere' — the 'world of thought' — to mark the growing role of human brain-power in shaping its own future and environment.

The rapid expansion of mankind in numbers and per capita exploitation of Earth's resources has continued apace. During the past three centuries, the human population has increased tenfold to more than 6 billion and is expected to reach 10 billion in this century. The methane-producing cattle population has risen to 1.4 billion. About 50–60% of the planet's land surface is exploited by humans. Tropical rainforests disappear at a fast pace, releasing carbon dioxide and strongly increasing species extinction. Dam building and river diversion have become commonplace. More than half of all accessible fresh water is used by mankind. Fisheries remove more than 25% of the primary production in upwelling ocean regions and 35% in the temperate continental shelf. Energy use has grown 16-fold during the twentieth century, causing 160 million tonnes of atmospheric sulphur dioxide emissions per year, more than twice the sum of its natural emissions. More nitrogen fertilizer is applied in agriculture than is fixed naturally in all terrestrial ecosystems; nitric oxide production by the burning of fossil fuel and biomass also overrides natural emissions. Fossil-fuel burning and agriculture have caused substantial increases in the concentrations of 'greenhouse' gases — carbon dioxide by 30% and methane by more than 100% — reaching their highest levels over the past 400 millennia, with more to follow.

So far, these effects have largely been caused by only 25% of the world population. The consequences are, among others, acid precipitation, photochemical 'smog' and climate warming. Hence, according to the latest estimates by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the Earth will warm by 1.4–5.8 °C during this century.

Many toxic substances are released into the environment, even some that are not toxic at all but nevertheless have severely damaging effects, for example the chlorofluorocarbons that caused the Antarctic 'ozone hole' (and which are now regulated). Things could have become much worse: the

concepts

The Anthropocene

The Anthropocene could be said to have started in the late eighteenth century, when analyses of air trapped in polar ice showed the beginning of growing global concentrations of carbon dioxide and methane.

ozone-destroying properties of the halogens have been studied since the mid-1970s. If it had turned out that chlorine behaved chemically like bromine, the ozone hole would by then have been a global, year-round phenomenon, not just an event of the Antarctic spring. More by luck than by wisdom, this catastrophic situation did not develop.

Unless there is a global catastrophe — a meteorite impact, a world war or a pandemic — mankind will remain a major environmental force for many millennia. A daunting task lies ahead for scientists and engineers to guide society towards environmentally sustainable management during the era of the Anthropocene. This will require appropriate human behaviour at all scales, and may well involve internationally accepted, large-scale geo-engineering projects, for instance to 'optimize' climate. At this stage, however, we are still largely treading on terra incognita.

Paul J. Crutzen is at the Max Planck Institute for Chemistry, PO Box 3060, D-55020 Mainz, Germany, and the Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, 9500 Gilman Drive, La Jolla, California 92093-7452, USA.

FURTHER READING

Marsh, G. P. *Man and Nature* (1864). (Reprinted as *The Earth as Modified by Human Action*) Belknap Press, Cambridge, Massachusetts, 1965).

Crutzen, P. J. & Stoermer, E. F. *IGBP Newsletter* 41 (Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm, 2000).

Clark, W. C. & Munn, R. E. (eds) *Sustainable Development of the Biosphere* Ch. 1 (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1986).

Vernadsky, V. I. *The Biosphere* (translated and annotated version from the original of 1926) (Springer, New York, 1988).

Turner, B. L. et al. *The Earth as Transformed by Human Action* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1990).

McNeill, J. R. *Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World* (W. W. Norton, New York, 2000).

Houghton, J. T. et al. (eds) *Climate Change 2001: The Scientific Basis* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2001).

Berger, A. & Loutre, M.-F. *C. R. Acad. Sci. Paris* 323 (3A), 1–16 (1996).

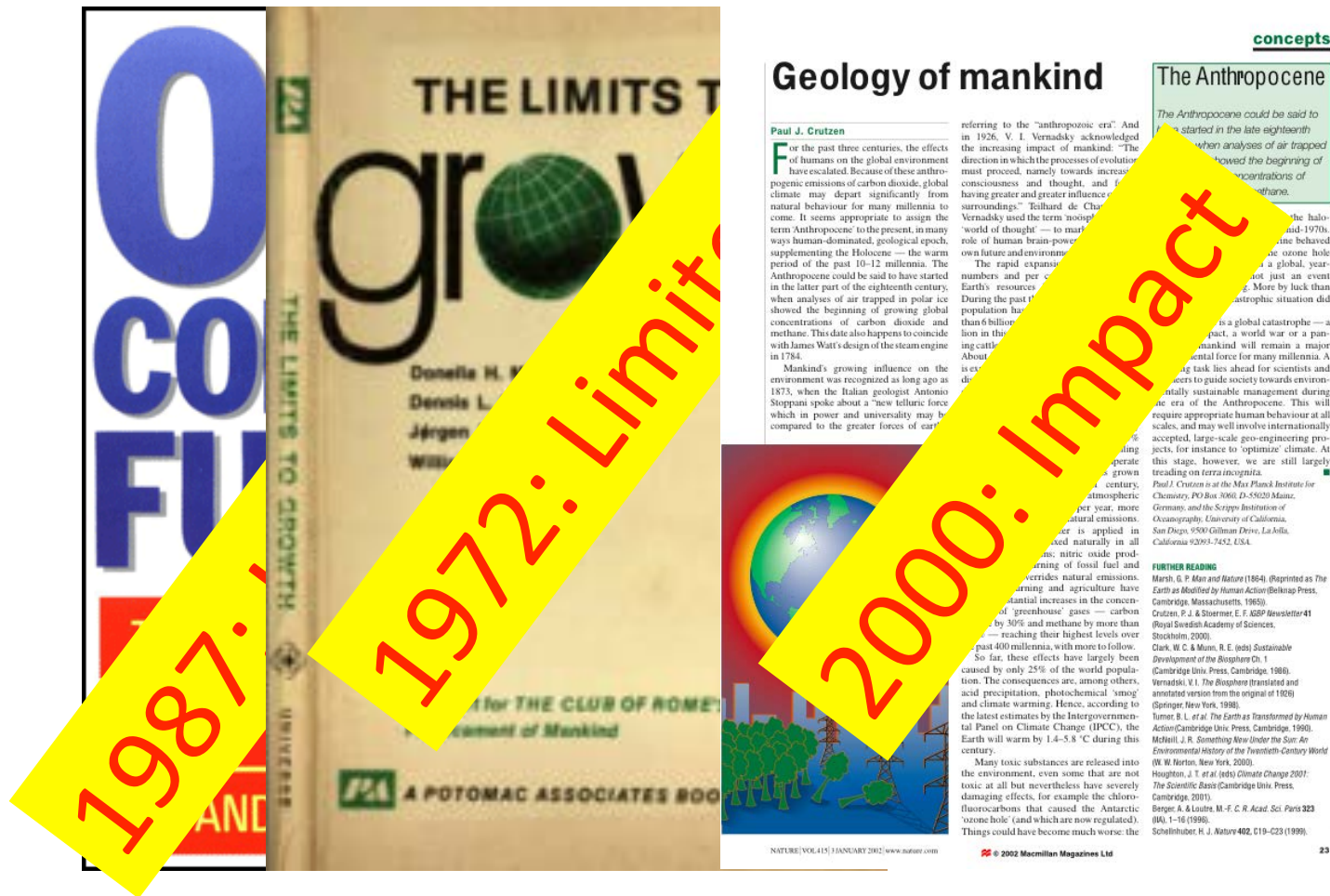
Schellnhuber, H. J. *Nature* 402, C19–C23 (1999).

NATURE | VOL 415 | 1 JANUARY 2002 | www.nature.com

© 2002 Macmillan Magazines Ltd

23

Un changement de perspective



Institute of Ecology and Environmental Sciences - Paris

Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris

Un changement de perspective



Institute of Ecology and Environmental Sciences - Paris

Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris

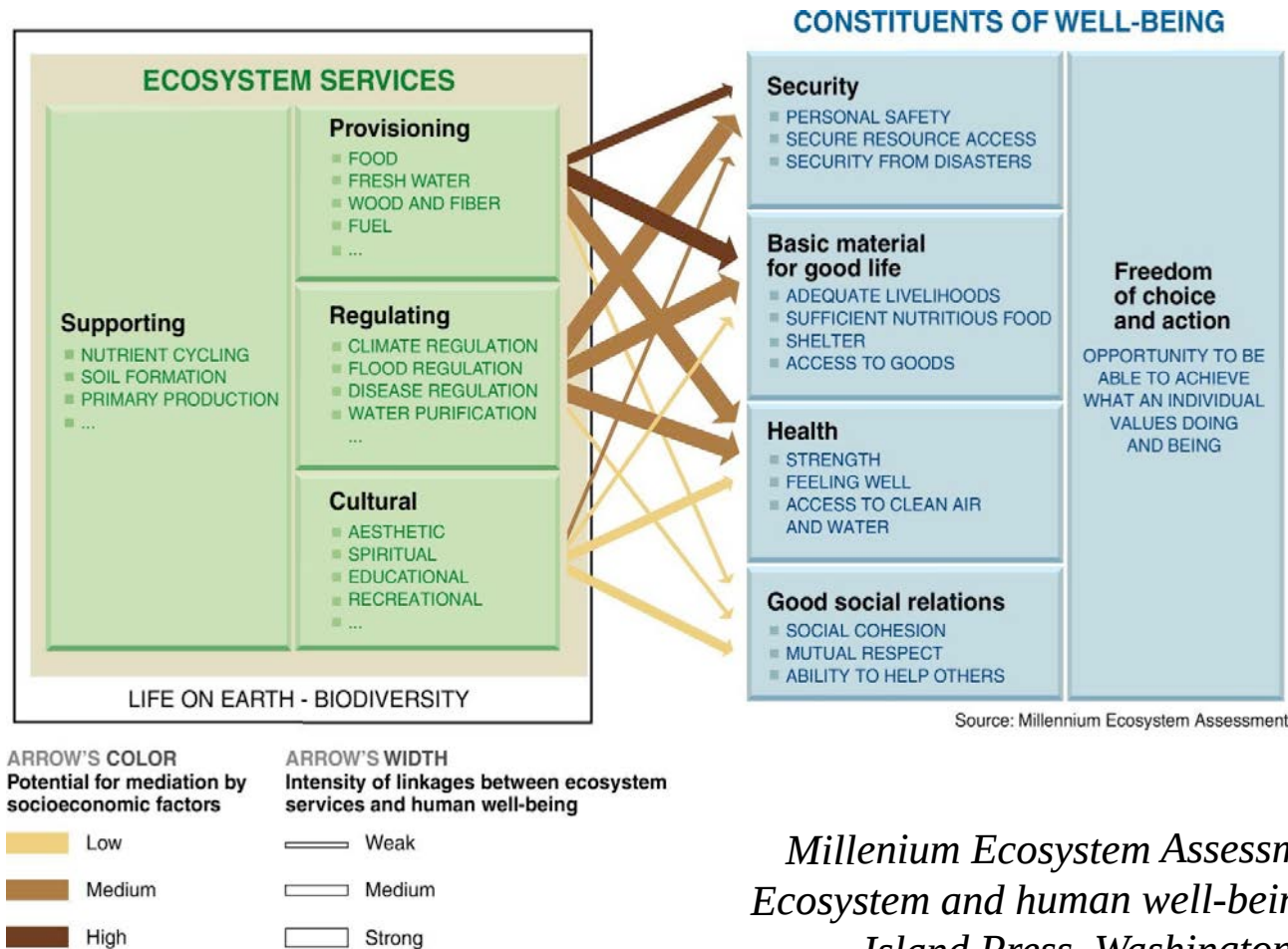
Un changement de perspective



Institute of Ecology and Environmental Sciences - Paris

Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris

La nature compte !



*Millenium Ecosystem Assessment 2005.
Ecosystem and human well-being synthesis.
Island Press, Washington D.C.*

La nature compte !



*Millennium Ecosystem Assessment 2005.
Ecosystem and human well-being synthesis.
Island Press, Washington D.C.*

Les défis du développement durable

- Atténuer le changement climatique...
- S'adapter au changement climatique...
- Réhabiliter, restaurer les écosystèmes, les sols...
- Conserver la biodiversité, réintroduire des espèces...
- Améliorer, piloter le fonctionnement des écosystèmes et des services écosystèmes...
- Produire durablement des matériaux, de l'énergie...
- Inventer l'agro-écologie...

Comment faire ?

- Concilier les objectifs.
- Contrôler les effets collatéraux indésirables.
- Conserver et construire des systèmes écologiques adaptables, évolutifs (résilience).
- Assurer un fonctionnement et des services stables (résistance).
- Raisonner les choix: scénariser, prédire, modéliser.

Comment faire ?

- Concilier les objectifs.
 - Contrôler les effets collatéraux.
 - Conserver et constituer des écosystèmes écologiques adaptés (résilience).
 - Assurer la production et des services écosystémiques.
- Choix: scénariser, prédire,

Jouer avec des systèmes complexes et dynamiques !

Une science, l'écologie

- L'écologie voit le monde comme un « tout » indissociable (biologique, physique, chimique).

Une science, l'écologie

- L'écologie voit le monde comme un « tout » indissociable (biologique, physique, chimique).
- L'écologie analyse les systèmes écologiques, résultant des lois de la thermodynamique et de l'évolution darwinienne.

Une science, l'écologie

- L'écologie voit le monde comme un « tout » indissociable (biologique, physique, chimique).
- L'écologie analyse les systèmes écologiques, résultant des lois de la thermodynamique et de l'évolution darwinienne.
- Ces systèmes sont des réseaux d'**interactions** entre organismes vivants et environnement non vivant.

Une science, l'écologie

- L'écologie voit le monde comme un « tout » indissociable (biologique, physique, chimique).
- L'écologie analyse les systèmes écologiques, résultant des lois de la thermodynamique et de l'évolution darwinienne.
- Ces systèmes sont des réseaux d'**interactions** entre organismes vivants et environnement non vivant.
- Ces réseaux sont nécessairement dynamiques.

Une science, l'écologie

- L'écologie voit le monde comme un « tout » indissociable (biologique, physique, chimique).
- L'écologie analyse les systèmes écologiques, résultant des lois de la thermodynamique et de l'évolution darwinienne.
- Ces systèmes sont des réseaux d'**interactions** entre organismes vivants et environnement non vivant.
- Ces réseaux sont nécessairement dynamiques.
- Les organismes répondent aux variations de l'environnement et le modifient activement.

Emergence de l'ingénierie écologique (IE)

- L'IE désigne le corpus des savoirs mobilisables pour la gestion de milieux, la conception, la réalisation et le suivi d'aménagements ou d'équipements ***inspirés de, ou basés sur, les mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques*** (auto-organisation, diversité, structures hétérogènes, résilience, par exemple) (CNRS 2008).
- L'IE est “la manipulation, le plus souvent in situ, parfois en conditions contrôlées, de populations, de communautés, d'écosystèmes” (Abbadie 2008).
- Il s'agit de “passer d'une *instrumentalisation* involontaire et non structurée (des systèmes écologiques) à une *instrumentalisation* explicite et maîtrisée, c'est à dire construite sur les organisations et les dynamiques écologiques qui ont été ***testées et validées par le crible de l'évolution***” (Abbadie 2008, modifié)

Principes pour l'action (1)

- Les ressources, les contraintes, le milieu, la biodiversité, forment un tout indissociable. Les systèmes écologiques (populations, communautés, écosystèmes, la Planète), sont des... systèmes !
 - Une approche holistique, une approche de la complexité: expliciter et gérer des ***interactions***.
- Toutes les composantes, toutes les fonctions, tous les services sont-interdépendants !
 - Pilotage ***multi***-variables, ***multi***-objectifs.

Principes pour l'action (2)

- Les systèmes écologiques sont des systèmes évolutifs.
- S'assurer du caractère **adaptatif** des écosystèmes et de la **réversibilité** des actions. Caractériser l'état et les états potentiels des écosystèmes et des services: structures clés.
- Les êtres vivants ne font pas que répondre à l'environnement, ils le modifient.
- Passer de l'impact aux **feedbacks**. Sinon, scénarios et stratégies non fiables.

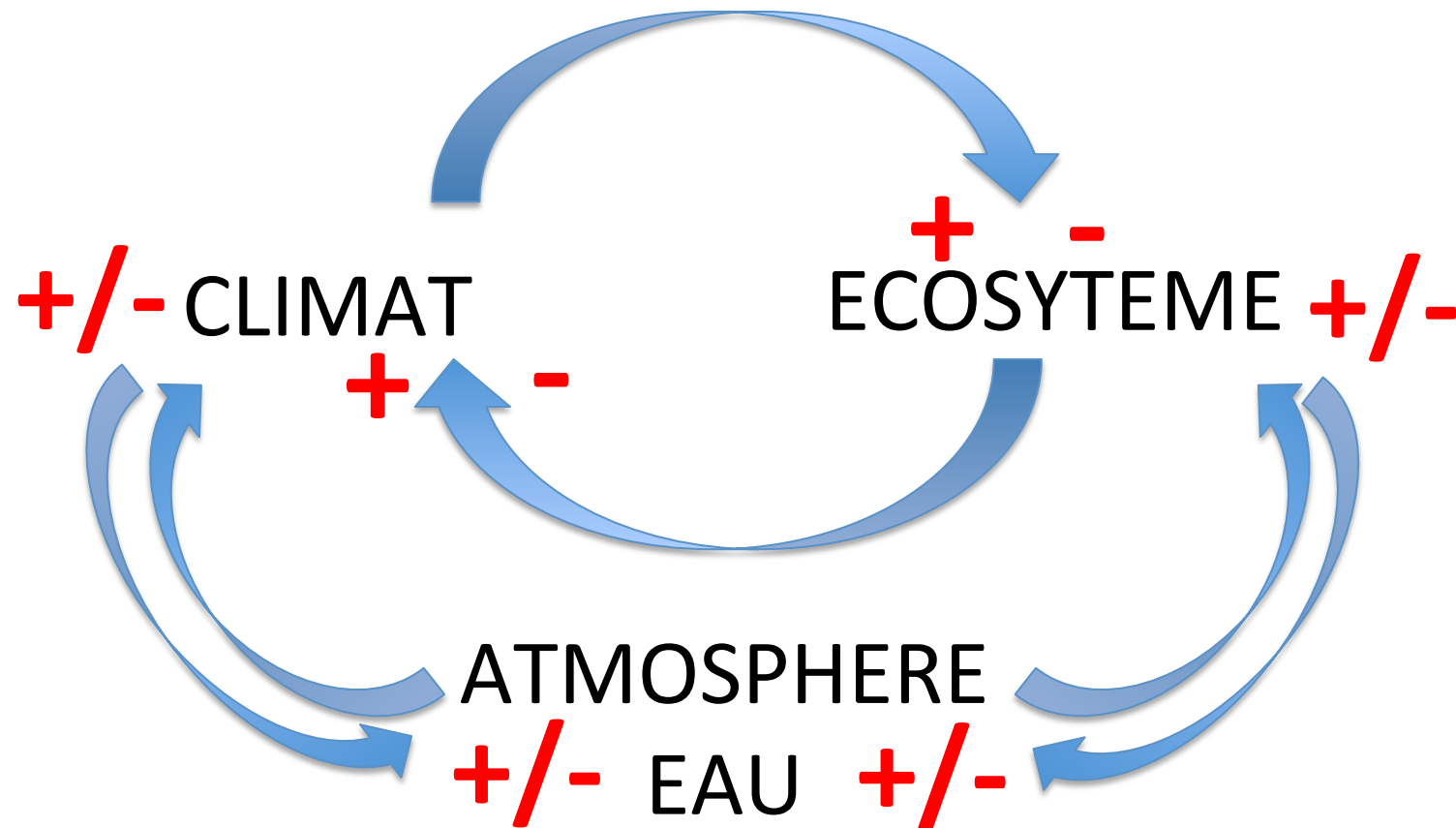
Principes pour l'action (3)

- Les écosystèmes sont inclus dans des méta-écosystèmes.
- Penser en termes de **méta-écosystèmes**, de **continuités** écologiques, de dynamiques régionales et planétaires.
- Tous les organismes vivants ont un potentiel de croissance exponentielle.
- Les organismes vivants, la biodiversité sont des **outils puissants** d'ingénierie écologique et de manipulation des services écosystémiques.

Principes pour l'action (4)

- Les services écosystémiques sont une vision socialisée de la nature.
- Penser d'abord en termes de **structure** et de **fonction** des systèmes écologiques, en termes de services écosystémiques **potentiels**.
- Les services, actuels et potentiels, ne sont qu'une faible partie des patterns et des processus écologiques. Les écosystèmes ne sont pas que des fournisseurs de services !
- Conforter les dynamiques **spontanées**, gare à l'excès d'artificialisation !

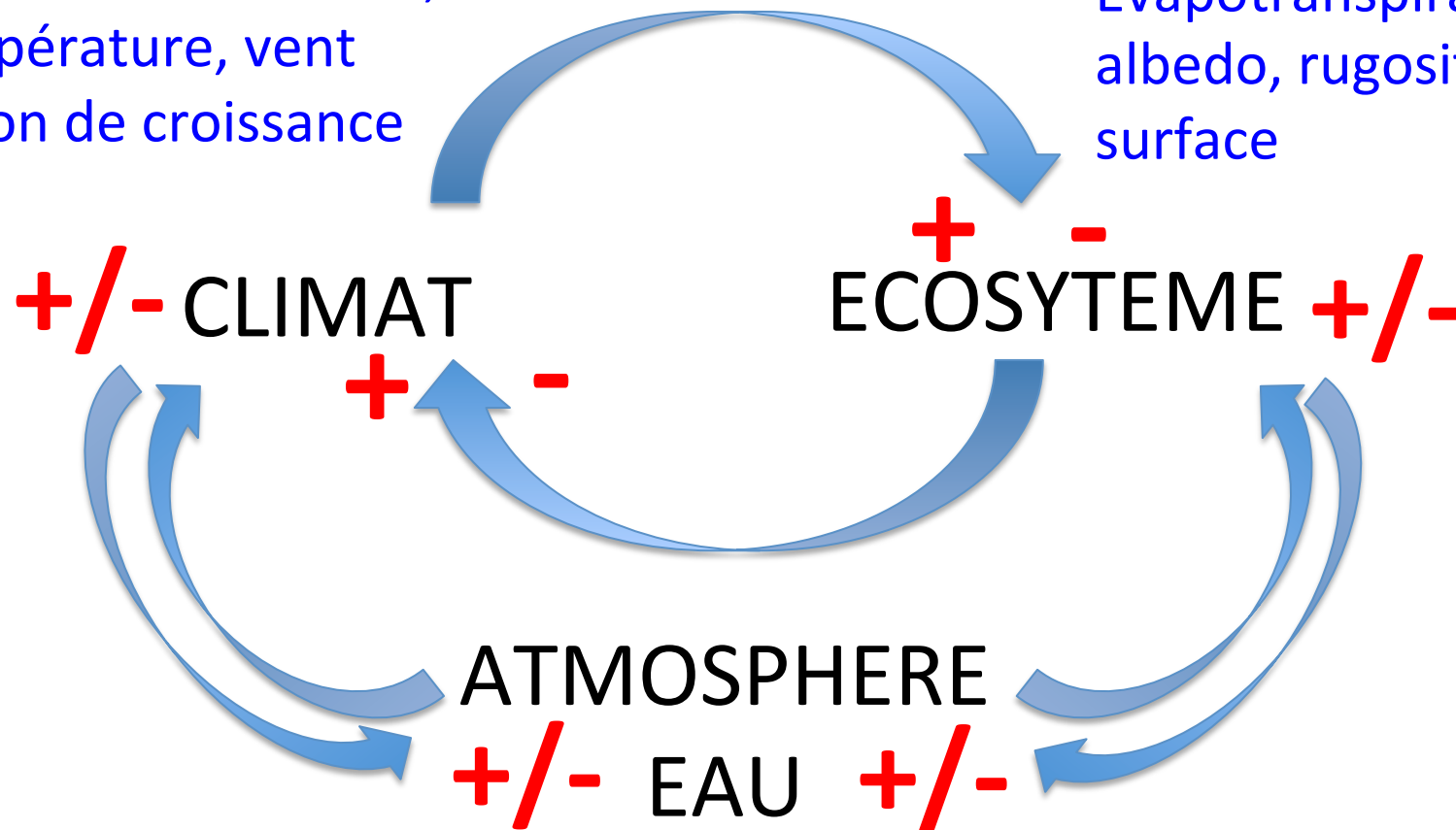
Le système climat-écosystème



Le système climat-écosystème

Eau, radiation solaire,
température, vent
saison de croissance

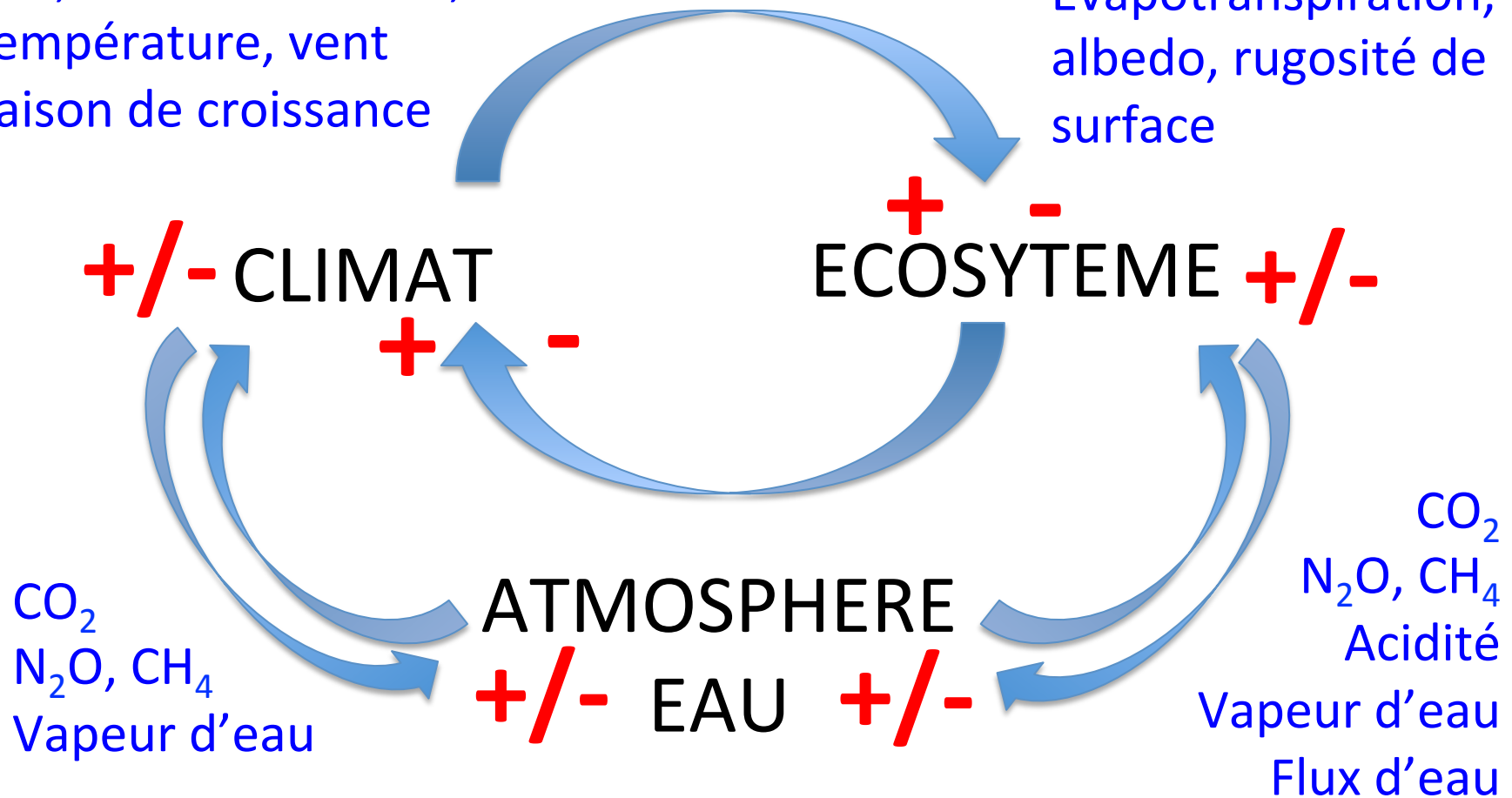
Evapotranspiration,
albedo, rugosité de
surface



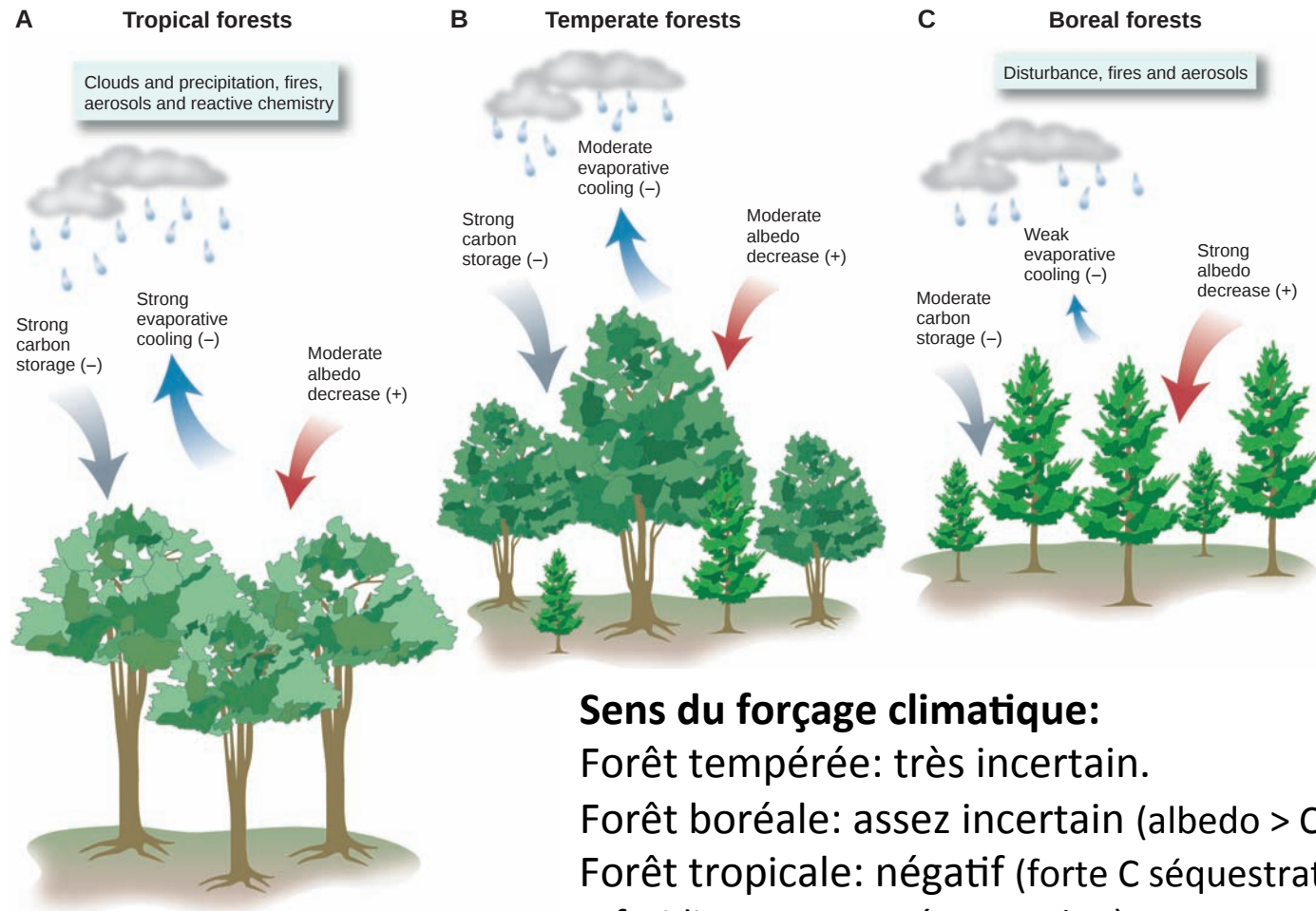
Le système climat-écosystème

Eau, radiation solaire,
température, vent
saison de croissance

Evapotranspiration,
albedo, rugosité de
surface



Mitigation par forestation



*Bonan G.B.
2008. Science
320: 1444-1449*

Sens du forçage climatique:

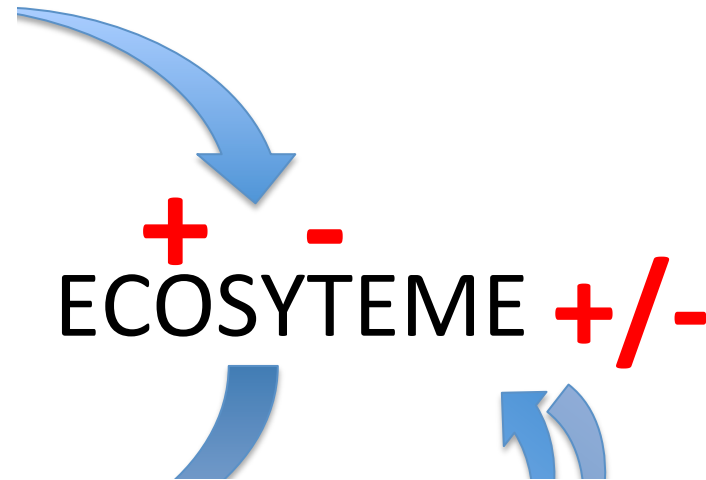
Forêt tempérée: très incertain.

Forêt boréale: assez incertain (albedo > C séquestration).

Forêt tropicale: négatif (forte C séquestration, refroidissement par évaporation).

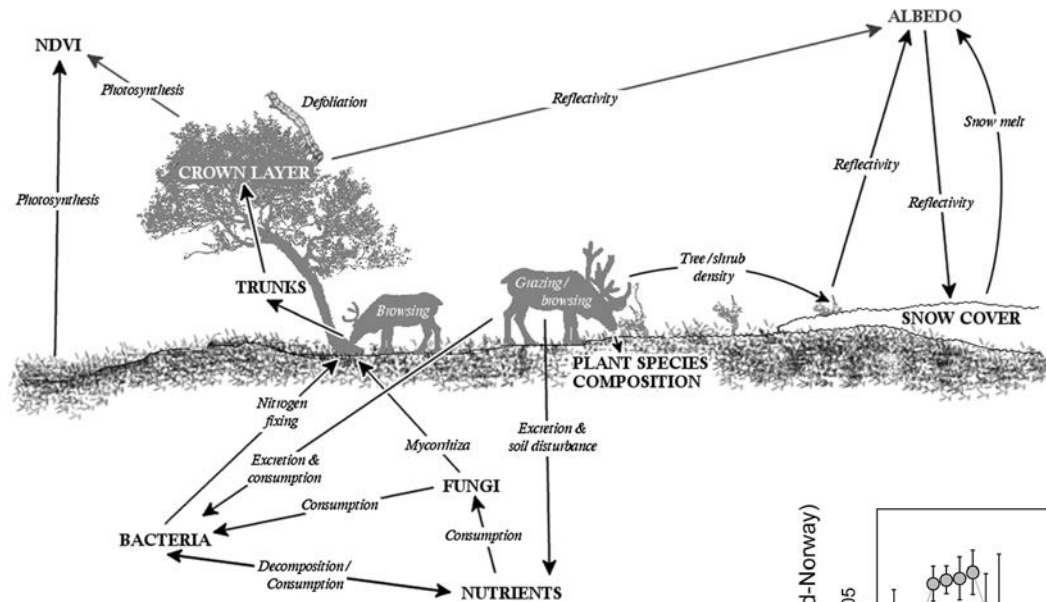
Le système climat-écosystème

- Traits morphologiques, physiologiques et comportementaux des espèces.
- Biodiversité: diversité des espèces, diversité génétique des espèces, abondance des populations.
- Interactions biotiques, réseaux trophiques.



- Interactions abiotiques.
- Dispersion, sélection des espèces.
- Processus évolutifs.
- Processus épigénétiques.

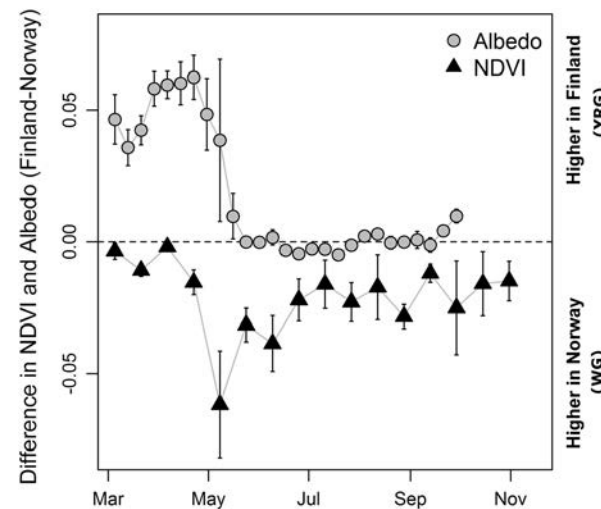
Mitigation et réseau trophique



Le pâturage continu freine la régénération de la forêt de bouleau: le milieu est plus ouvert et l'albédo est plus élevée de 5 %. (Biuw M. et al. 2014. Ecosystems 17: 890-905)

Réseau trophique de la forêt de bouleau

Différence de NDVI et d'albédo entre la Finlande et la Norvège



Pâturage du caribou toute l'année (été)

Pâturage du caribou en hiver

Mitigation et réseau trophique



Institute of Ecology and Environmental Sciences - Paris

Institut d'Écologie et des Sciences de l'Environnement de Paris

Mitigation et réseau trophique



Institute of Ecology and Environmental Sciences - Paris

Institut d'Écologie et des Sciences de l'Environnement de Paris

Mitigation et réseau trophique

Intensité du pâturage: Elevée Faible

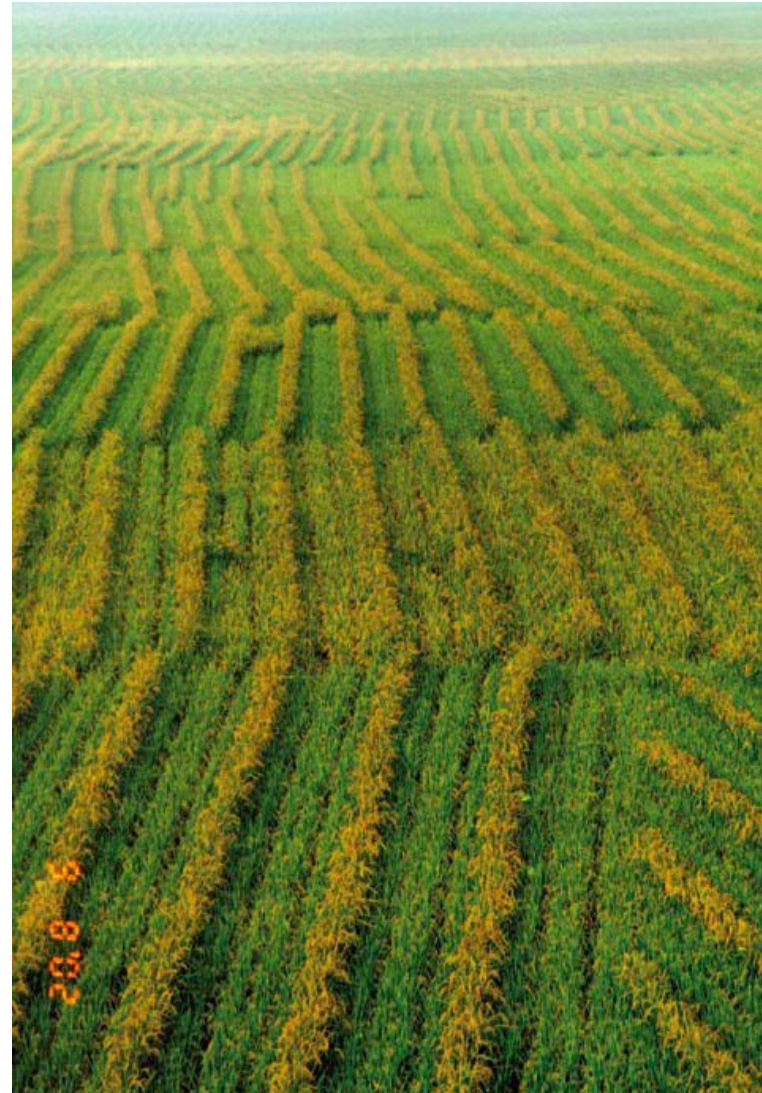


	Graminées annuelles	Graminées pérennes
Production primaire aérienne (t ha ⁻¹ an ⁻¹)	1 - 2	4 - 10
Production primaire souterraine (t ha ⁻¹ an ⁻¹)	0.5 – 1	5.0 - 12
Teneur du sol en carbone organique (%)	ca. 0.3	ca. 0.5
Azote minéral dominant	Nitrate	Ammonium
Rétention de l'azote dans l'écosystème	Low	High
Lessivage du nitrate	High	Low
Dénitrification	High	Low
Emissions de NO & N ₂ O	High	Low

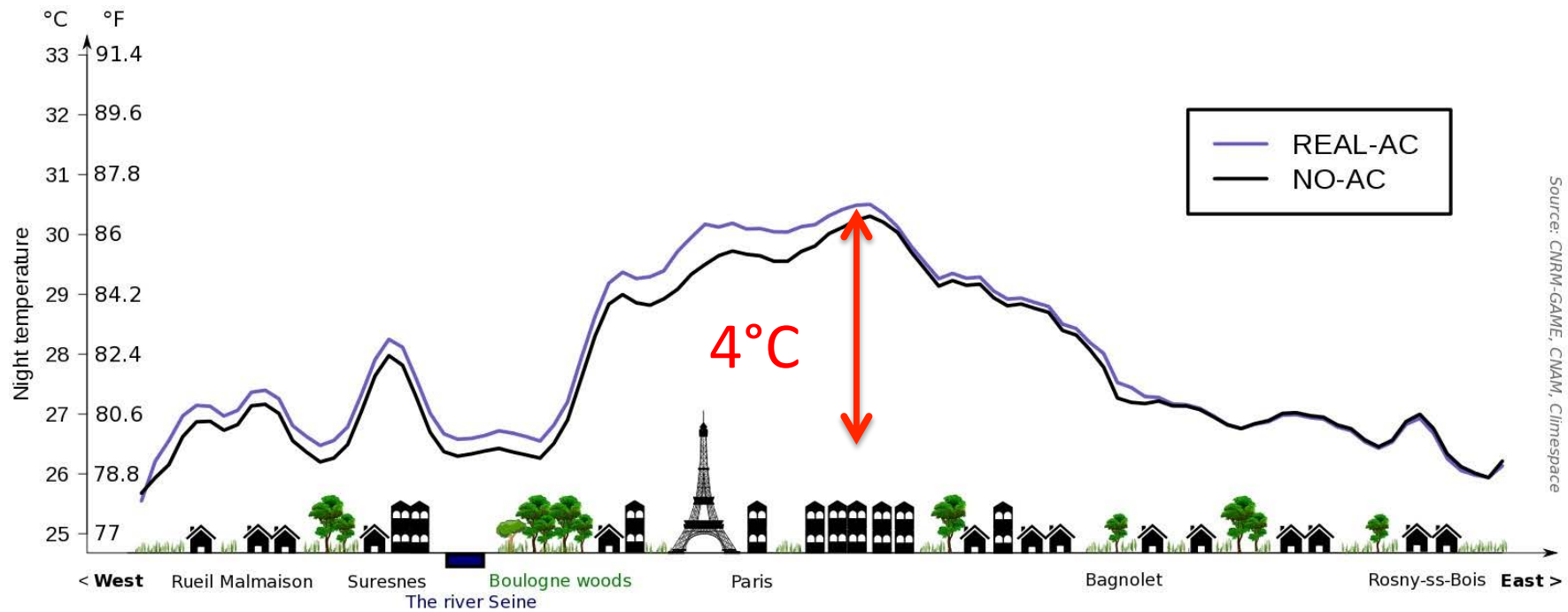
Diversité génétique et production

Dans le Yunnan (Chine), le mélange d'une variété de riz résistante à un pathogène (1/4 rang) à la variété sensible (3/4 rangs) conduit à une augmentation de 89 % de la production et une baisse du taux d'infestation de la culture par le pathogène de 94 %.

*Zhu Y. et al. 2003.
Bioscience 53: 158-162*



L'îlot de chaleur urbain



L'îlot de chaleur urbain

- Albedo urbaine: 0,1 à 0,2. Evapotranspiration faible
- Besoin élevé en climatisation.
- Solution technique: couleur des bâtiments.
- Solution écologique:
 - Arbres des rues (réduction de 15 à 35 % du besoin de climatisation).
 - 3 arbres de rues par bâtiment = 5-10 % d'énergie économisée (climatisation et chauffage).
 - Manchester: réduction de 7°C par les toits verts en cas de pic de chaleur

Le cycle de l'eau en milieu urbain

- Bruxelles:
 - Les toits végétalisés réduisent de 54 % la quantité d'eau relâchée par les bâtiments.
 - 10 % de toits végétalisés réduiraient de 2,7 % le ruissellement régional.
 - Stockage de l'eau sur les toits: gain ultérieur de transpiration et de rafraichissement.
- Manchester: 20-23% de ruissellement en moins en cas de verdissement des toits.

La biodiversité urbaine

- Toits végétalisés de Basel (Suisse):
 - 175 espèces végétales (3 Orchis liste rouge)
 - 25 espèces d'oiseaux (2 en liste rouge).
 - 172 espèces de Coléoptères (10 % en liste rouge).
 - Araignées: 40 % d'espèces rares.
- Toits végétalisés de Londres:
 - 59 espèces d'araignées (9 % de la faune britannique !).

Messages

- L'humanité est partie intégrante du méta-écosystème planétaire.
- La dynamique des ressources (pour l'homme) est en interaction avec la dynamique des systèmes écologiques.
- Le vivant présente un POTENTIEL ELEVE ET RAPIDE de modification de l'environnement: c'est un outil efficace et puissant d'intervention, qui présente des risques.
- Intervenir sur l'environnement, c'est faire de l'écologie !
 - C'est raisonner en termes de système.
 - C'est mobiliser l'approche interdisciplinaire des questions.
 - C'est intégrer une variété d'échelles de temps et d'espace.

Merci pour votre attention !