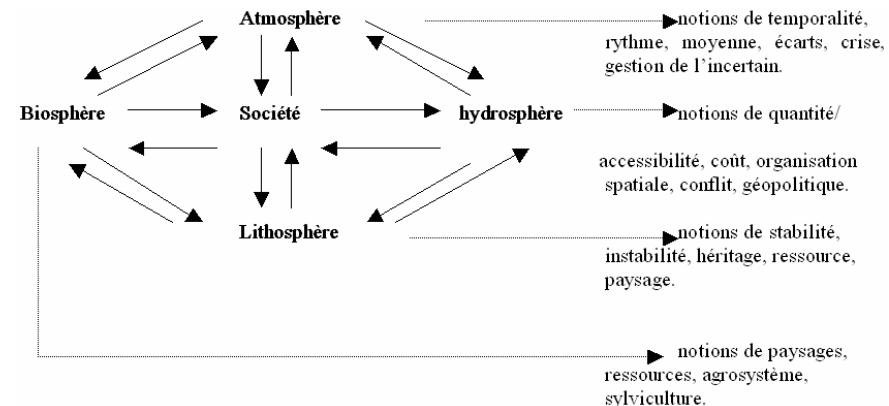


## GEOGRAPHIE : ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX GLOBAUX

Pierre Camberlin

Interactions Homme-Environnement et entre les différentes composantes environnementales



### 1e partie : Les manifestations des crises environnementales

1. La biosphère : déforestation et menaces sur la biodiversité
2. Atmosphère et changement climatique
3. La dégradation des sols
4. Les eaux : quantité et qualité

### 2e partie : Milieux en crise

1. L'Arctique
2. Les espaces littoraux
3. Les marges semi-arides

### 3e partie : Aux sources de la crise: état des lieux et prospective

1. La question énergétique
2. Nourrir la planète
3. Démographie et empreinte écologique
4. Les voies du développement durable

### Bibliographie

- AMAT J.P., BENEST G., HOTYAT M., 2009 : Mondialisation et développement. Ellipses, 240 p.
- ARNOULD P., SIMON L., 2007 : *Géographie de l'environnement*. Belin 303 p. (surtout ch. 2 à 5)
- Atlas Environnement, Le Monde Diplomatique (hors-série), 2008, 98 p.
- DOLIQUE C., 2007 : Risques globaux et développement durable. L'Harmattan, 116 p.
- DURAND B., 2007 : Energie et environnement, les risques et les enjeux d'une crise annoncée, EDP, 324 p.
- JANCOVICI J-M, LE TREUT H., 2004: L'effet de serre, allons nous changer le climat? Flammarion 220p.
- LACOSTE Y., 2003 : L'eau dans le monde – Batailles pour l'eau. Larousse, 127 p.
- McNEILL J., 2010 : *Du nouveau sous le soleil : une histoire de l'env. mondial au XXe s. Champ Vallon*, 257 p.
- PAULET J.-P., 2005 : Le développement durable. Ellipses, 188 p.
- PNUE, 2007 : Global Environmental Outlook GEO-4. L'environnement pour le développement. Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Nairobi, 540 p. [www.unep.org/GEO/geo4/](http://www.unep.org/GEO/geo4/)
- VERON J., 2013 : *Démographie et écologie. La Découverte*, 126 p.
- VERNIER J., 2009 : *L'environnement. Que-sais-je ? PUF*, 128 p. (surtout ch.1, 2, 6)
- VEYRET Y., JALTA J., 2010 : Développements durables : tous les enjeux en 12 leçons. Autrement, 235 p.
- VEYRET Y., ARNOULD P. (dir.), 2008 : *Atlas des développements durables*, Autrement, 87 p.

### Sites internet :

- International Panel on Climate Change (IPCC / GIEC) : <http://www.ipcc.ch/>
- United Nations Environment Program (UNEP-GRID) : <http://www.grida.no/>
- World Resources Institute : EARTHTRENDS : <http://earthtrends.wri.org/>
- Jean-Marc Jancovici (changement climatique, énergie) : <http://www.manicore.com/>
- Ressources docum. dév. durable <http://geoconfluences.ens-lsh.fr/doc/transv/DevDur/DevdurRess.htm>

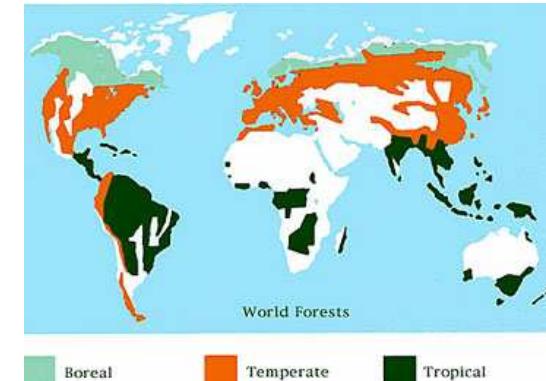
# 1<sup>e</sup> partie : Les manifestations des crises environnementales

## 1. La biosphère

### 1.1 La déforestation

#### A/ Les forêts : leur place dans le système Terre

- Surface couverte : env. 40% de la surface des continents  
=> principal biome de la planète
- Nature très variée :



(source : WCFSD)

#### B / Les chiffres de la déforestation

Évolution des surfaces forestières, 1990-2000 et 2000-2010

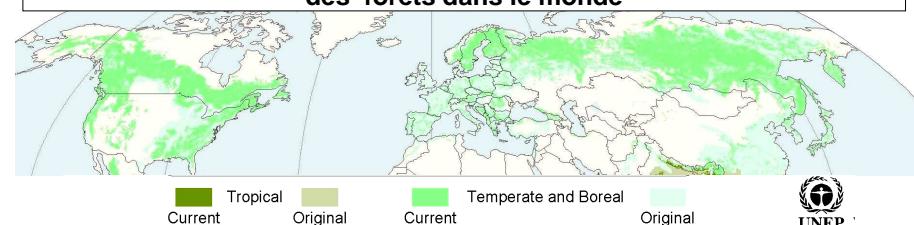
	Change in forested land 1990-2000 by region						1990-2000 2000-2010
	total land area (million ha)	total forest 1990 (million ha)	total forest 2000 (million ha)	% of land forested in 2000	change 1990-2000 (million ha)	% change per year	
Africa	2 963.3	702.5	649.9	21.9	-52.6	-0.7	<b>-0.5</b>
Asia and the Pacific	3 463.2	734.0	726.3	21.0	-7.7	-0.1	
Europe	2 359.4	1 042.0	1 051.3	44.6	9.3	0.1	
Latin America and the Caribbean	2 017.8	1 011.0	964.4	47.8	-46.7	-0.5	<b>-0.46</b>
North America	1 838.0	466.7	470.1	25.6	3.9	0.1	
West Asia	372.4	3.6	3.7	1.0	0.0	0.0	
<b>world</b>	<b>13 014.1</b>	<b>3 960.0</b>	<b>3 866.1</b>	<b>29.7</b>	<b>-93.9</b>	<b>-0.24</b>	<b>-0.13</b>

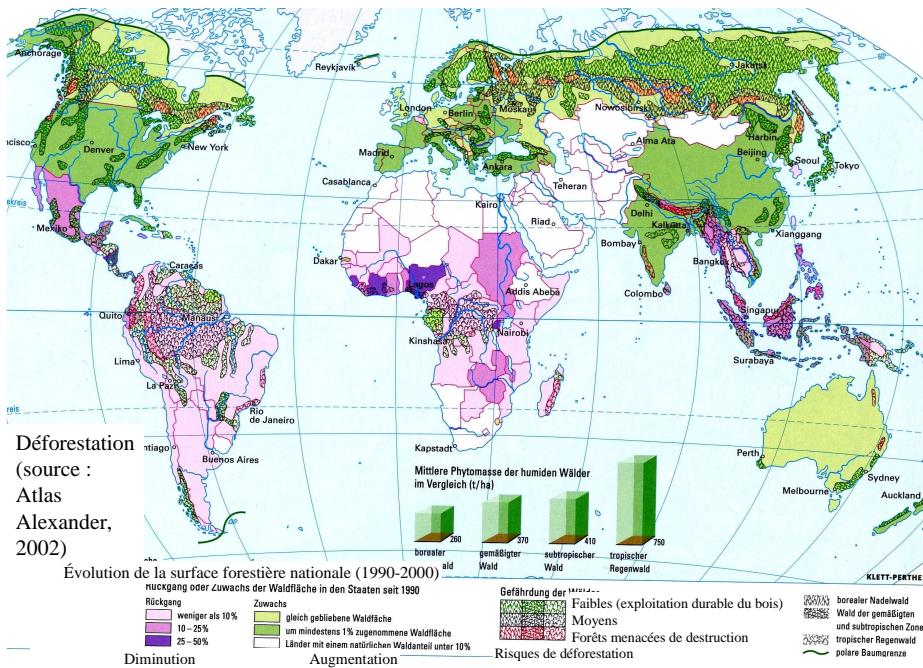
Source: compiled from FAO 2001b. Note: numbers may not add due to rounding

#### Les grands types de forêts (d'après Park, 1993, et Amat, 1996)

Type	Surface actuelle (vers 1990, en % des forêts mondiales)	Surface actuelle / «potentielle»
Forêt boréale	32,1	99%
Forêt tempérée caducifoliée	10,7	64%
F.méditerranéenne	2,7	54%
F.tropicale sèche	31,1	80%
F.tropicale ombrophile	23,5	96%
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>85% (valeur probablement surestimée)</b>

#### Répartition actuelle et 'originelle' (avant les premiers défrichements) des forêts dans le monde

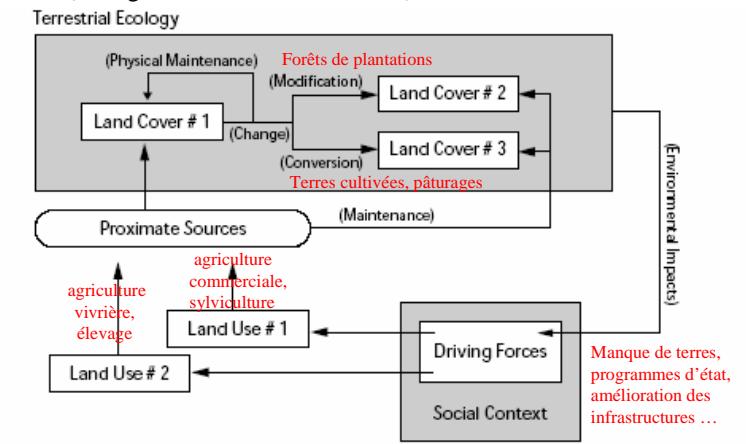




## C/ Les causes directes et indirectes de la déforestation tropicale

Causes directes (« proximate sources ») : activités humaines affectant directement la forêt et agissant à un niveau local.

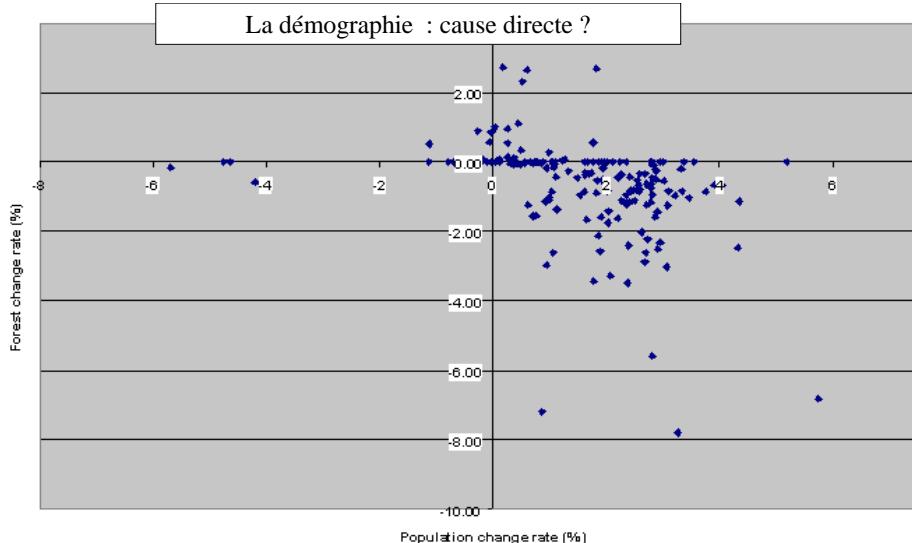
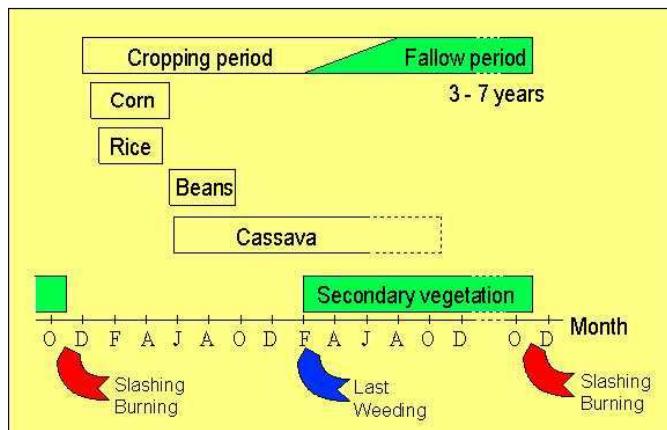
3 grandes catégories (par ordre décroissant d'importance) : expansion de l'**agriculture**, l'**exploitation forestière** (commerciale, ou bois de feu), aménagement d'**infrastructures** (barrages, routes, villes, mines...).



Exemple de cause directe : la culture sur brûlis

Les impacts sont modérés car après la période de culture, il y a mise en jachère et si elle est suffisamment longue une forêt secondaire repousse.

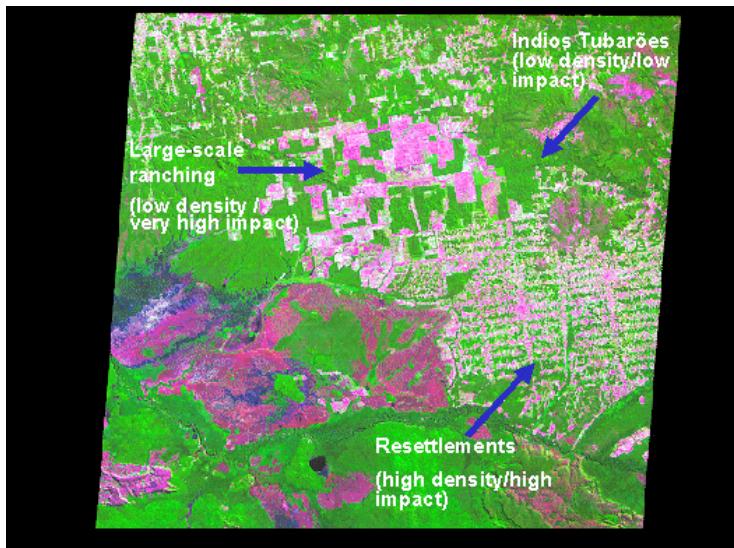
Example of a Land-Use Cycle of Subsistence Agriculture in the North-East of the State of Pará



Relation entre les taux de croissance de population et de déforestation pour 168 pays (1990-1995).  $R=0.19$

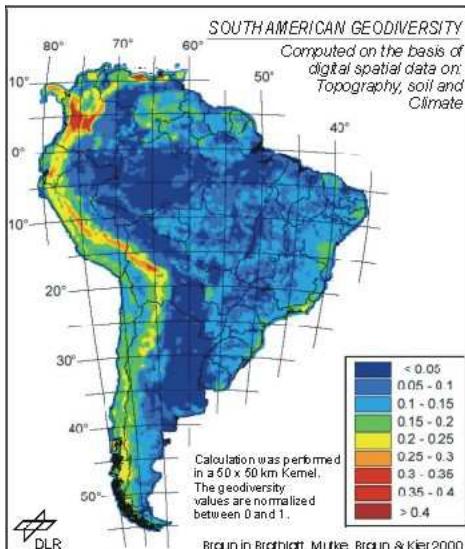
→ Pas de rôle systématique ; cependant la croissance démo peut accélérer la déforestation si les autres conditions sont favorables (ex : politiques de colonisation, problème foncier...)

Aspects spatiaux : les paysages et les effets de la déforestation dépendent des facteurs

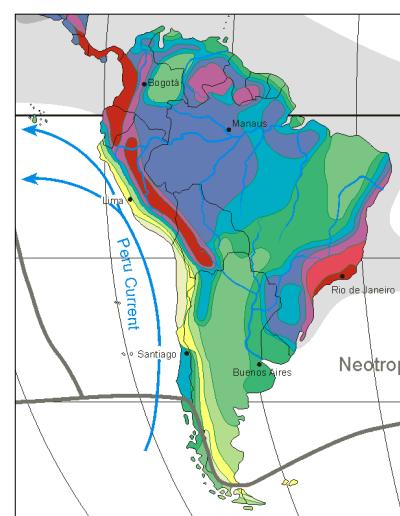


Un front pionnier. Etat de Rondonia (Brésil), 1996. (Marcoux et Drigo, 1999)

### "Géodiversité" de l'Amérique du Sud



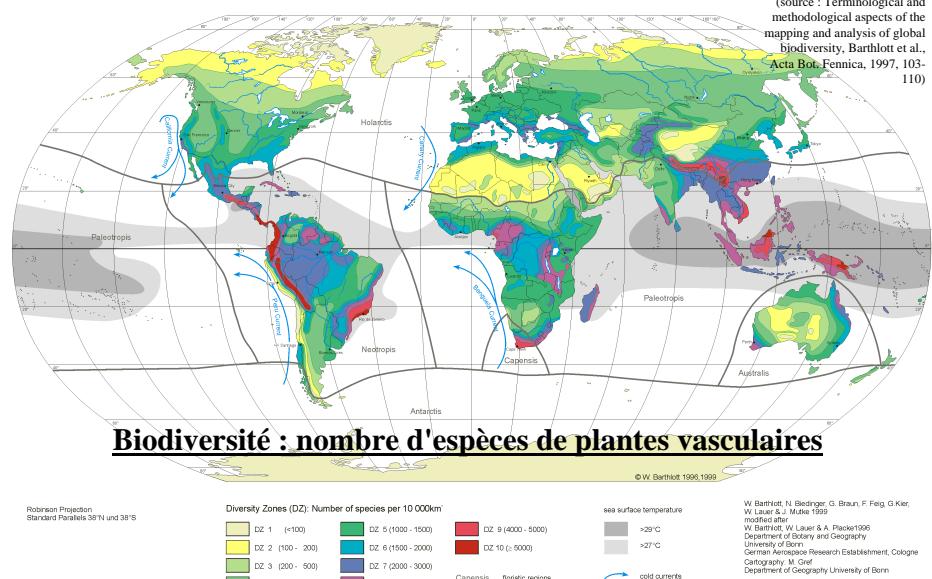
### Biodiversité de l'Amérique du Sud (Barthlott et al., 1997)



## 1.2 Les menaces sur la biodiversité

### A/ Qu'est-ce que la biodiversité ?

GLOBAL BIODIVERSITY: SPECIES NUMBERS OF VASCULAR PLANTS



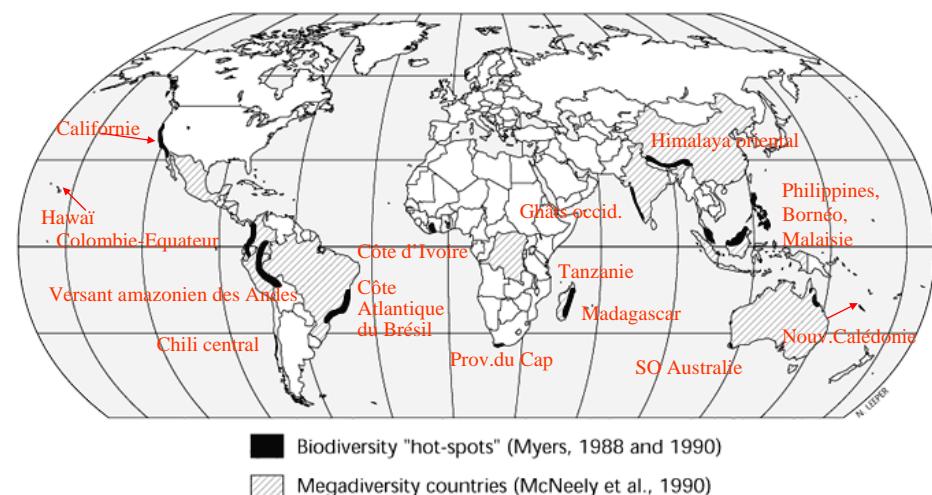
### Biodiversité : nombre d'espèces de plantes vasculaires

Robinson Projection  
Standard Parallels 38°N and 38°S  
Diversity Zones (DZ): Number of species per 10 000km<sup>2</sup>  
DZ 1 (<100) DZ 5 (100 - 1500)  
DZ 2 (100 - 200) DZ 6 (1500 - 2000)  
DZ 3 (200 - 500) DZ 7 (2000 - 3000)  
DZ 4 (500 - 1000) DZ 8 (3000 - 4000)  
sea surface temperature  
>20°C  
>27°C  
Capensis floristic regions  
cold currents

(source : Terminological and methodological aspects of the mapping and analysis of global biodiversity, Barthlott et al., Acta Bot Fennica, 1997, 103-110)

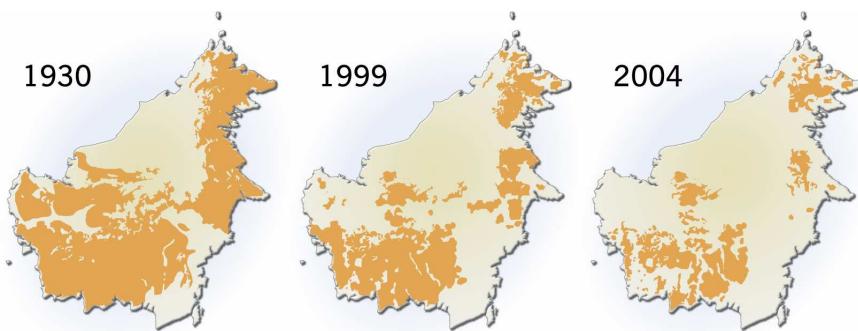
### Hauts-lieux de la biodiversité dans le monde.

« Biodiversity Hotspots »

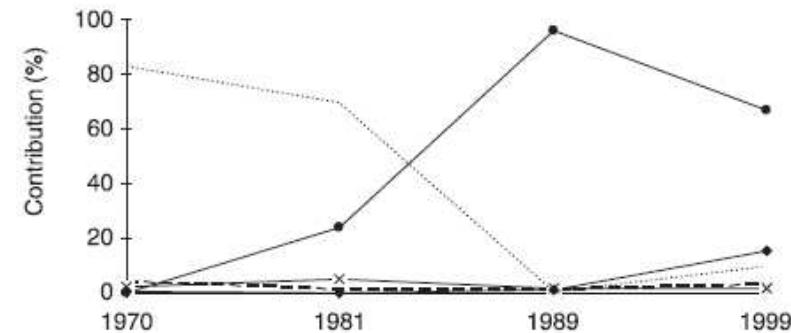


Souvent des milieux insulaires ou montagnards

## B/ En quoi la biodiversité est-elle menacée ?



Contraction des habitats : le cas de l'orang-outan à Bornéo (Indonésie et Malaisie)

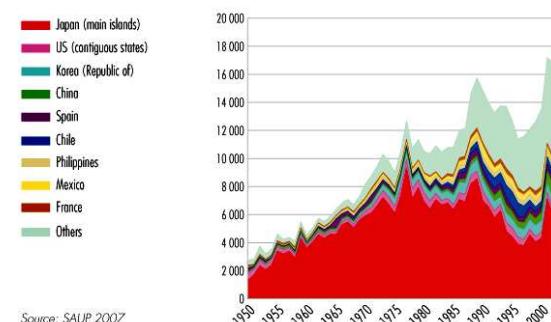
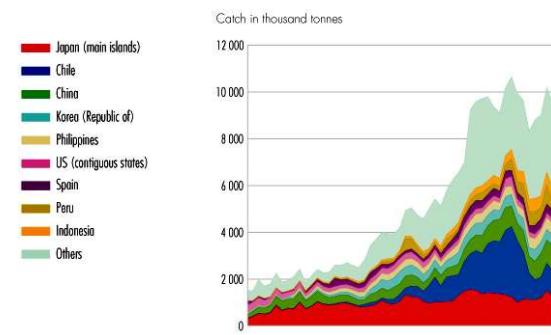


Espèces invasives : contribution des différentes espèces aux prises de poisson dans le lac Victoria

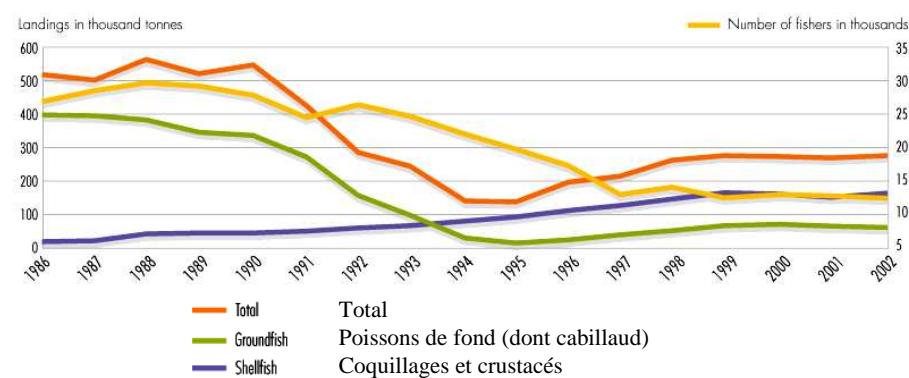
- Lates Niloticus (perche du Nil)
  - ◆ Oreochromis niloticus
  - .... haplochromines
  - ×
  - Autre ex:  
*Caulerpa taxifolia*  
en Méditerranée
- (source : Njiru et al., 2005)

Exploitation non durable : la surexploitation des mers

Prises de poisson par pays



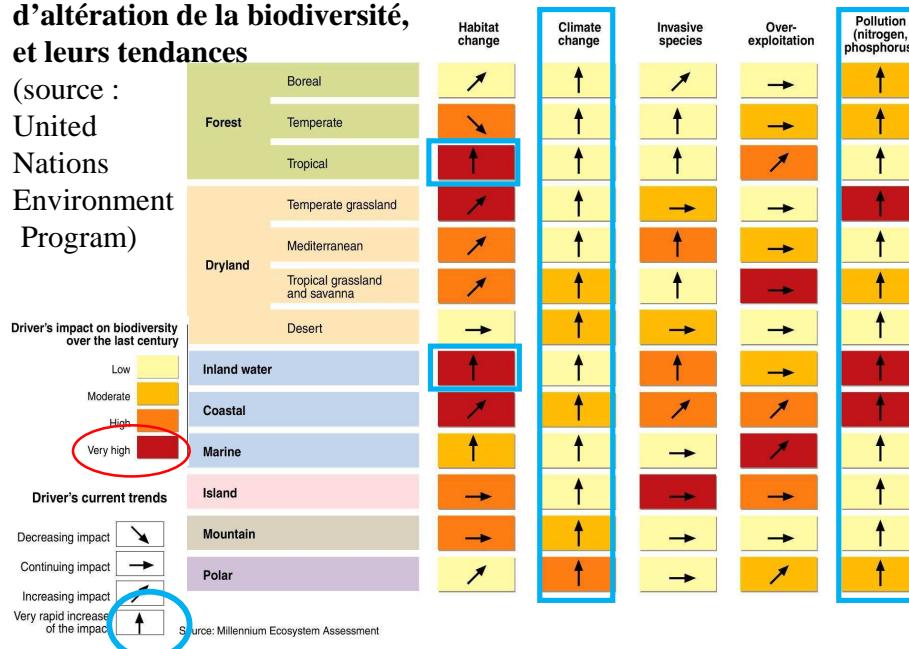
Tonnages débarqués à Terre-Neuve et au Labrador



Source: Higashimura 2004

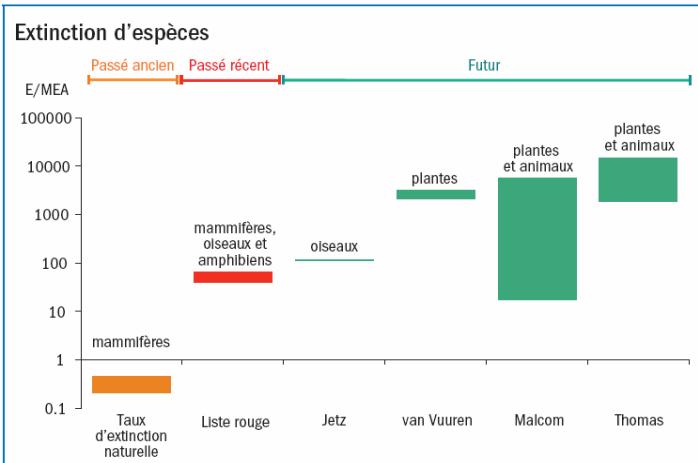
## Bilan : les facteurs d'altération de la biodiversité, et leurs tendances

(source : United Nations Environment Program)



## Taux d'extinction historiques et projections pour le 21ème siècle.

Nombre d'extinctions par millions d'espèces par an (E/MEA).



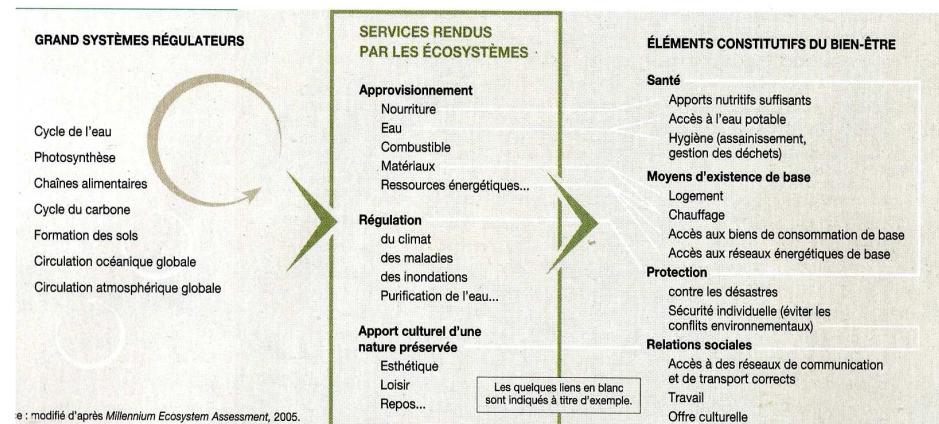
« passé ancien » : taux d'extinction naturelle des mammifères, à partir des données fossiles (EM 2005).  
 « passé récent » : extinctions documentées au cours du 20e siècle dans la liste rouge : mammifères, amphibiens et oiseaux (Baillie *et al.* 2004).

« futur » : projections selon les différents scénarios mondiaux : oiseaux (Jetz *et al.* 2007 ; période 2000-2050), plantes vasculaires (van Vuuren *et al.* 2006, période 1995-2050) et divers groupes taxonomiques (Thomas *et al.* 2004, période 2000-2050, Malcolm *et al.* 2006, période 2000-2100). Les taux d'extinction prévus sont très incertains mais supérieurs aux taux d'extinction récents.

(source : Convention sur la diversité biologique, 2010)

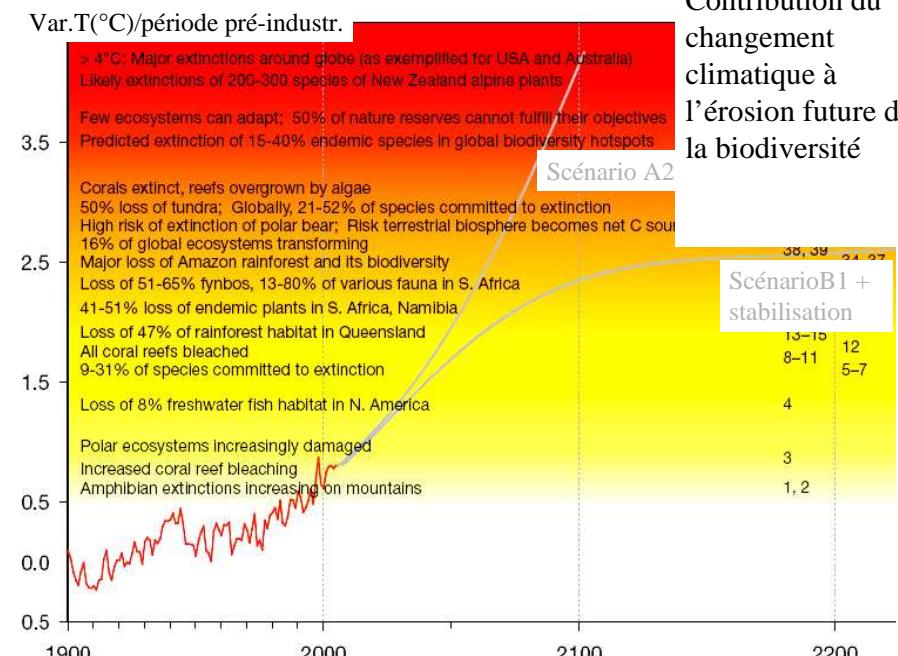
## C/ Quels enjeux ?

### Les services rendus à l'homme par les écosystèmes



L'Atlas Environnement, Le Monde Diplomatique

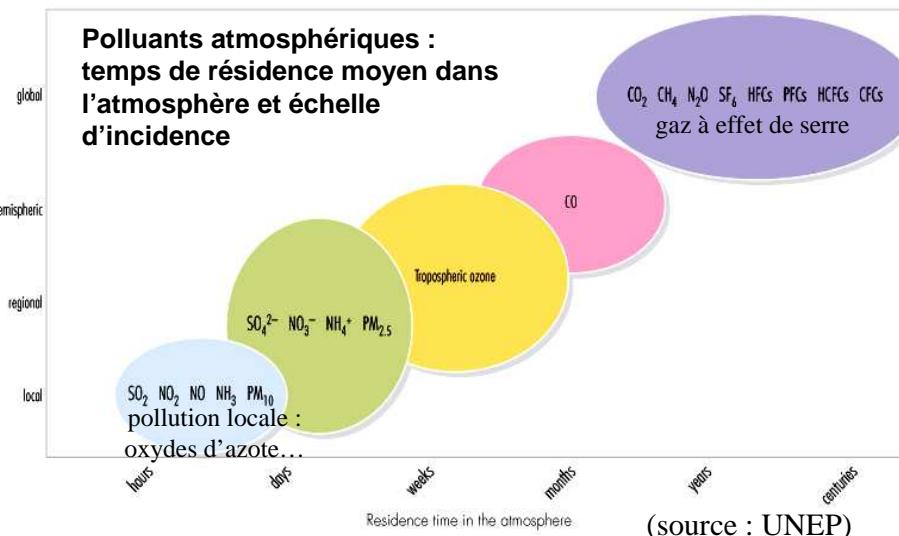
## Contribution du changement climatique à l'érosion future de la biodiversité



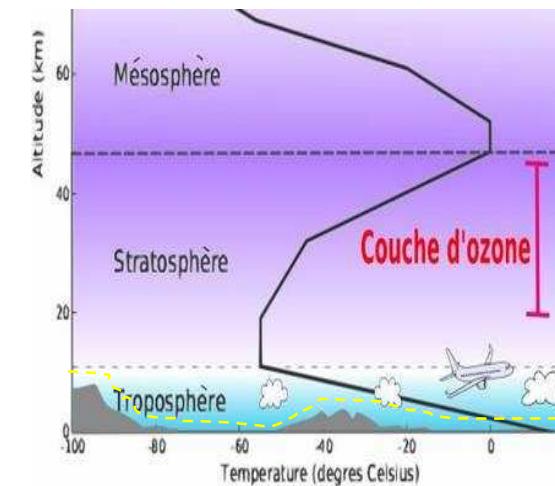
## 2. Atmosphère et changement climatique

### 2.1 Les pollutions atmosphériques

Maximum scale of the problem



## L'atmosphère



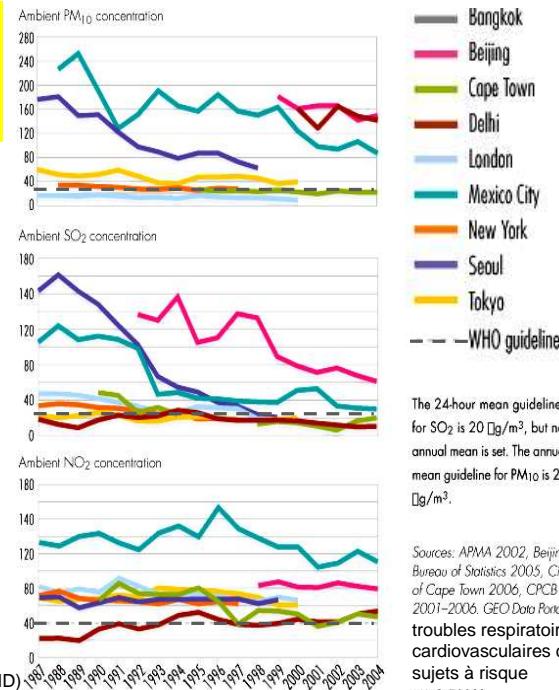
Couche limite...  
directement au contact  
des terres et des mers...  
et affectée par les  
activités humaines =>  
pollution de proximité

### 2.1 Les pollutions atmosphériques

#### B - Pollution de proximité

**Evolution des concentrations de polluants dans quelques grandes agglomérations**

- des progrès  
- mais des valeurs qui restent nettement supérieures aux seuils recommandés (PVD, et parfois même P.Développés)

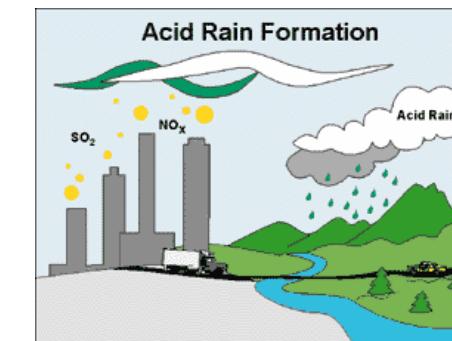


### 2.1 Les pollutions atmosphériques

#### C / La pollution à longue distance

##### Exemple : Pluies acides

Causées par la **dissolution dans l'air humide de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote** d'origine anthropique (combustion du charbon, gaz d'échappement automobiles).

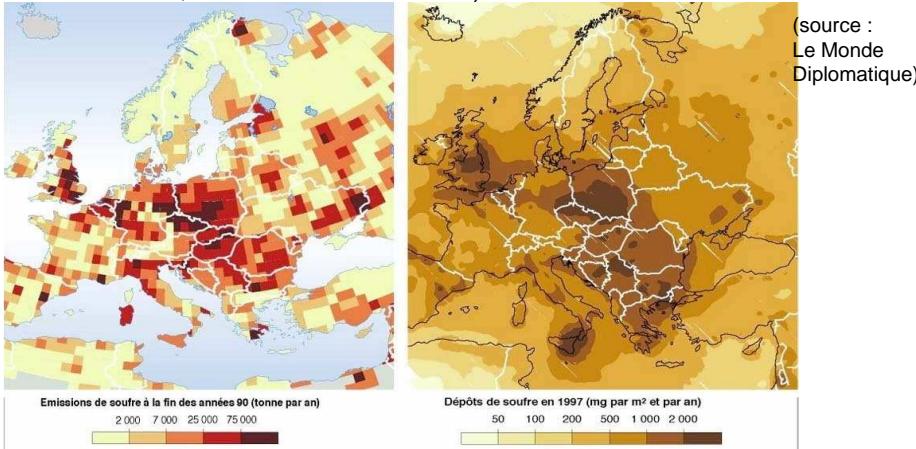


## 2.1 Les pollutions atmosphériques

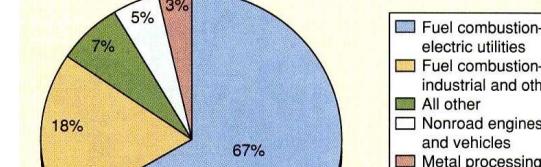
### Les pluies acides

Problème apparu dans les années 1960-80 (Europe Centrale, Scandinavie, Est des Etats-Unis)

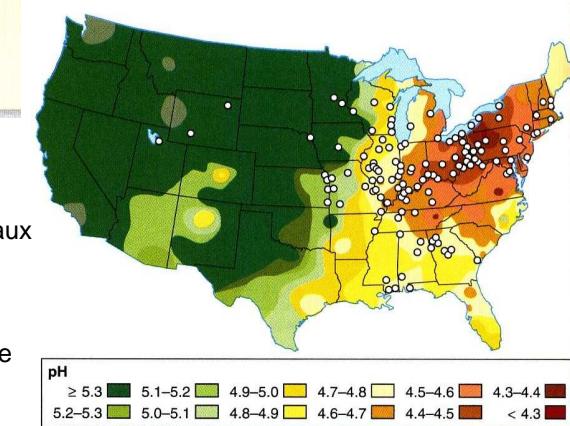
S'est atténué dans les années 1990 (filtres sur les installations industrielles, 'Clean Air Act' aux EU...).



Émissions de soufre aux USA (Kaufmann et Cleveland, 2008)

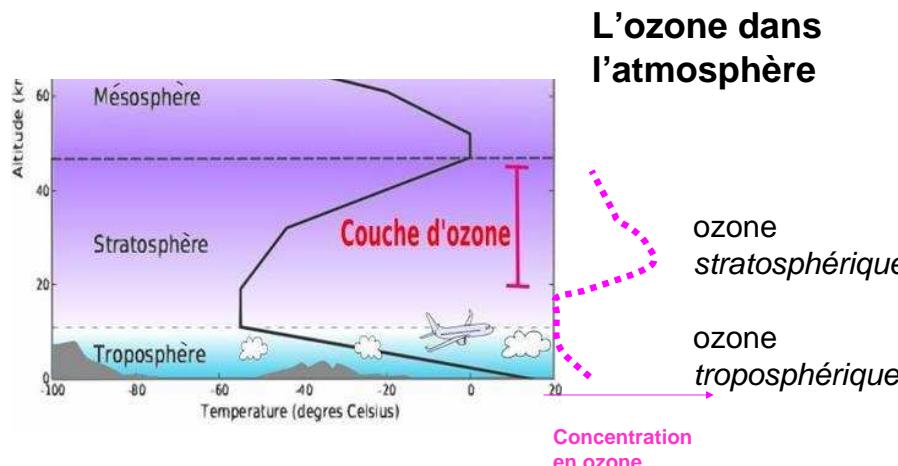


Moins de charbon utilisé dans l'industrie, le chauffage... mais beaucoup pour produire de l'électricité



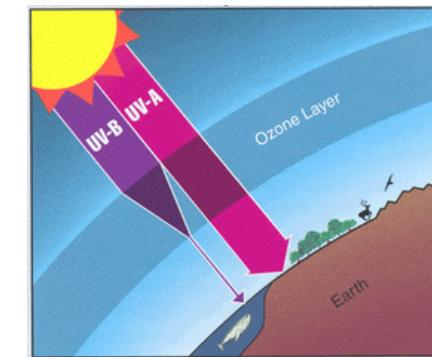
## 2.2 La destruction de l'ozone stratosphérique

### A/ L'ozone : polluant ou « bouclier » ?



## 2.2 La destruction de l'ozone stratosphérique

La "couche d'ozone" stratosphérique est un filtre naturel protégeant les écosystèmes terrestres des ultraviolets.



### Les rayons ultraviolets

Les rayons ultraviolets (UV) constituent une fraction invisible du rayonnement solaire. 3 catégories :

**UV-A** : peu énergétiques et peu dangereux, atteignent la surface de la Terre car peu absorbés par l'ozone. Responsables de notre bronzage.

**UV-B et C** : très énergétiques et dangereux, mais en grande partie absorbés par l'ozone stratosphérique.

## 2.2 La destruction de l'ozone stratosphérique

### B/ Les causes de la destruction de la couche d'ozone

#### les CFC (chlorofluorocarbones)

Utilisation à partir des années 1950-60 :

- comme agents gonflants pour la mousse plastique isolante ;
- comme solvants ;
- comme fluides de réfrigération ;
- dans les bombes aérosols.

Pas dangereux pour la santé (ni toxiques, ni inflammables, ni cancérogènes).

Dans l'air, les CFC ne redescendent pas à la surface de la Terre avec la pluie, ni ne se décomposent dans la basse atmosphère  
=> ils atteignent la stratosphère au bout de 6 à 8 ans.

Les CFC se brisent sous l'action des ultraviolets et libèrent leur atome de chlore. Chaque atome de chlore (Cl) attaque une molécule d'ozone ( $O_3$ ), la dissocie en donnant du dioxygène ( $O_2$ )

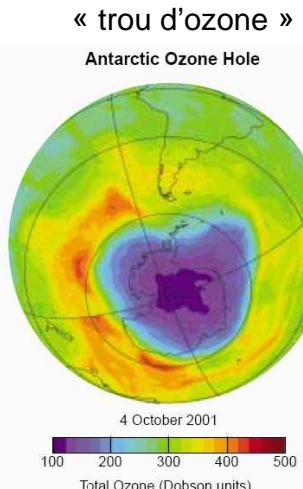
## 2.2 La destruction de l'ozone stratosphérique

Est principalement concernée **la région antarctique** (et secondairement arctique)

Pourquoi ?

- Variations d'insolation plus fortes qu'ailleurs (>3 mois sans rayonnement solaire)
- Températures hivernales très basses (-80°C)

Ces conditions favorisent la dégradation des molécules d'ozone, notamment au printemps austral (octobre) lorsque le rayonnement solaire réapparaît



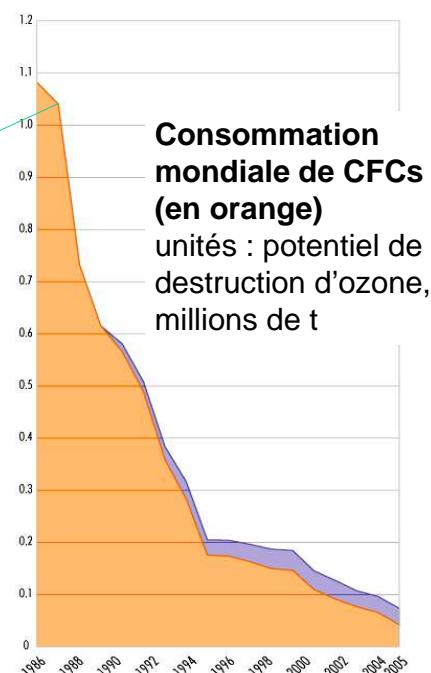
Suivi : <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>

### C / Un exemple de mobilisation internationale réussie

1987 : Protocole de Montréal = interdit l'utilisation de substances détruisant l'ozone stratosphérique (CFC)

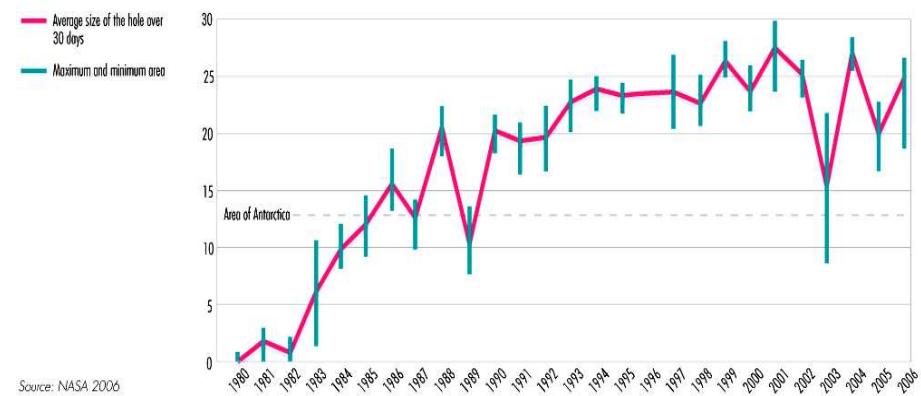
Note: Ozone-depleting potential (ODP) is the ratio of the impact on ozone of a chemical compared to the impact of a similar mass of CFC-11. Thus, the ODP of CFC-11 is defined as 1.0.

Source: GEO Data Portal, compiled from UNEP-Ozone Secretariat 2006



## 2.2 La destruction de l'ozone stratosphérique

### Taille du « trou » d'ozone antarctique (millions de km<sup>2</sup>)

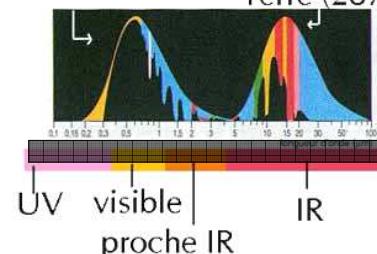


## 2.3 Effet de serre et changement climatique global

### A - L'effet de serre

Un effet naturel...

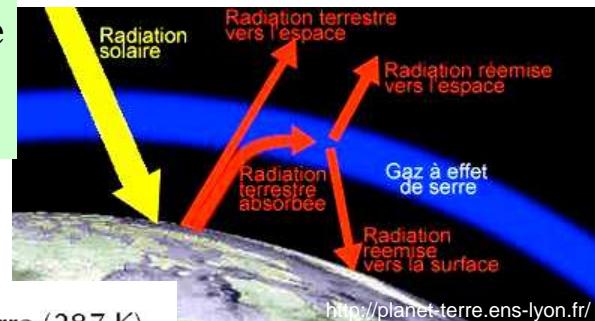
Soleil (5875 K) Terre (287 K)



légende  $\text{H}_2\text{O}$   $\text{N}_2\text{O}$   $\text{O}_3$   $\text{CO}_2$   $\text{O}_3$   $\text{CH}_4$

Rayonnement solaire et terrestre, et son absorption par l'atmosphère

Sadourny, 1994



<http://planet-terre.ens-lyon.fr/>

## Principaux gaz à effet de serre dans l'atmosphère et leur origine

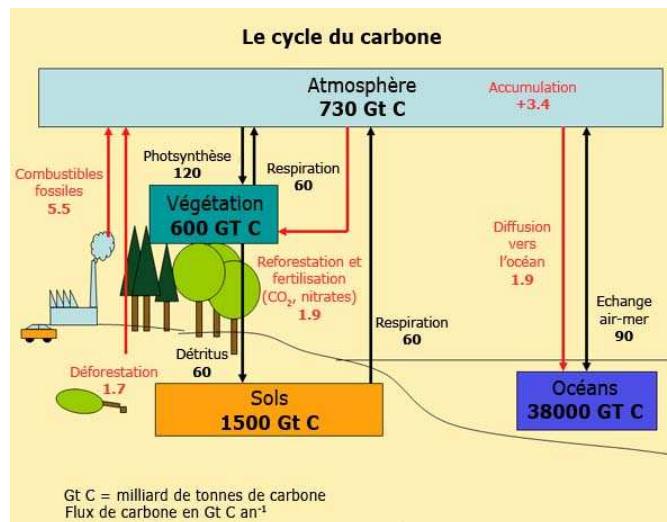
	Sources d'émission	Contribution à l'augmentation de l'effet de serre
$\text{CO}_2$ Gaz carbonique	Combustibles fossiles (...); Combustion de biomasse; Production de ciment Végétaux	55%
$\text{CH}_4$ Méthane	Rizières; Zones marécageuses Ruminants, déjections animales Combustion de biomasse Combustibles fossiles	20%
$\text{N}_2\text{O}$ Oxyde nitreux	<i>Incertaines</i> : Océans Sols forestiers Combustions; engrains azotés	5%
HFC, CFC Fluoro-carbures	Industrielles (réfrigérants [ex : climatisation d'automobiles], mousse des extincteurs et matériaux d'emballage)	15% avec les CFC (auj. interdits).
$\text{O}_3$ Ozone	Réactions chimiques liées à émissions de polluants primaires (lors des combustions principalement)	<5%
$\text{H}_2\text{O}$ Vapeur d'eau	Evaporation Combustion de biomasse Trainées de condensation des avions	<5% NB : Contribue pour + de 50% à l'effet de serre naturel.

### B – En quoi l'Homme perturbe-t-il l'effet de serre ?

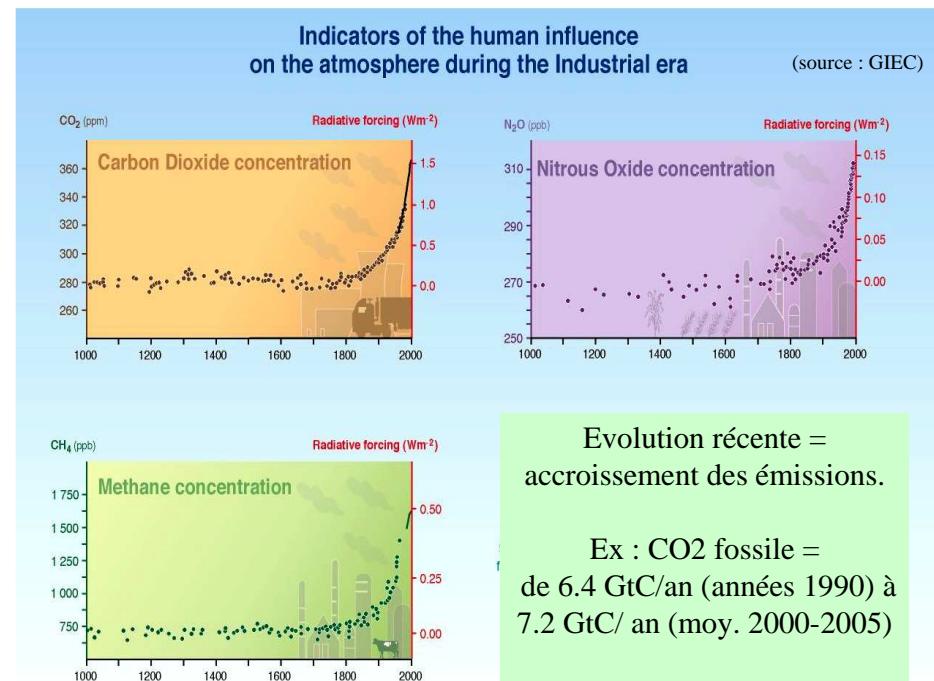
Beaucoup de ces gaz à effet de serre sont constitués de carbone.

Le carbone est très répandu sur Terre : 4 grands « réservoirs »... qui échangent du carbone.

Les activités humaines perturbent ce cycle. Une partie (50%) du carbone rejeté par l'Homme est absorbé par l'océan et les continents (puits) ... le reste s'accumule dans l'atmosphère



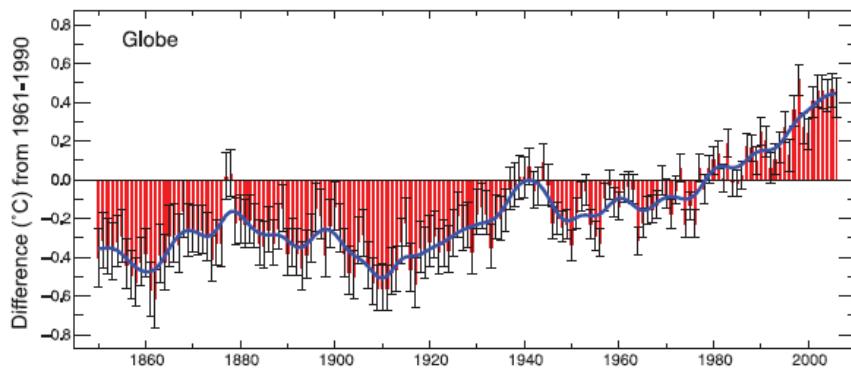
Stocks et flux naturels en noir  
Stocks et flux d'origine anthropique (/an) en rouge  
(source : Université de Liège)



Evolution récente = accroissement des émissions.

Ex :  $\text{CO}_2$  fossile = de 6.4 GtC/an (années 1990) à 7.2 GtC/ an (moy. 2000-2005)

## C – Quel est l'effet sur le climat ?



Températures annuelles de l'air en surface (continents + océans).

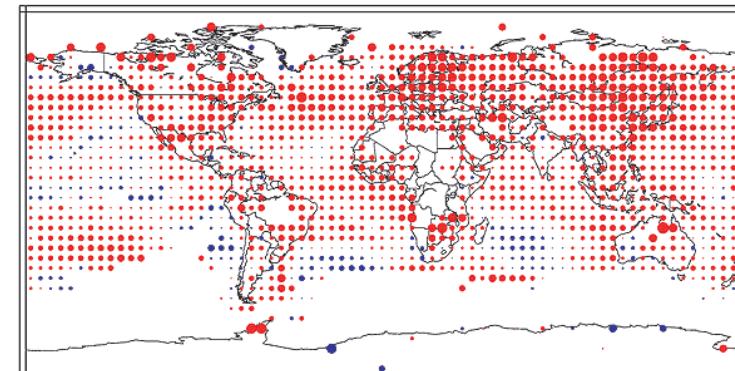
Anomalies en (°C) 1850 à 2006, par rapport à la moyenne 1961-1990 (et intervalle de confiance à 95%)

Tendance sur 100 ans : + 0.74 °C entre 1906 et 2005

(source : IPCC, 2007)

## Evolution de la température depuis 25 ans

(d) Annual temperature trends, 1976 to 2000



42

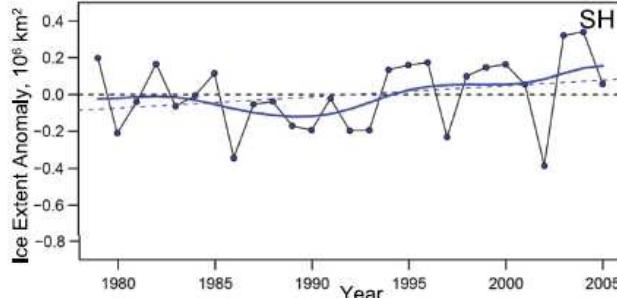
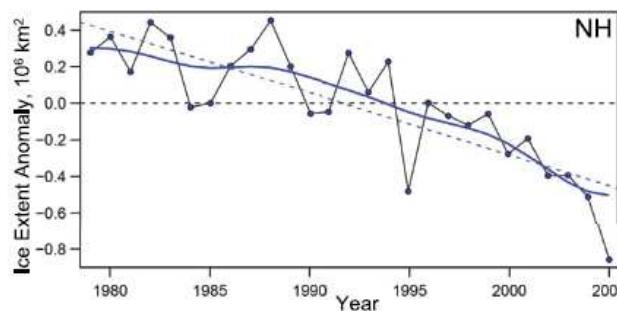
## Glace de mer

Anomalies d'étendue de la glace de mer dans l'Hémisphère Nord et l'Hémisphère Sud, par rapport à la moyenne de toute la période (données satellites). Moyennes annuelles.

Tendances :

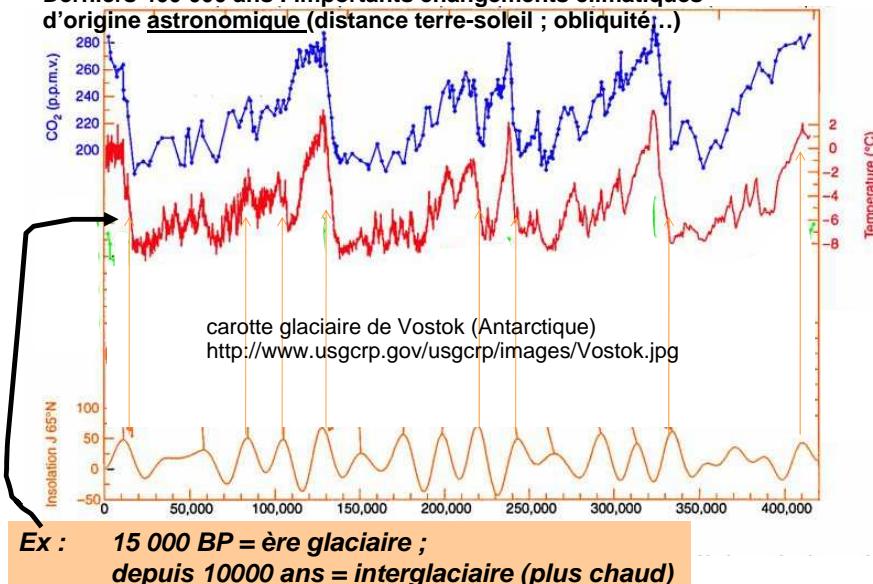
- Arctique : -33000 km<sup>2</sup>/décennie (-2,7% ; significatif à 90%) ;
- Antarctique : +5600 km<sup>2</sup>/décennie (non significatif)

(source : GIECC 2007, d'après Comiso 2003, complété)

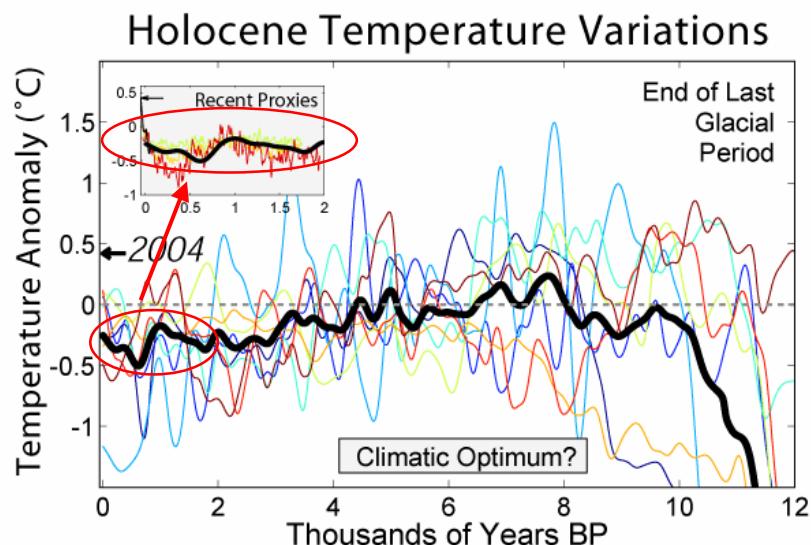


## D – Le changement climatique actuel n'est-il pas d'origine naturelle ? Quel climat avions-nous hier ?

Derniers 400 000 ans : importants changements climatiques d'origine astronomique (distance terre-soleil ; obliquité...)

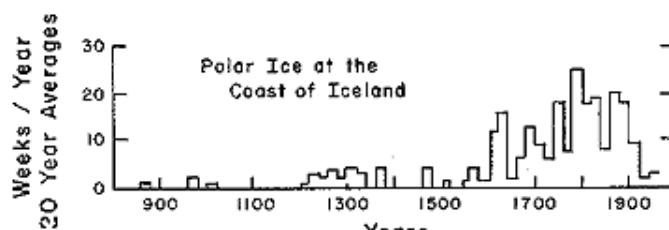


## Derniers 10 000 ans (période holocène) :

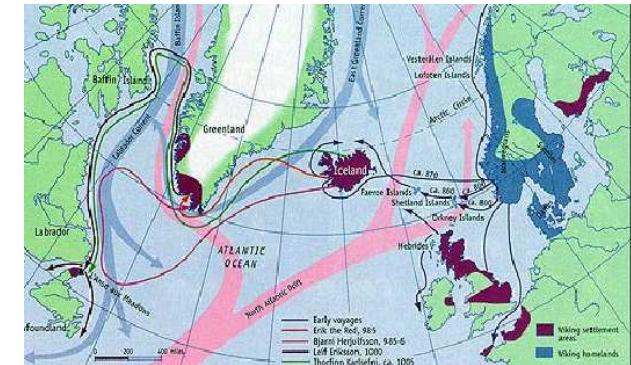


## Le petit âge glaciaire (PAG)

- Entre 1450-1850.
- Hivers particulièrement rigoureux
- Avance des glaciers.
- Expansion de la glace de mer => fin de la colonisation viking au Groenland (cf doc.)
- Abaissement de la limite de la forêt et recul des cultures (Ecosse...)
- Températures globales : inférieures d'environ 0,5 à 1°C à celles du XXe siècle (???)
- Ressenti dans de nombreuses régions du globe... mais surtout en Europe => "europocentrisme" de l'Histoire du climat



## L'optimum climatique médiéval

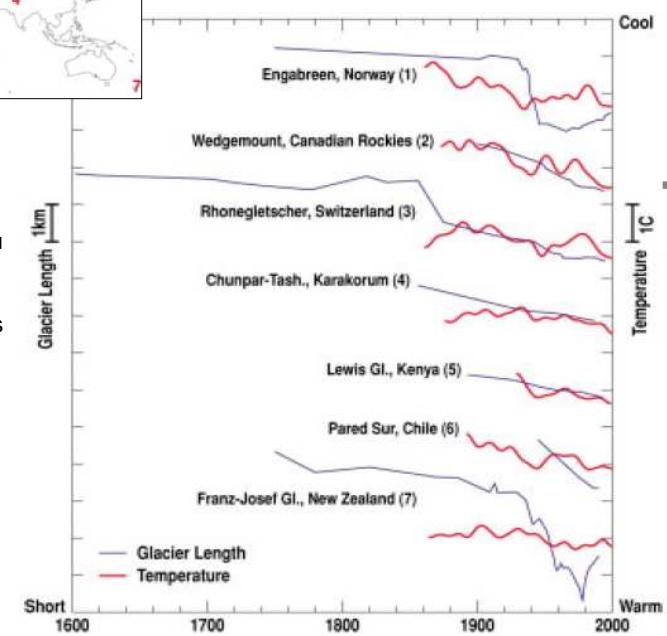


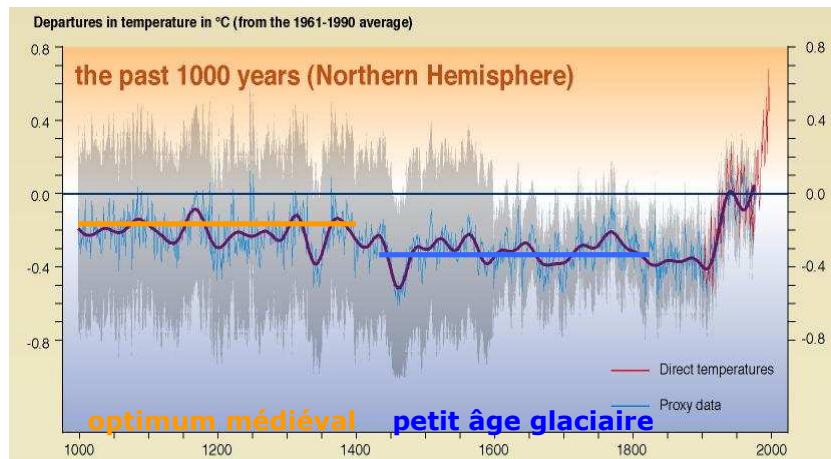
- Période : 900 - 1380 env.
- Température en Europe : estimée ~0.5-0.8°C plus chaude qu'au XXe s.
- Les Vikings s'installent au Groenland
- Culture du blé en Norvège ; avoine + orge en Islande
- Vignobles en Angleterre
- On sait aujourd'hui que cette période de chaleur a surtout concerné le Nord de l'Europe et de l'Atlantique

## Depuis 150 ans



- Recul des glaciers quasi-généralisé
- Témoigne sortie du PAG (effet naturel) + réchauffement marqué des dernières décennies (effet anthropique)
- Attention : bilan glaciaire = accumulation hivernale (surtout P) – fonte estivale (surtout T)





Bleu : cernes des arbres, coraux, carottes de glace et données historiques

Rouge : données instrumentales

Noir : lissage temporel

Gris : Erreur-type

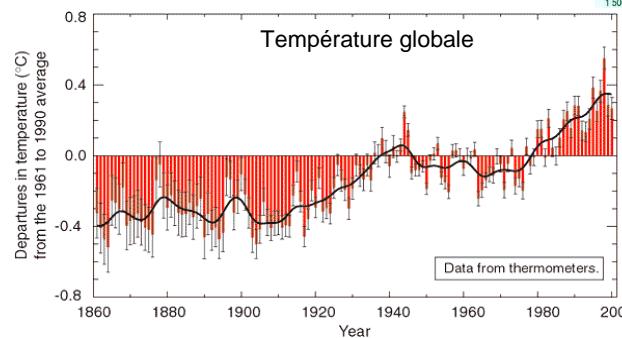
- tendance au refroidissement à long terme (-0,2°C)
- interrompue par réchauffement actuel : originalité des décennies récentes au sein du dernier millénaire (+0.6°C en 50 ans !)
- attention : peu de données dans l'Hém.Sud

*le XXe siècle est très probablement le plus chaud des 2 derniers millénaires*

(IPCC, 2001, d'après Mann et al. 1999, et autres sources)

**C'est l'augmentation des GES dans l'atmosphère (donc l'Homme)** qui est la cause principale de l'augmentation de température des 100 dernières années.

Le palier des années 40-60 s'explique par la forte consommation de charbon, dont les particules en suspension dans l'atmosphère induisent un refroidissement



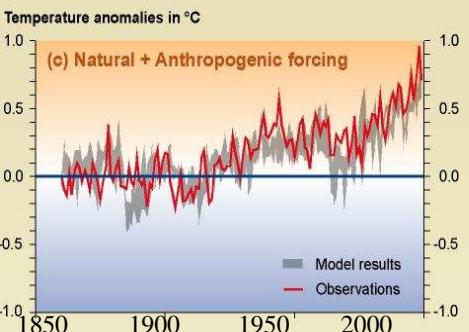
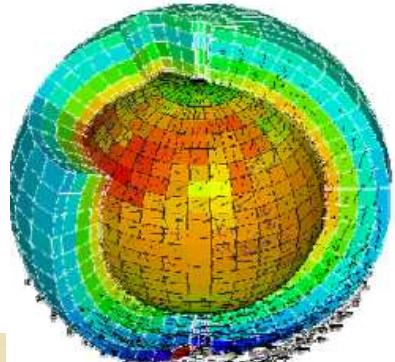
## E - Le climat futur

### Quels outils ?

Les **modèles climatiques** sont les outils utilisés pour établir les projections.

Ils sont fondés sur des équations physiques qui décrivent l'évolution de l'état de l'atmosphère, découpée en "blocs".

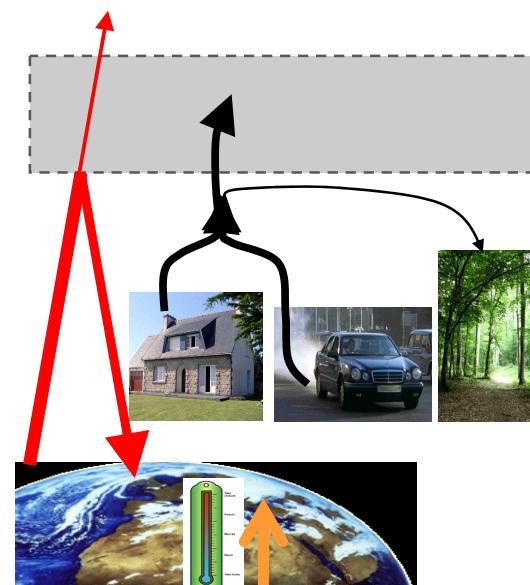
Ils permettent de faire des expériences fondées sur des hypothèses ou scénarii d'évolution des sociétés.



Les modèles sont imparfaits car ils représentent de façon simplifiée certains processus climatiques, d'où des incertitudes sur l'amplitude du réchauffement futur.

Mais ils parviennent à reconstituer de façon satisfaisante l'évolution générale au cours des derniers siècles, ou encore le climat actuel => AB degré de confiance

### Utilisation des modèles pour établir des projections climatiques

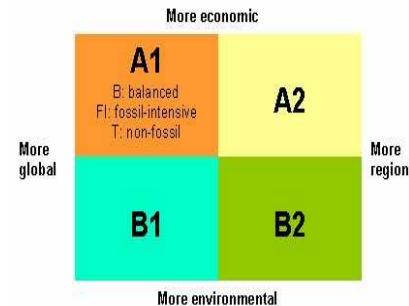


1. Etablir des scénarii d'émission de GES, sur des bases économiques, démographiques, politiques etc...

2. Simuler l'évolution des concentrations associées de GES dans l'atmosphère

3. Evaluer les effets sur le climat (températures, précipitations...), et au-delà les écosystèmes, les sociétés

## Les scénarios d'émission :



### Différents scénarios pour le nouveau siècle

#### A1 Croissance rapide de l'économie

Population mondiale augmente jusqu'au milieu du siècle puis diminue  
Introduction rapide de nouvelles technologies plus efficaces

#### A1FI Repose intensivement sur le pétrole

#### A1T Energie non-fossile

#### A1B Equilibre

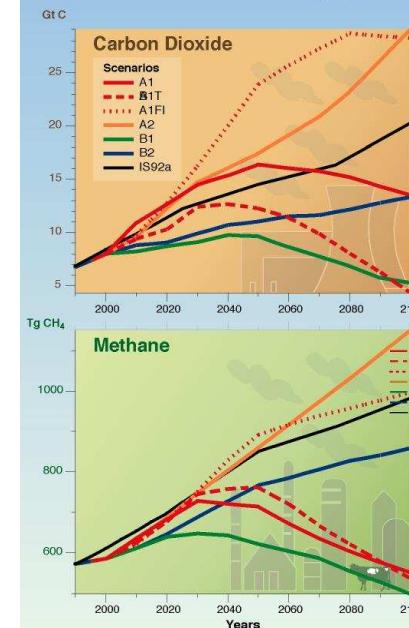
#### A2 Croissance inhomogène et plus lente que A1

#### B1 Comme A1 mais avec plus de services et moins d'industries

Moins polluante et politique orientée vers le développement durable

#### B2 Croissance continue de la population niveau économique intermédiaire

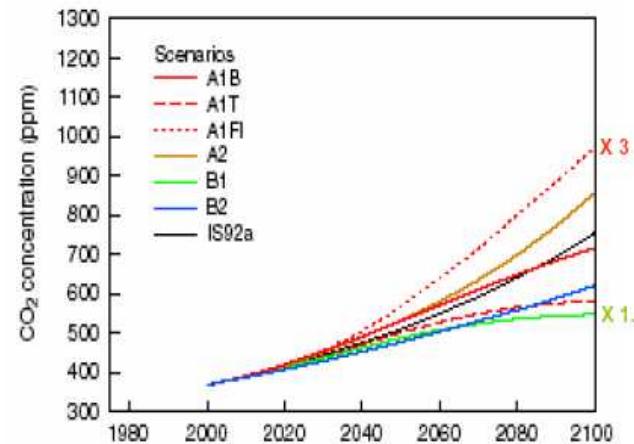
## Anthropogenic emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and SO<sub>2</sub> for the six SRES scenarios



- Meilleur des cas : diminution à partir de 2040-2050, mais niveaux déjà assez différents selon les scénario
- Poursuite après 2050 de l'accroissement des émissions dans certains scénario (ex : A2)

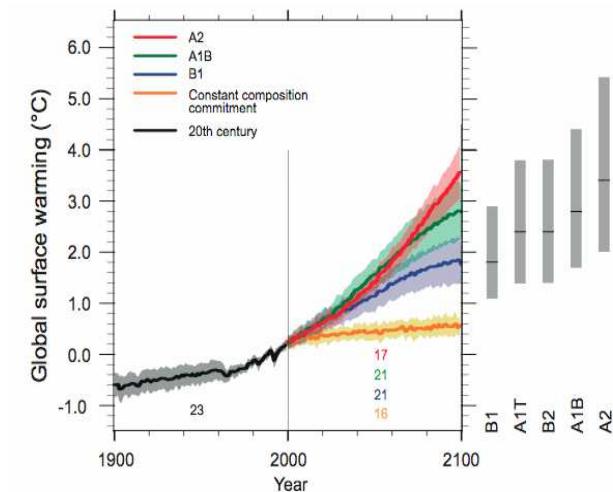
NB: Ces scénario ne tiennent pas compte des éventuelles mesures de réduction volontaires qui seront prises

### concentrations de CO<sub>2</sub> en fonction des scénarios



Mais dans tous ces scénarios les **concentrations continuent à augmenter après 2050** : effet cumulatif des émissions (pas de stabilisation avant 2100)

Des différences importantes existent cependant en fonction des trajectoires socio-économiques (facteur 2 en 100 ans)



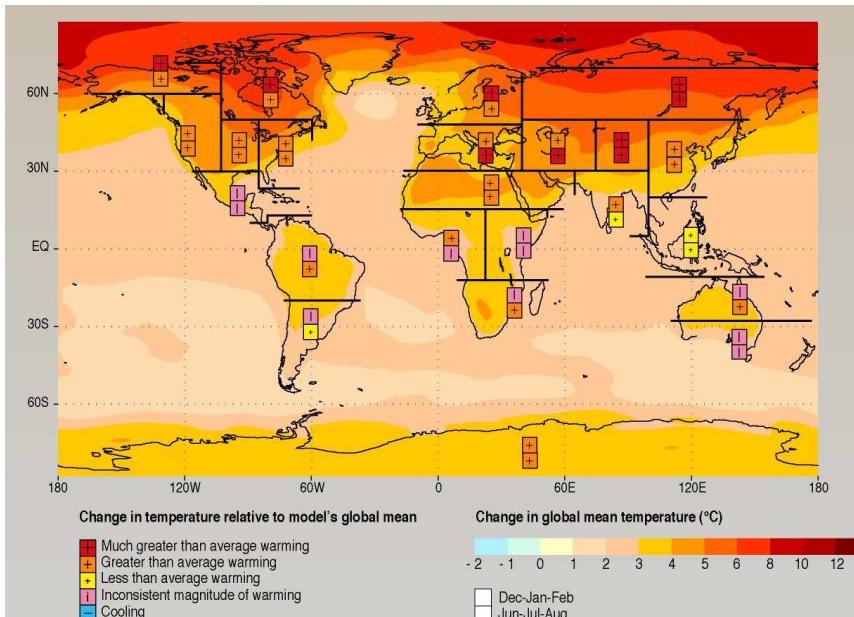
Projections de température moyenne globale vers 2100 : entre +1.1 et + 6.4°C  
médianes : +1.8°C pour B1 (scénario bas)  
+4°C pour A1FI (scénario haut).

NB : + 0.7°C au XXe siècle  
+ 0.6°C d'ici 2100 si maintien concentrations des années 1990

Deux types d'incertitudes :

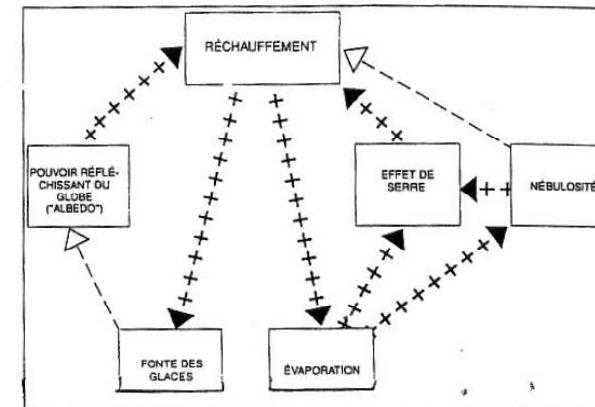
- fiabilité des modèles (50% : cf teintes pastel)
- comportements des sociétés (=scénario) (50%)

Projections à court terme peu sensibles au scénario, mais très fortement à long terme => **Inertie du système ; faire les bons choix aujourd'hui pour atténuer les impacts demain**



Différence de température entre les normales 2071-2100 et 1961-1990 en °C pour le scénario A2

### Rôle des rétroactions positives / négatives

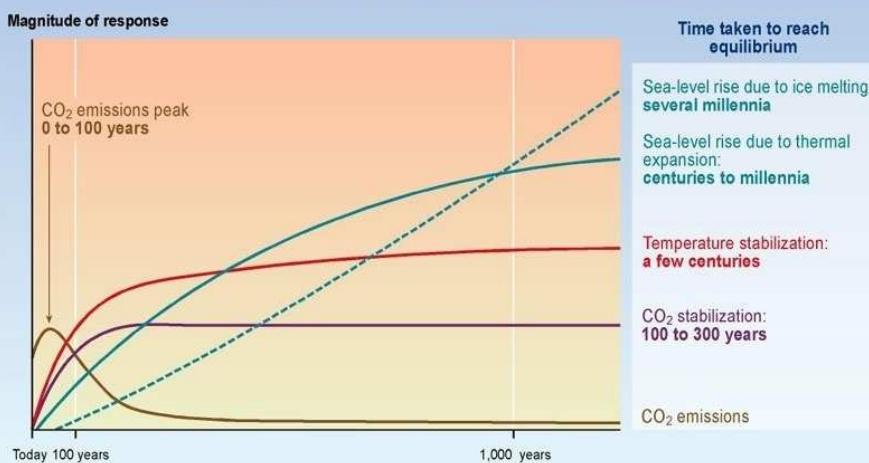


++ ➤ effet d'augmentation  
-- ➤ effet de diminution

(source : Durand-Dastès, climats et sociétés – La Doc. Française, 1995)

### Temps de réponse variés des différentes composantes du système climatique

CO<sub>2</sub> concentration, temperature, and sea level  
continue to rise long after emissions are reduced



Ne pas s'arrêter à 2100... "Anthropogenic warming and sea level rise would **continue for centuries** due to the timescales associated with climate processes and feedbacks, even if greenhouse gas concentrations were to be stabilized". (IPCC, 2007)

Si hausse des températures de plus de 1.9 °C maintenue pendant des millénaires => à long terme **fondre totale des glaces du Groenland** => montée de 7m du niveau marin

### Evenements extrêmes

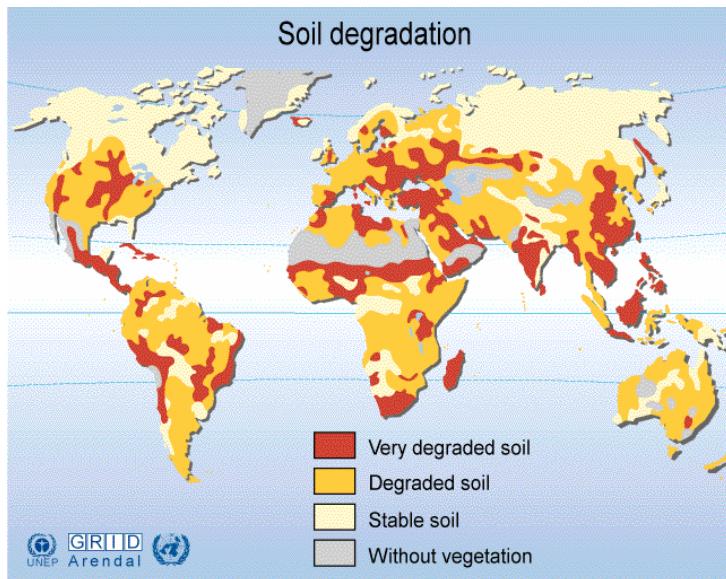
Événement	Observé durant le 20ème siècle	Prévu d'ici la fin du 21ème siècle
Températures maximales plus élevées	Très vraisemblable	Très vraisemblable
Plus d'été chauds	Vraisemblable	Très vraisemblable
Augmentation des indices thermiques	Vraisemblable	Très vraisemblable
Températures minimales plus élevées	Très vraisemblable	Très vraisemblable
Moins de jours de gel	Très vraisemblable	Très vraisemblable
Plus de vagues de chaleur	Possible	Très vraisemblable
Moins de vagues de froid	Très vraisemblable	Très vraisemblable
Sécheresses aggravées	Peu vraisemblable	Très vraisemblable
Plus d'événements pluvieux	Vraisemblable	Vraisemblable
Plus de cyclones tropicaux	Peu vraisemblable	Possible
Plus de tempêtes tropicales	Peu vraisemblable	Possible
Plus de tempêtes aux latitudes moyennes	Possible	Possible
Episodes El Niño plus intenses	Possible	Possible
Plus de conditions de type El Niño	Vraisemblable	Vraisemblable

### 3. La dégradation des sols

**Définitions :** désertification / déforestation / dégradation des sols

Au contraire de la désertification, la dégradation des sols n'affecte pas que les milieux semi-arides....

... c'est au contraire un problème quasi-global...



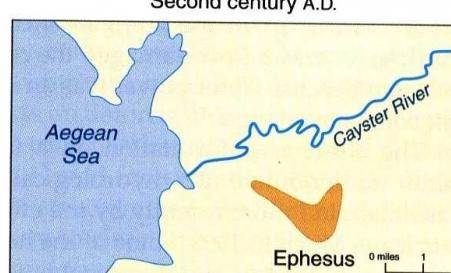
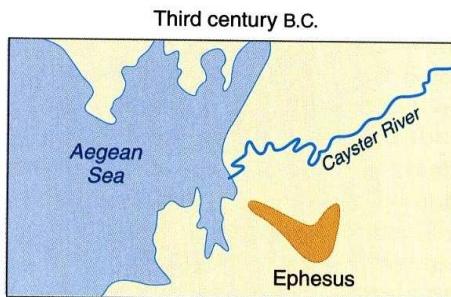
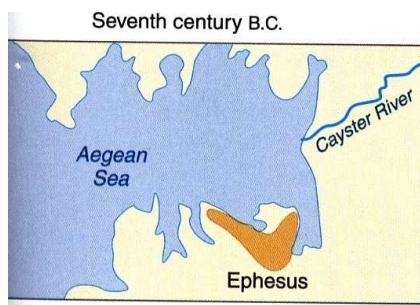
.... et les processus sont variés (cf. 3.2) :

Surfaces concernées par la dégradation des sols

Water erosion	1100
Wind erosion	600
Chemical degradation	500
Physical degradation	100
<b>TOTAL</b>	<b>2300</b>

>40 fois la surface de la France (55 Mha) !

World soil degradation (millions ha)

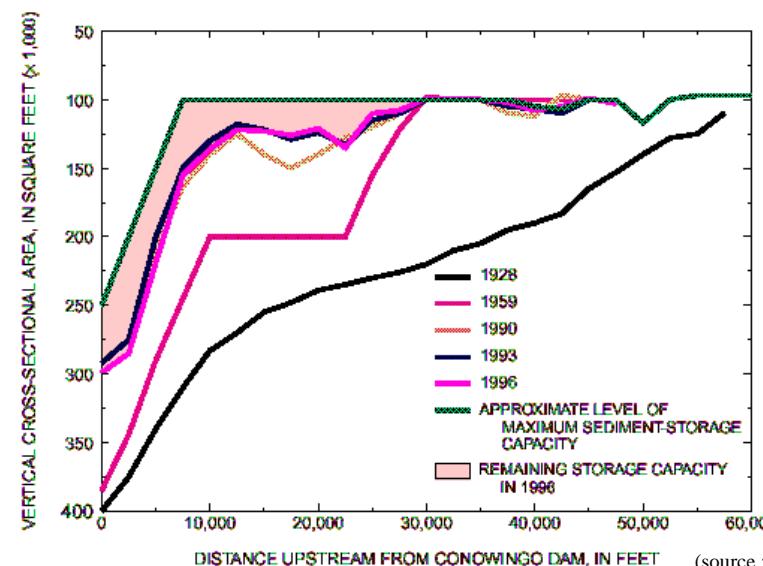


**Dégradation physique :**  
érosion

Effet de l'érosion et de l'accumulation sédimentaire sur le tracé des côtes dans la région d'Éphèse (Turquie)

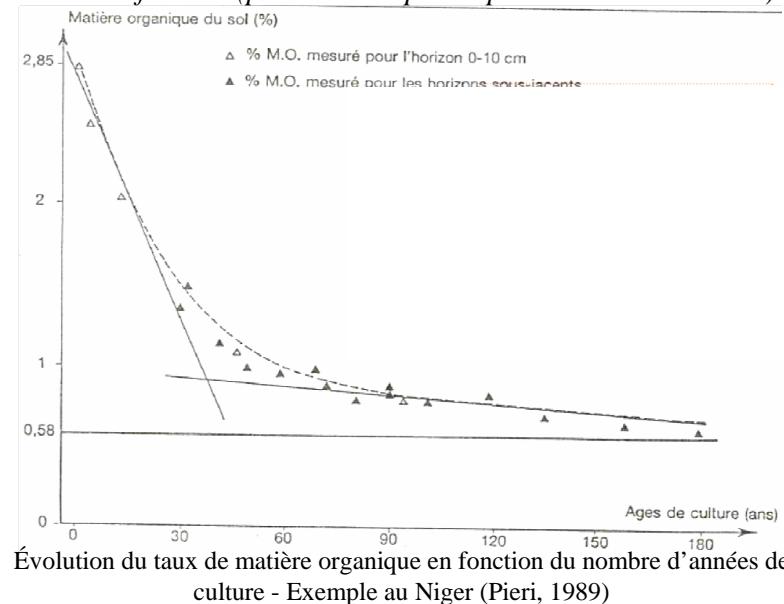
(Kaufmann et Cleveland, 2008)

Comblement des lacs de barrage :  
retenue de Conowingo (SE des USA)

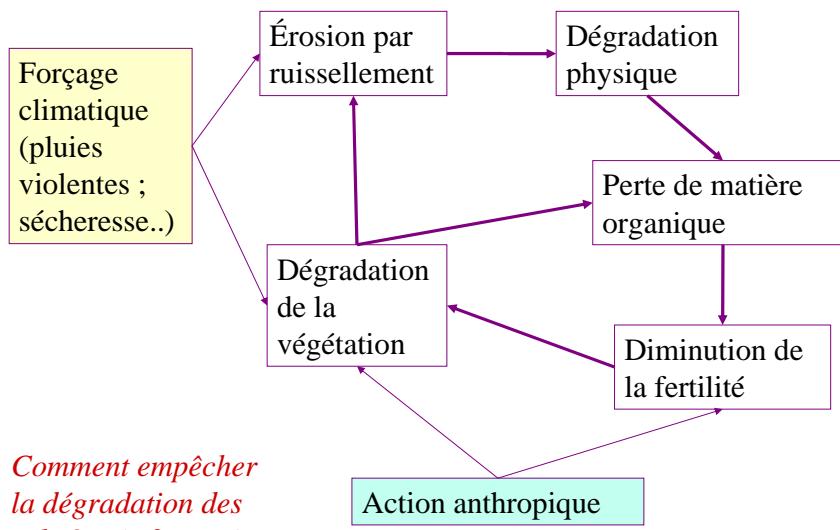


## Autres formes de dégradation

### Déclin de la fertilité (prélèvement par la plante + ruissellement)



La dégradation des sols des régions semi-arides s'inscrit souvent dans une boucle de rétroaction négative

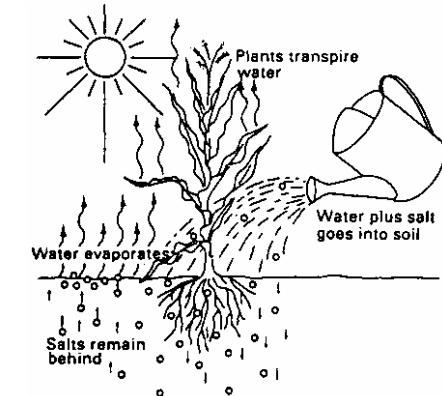


## Salinisation - La salinisation causée par l'irrigation des cultures

Un apport d'eau est toujours associé à un apport de sels. *Même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous*. L'eau pure est évaporée (pas de ruissellement) mais les sels restent sur place et s'accumulent.

En régions arides, effet d'autant plus marqué que :

- 1) les eaux de surface et souterraines sont souvent riches en sels
- 2) l'évaporation est très forte, ce qui nécessite beaucoup d'eau d'irrigation (ex : 90 cm d'eau / an => environ 6 t de sel / ha déposé sur les sols).



Depuis 30 ans, important développement de l'irrigation en zones semi-arides  
=> la salinisation s'accroît.

Ex : Pakistan : 25% des surfaces irriguées sont salinisées.  
Tunisie 25%  
USA 23%

La dégradation des terres n'a pas que des effets locaux.  
Elle diminue la teneur en matière organique ... donc libère le carbone stocké dans le sol... ce qui accentue l'effet de serre

Stock de carbone des sols

