



Centre de
formation sur
l'environnement
et la société

La biosphère

Enseignant : David Claessen

Centre de formation s sur l'environnement et la société (CERES)
et Institut de Biologie de l'ENS (IBENS)

École normale supérieure, 24 rue Lhomond, 75005 Paris

25 janvier 2016

ORGANISATION DE LA BIOSPHÈRE

DYNAMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PHYSIQUE

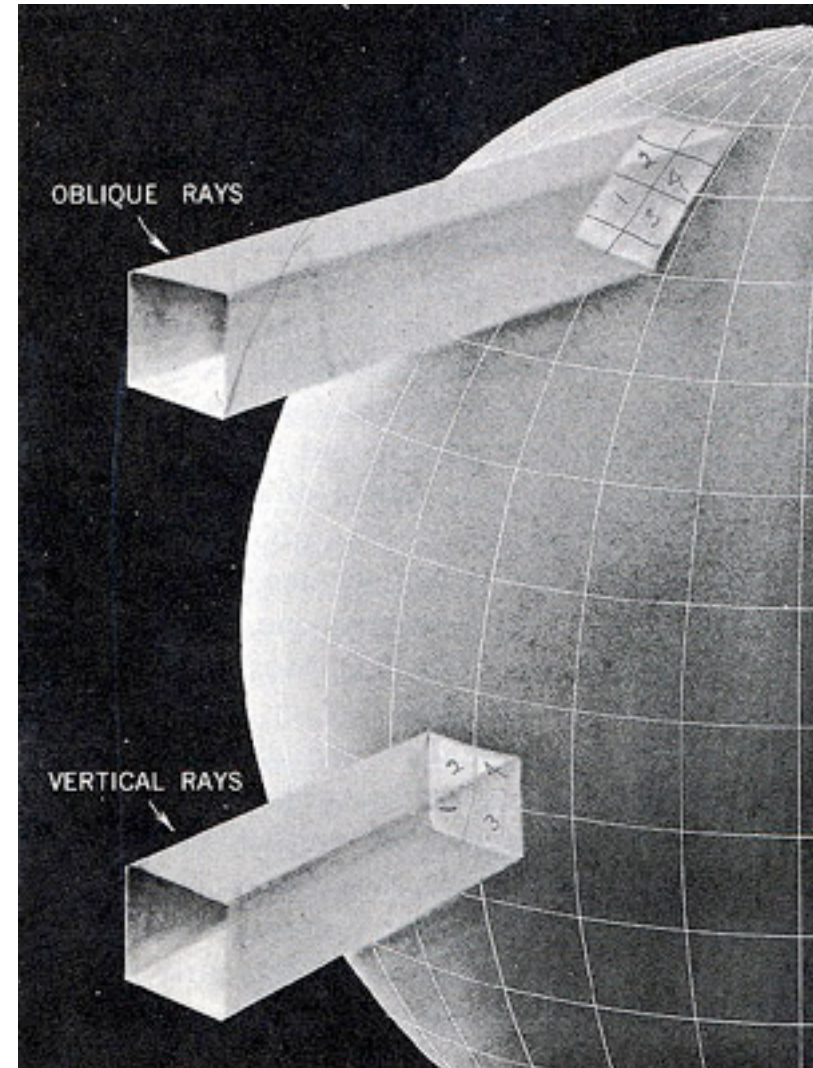
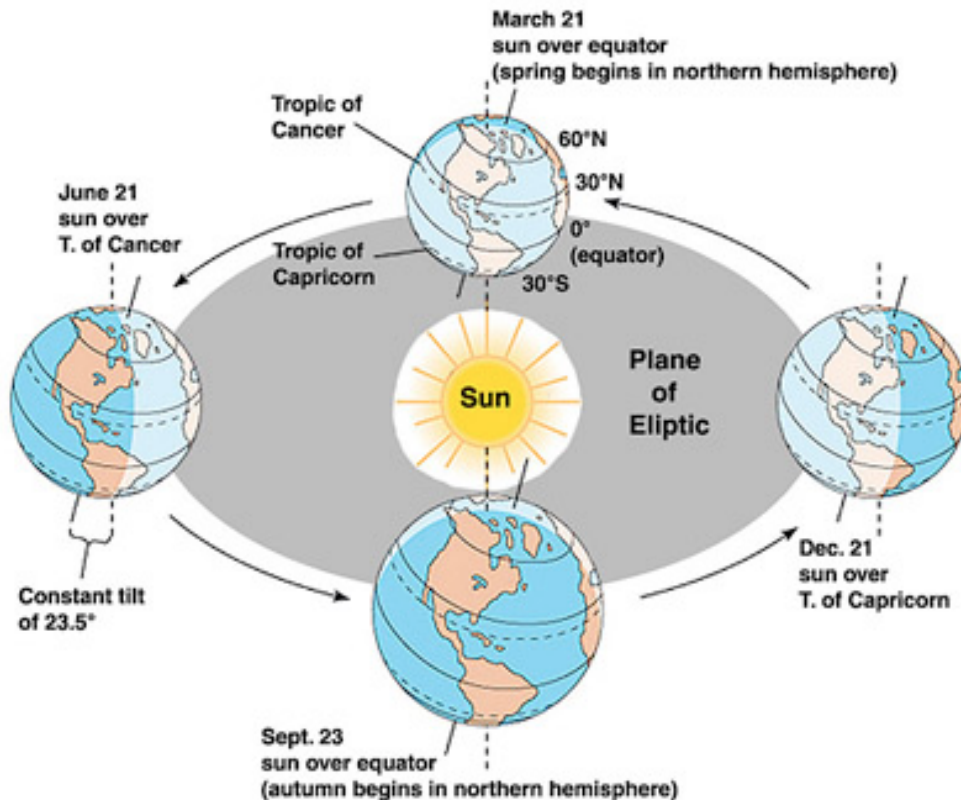


Les mouvements de la planète

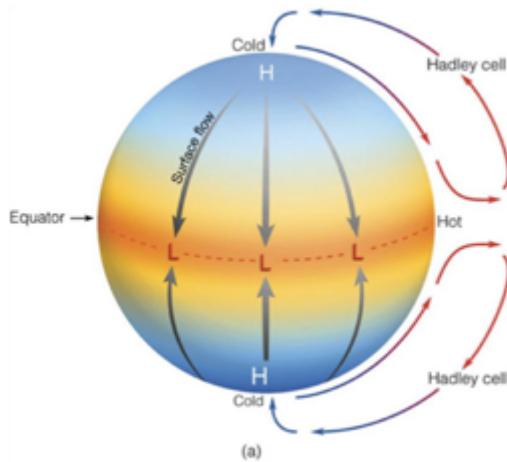
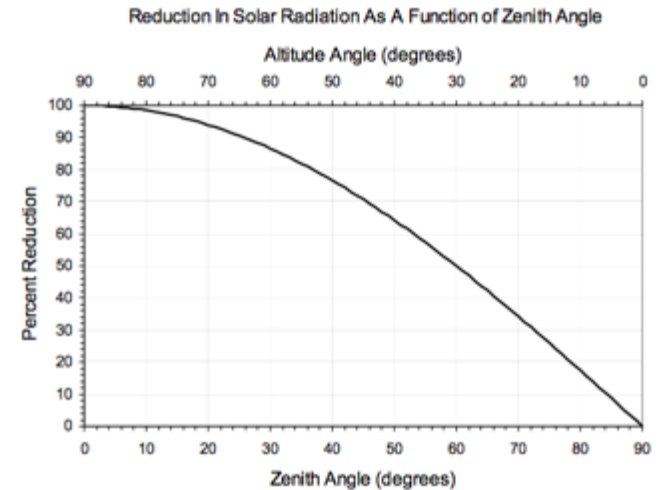
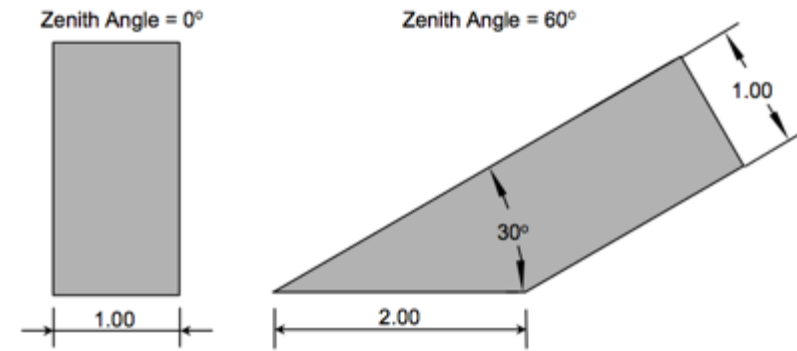


L'activité de la biosphère est rythmée par les rotations de la Terre :

- Jour/nuit
- Saisons



La distribution géographique des climats est, dans ses grandes lignes, la résultante des différences latitudinales d'échauffement solaire et de la dynamique des masses d'air qu'elles provoquent.

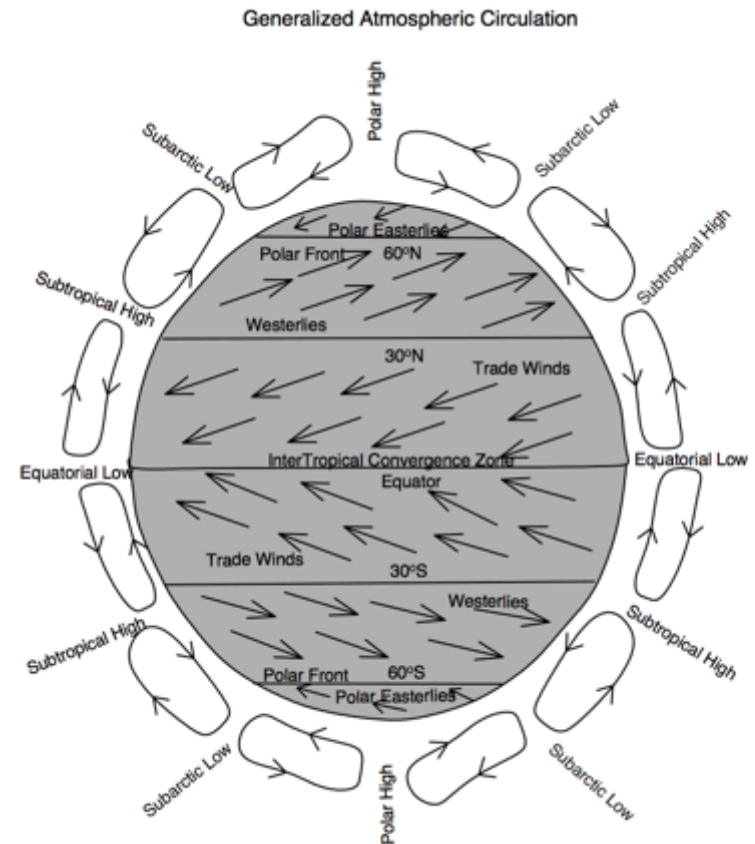
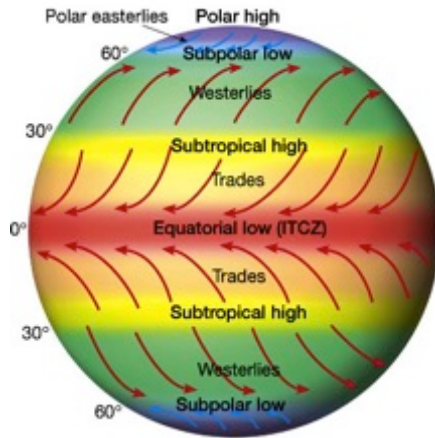


© 2007 Thomson Higher Education

Hadley cells could extend all the way to the poles. (Image courtesy of Lyndon State College Atmospheric Sciences).

Une planète hypothétique avec une seule « **cellule de Hadley** » par hémisphère

La **force de Coriolis** cause une déviation :
Vers la **droite** au hémisphère **Nord**;
Vers la **gauche** au hémisphère **Sud**



Conséquence: **trois cellules de Hadley** par hémisphère

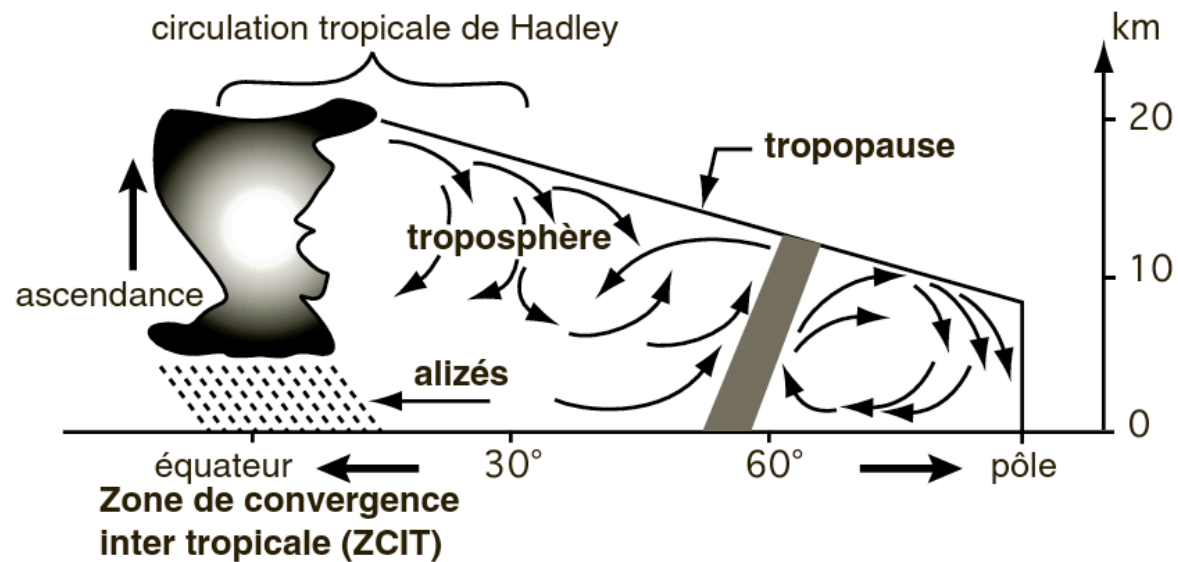


Figure 4 Schéma de la circulation atmosphérique « cellulaire » à la surface de la Terre montrant les principales zones de courants ascendants.

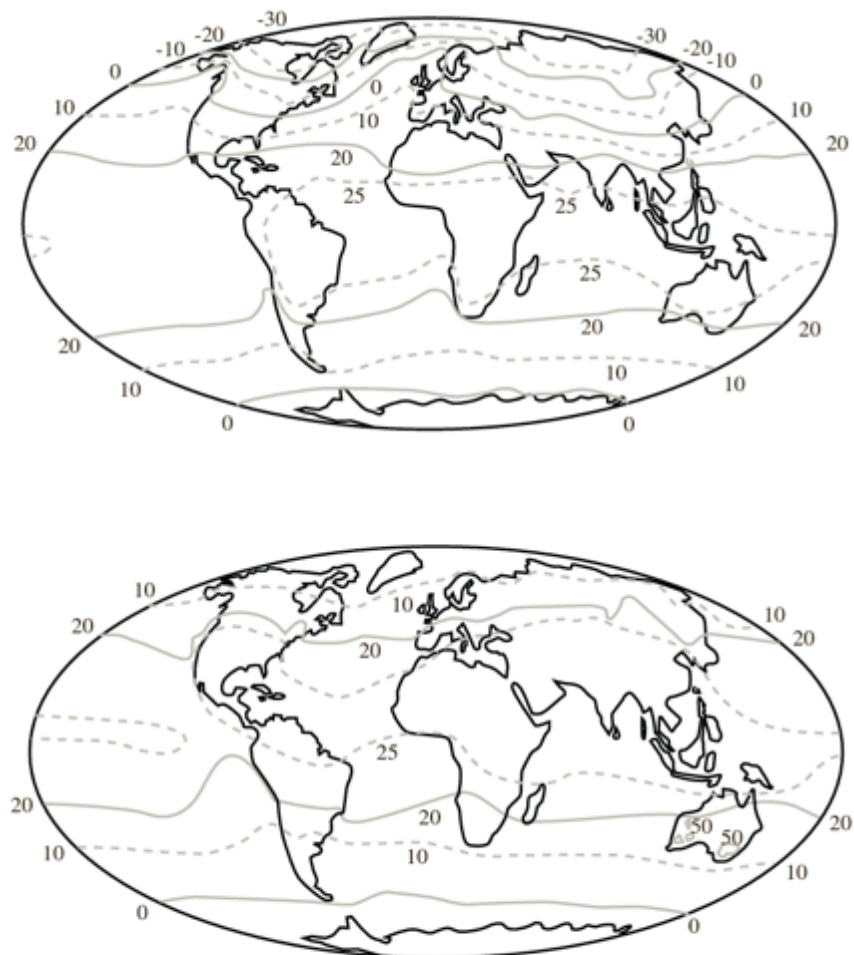
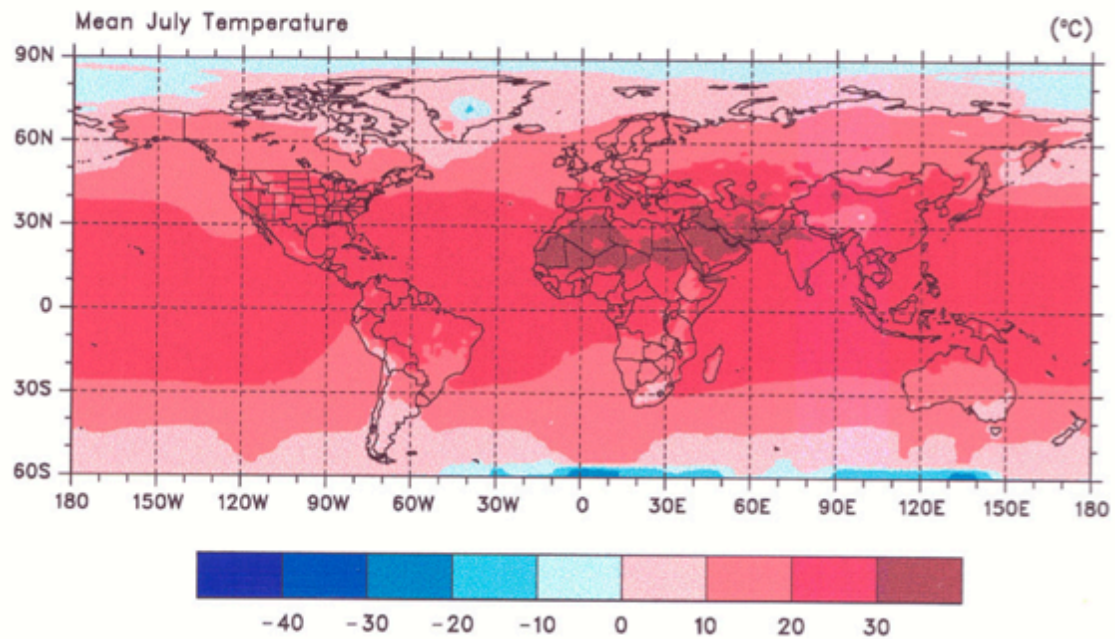
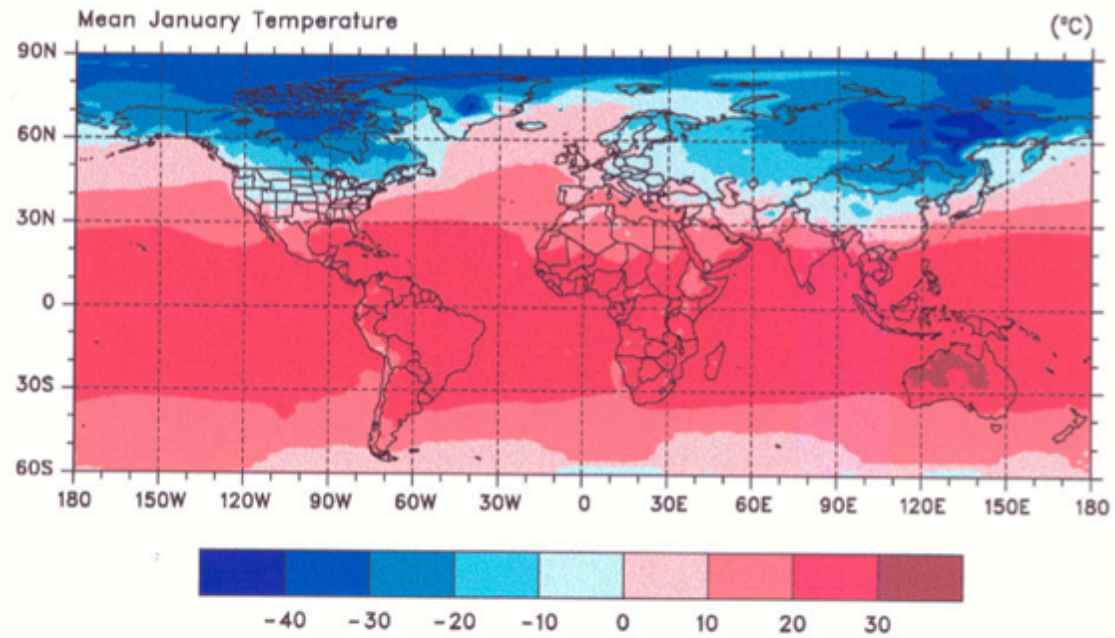
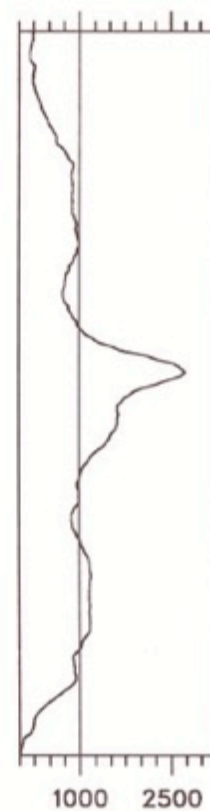
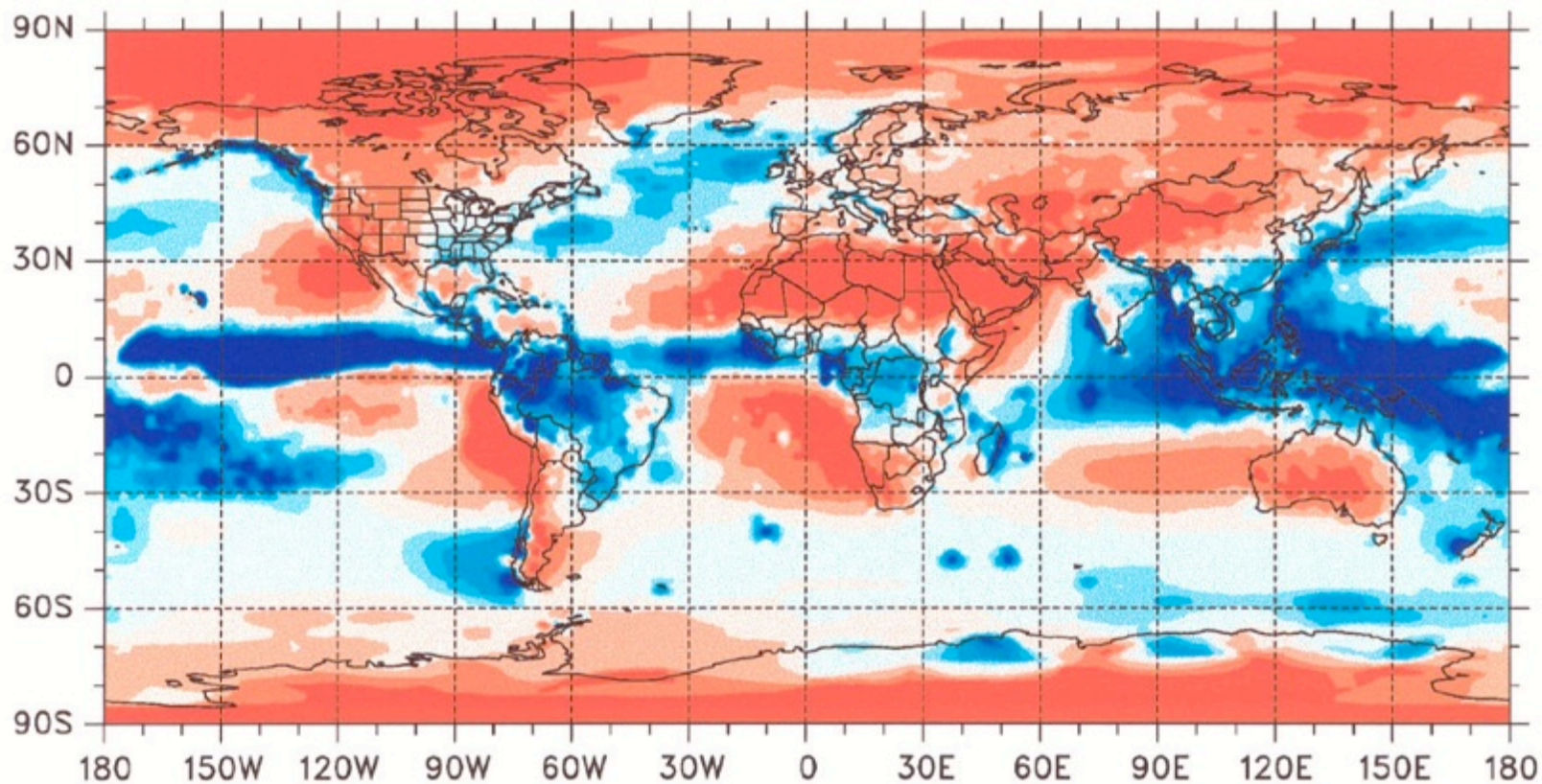


Figure 5 Cartes mondiales des isothermes de janvier (en haut) et de juillet (en bas). Températures réduites au niveau de la mer.



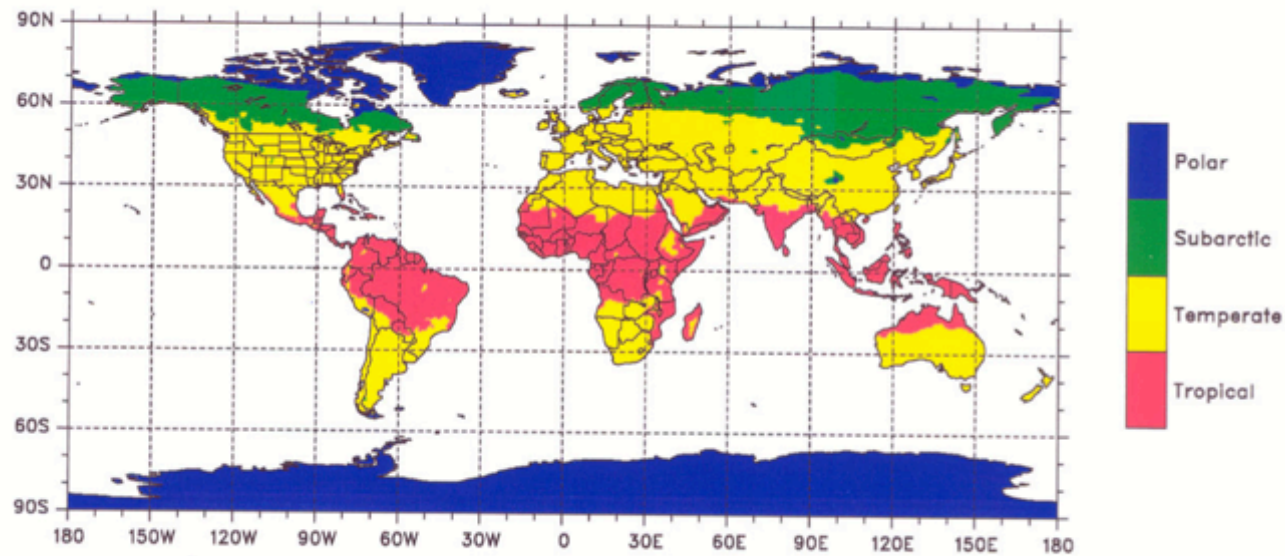
Annual Precipitation

(mm)

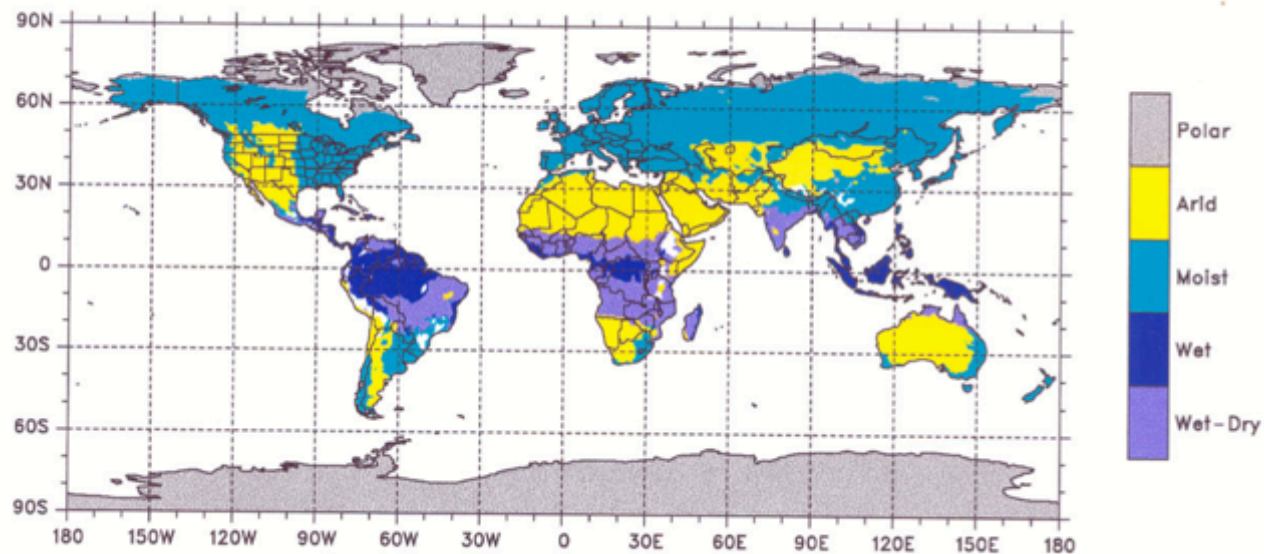


250 500 750 1000 1250 1500 1750 2000 2250 2500 2750 3000

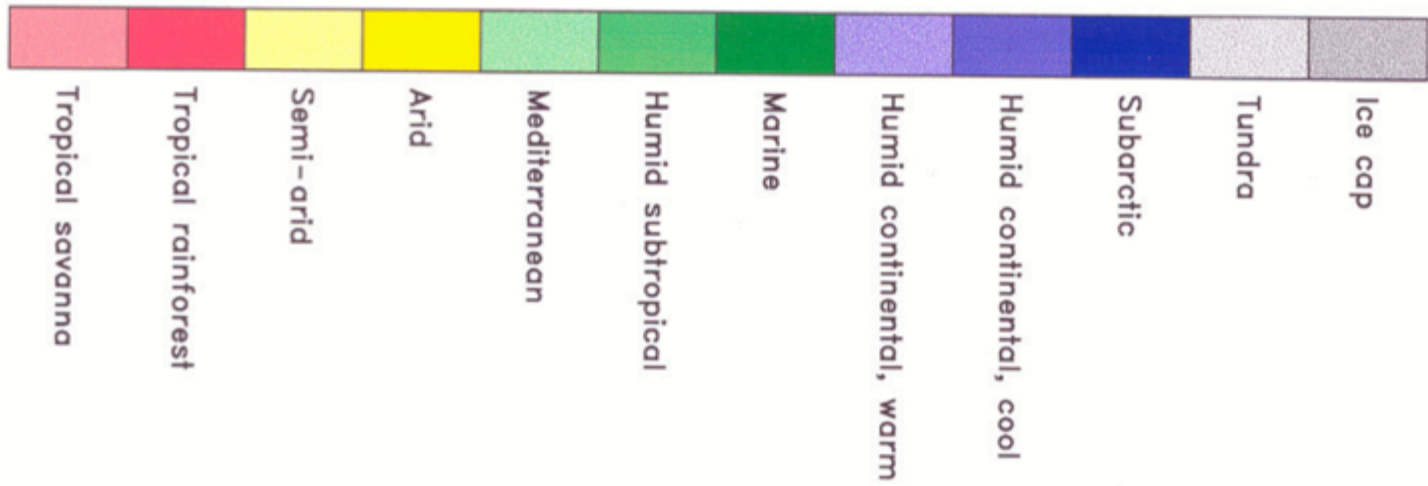
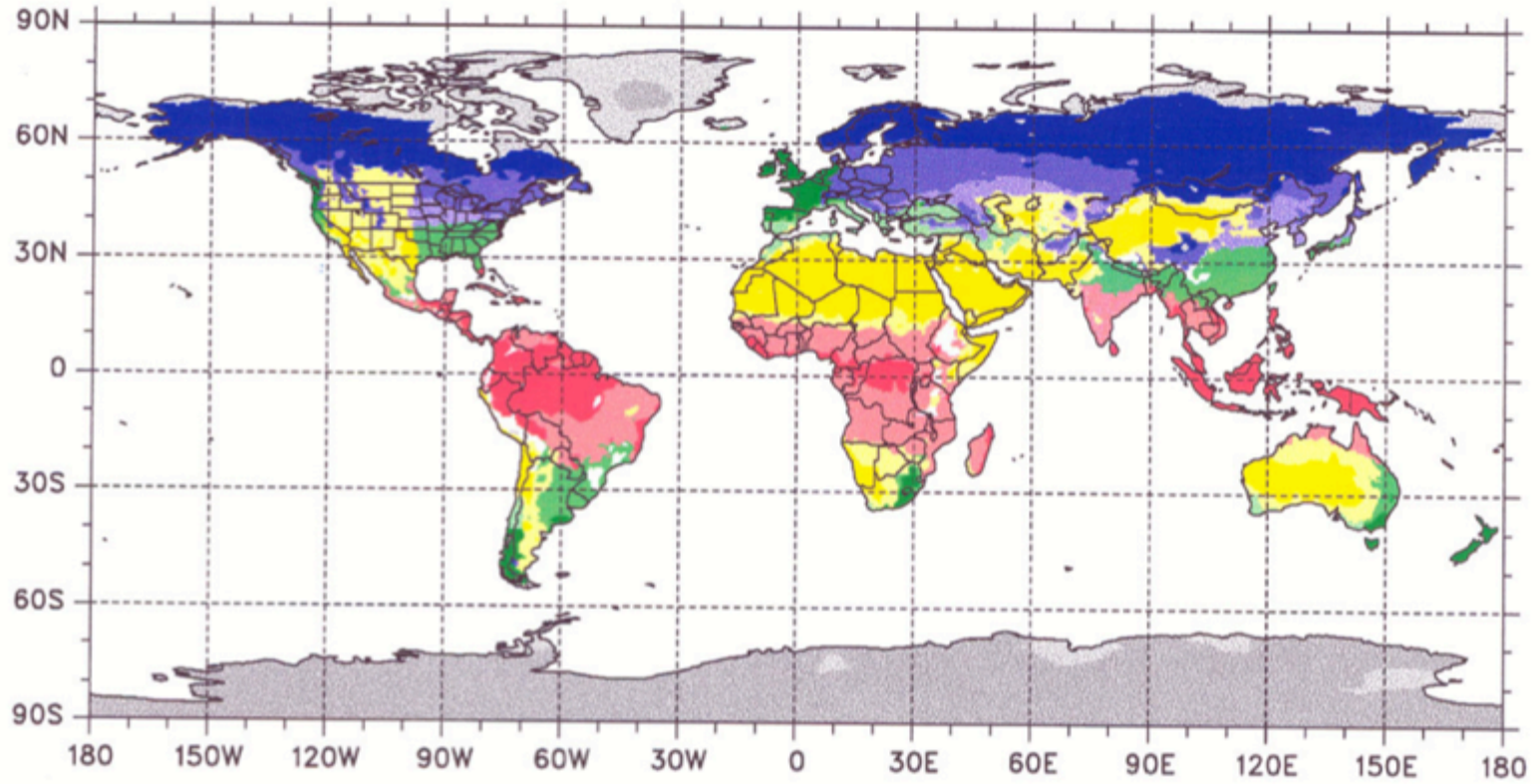
Temperature Zones



Precipitation Zones



Climate Zones



Action des grands facteurs abiotiques sur les êtres vivants

Quelle est l'action des facteurs du climat sur la répartition et le fonctionnement des éléments vivants de la biosphère ? C'est là le domaine de la biogéographie et de l'écophysiologie, dans lequel il n'est pas possible de s'engager sérieusement ici : on se bornera à rappeler quelques généralités sur l'action des grands facteurs écologiques que sont la lumière, la température et l'eau (humidité).

- L'humidité
- La lumière
- La température

L'humidité

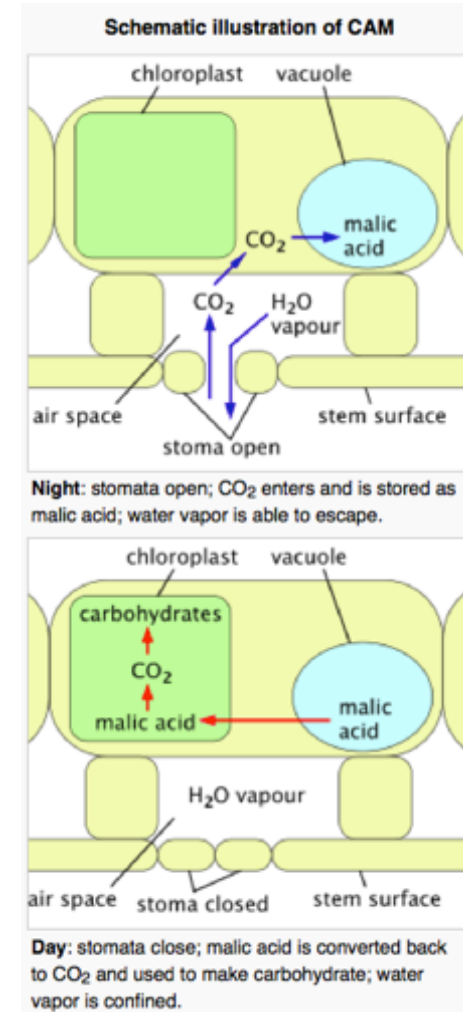
- Organismes : 70% d'eau en moyenne
- Osmose, pour organismes aquatiques :
 - D'eau douce : limiter l'entrée excessive d'eau
 - D'eau salée : limiter la fuite excessive d'eau

Pour conserver l'eau ou l'acquérir, c'est-à-dire pour maintenir l'équilibre de leur balance hydrominérale, les animaux et les plantes ont développé de nombreuses adaptations, aux plans morphologique, physiologique ou comportemental.



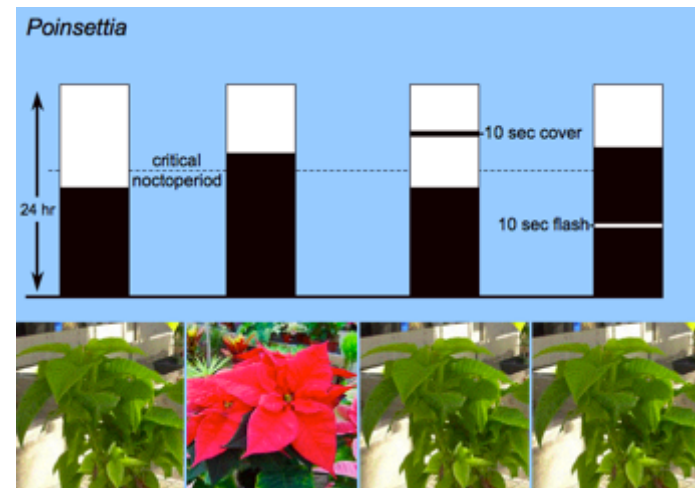
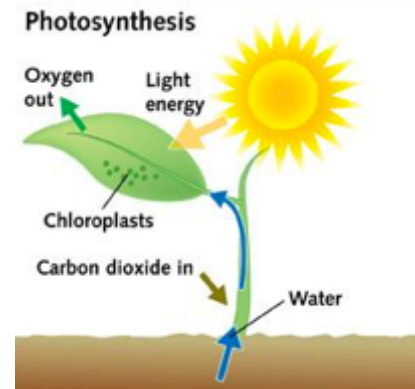
Cactus: adaptation aux conditions de sécheresse:

- la fonction de **stockage** (épaississement de la tige) ;
- la **réduction des surfaces d'évaporation** (épaississement de l'épiderme ; recouvert de cire ; une diminution du nombre de stomates ; **la disparition des feuilles**)
- Métabolisme (Crassulacean acid metabolism, CAM: stomata ouvert la nuit uniquement)



La lumière

- Action énergétique dans la biosphère
 - Détermine la température
 - Organismes (photosynthèse)
 - Bilan de l'énergie de la biosphère
- Stimulus (signale) de comportements / activités, animaux, plantes
 - Intensité, longueur d'ondes, période:
 - « **photopériode** » est prévisible
 - Synchroniseur d'activités rythme saisonnier
 - cycle de reproduction, floraison, migration, ...



La température

- Viable : $0\text{ C} < T < 60\text{ C}$, sauf exceptions
 - <0 : détérioration de cellules par gel
 - >60: déformation de protéines
- Tolérances plutôt plus réduites, surtout poïkilothermes
- T élevées : dessiccation des organismes
 - Donc interaction avec humidité
- La loi de Van 't Hoff ou loi du Q10 :
+10 C $\rightarrow$ vitesse de réactions biochimiques * 2

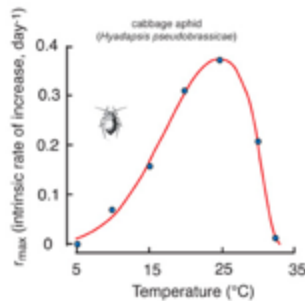
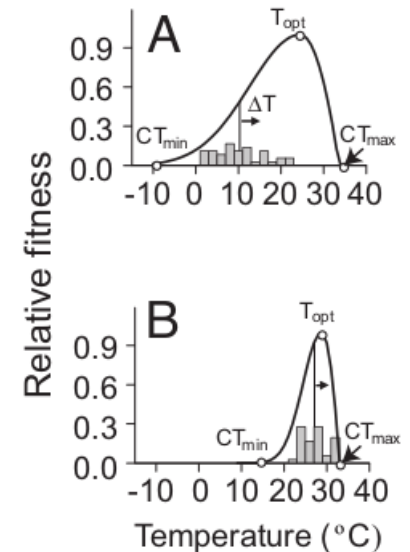


Figure 4: The relationship between an organism's performance and temperature is often humped-shaped and asymmetrical. It increases in an accelerating fashion, reaches a maximum, and then decreases sharply. Only the accelerating section of the curve is adequately described by the Arrhenius-Boltzmann equation (Frazier et al. 2006).

© 2010 Nature Education All rights reserved.

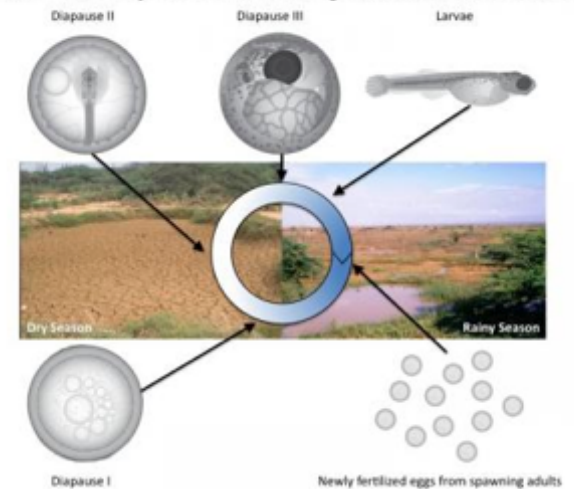


Fitness curves for representative insect taxa from temperate (A) and tropical (B) locations. Fitness curves are derived from measured intrinsic population growth rates versus temperature for 38 species. Source: Deutsch et al (2008) PNAS

Stratégies pour température intolérable

- Comportement ou adaptations physiologiques
 - Migration, enfouissement, hibernation,
 - Stades de résistance (œufs, graines, kystes en état de **diapause** ou **dormance**)
 - Plantes: abaissement de point de congélation par déshydrations ; repos hivernale devenu une étape nécessaire (ex: germination)

The Life Cycle of *Austrofundulus limnaeus*



- Temperature : action majeure sur le fonctionnement et « fitness » des organismes
- Distribution de la température (climat)
- Isothermes juillet / janvier

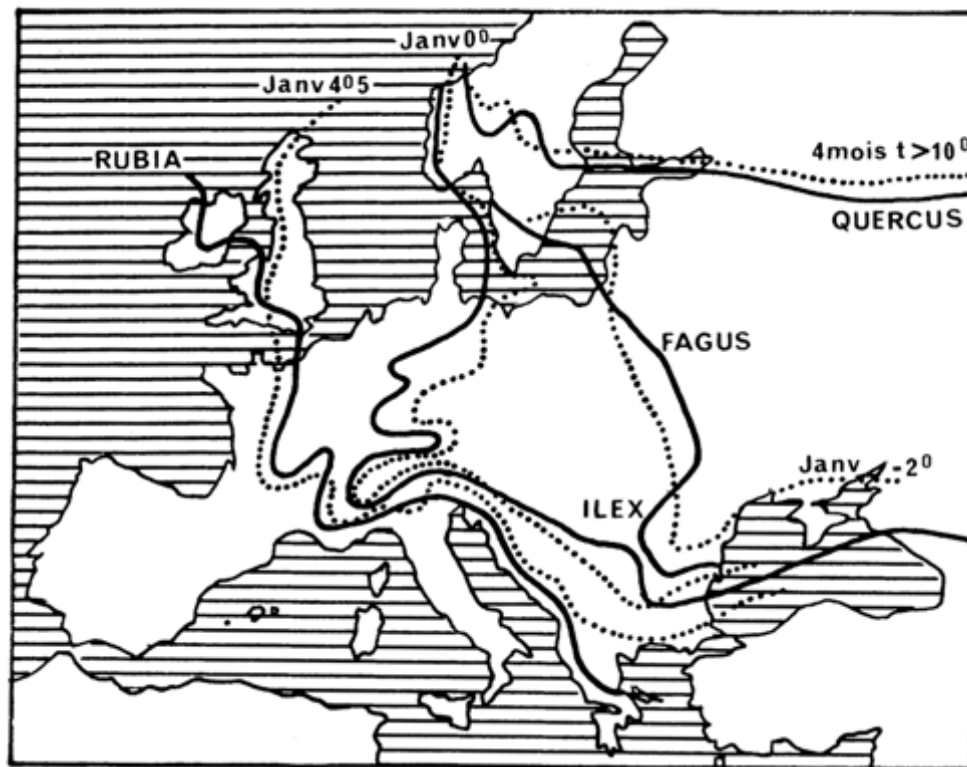
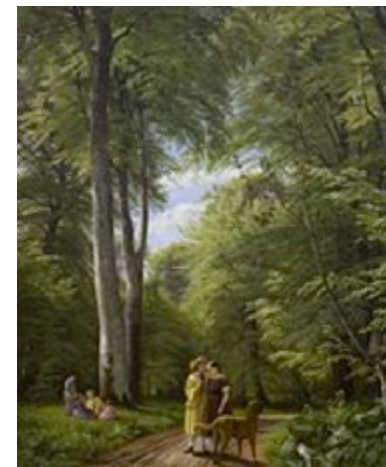
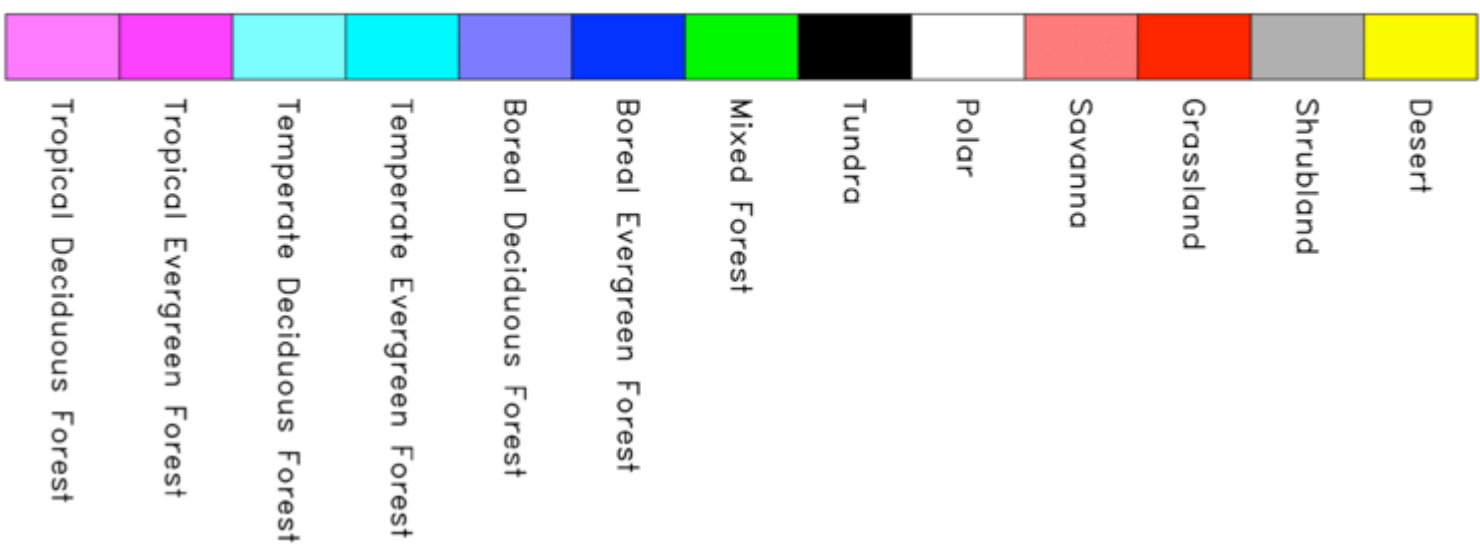
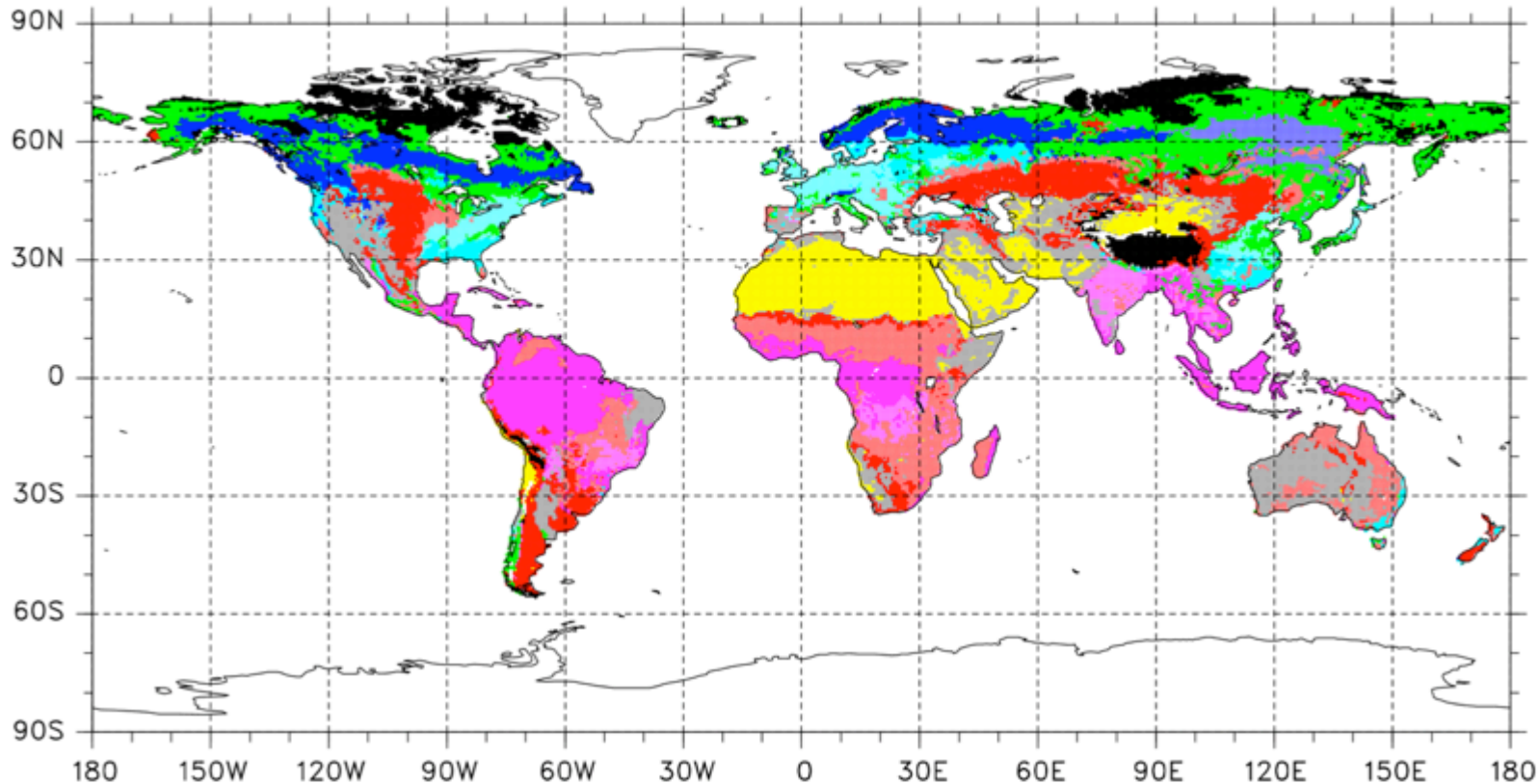


Figure 7

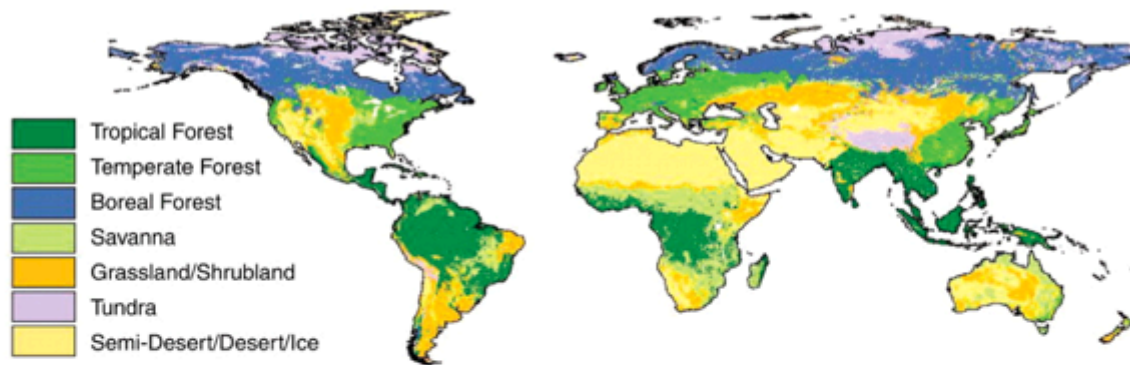
Relations : 1) entre l'isotherme moyen de janvier et les limites géographiques septentrionales et orientales de la garance sauvage (*Rubia peregrina*) et du houx (*Ilex aquifolium*) ; 2) entre l'isotherme « 4 mois à plus de 10 °C » et la limite nord du chêne pédonculé (*Quercus pedunculata*) ; 3) entre l'isotherme de janvier « 2 °C » et la limite orientale du hêtre (*Fagus sylvatica*) (d'après Lemée, 1978).



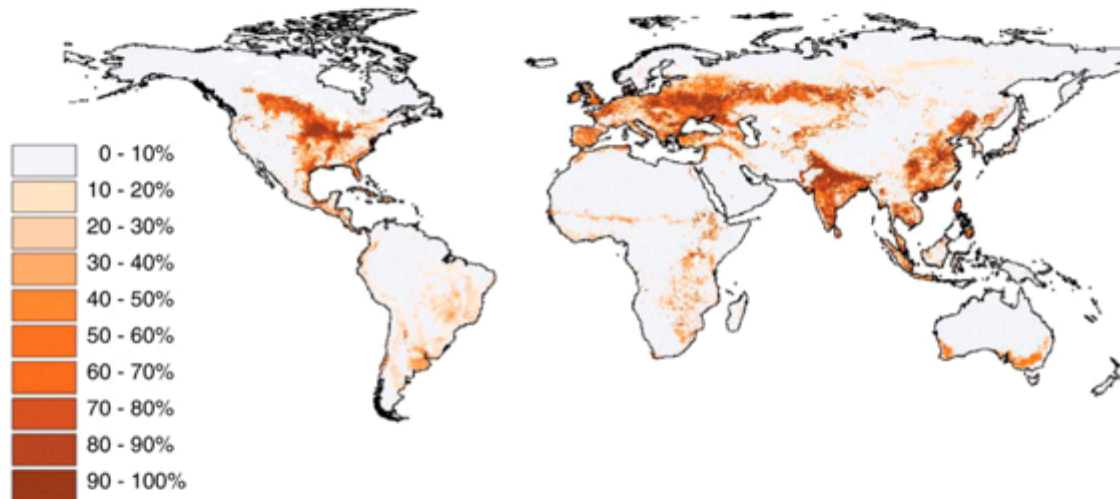
An old English oak in Baginton, England.



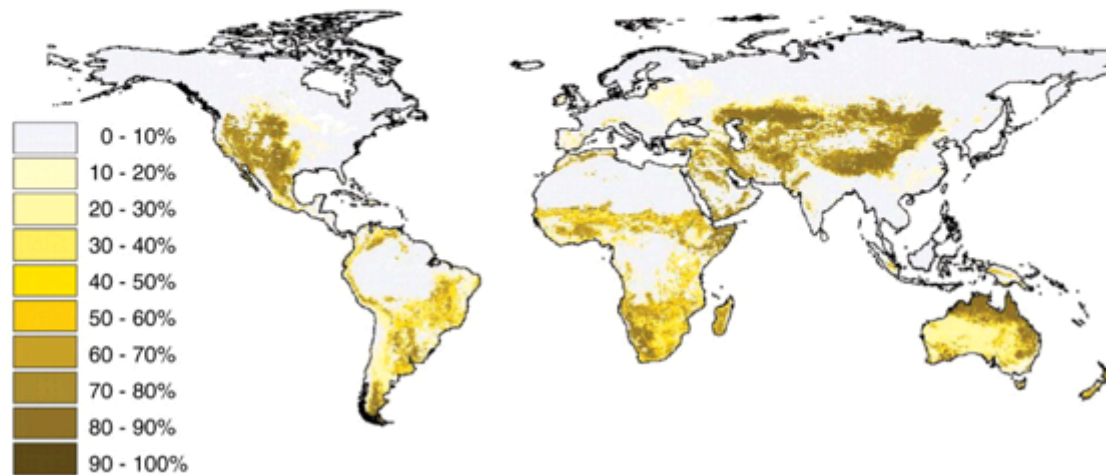
Natural
Vegetation



Croplands



Pastures
and
Rangelands



Bilan énergétique de la biosphère

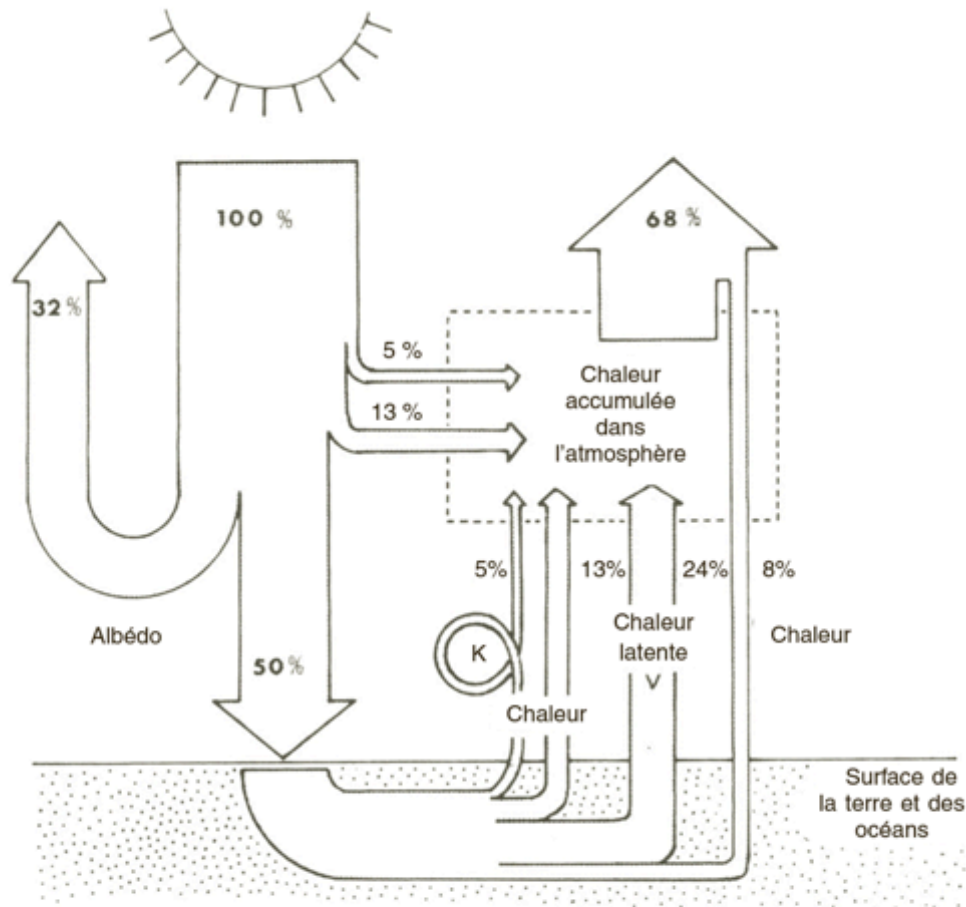


Figure 8 Flux de l'énergie solaire dans la biosphère.

Tectonique des plaques

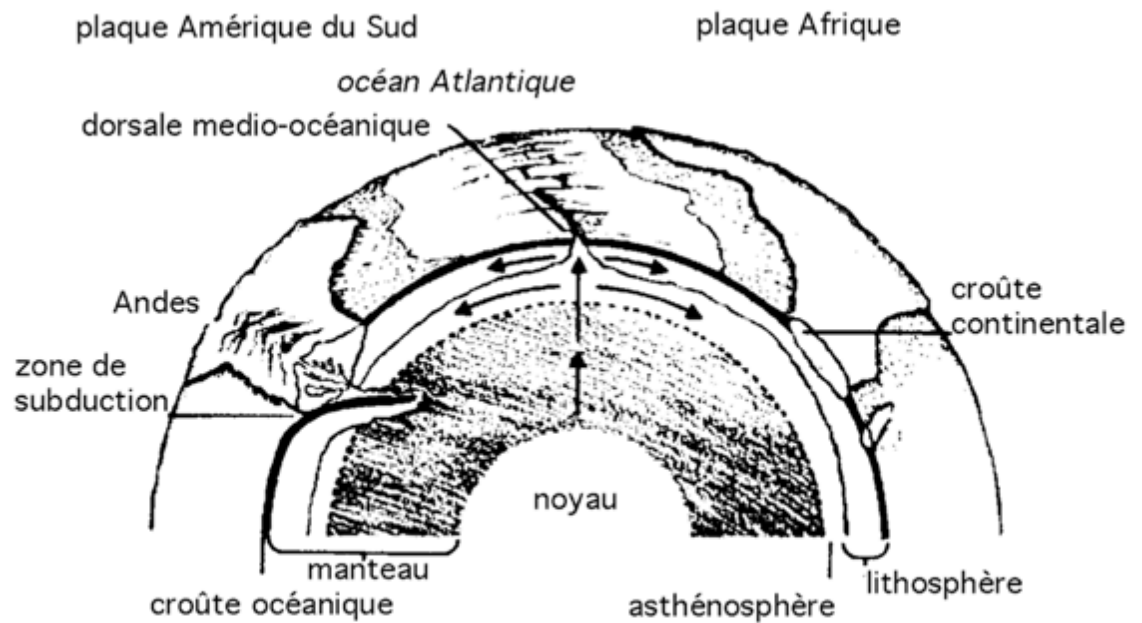
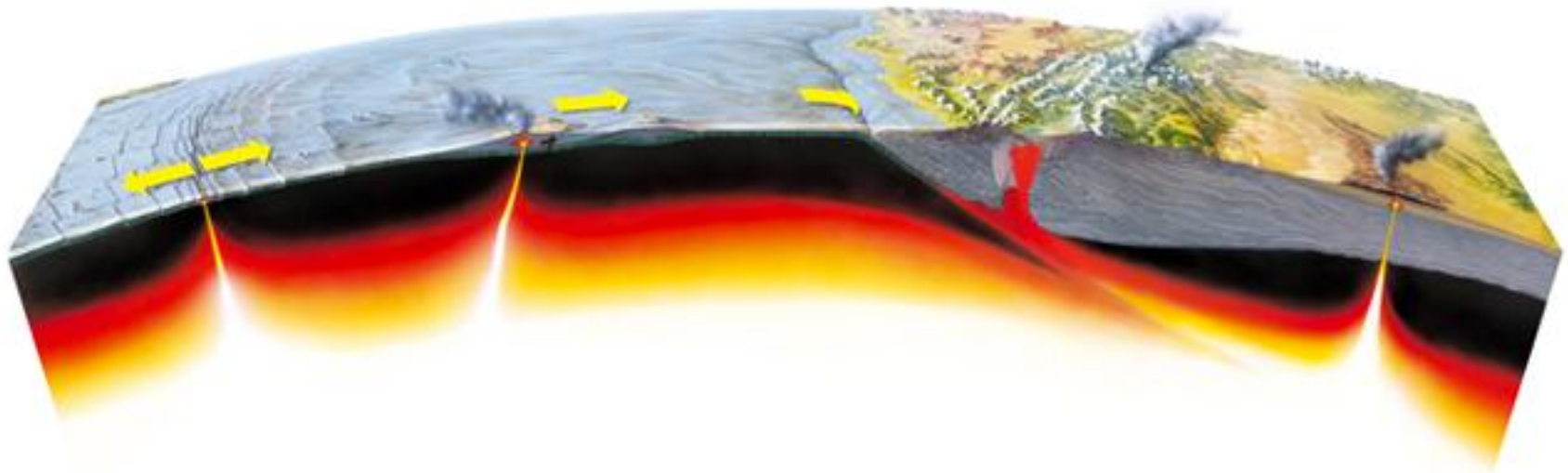
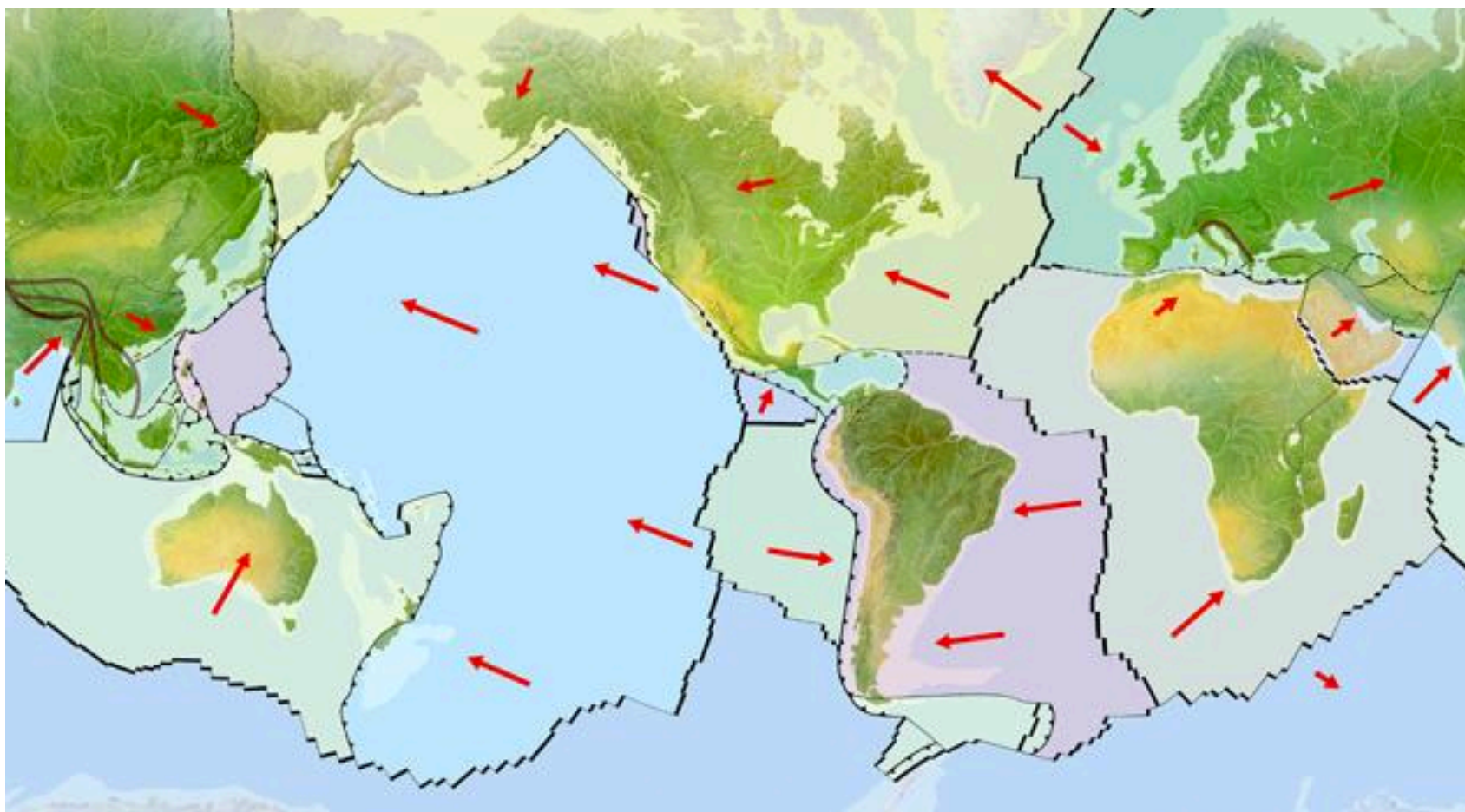


Figure 9 Principe de la tectonique des plaques (D'après Westbroek, 1998).







225 million years ago



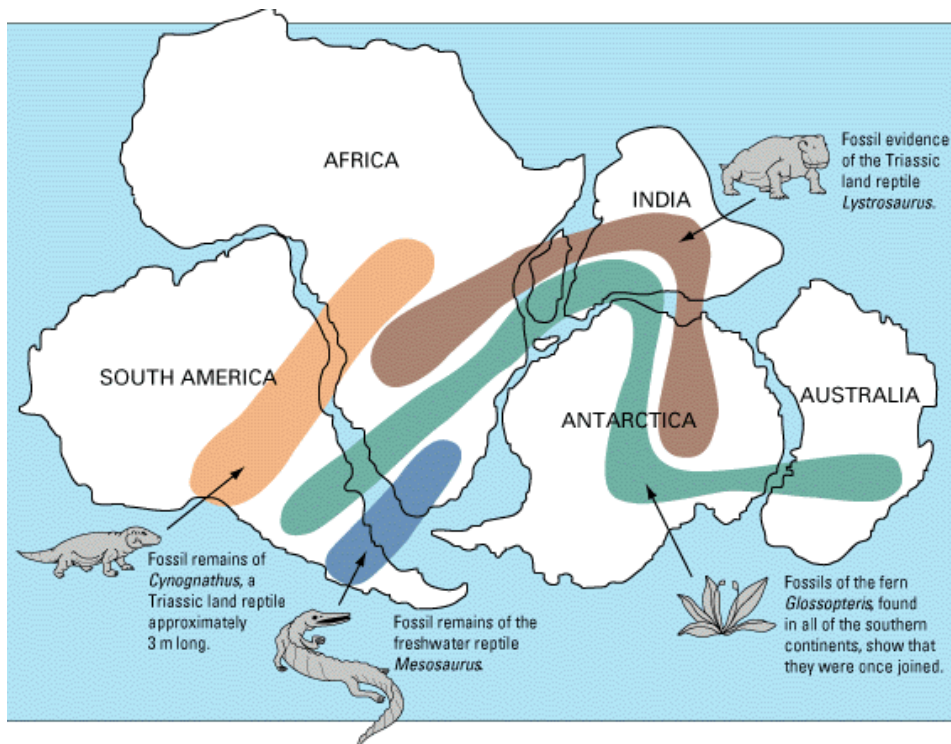
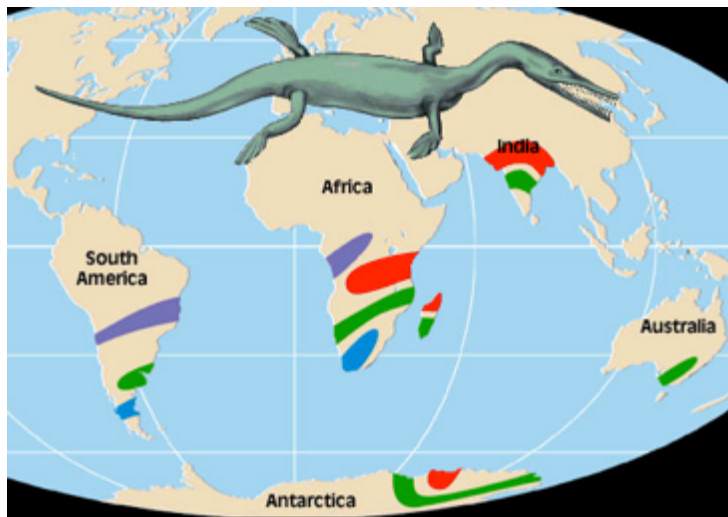
150 million years ago

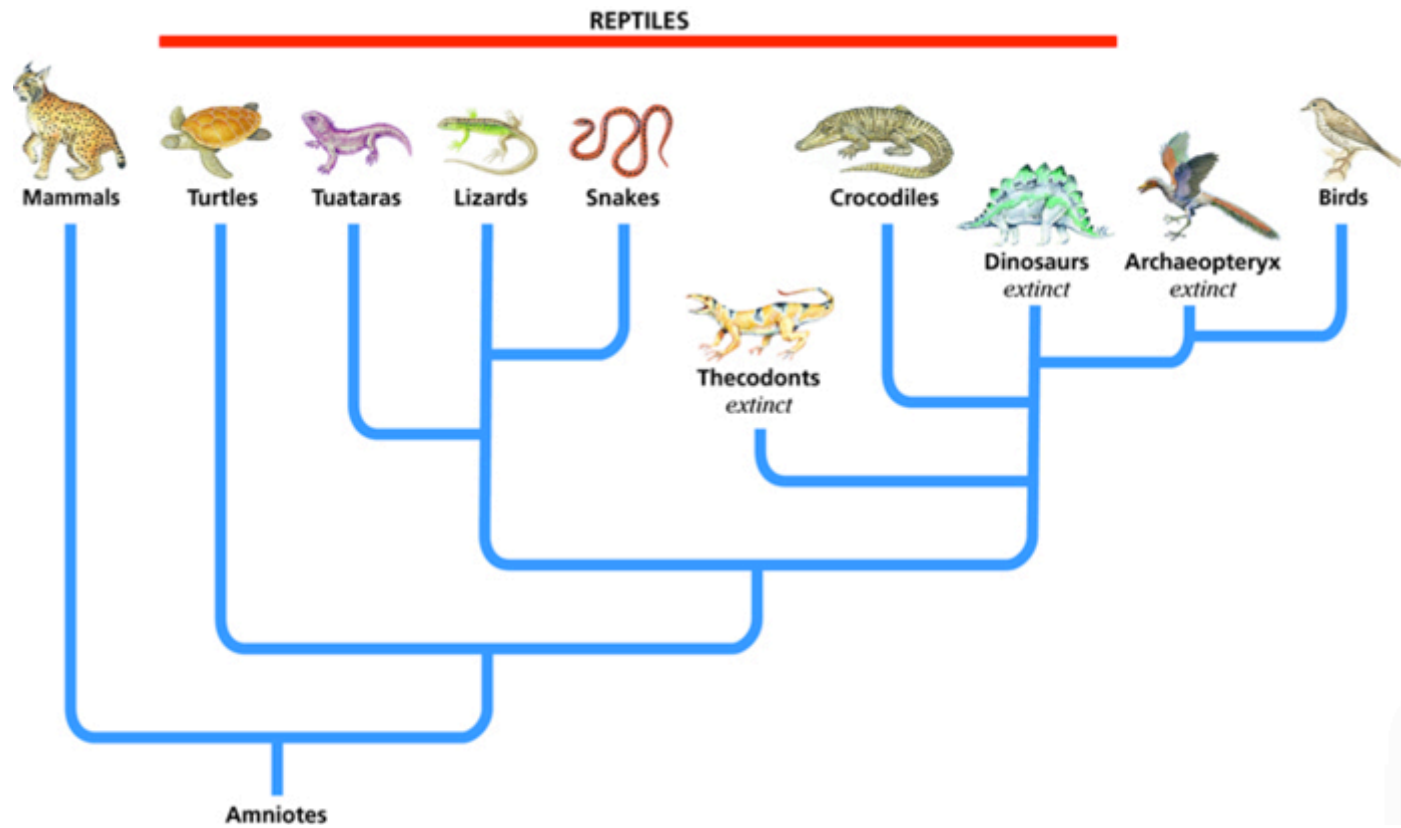


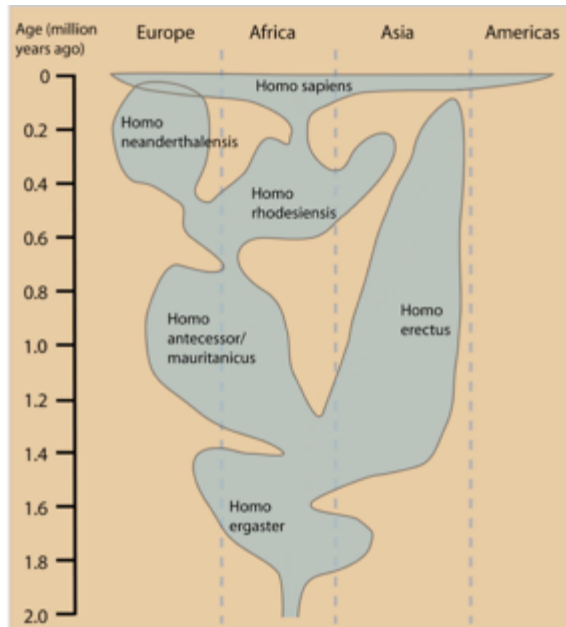
100 million years ago



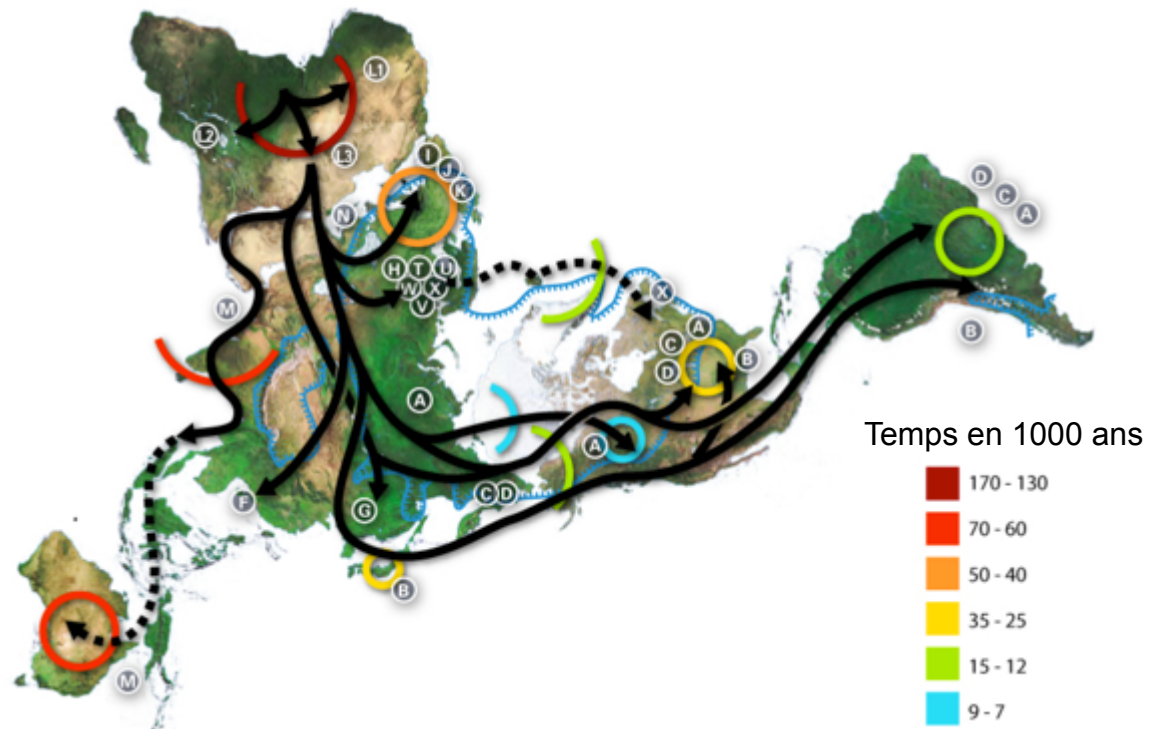
Earth today







One current view of the temporal and geographical distribution of hominid populations^[77] Other interpretations differ mainly in the taxonomy and geographical distribution of hominid species.



STRUCTURE DE LA BIOSPHÈRE

La biosphère

- A cause de
 - Mouvement du globe
 - Diversité des climats
 - Histoire géologique
 - Hétérogénéité de la Terre
 - Action humaine...
- ... La biosphère est une structure hétérogène
- Vastes ensembles, « uniforme », large échelle : **biomes**
- Biosphère
 - Structure spatiale (distribution des biomes)
 - Organisation fonctionnelle

Biomes

- Grandes types de formations vegetales
- Associés au grandes zones climatiques
- Phytocénoces, avec faune associé = **biomes**
- Distingué selon formes végétales dominantes

Les biomes

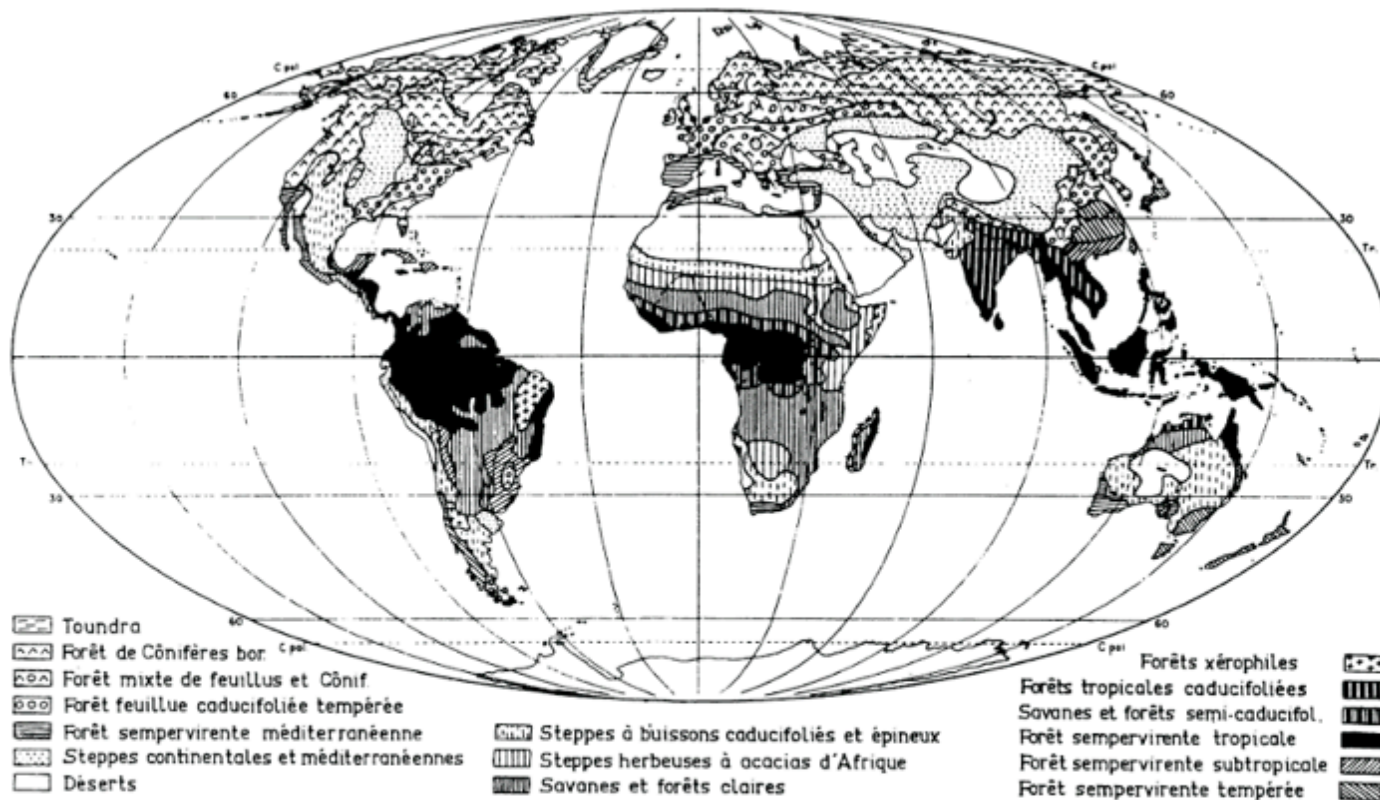
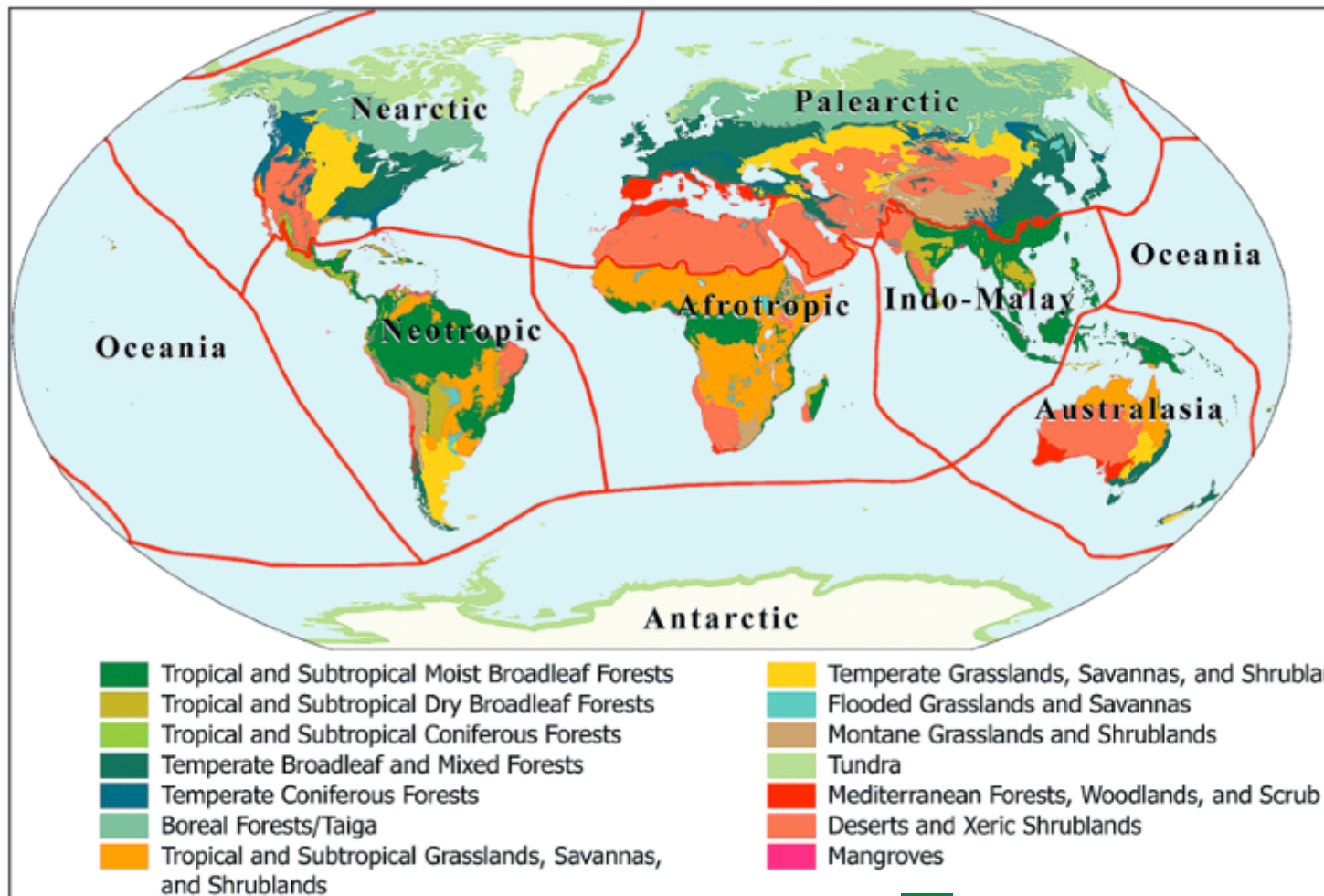


Figure 11 Carte des grands biomes du globe (d'après Lemée, 1978).



Les biomes terrestres

- des forêts sempervirentes tropicales ;
- des forêts tropicales caducifoliées, forêts claires et savanes boisées qui perdent leurs feuilles en saison sèche ;
- des forêts xérophiles, riches en arbres et arbustes épineux ;
- des forêts tempérées de feuillus caducifoliés, qui perdent leurs feuilles pendant la saison froide ;
- des forêts sempervirentes méditerranéennes ;
- des forêts boréales de conifères ;
- des steppes, constituées de graminées xéromorphes distribuées par taches et laissant des espaces dénudés ;
- des savanes, à strate herbacée continue et parsemées d'arbres ou d'arbustes ;
- des déserts.

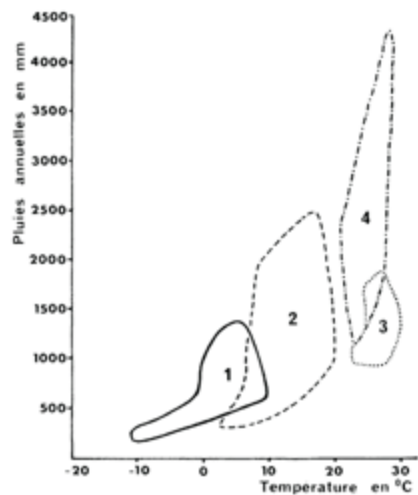
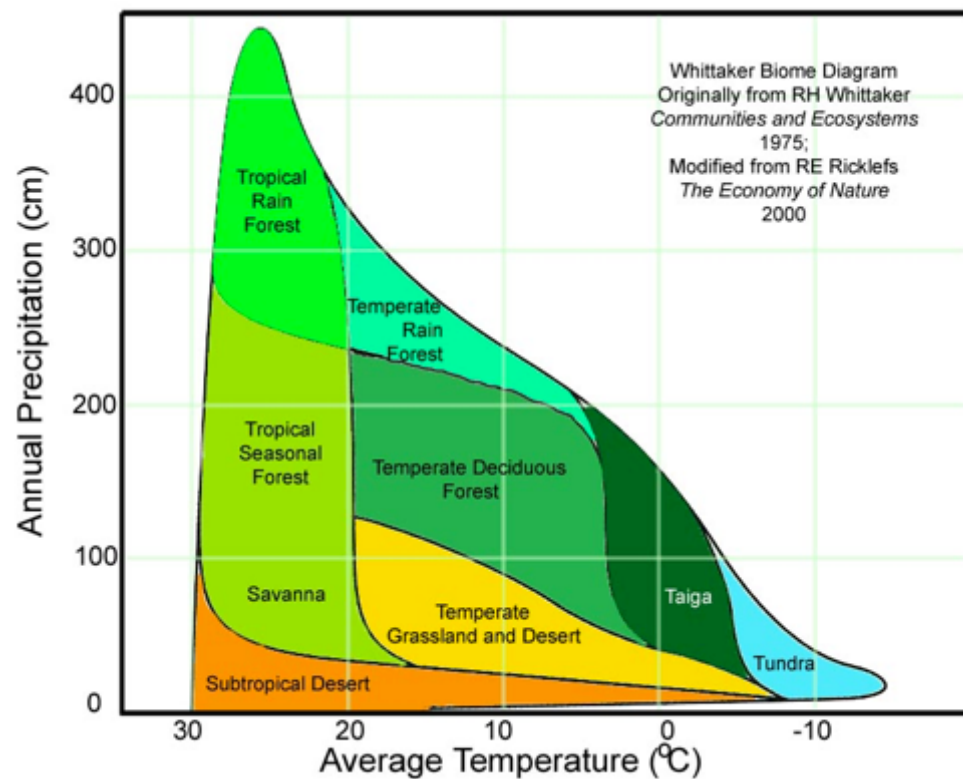


Figure 12 Relations entre la température annuelle moyenne, les précipitations annuelles et quelques grands types de forêts (d'après Lieth, 1975).
 1. forêts boréales ; 2. forêts décidues ; 3. forêts sempervirentes ; 4. pluviisylves.
 Les formes sont les enveloppes des points expérimentaux.



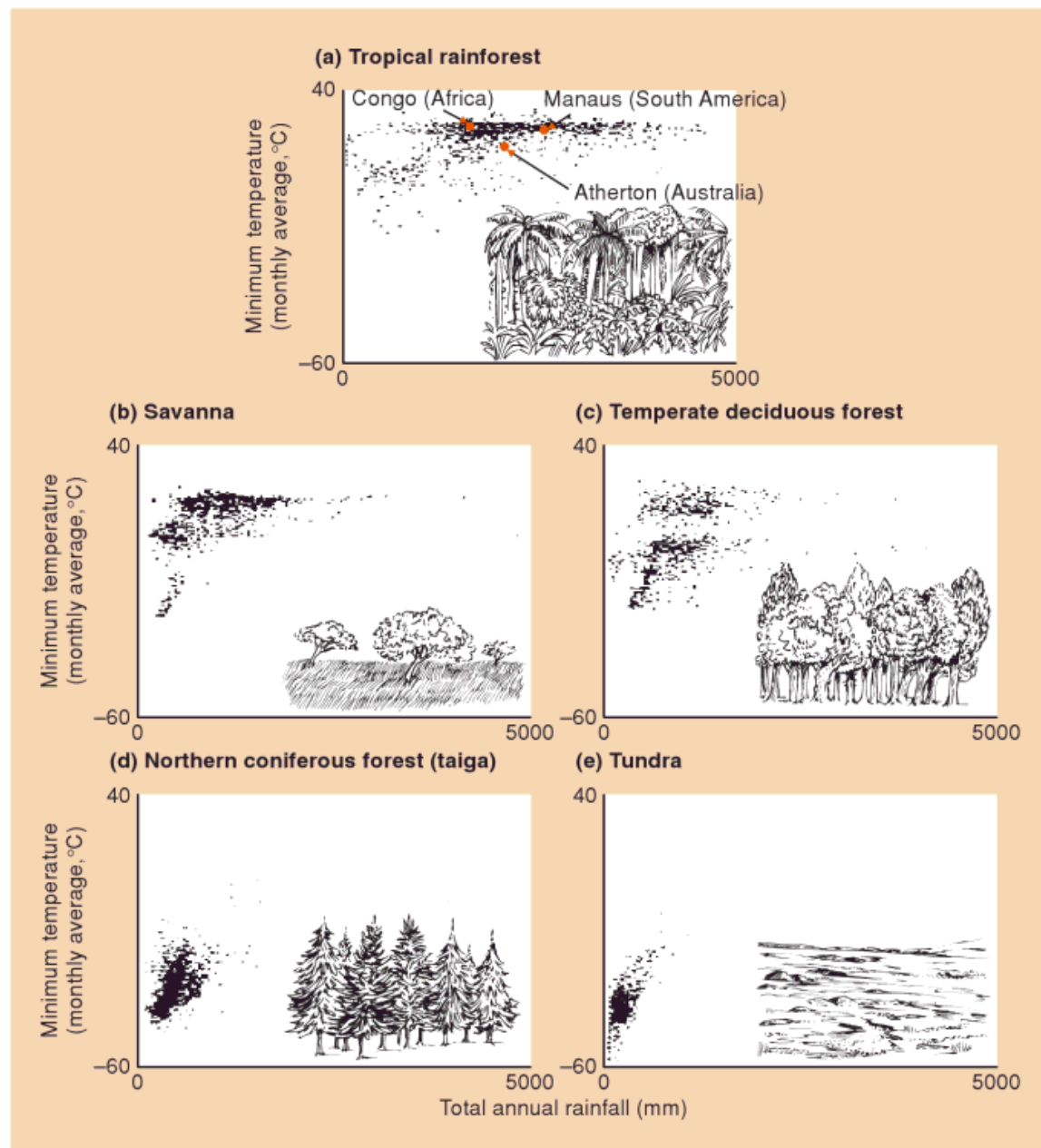


Figure 1.18 The variety of environmental conditions experienced in terrestrial environments can be described in terms of their annual rainfall and mean monthly minimum temperatures. The range of conditions experienced in: (a) tropical rainforest, (b) savanna, (c) temperate deciduous forest, (d) northern coniferous forest (taiga), and (e) tundra. (After Heal *et al.*, 1993; © UNESCO.)

À une échelle plus réduite apparaissent d'autres structures.

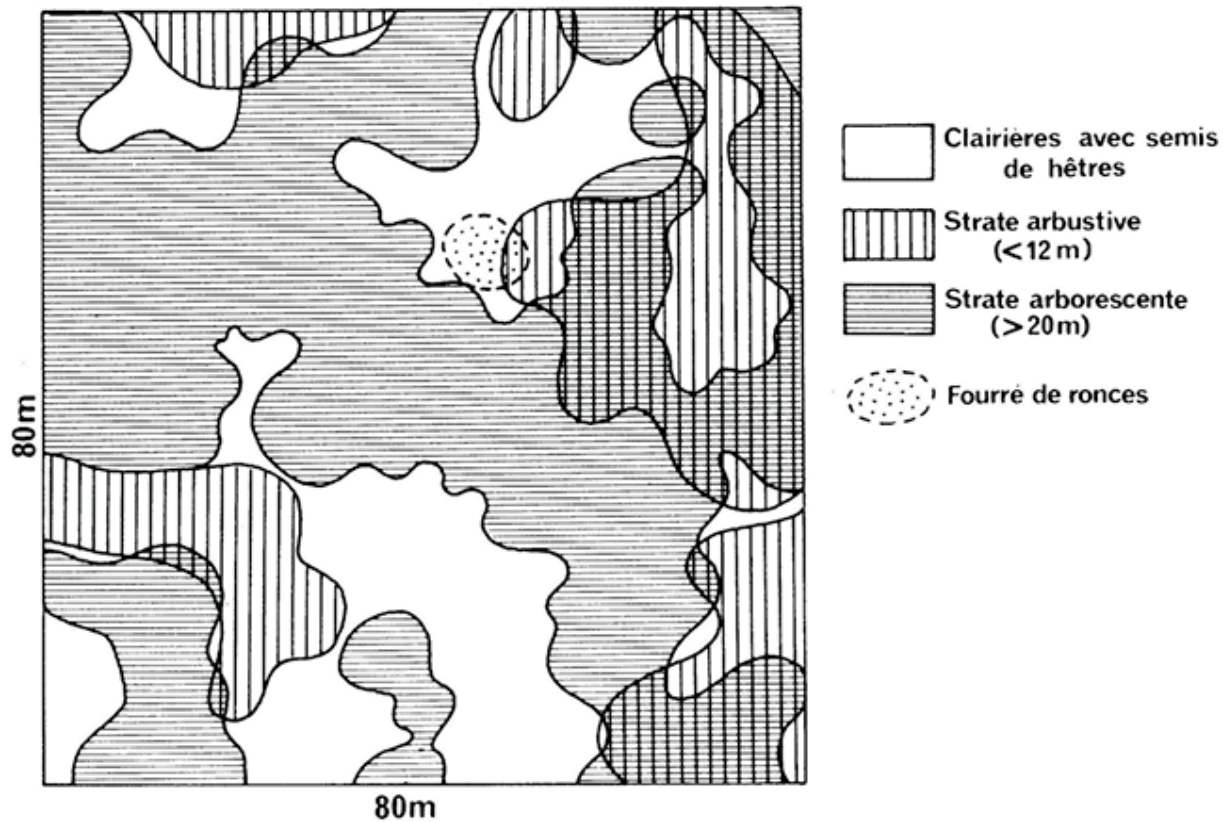
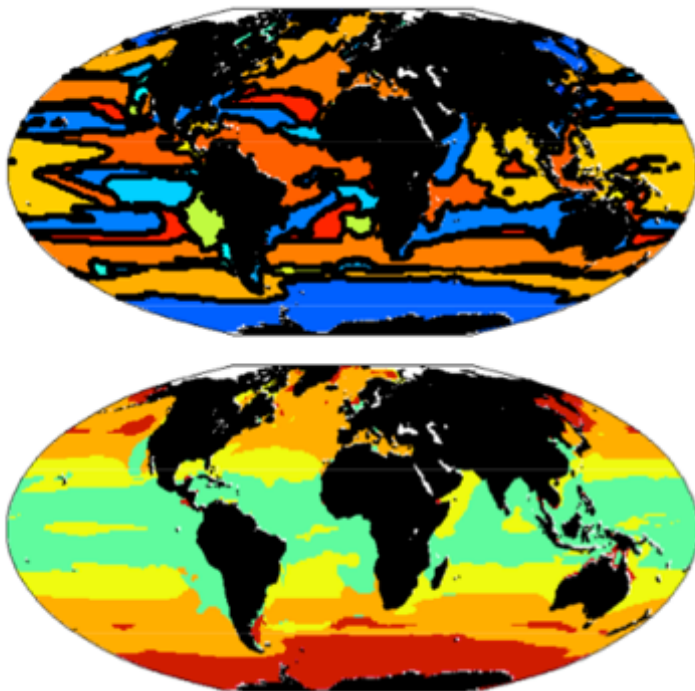


Figure 13 Structure spatiale d'un peuplement naturel de hêtres de la forêt de Fontainebleau (d'après Lemée, 1978).

Marine « biomes »



- Diatoms
- Other large phytoplankton
- Prochlorococcus
- Other small phytoplankton

Figure 1: Multiple-Resource Experiment. (top) Emergent biogeographical provinces, defined by most dominant species, reminiscent of Longhurst (1995). (bottom) Biogeography of four major functional groups: (i) Diatom-analogs (red), (ii) other large phytoplankton (orange), (iii) Prochlorococcus-analogs (green), and (iv) other small phytoplankton (yellow-green).

Follows, M.J., S. Dutkiewicz, S. Grant and S.W. Chisholm, 2007: *Emergent biogeography of microbial communities in a model ocean*. Science, 315, 1843-1846

Structure fonctionnelle (1)

- Organisation **trophique**
 - Producteurs primaires
 - Consommateurs primaires
 - Consommateurs secondaires et +
 - Décomposeurs
- Compartiments schématisés,
- Rassemblent des éléments (types d'organismes, espèces, individus) différents et dispersés, mais homologues, fonctionnel
- Un organisme peut appartenir à plusieurs compartiments. Ex: renard,

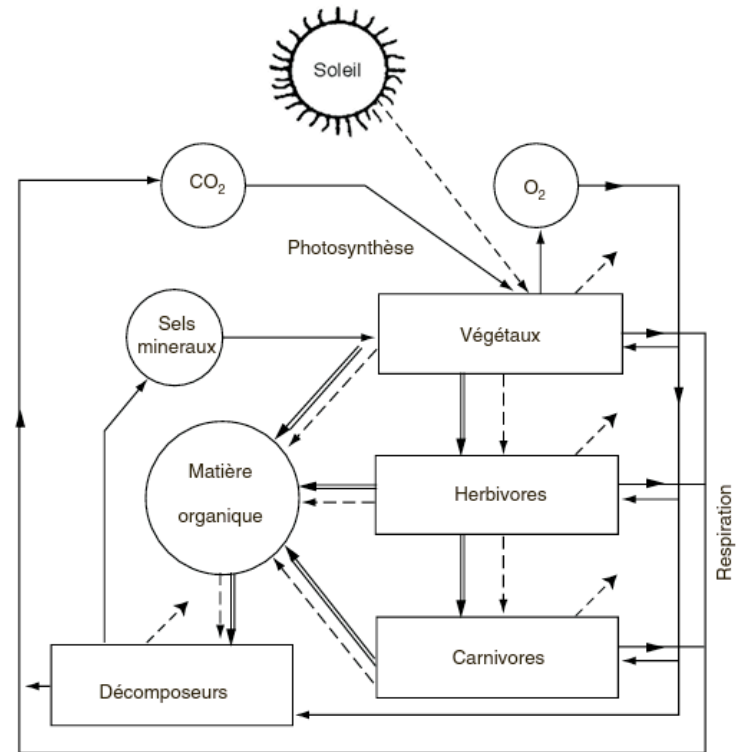
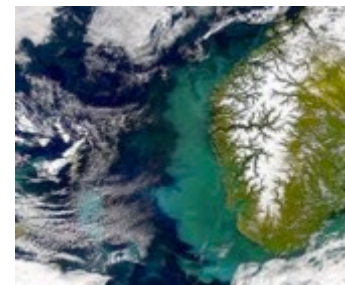
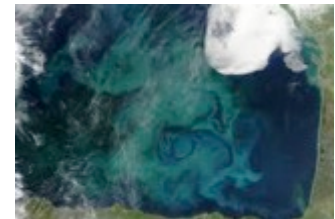
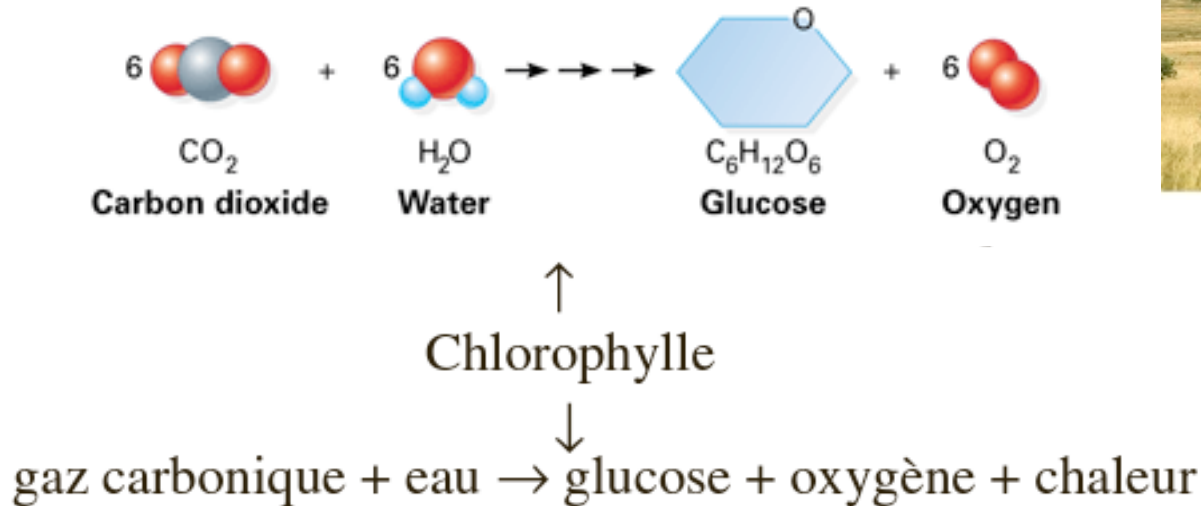


Figure 14 Représentation schématique des principaux compartiments de la biosphère, vivants (rectangles) ou non (cercles) et des principaux flux d'énergie (tireté) et de matière, minérale (trait simple) ou organique (trait double), qui en constituent la trame fonctionnelle.

Producteurs primaires



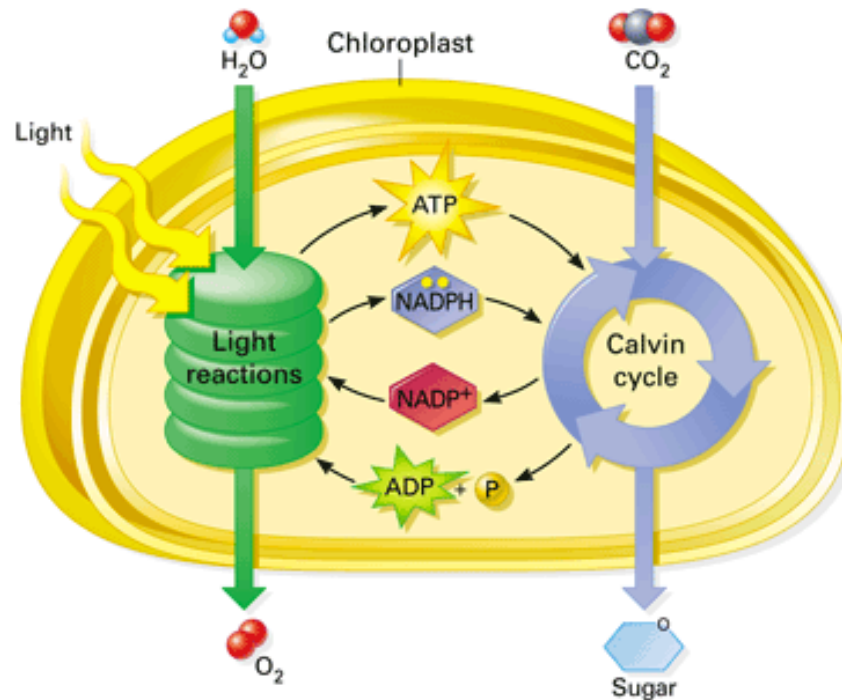
- Vegetaux autotrophes, plantes vertes, phytoplankton, qui utilisent l'énergie solaire pour photosynthèse de substances organiques complexes à partir de substances inorganiques simples
- **Photosynthèse** : production de molécules de glucose de d'oxygène à partir de gaz carbonique de d'eau:



- Energie nécessaire: photons solaires

Photosynthesis occurs in two main stages, each with many steps: the light reactions and the Calvin cycle (Figure 8-4).

The **light reactions** convert the energy in sunlight to chemical energy.



The **Calvin cycle** makes sugar from the atoms in carbon dioxide plus the hydrogen ions and the high-energy electrons carried by NADPH

Figure 8-4

This "road map" shows the two main stages of photosynthesis: the light reactions, which occur in the thylakoids, and the Calvin cycle, which occurs in the stroma.



Consommateurs primaires

- Animaux qui mangent les producteurs primaires
- Herbivores
- Production: croissance, reproduction
 - Depend de la matière organique synthétisée par les plantes ou phytoplancton
 - Producteurs secondaires

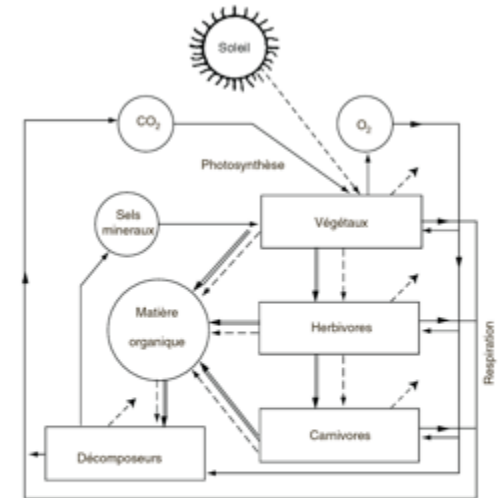
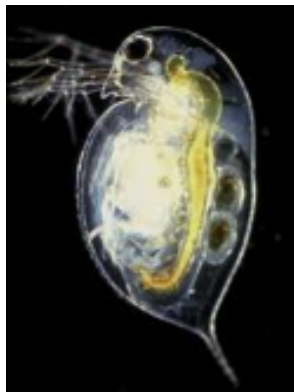


Figure 14 Représentation schématique des principaux compartiments de la biosphère, vivants (rectangles) ou non (cercles) et des principaux flux d'énergie (tireté) et de matière, minérale (trait simple) ou organique (trait double), qui en constituent la trame fonctionnelle.



Consommateurs secondaires

- Carnivores *sensu lato*
- Organismes qui se nourrissent aux dépense d'autres animaux vivants
 - Mangeurs d'herbivores
 - Mangeurs de mangeurs d'herbivores
- Beaucoup d'espèces ne se plient pas à cette classification trophique
 - Omnivores
 - Parasites d'herbivores
 - Etc

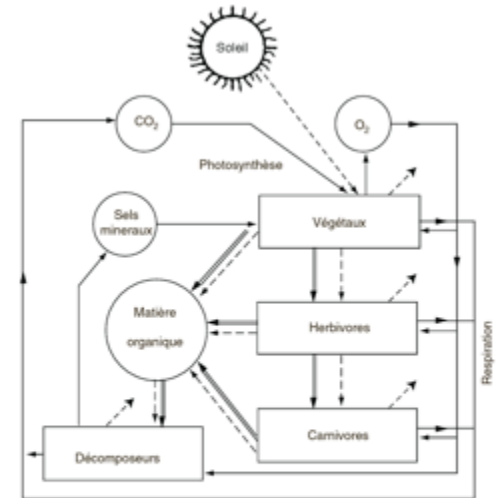


Figure 14 Représentation schématique des principaux compartiments de la biosphère, vivants (rectangles) ou non (cercles) et des principaux flux d'énergie (tireté) et de matière, minérale (trait simple) ou organique (trait double), qui en constituent la trame fonctionnelle.



Décomposeurs

- Invertébrés, champignons et bactéries qui se nourrissent de la matière organique morte
 - Cadavres, litière, excreta, fèces

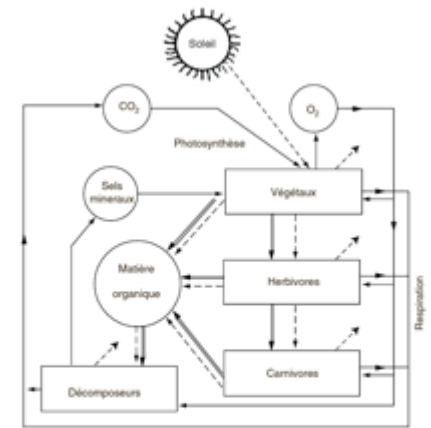
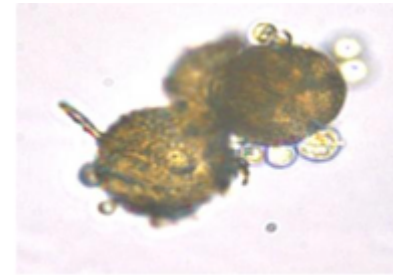
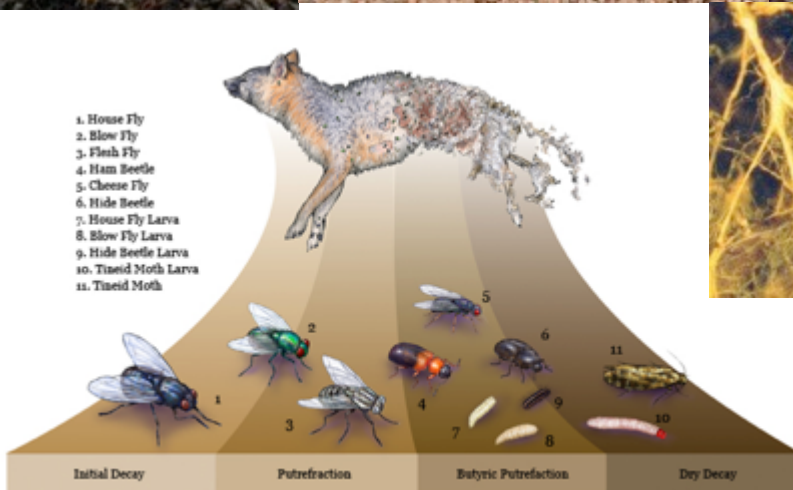
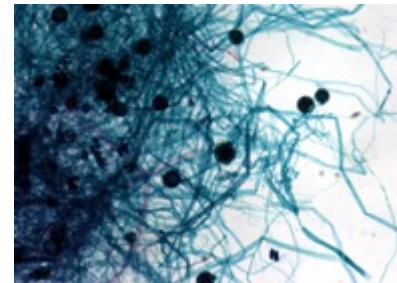


Figure 14 Représentation schématique des principaux compartiments de la biosphère, vivants (rectangles) ou non (cercles) et des principaux flux d'énergie (tireté) et de matière, minérale (trait simple) ou organique (trait double), qui en constituent la trame fonctionnelle.



Labyrinthulomycetes from Peconic Bay are shown growing on pollen grains.



Éléments non-vivants de la biosphère

- Matière organique morte
- Éléments minéraux
- Oxygène, gaz carbonique

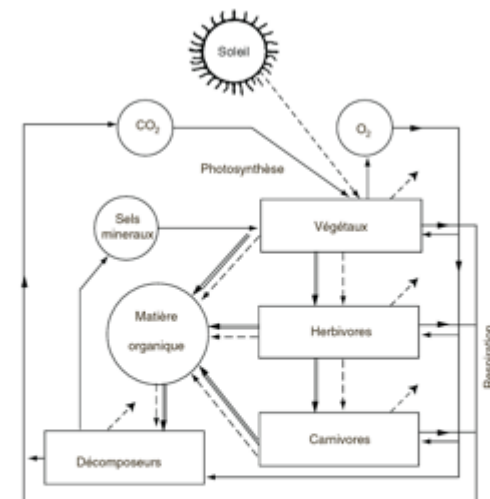


Figure 14 Représentation schématique des principaux compartiments de la biosphère, vivants (rectangles) ou non (cercles) et des principaux flux d'énergie (tireté) et de matière, minérale (trait simple) ou organique (trait double), qui en constituent la trame fonctionnelle.

Transferts de matière et d'énergie

- Processus de:
 - **Production** (synthèse de matière organique)
 - **Consommation** (ingestion de matière organique)
 - **Décomposition** ou **minéralisation** (recyclage de la matière)

La biosphère n'est donc pas tout à fait un superorganisme dont les compartiments figurés sur le schéma seraient les organes. Ce n'est toutefois pas non plus une masse incoordonnée d'organismes indépendants. Il est essentiel de mesurer ici, dès maintenant, que les écosystèmes, qui matérialisent localement l'organisation fonctionnelle de la biosphère, ne sont pas indépendants les uns des autres — c'est-à-dire que le concept d'écosystème ne rend pas inutile celui de biosphère. Les différentes régions de celle-ci sont en effet unies : par l'air et par l'eau qui y circulent largement ; par l'homme, qui y fait partout sentir ses effets. Ainsi la biosphère est bien réelle au plan fonctionnel et non une simple représentation des écologues.



Structure fonctionnelle (2)

- Les cycles biogéochimiques
 - Le cycle de l'eau
 - Le cycle du carbone
 - Le cycle de l'azote

Cycle de l'eau

- Le cycle de l'eau resterait ce qu'il est en absence d'êtres vivants
- Pas un cycle biogéochimique...
- Énergie solaire: évaporation
- Retombe en forme de précipitations
- Océan: bilan négative
- Continents: bilan positive
 - Fleuves
 - infiltration

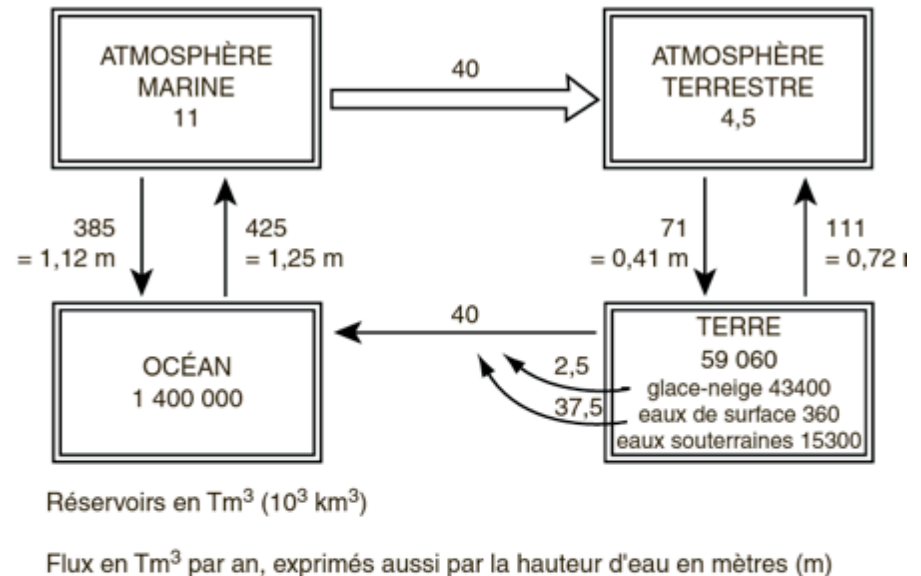


Figure 15 Cycle de l'eau.

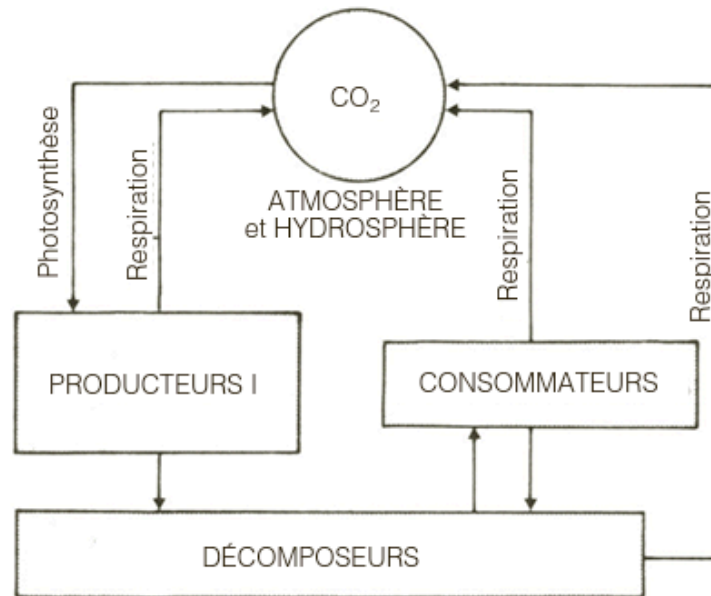
Le cycle de l'eau comporte deux parties principales :

- la partie atmosphérique : transport d'eau par les vents, essentiellement sous forme de vapeur. Le flux dominant va des océans vers les terres, car 86 % de l'évaporation, donc de l'alimentation en eau de l'atmosphère, s'effectue au-dessus de la mer.
- la partie terrestre du cycle, représentée par l'écoulement superficiel ou souterrain des eaux. En fonction du stockage plus ou moins long dans des réservoirs comme les lacs et plaines d'inondation, et dans des nappes souterraines, la durée entre les précipitations et le retour à la mer varie fortement (d'après Jacques, 1996).

Cycle du carbone

Figure 16 Voies et mécanismes fondamentaux du cycle du carbone impliquant les êtres vivants.

Le cycle de l'oxygène peut être donné par le même type de schéma en substituant O_2 à la place de CO_2 et en inversant le sens des flèches « respiration » et « photosynthèse ».



Carbone:

49% du poids sec des organisms,

25% de la composition par atomes de la biosphère

H: 49,8%, O: 25%, C: 25%

Cycle de carbone

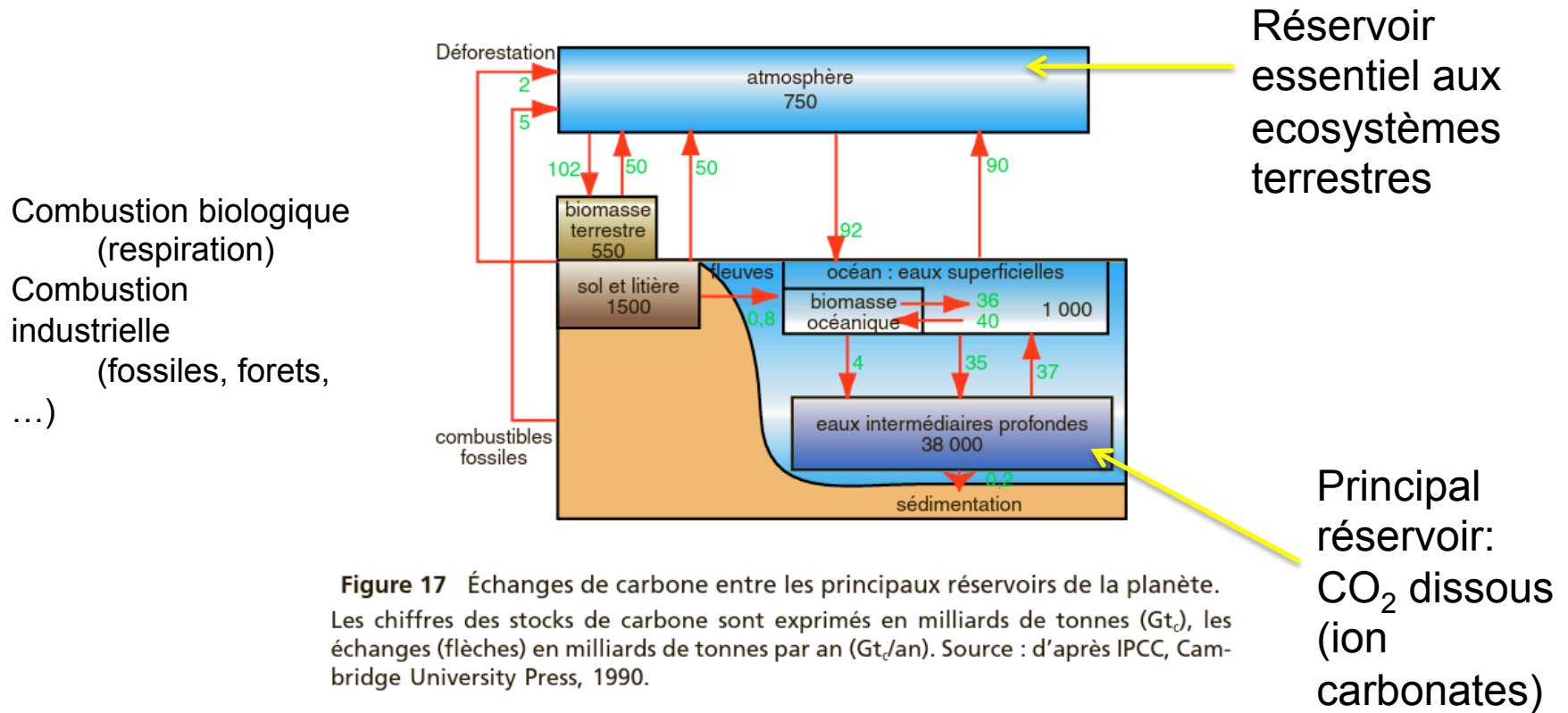
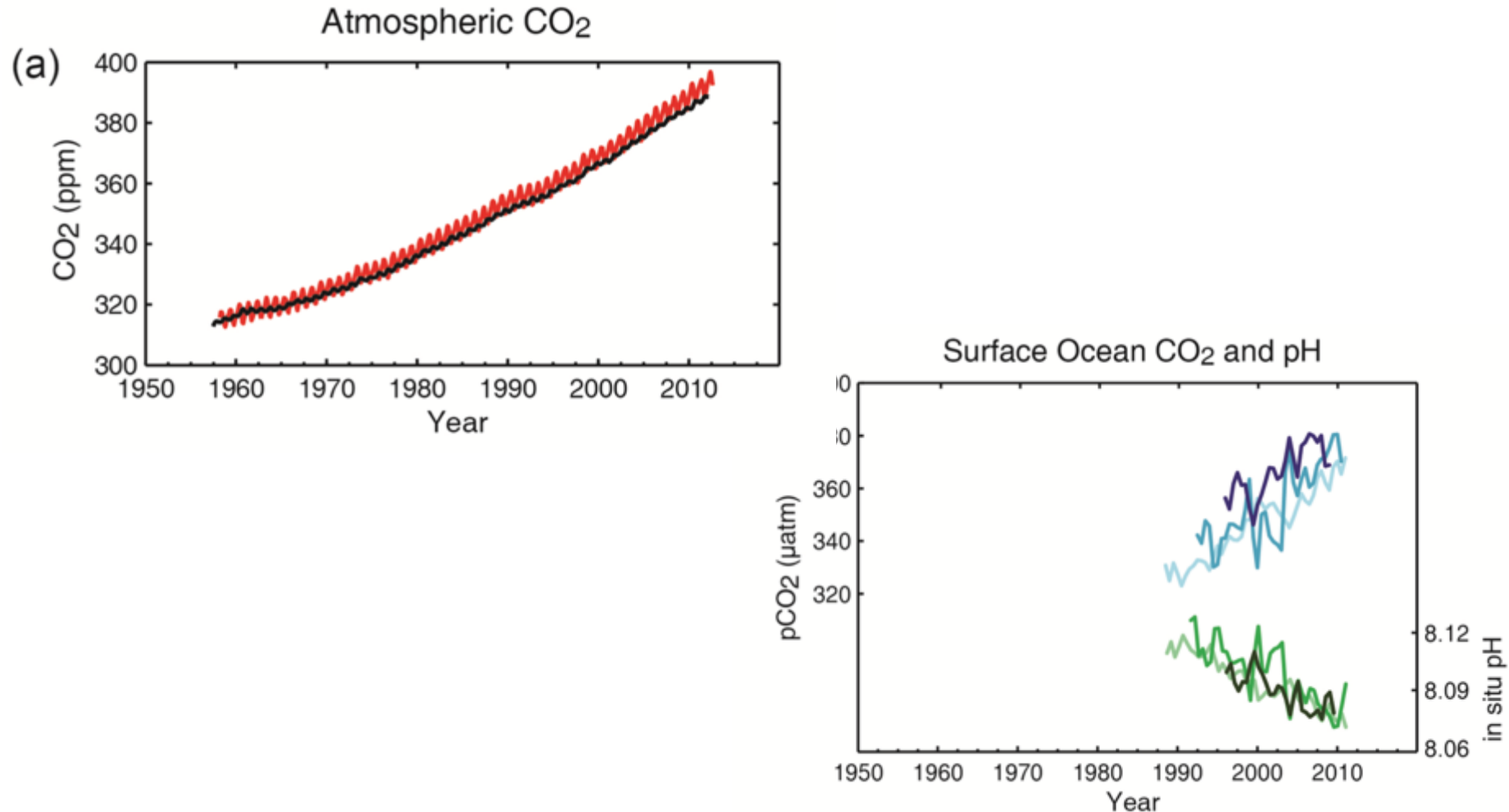


Figure 17 Échanges de carbone entre les principaux réservoirs de la planète. Les chiffres des stocks de carbone sont exprimés en milliards de tonnes (Gt), les échanges (flèches) en milliards de tonnes par an (Gt/an). Source : d'après IPCC, Cambridge University Press, 1990.

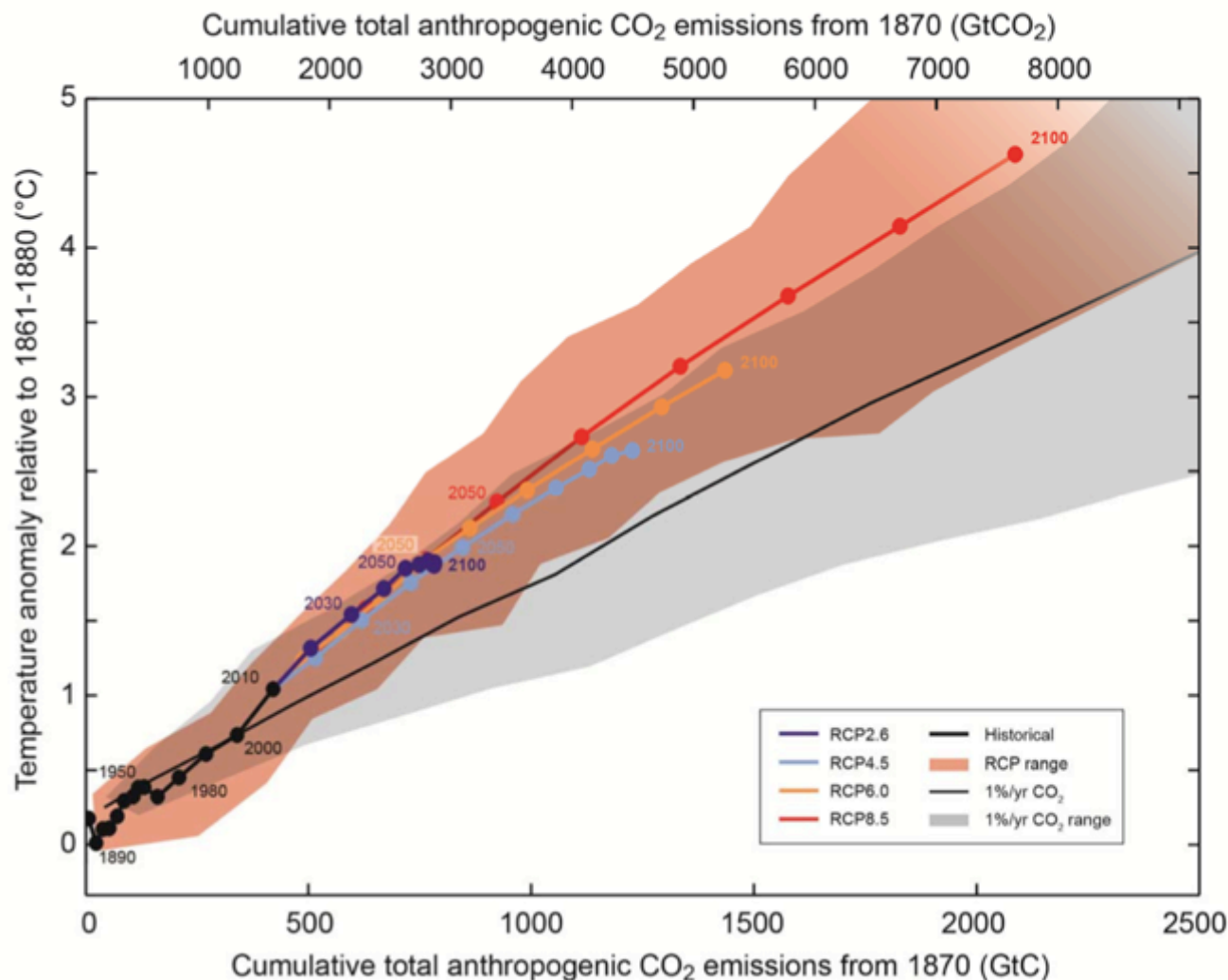
The atmospheric concentrations of carbon dioxide (CO_2), methane, and nitrous oxide have increased to levels unprecedented in at least the last 800,000 years. CO_2 concentrations have increased by 40% since pre-industrial times, primarily from fossil fuel emissions and secondarily from net land use change emissions. The ocean has absorbed about 30% of the emitted anthropogenic carbon dioxide, causing ocean acidification (see Figure SPM.4). {2.2, 3.8, 5.2, 6.2, 6.3}

Figure SPM.4 [FIGURE SUBJECT TO FINAL COPYEDIT]



Cumulative emissions of CO₂ largely determine global mean surface warming by the late 21st century and beyond (see Figure SPM.10). Most aspects of climate change will persist for many centuries even if emissions of CO₂ are stopped. This represents a substantial multi-century climate change commitment created by past, present and future emissions of CO₂. {12.5}

Figure SPM.10 [FIGURE SUBJECT TO FINAL COPYEDIT]



Cycle de l'azote

- Atmosphère très riche en azote (79%) mais inaccessible : N_2
- Principale réservoir pour organismes: azote organique (urée, protéines, acides nucléiques) et minéral (ammoniac, nitrite, nitrate)
- Cycle d'azote: transformations chimique, l'œuvre d'un petit nombre d'organismes spécialisés:
- **Fixation de l'azote** ($N_2 \rightarrow NH_3, NO_3$)
 - Physico-chimique (7,5 M tonnes)
 - Fixation biologique (44 M tonnes) bactéries, phytoplankton, champignons. Symbiotiques: *Rhizobium* (légumineuses, nodosités)
 - Synthèse industrielle (30 M tonnes en 1970...)
- L'ammonification
- La nitrification
- La dénitrification



L'ammonification

Le métabolisme des êtres vivants implique l'élimination de déchets azotés. Les cadavres constituent aussi partiellement une source de matière azotée organique. De nombreux organismes hétérotrophes, bactéries, actinomycètes et champignons, vivent de ces substrats organiques en libérant de l'azote inorganique (NH_4^+). C'est un processus de minéralisation appelée ammonification. L'énergie est utilisée par les bactéries.

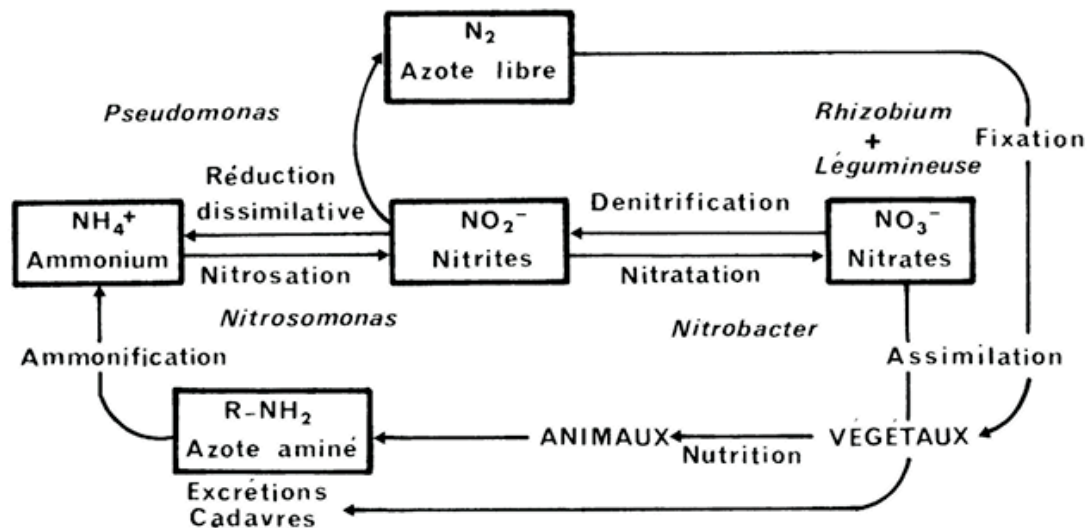


Figure 19 Voies et mécanismes fondamentaux du cycle de l'azote impliquant les êtres vivants.

La nitrification

La plupart des organismes ne peuvent utiliser l'azote sous forme d'ammonium et celui-ci doit être transformé en nitrate. Cette nitrification se déroule en deux étapes, la nitrosation — conversion de l'ammonium en nitrite ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$) — et la nitratisation — conversion du nitrite en nitrate ($\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$). Chacune est contrôlée par des micro-organismes spécifiques, tels que les *Nitrosomonas* dans le premier cas et les *Nitrobacter* dans le second.

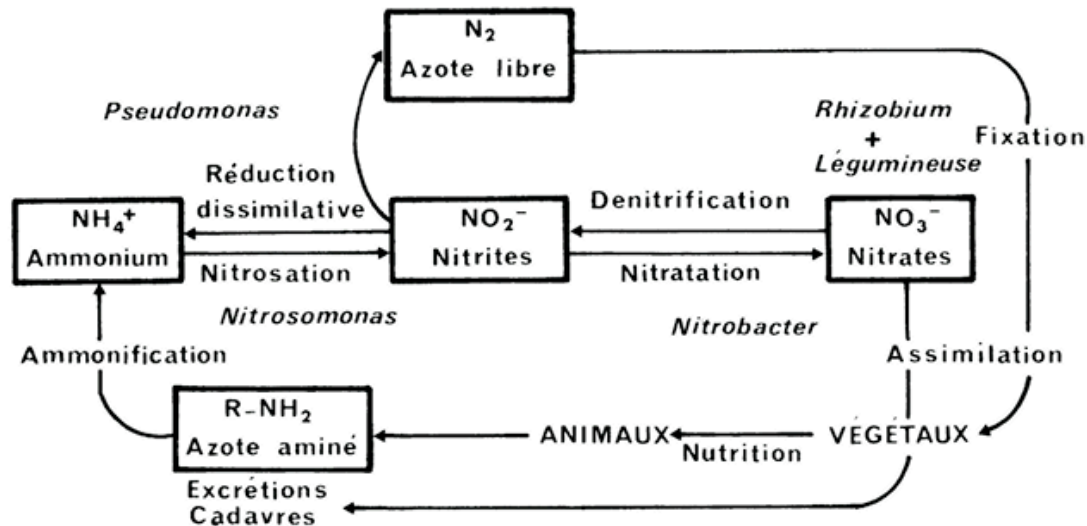


Figure 19 Voies et mécanismes fondamentaux du cycle de l'azote impliquant les êtres vivants.

La dénitrification

La nitrification rend l'azote utilisable pour le métabolisme des êtres vivants. Cependant, certains organismes sont capables de couper le cycle en convertissant les nitrates en nitrites (bactéries telles que *Pseudomonas* et champignons) puis les nitrites en ammonium.

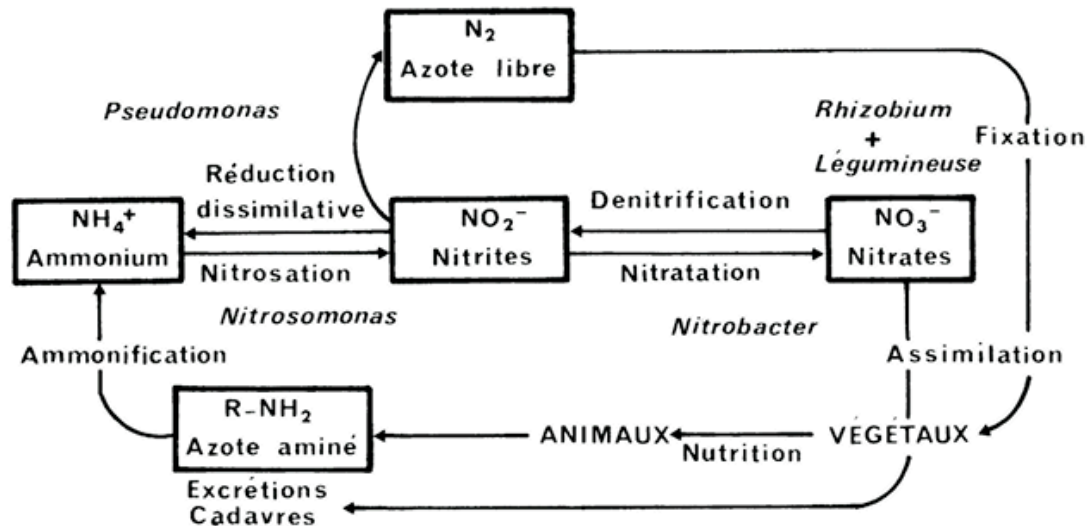


Figure 19 Voies et mécanismes fondamentaux du cycle de l'azote impliquant les êtres vivants.

Le cycle d'azote

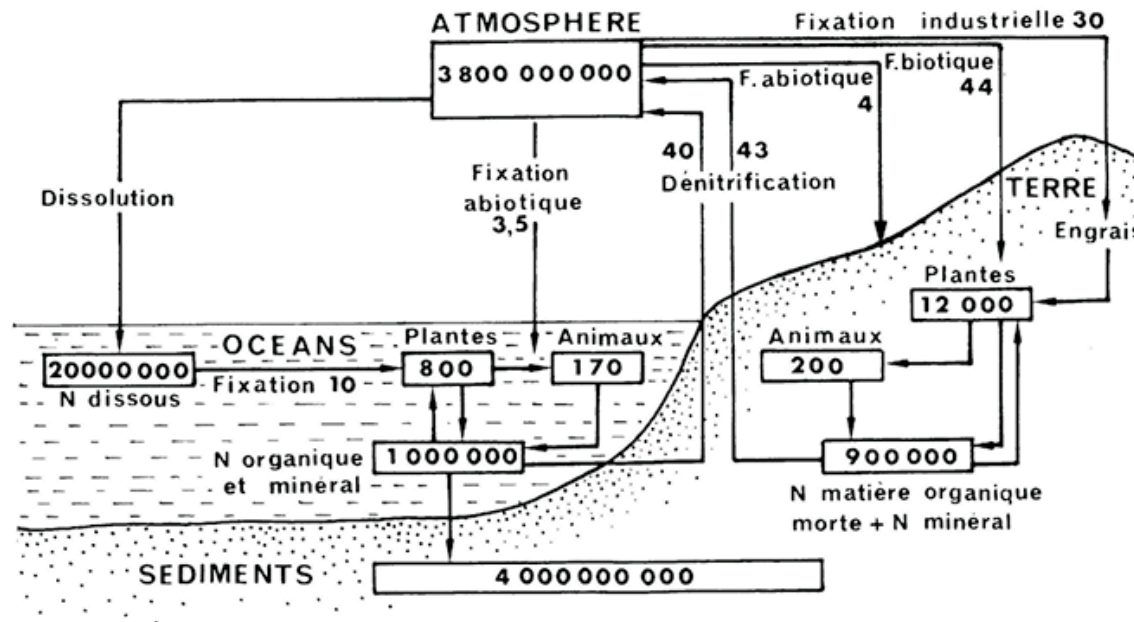


Figure 18 Cycle de l'azote dans la biosphère.

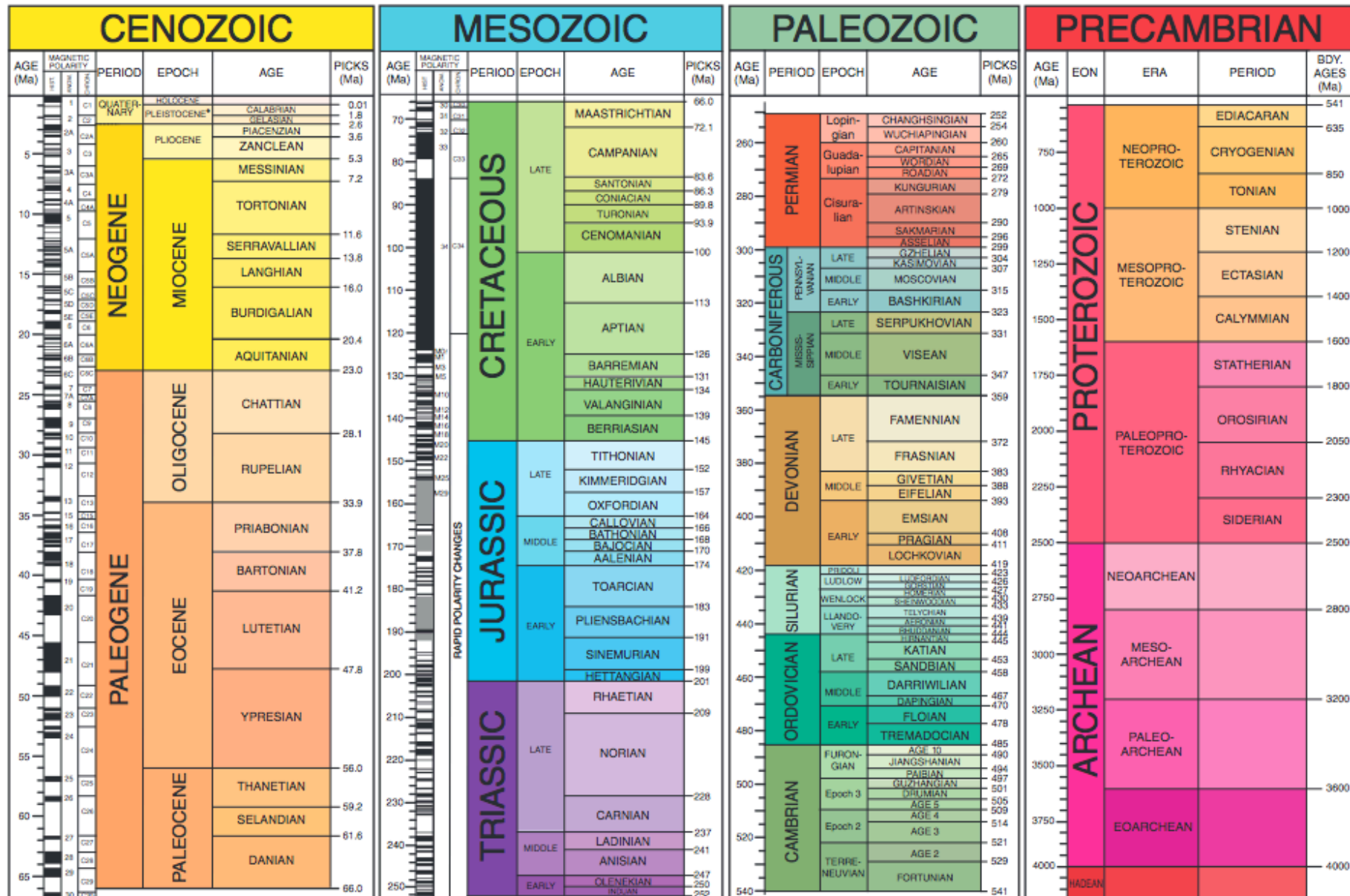
Les biomasses et réservoirs figurent dans les rectangles et les échanges annuels en azote sont donnés à côté des flèches correspondantes. Les chiffres, d'après Delwiche (1970), sont en millions de tonnes de N.

L'HISTOIRE DE LA BIOSPHÈRE

L'histoire de la biosphère

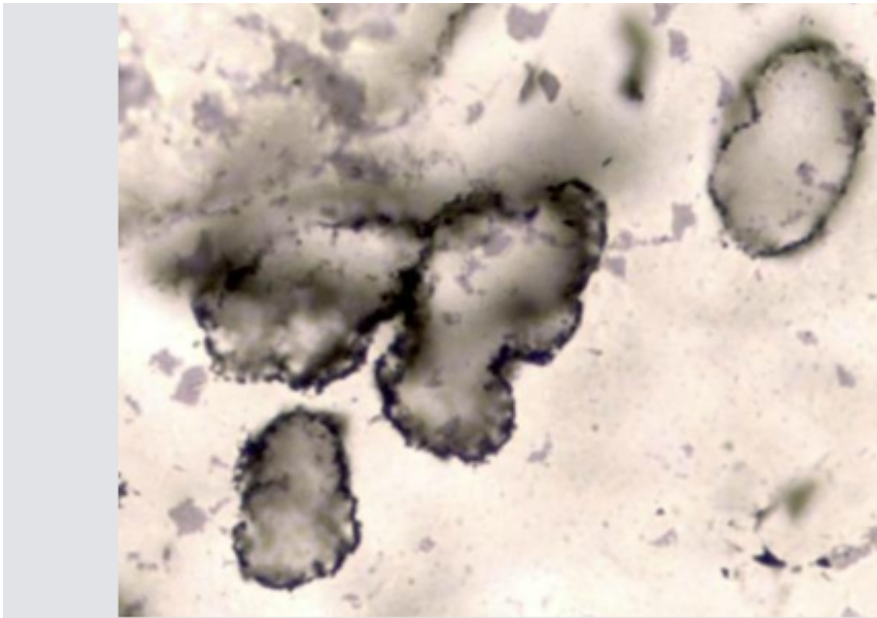
- Evolution, diversification des espèces
- Transformation physique de la planète
 - Relief, milieux, climats
 - Dérive des continents, glaciations, ...
- Interaction évolution $\leftrightarrow$ géologie
- « Take home message » : Certaines caractéristiques des systèmes écologiques peuvent être partiellement déterminées par leur **passé** et celui de leur environnement général
 - Compositions spécifique, richesse spécifique, nature des relations interspécifiques, adaptabilité, etc

GSA GEOLOGIC TIME SCALE v. 4.0

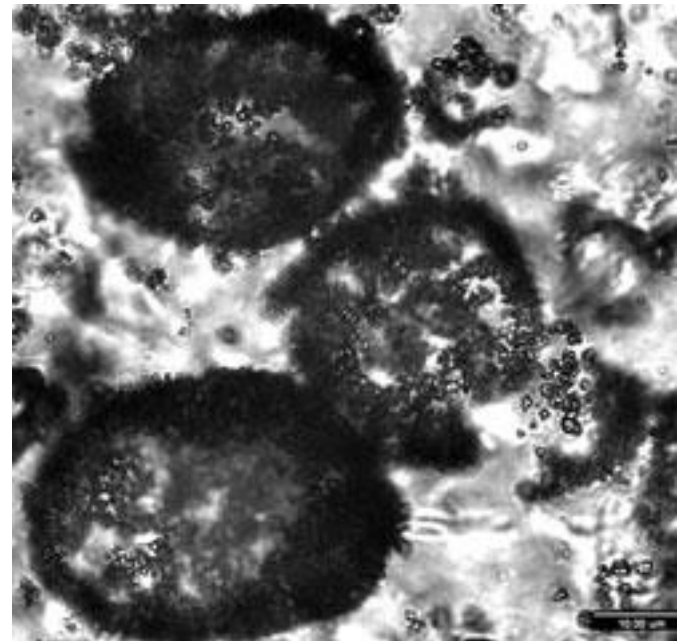


Grandes étapes de la vie sur Terre

- 3,8 Ga : premières traces de vie (cellule, bactéries)



Fossilized cells from 3.4 billion years ago.

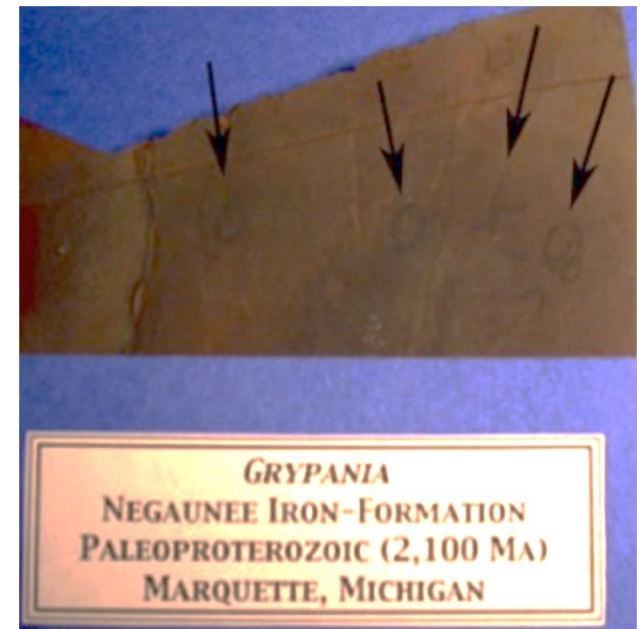
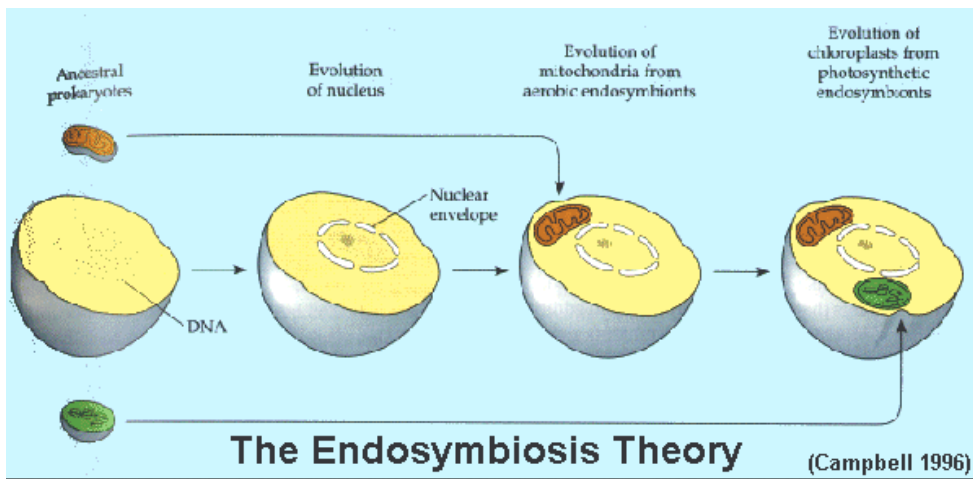
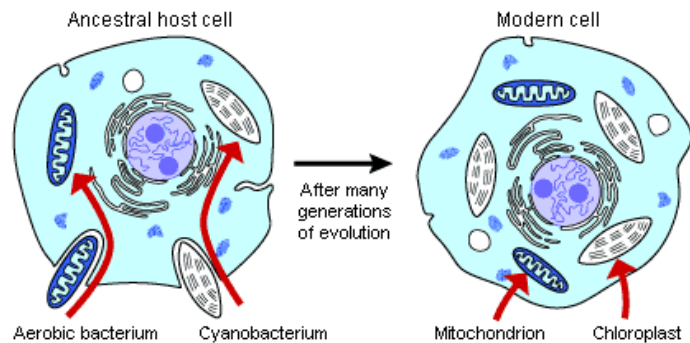


The fossils' size, shape and chemical composition suggests that they are the remains of microbial life.

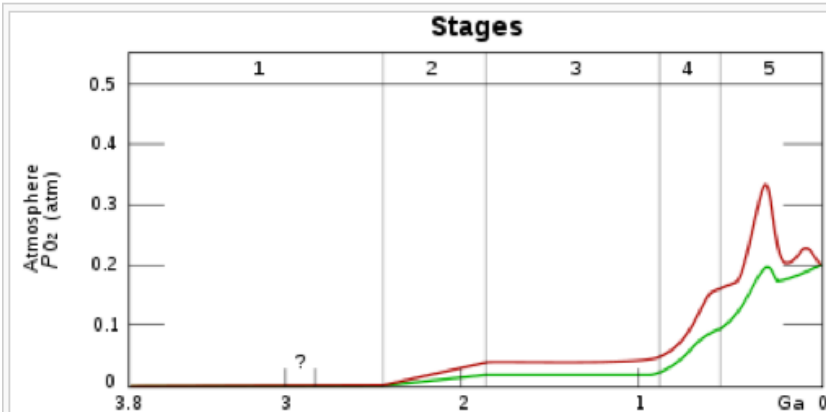
D. Wacey/UWA

Grandes étapes de la vie sur Terre

- 3,8 Ga : premières traces de vie (cellule, bactéries)
 - 3,5 Ga ? : photosynthèse
- 2 Ga : eukaryotes
 - Endosymbiosis



- 2,4 milliards d'années : Oxydation de l'atmosphère
 - 3,5 Ga ? : photosynthèse



O₂ build-up in the **Earth's atmosphere**. Red and green lines represent the range of the estimates while time is measured in billions of years ago (Ga).

Stage 1 (3.85–2.45 Ga): Practically no O₂ in the atmosphere.

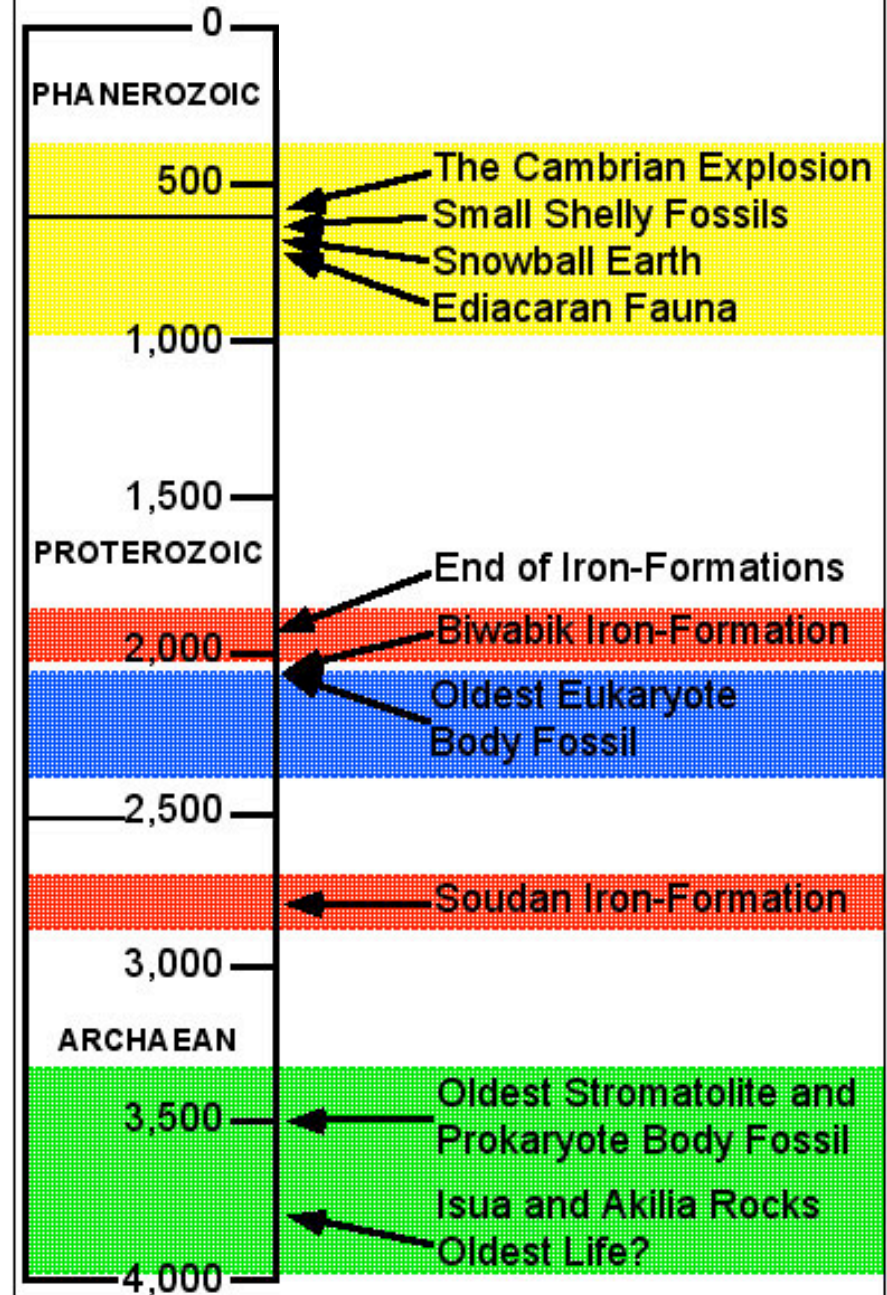
Stage 2 (2.45–1.85 Ga): O₂ produced, but absorbed in oceans & seabed rock.

Stage 3 (1.85–0.85 Ga): O₂ starts to gas out of the oceans, but is absorbed by land surfaces.

Stages 4 & 5 (0.85–present): O₂ sinks filled and the gas accumulates.^[1]

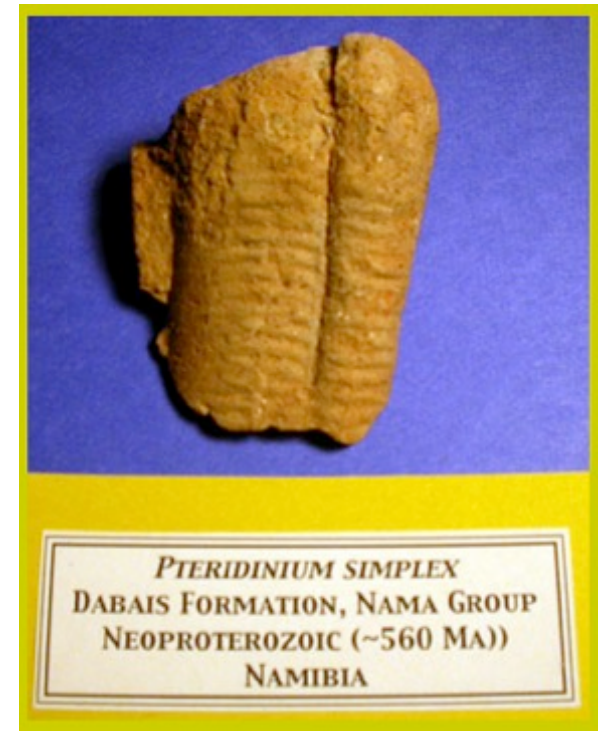
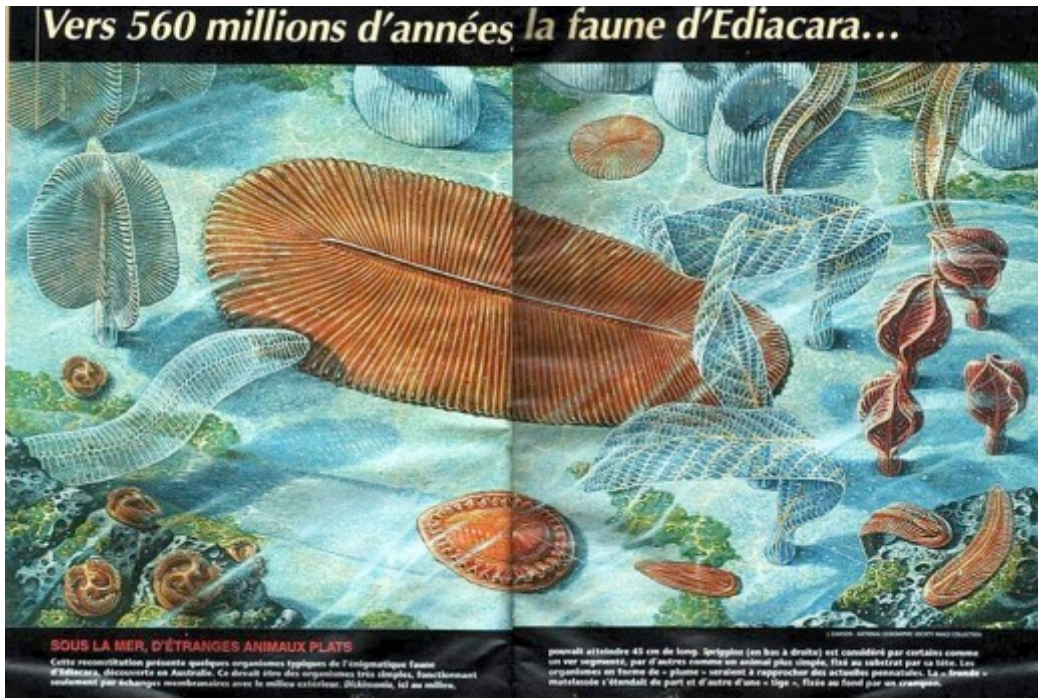


Ages in Millions of Years Before Present (Ma)



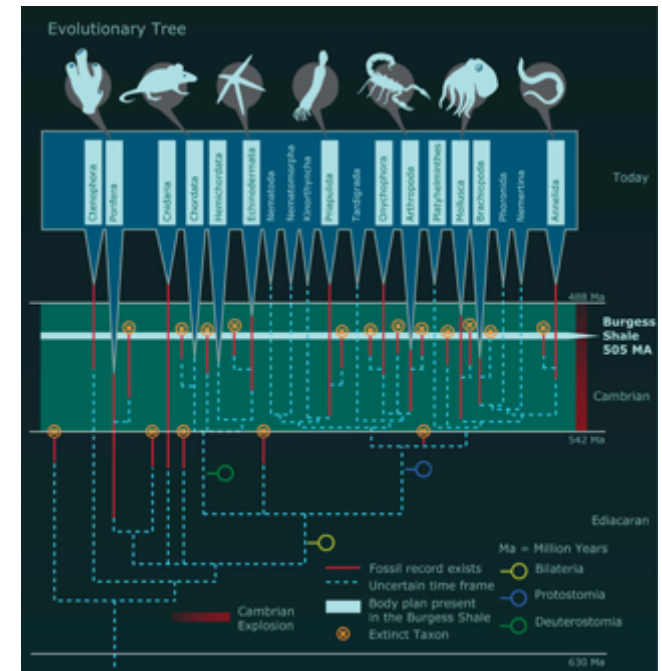
Grandes étapes de la vie sur Terre

- 3,8 Ga : premières traces de vie (cellule, bactéries)
- 2 Ga : eukaryotes
 - Endosymbiosis
 - Multicellular alga
- 700 Ma, fin Précambrien : riche faune édiacarienne, arthropodes, échinodermes



Grandes étapes de la vie sur Terre

- 3,8 Ga : premières traces de vie (cellule, bactéries)
- 2 Ga : eukaryotes
 - Endosymbiosis
 - Multicellular alga
- 700 Ma, fin Précambrien : riche faune édiacarienne, arthropodes, échinodermes
- 570 Ma, Cambrien : 100 phylums d'organismes reconnus, 32 survivent aujourd'hui. (diversité structurelle)

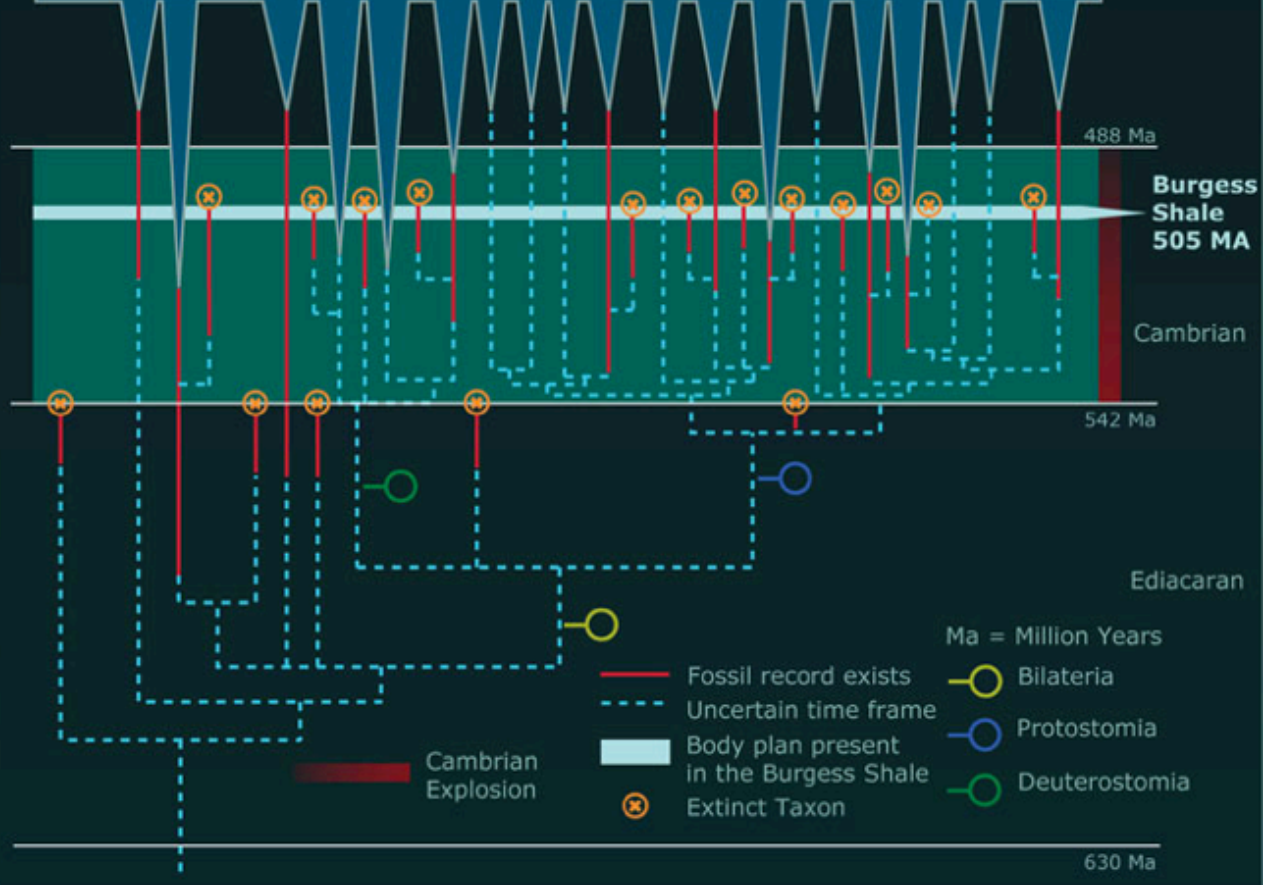


Evolutionary Tree



Phyla listed from left to right: Ctenophora, Porifera, Cnidaria, Chordata, Hemichordata, Echinodermata, Nematoda, Nematomorpha, Kinorhyncha, Priapulida, Tardigrada, Onychophora, Arthropoda, Platyhelminthes, Mollusca, Brachiopoda, Phoronida, Nemertina, Annelida.

Today



Grandes étapes de la vie sur Terre

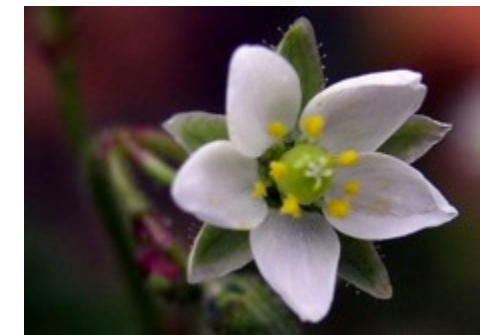
- 3,8 Ga : premières traces de vie (cellule, bactéries)
- 2 Ga : eukaryotes
 - Endosymbiosis
 - Multicellular alga
- 700 Ma, fin Précambrien : riche faune édiacarienne, arthropodes, échinodermes
- 570 Ma, Cambrien : 100 phylums d'organismes reconnus, 32 survivent aujourd'hui. (diversité structurelle)
- 505 Ma, Ordovicien : plantes vasculaires terrestres

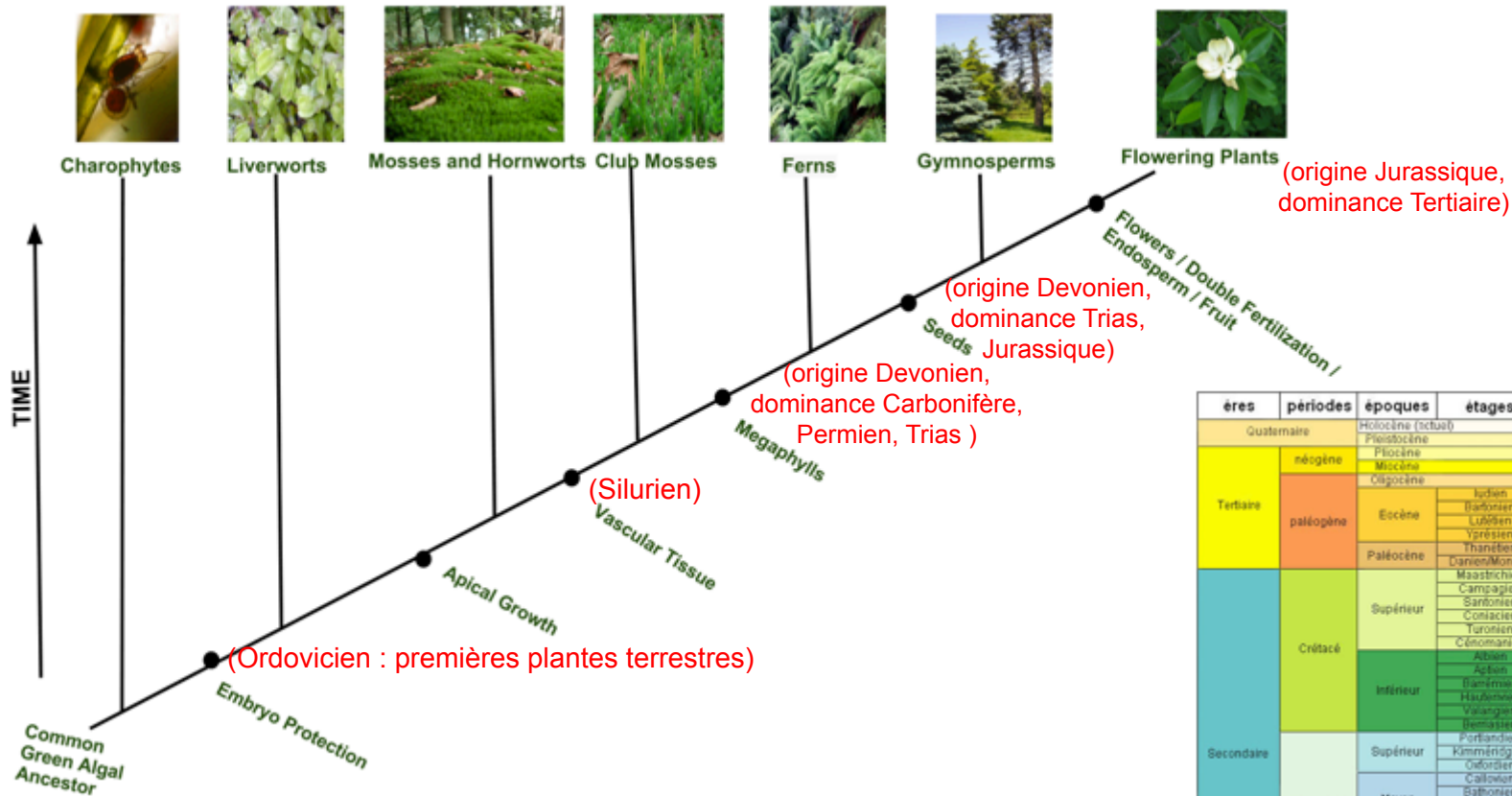


En cette fin du Dévonien (408 Ma), les **arbres** étaient déjà présents, mais c'est dans la seconde moitié du Carbonifère que la grande **forêt de type équatorial** s'est développée

Grandes étapes de la vie sur Terre

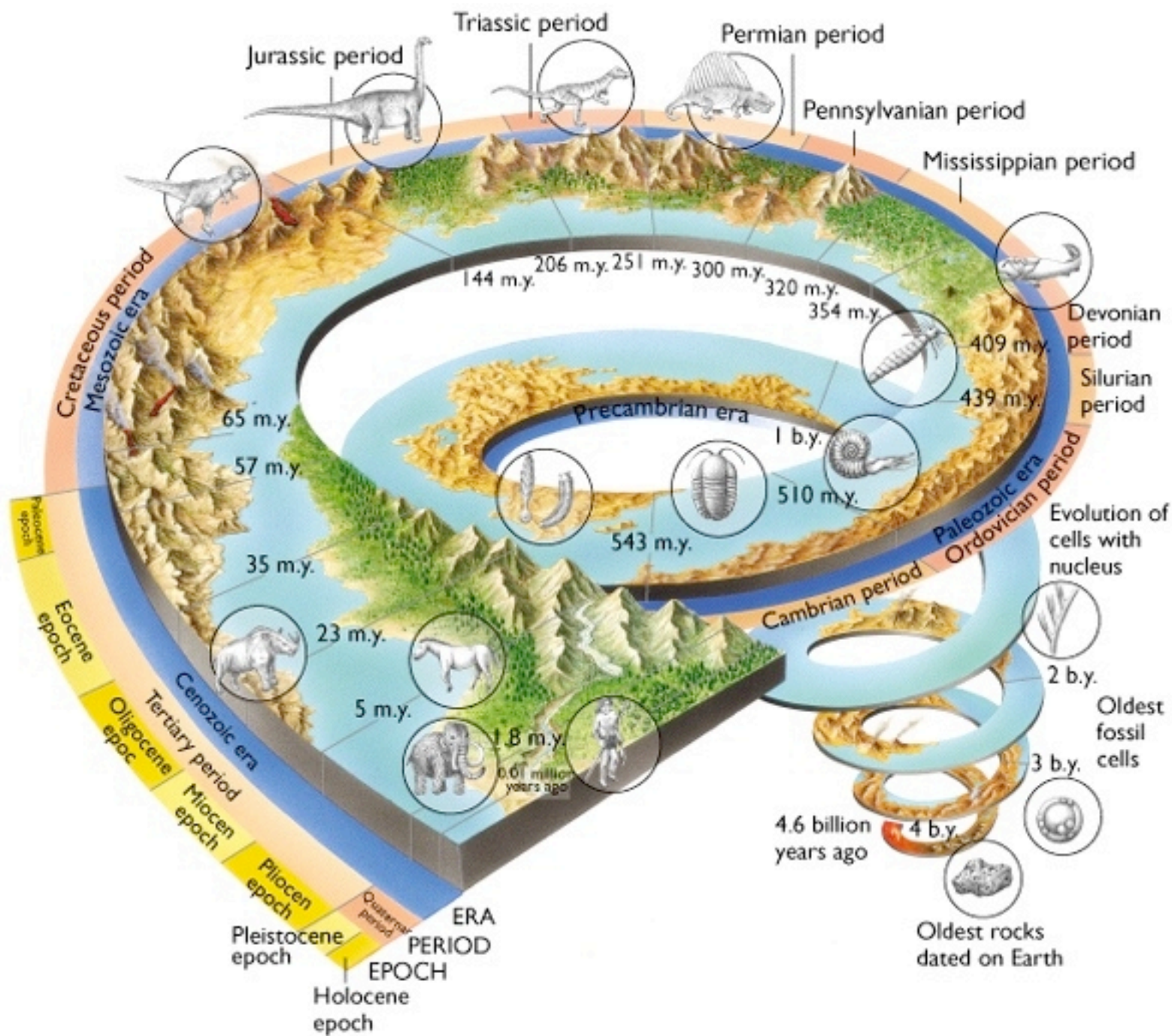
- 3,8 Ga : premières traces de vie (cellule, bactéries)
- 2 Ga : eukaryotes
 - Endosymbiosis
 - Multicellular alga
- 700 Ma, fin Précambrien : riche faune édiacarienne, arthropodes, échinodermes
- 570 Ma, Cambrien : 100 phylums d'organismes reconnus, 32 survivent aujourd'hui. (diversité structurelle)
- 505 Ma, Ordovicien : plantes vasculaires terrestres
 - Ptéridophytes,
 - Gymnospermes,
 - Angiospermes (144 Ma)



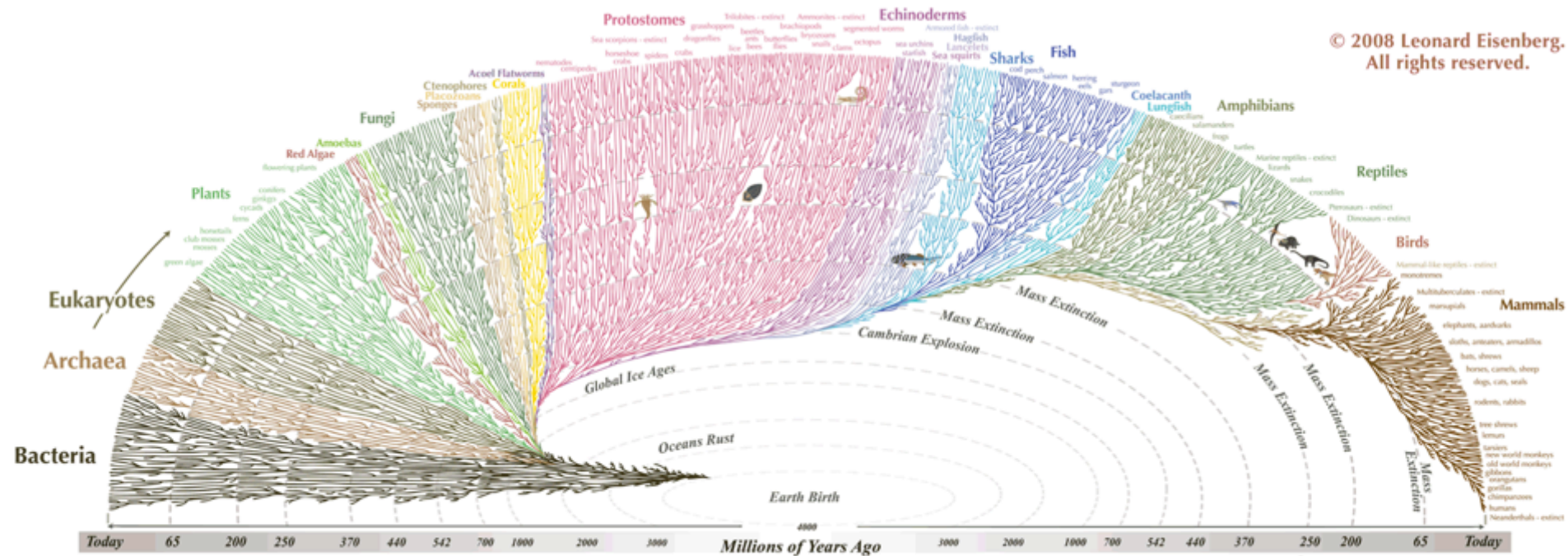


Devonien : large colonisation des continents

ères	périodes	époques	étages	événements de l'évolution		
Quaternaire		Holocène (actuel)		agriculture et sédentarisation humaine moderne		
Tertiaire	néogène	Pliocène			1,8	
		Miocène			5,3	
		Oligocène			23	
	paléogène	Eocène	Judien		rongeurs	34
			Barroisien			
			Lutétien			
			Yprésien			
		Paléocène	Thanétien		ongulés primates	65
	Danien/Morbin					
	Secondaire	Crétacé	Supérieur	Maestrichien	mammifères placentaires	95
Campanien						
Santonien						
Coniacien						
Turonien						
Cénomannien						
Inférieur		Albien				
		Aptien				
Jurassique		Supérieur	Barroisien	mammifères marsupiaux oiseaux plantes à fleurs	135	
			Hauteriviens			
	Valangien					
	Berriasien					
	Moyen	Portlandien		150		
		Kimmeridgien				
		Oxfordien				
		Callovien				
	Inférieur	Bathonien		181		
		Bajocien				
Primaire	Trias	Aalénien	dinosaures mammifères ovipares	204		
		Teutonen				
		Pennsylvanien				
		Sinemurien				
	Permien	Hettangien		245		
		Rhénien				
		Kraup				
		Muschelkalk				
	Carbonifère	supérieur	Werra	reptiles insectes	295	
			Thuringien			
inférieur		Saarnien				
		Aalenien				
Dévonien	supérieur	Stéphanien	vertébrés temoebres plantes à graines	360		
		Wesphalien				
	moyen	Viseéen				410
		Namurien				
Silurien	supérieur	Tournaisien	arthropodes et plantes terrestres	435		
		Frasnien				
	moyen	Famennien			prédominance invertébrés	490
		Oxéboisien				
	inférieur	Courmaien		530		
		Emmérien				
	Cambrien	Sigézien	faune de Burgess cordées eucaryotes	570		
		Gedinnien				
		Artisien				
		Ludlowien				



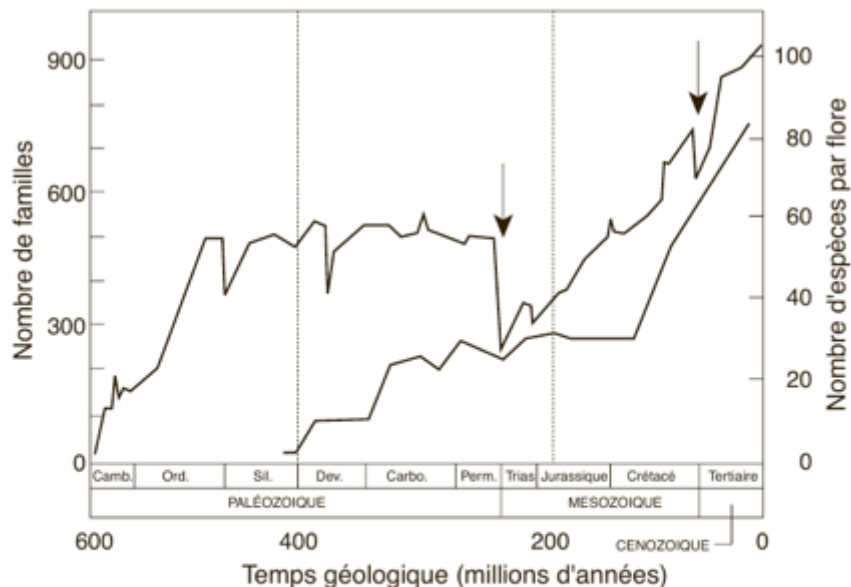
© 2008 Leonard Eisenberg.
All rights reserved.



All the major and many of the minor living branches of life are shown on this diagram, but only a few of those that have gone extinct are shown. Example: Dinosaurs - extinct



© 2008 Leonard Eisenberg. All rights reserved.
evgenyev.com



Noter la diversité plus ou moins constante des familles d'animaux marins au cours de la dernière partie de l'ère Paléozoïque, l'extinction en masse à la fin du Permien (↓), et l'augmentation continue de la diversité depuis, avec la prolifération de taxons marins moderne (poissons, mollusques et crustacés). Noter aussi la diversité locale plutôt constante des plantes au travers des ères Paléozoïque et Mésozoïque, l'absence d'extinction en masse à la fin du Permien, et l'augmentation rapide de la diversité locale qui commence avec l'apparition des plantes à fleurs à la fin du Jurassique. Les flèches verticales marquent deux des crises d'extinction en masse : celle du Permien, il y a 250 millions d'années et celle du Crétacé/Tertiaire, il y a 65 millions d'années (d'après Sepkoski, 1984 et Knoll, 1986).

Figure 22 Changements dans le nombre total de familles d'animaux marins depuis le commencement de l'ère Paléozoïque (courbe du haut), et changements dans la moyenne des espèces représentées dans les flores fossiles locales de plantes terrestres depuis le Paléozoïque moyen (courbe du bas).

L'observation majeure qui s'en dégage est le caractère discontinu de cette diversification, conclusion qu'il n'était pas possible d'avancer à partir de seuls principes évolutionnistes.

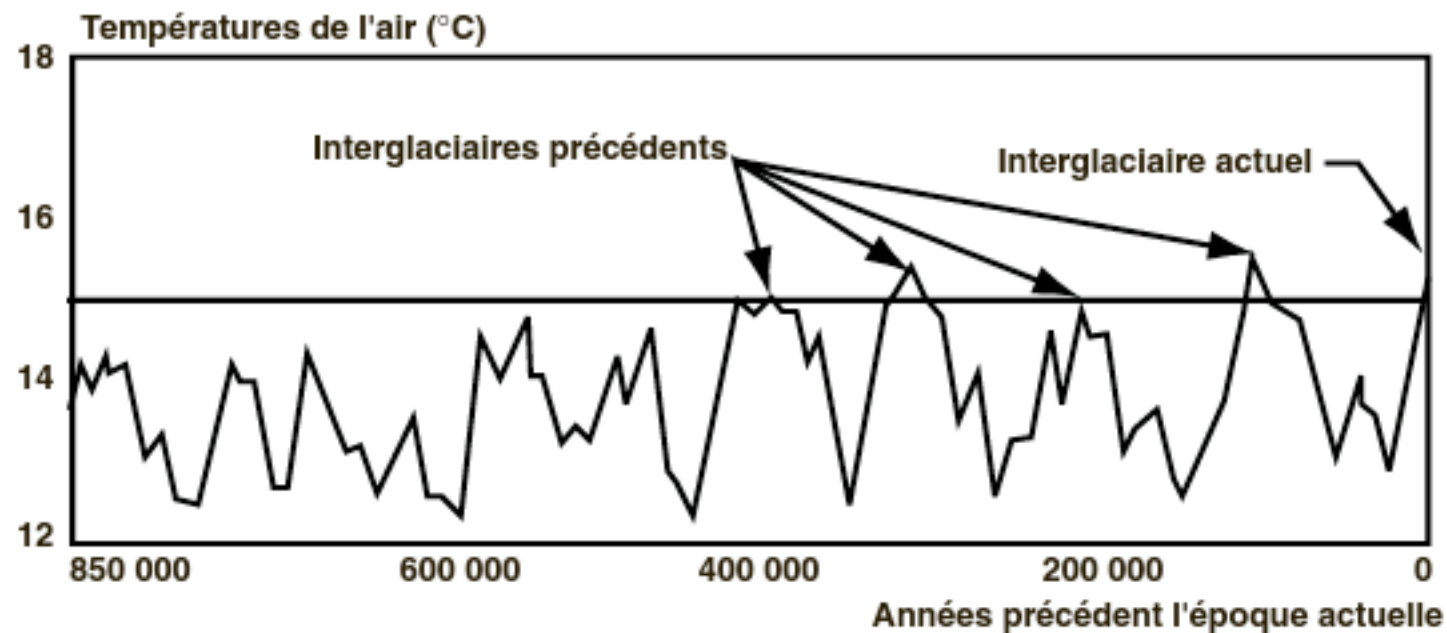
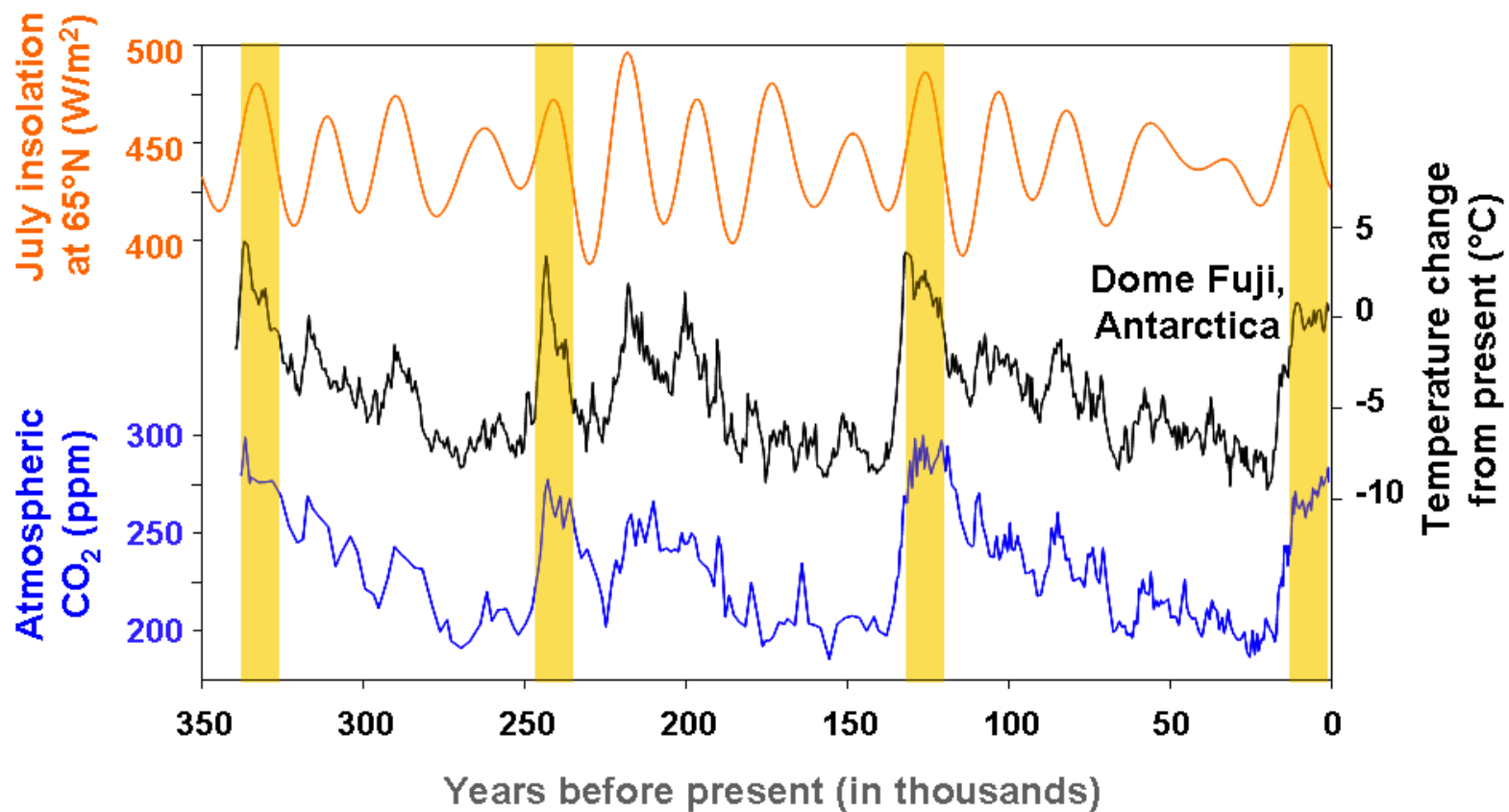


Figure 23 Fluctuations des températures moyennes de la surface terrestre au cours du dernier million d'années.

On note une quinzaine d'épisodes glaciaires. Quatre interglaciaires comparables à la période actuelle l'ont précédée au cours des 500 000 dernières années.



CO₂ Concentrations and Temperature Have Tracked Closely Over the Last 300,000 Years

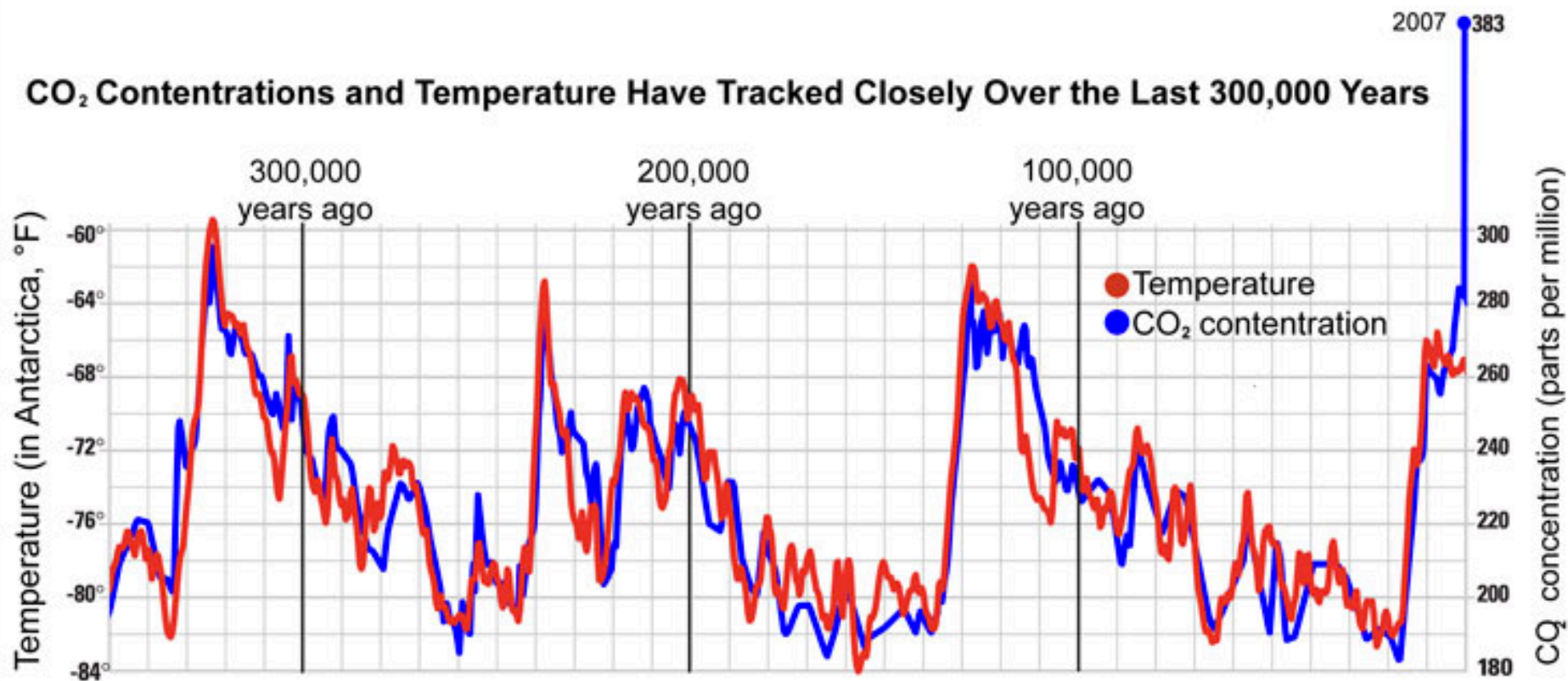


Figure 2. As ice core records from Vostok, Antarctica show, the temperature near the South Pole has varied by more than 20° F during the past 350,000 years in a regular pattern that

Lors de la dernière glaciation (Würm)



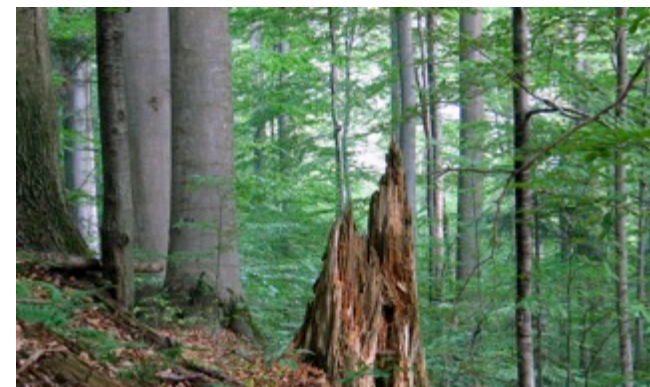
/// Zones inhabitées recouvertes de glace

Toundra : végétation rase (mousses, lichens, bruyère, bouleaux et saules nains)

Steppe : étendues d'herbes (graminées)

Taïga : forêts de conifères, arbres à feuilles persistantes (pins, sapins...)

Forêt : arbres à feuilles caduques (bouleaux, chênes, hêtres, saules...)



TABEAU 1 DURÉE DE VIE ESTIMÉE DES ESPÈCES AU SEIN DE DIVERS GROUPES FOSSILES, DE L'APPARITION À L'EXTINCTION (D'APRÈS LAWTON ET MAY, 1995).

Taxons	Durée de vie moyenne (millions d'années)	Source
Tous invertébrés	11	Raup 1978
Invertébrés marins	5-10	Valentine 1970
Animaux marins	4	Raup 1991
Animaux marins	5	Sepkoski 1992
Tous groupes fossiles	0,5-5	Simpson 1952
Mammifères	1	Martin 1993
Mammifères cénozoïques	1-2	Raup & Stanley 1978
Diatomées	8	Van Valen 1973
Dinoflagellés	13	Van Valen 1973
Foraminifères planctoniques	7	Van Valen 1973
Bivalves cénozoïques	10	Raup & Stanley 1978
Echinodermes	6	Durham 1970
Graptolites du Silurien	2	Richards 1977

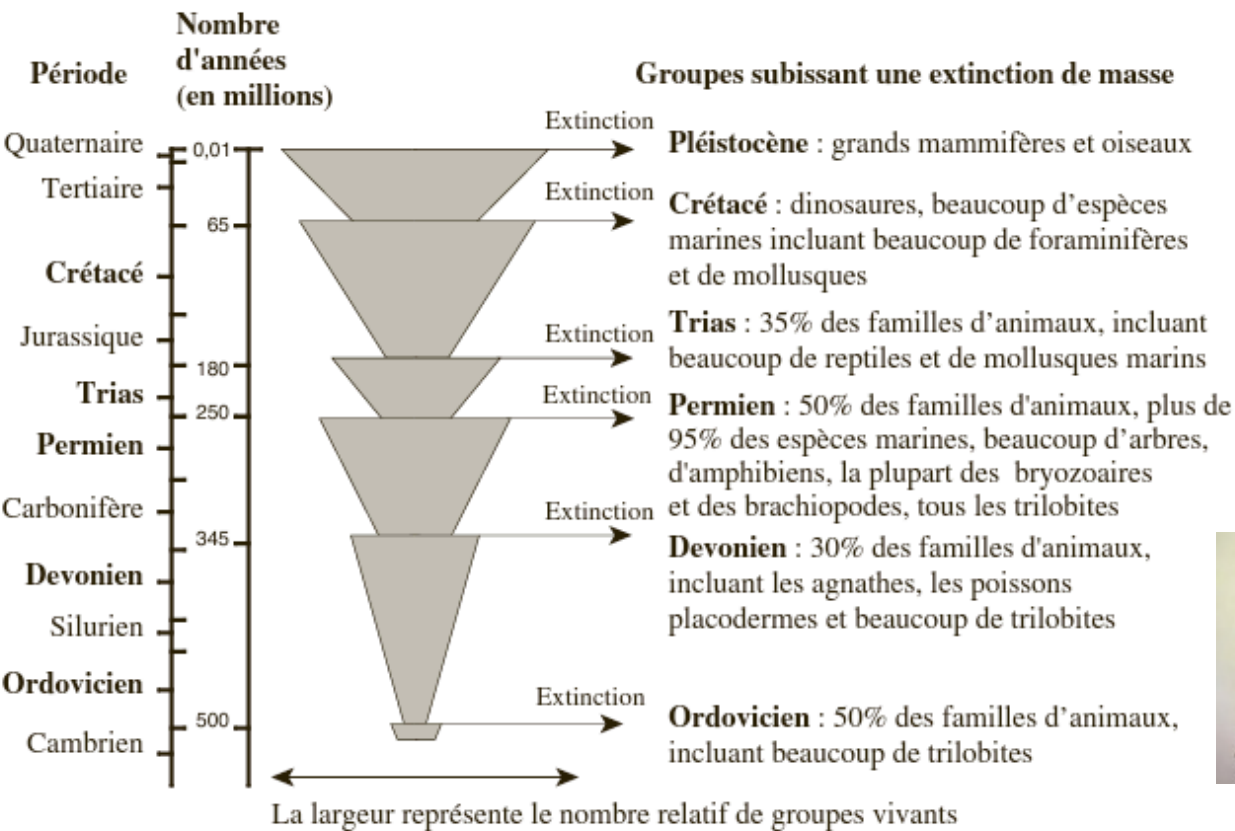


Figure 26 Quoique le nombre total de familles et d'espèces ait augmenté au cours du temps géologique, une proportion importante de ces taxons ont disparu lors de cinq périodes d'extinction de masse. Un sixième épisode, au Pléistocène, est marqué par les effets des populations humaines qui se répandent à travers les continents.