



Université
de Lille

Laurent Amsellem

laurent.amsellem@univ-lille.fr

Unité "Evolution, Ecologie, Paléontologie" ; UMR CNRS 8198



FACULTÉ
DES SCIENCES ET
TECHNOLOGIES
Département Biologie

Impacts anthropiques sur le fonctionnement de l'Ecosphère



Université du Temps Libre ; 22/01/2018 ; Cambrai

Impacts anthropiques sur le fonctionnement de l'Ecosphère

Université du Temps Libre ; 22/01/2018 ; Cambrai

- 1) Démographie humaine, empreinte écologique et entrée dans l'ère de l'*Anthropocène*
- 2) L'*Anthropocène* : l'Homme comme force de transformation majeure de l'Ecosphère
- 3) Une nouvelle façon de caractériser les biomes : les *Anthromes*
- 4) Les causes du changement climatique
- 5) Reconstitution du climat passé et observations présentes

Impacts anthropiques sur le fonctionnement de l'Ecosphère

Université du Temps Libre ; 22/01/2018 ; Cambrai

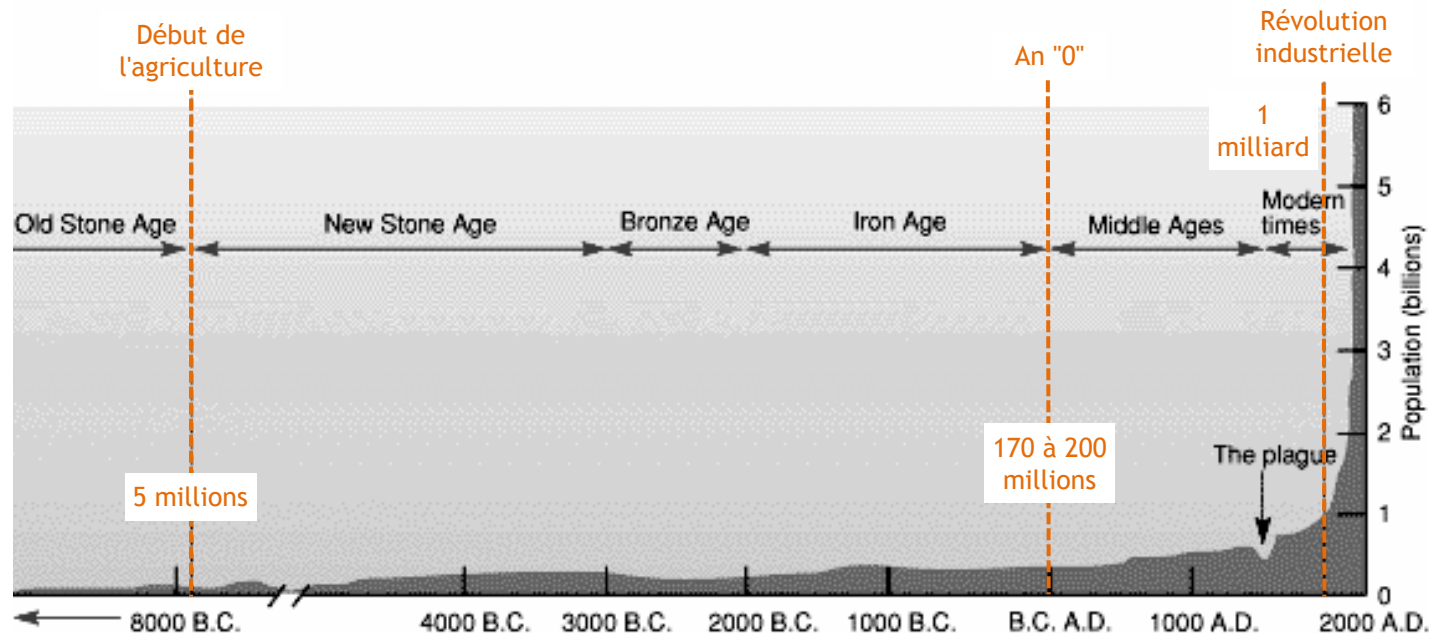
- 1) **Démographie humaine, empreinte écologique et entrée dans l'ère de l'*Anthropocène***
- 2) *L'Anthropocène : l'Homme comme force de transformation majeure de l'Ecosphère*
- 3) *Une nouvelle façon de caractériser les biomes : les *Anthromes**
- 4) *Les causes du changement climatique*
- 5) *Reconstitution du climat passé et observations présentes*

L'Homme : une espèce dont l'impact sur les Biomes est particulier...

Pourquoi l'anthropisation est-elle un problème RECENT dans l'histoire des écosystèmes ?

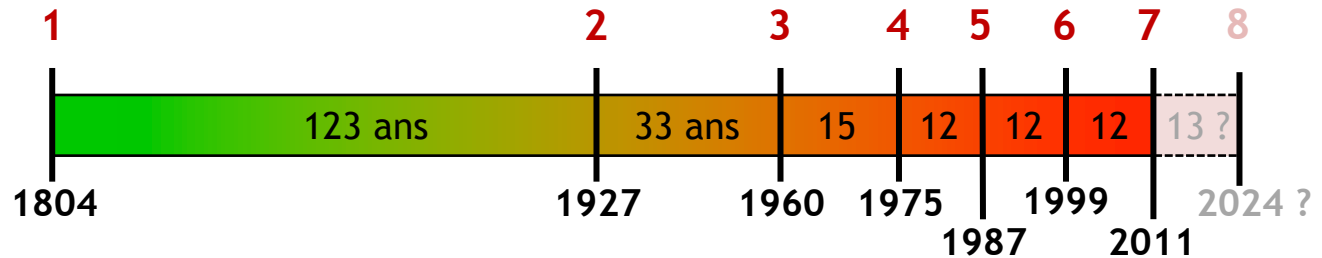
Evolution de la population mondiale depuis le Néolithique :

- Début de l'agriculture (Néolithique) (– 8 000 avant J. C.) : ≈ 5 millions d'êtres humains
- An "0" : ≈ 170–200 millions (fourchette allant jusqu'à 600 millions)
- Révolution industrielle (début du 19^{ème} siècle) : ≈ 1 milliard (en 1804)
 - Meilleures alimentation et hygiène
 - Progrès technologiques qui améliorent les conditions de vie
- 1927 : Population mondiale double (= 2 milliards) en 123 ans



L'Homme : une espèce dont l'impact sur les Biomes est particulier...

Les différents milliards atteints par la population humaine



7 milliards (en novembre 2011) ; $\approx 7\,493\,400\,000$ fin mars 2017...

→ ($\approx 7\,600\,000\,000$ aujourd'hui... ($\approx 6,5$ ans après)

Taux de croissance actuel (2018) :

≈ 80 millions / **an** ($\rightarrow$ croissance = 1,1 %)

$\approx 1,54$ million / **semaine**

$\approx 219\,500$ / **jour** ($\rightarrow 2,54$ individus / **seconde**)

Au cours du 20^{ème} siècle : la population mondiale est passée de 1,65 milliard à 6 milliards ($\rightarrow \times 3,67$) !

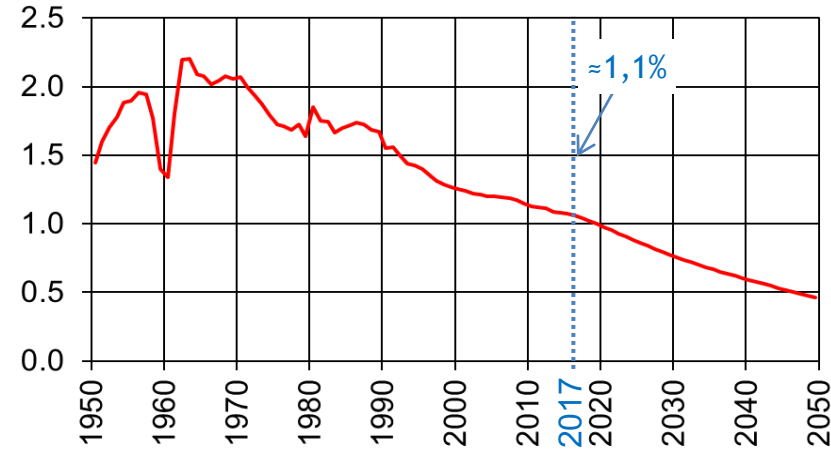
→ Elle était la moitié de celle d'aujourd'hui en... 1971 (il y a 47 ans !)

Or, les ressources sur la Terre sont limitées !

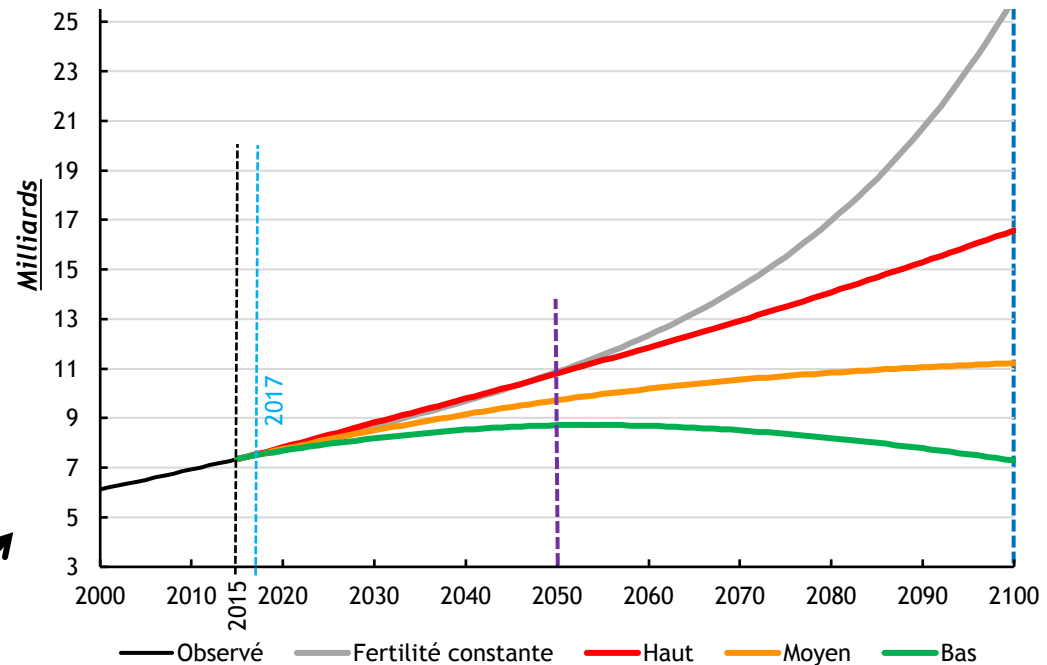
L'Homme : une espèce dont l'impact sur les Biomes est particulier...

Actuellement : le taux de croissance diminue → La population doublera de nouveau dans ≈ 200 ans
(précédemment, elle doublait en ≈ 45 ans : 1971 → 2017)

Taux de croissance de la population mondiale de 1950 à 2050



Evolutions de la taille de la population humaine, selon plusieurs scénarios



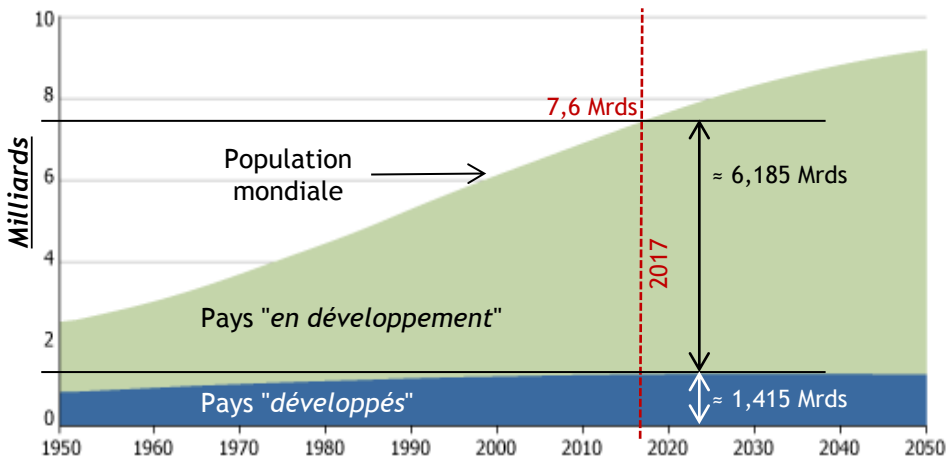
Population humaine estimée (milliards)

	Taux de fécondité / femme	En 2050	En 2100
Fertilité constante	2,7	10,9	26,0
Scénario "Haut"	2,35	10,8	16,6
Scénario "Moyen"	2,1	9,7	11,2
Scénario "Bas"	1,85	8,7	7,3

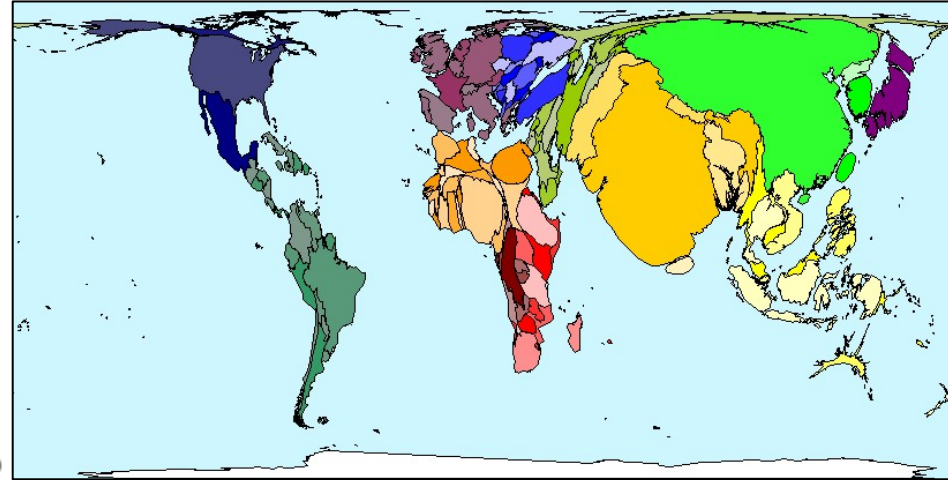
L'Homme : une espèce dont l'impact sur les Biomes est particulier...

La pression démographique ne s'exerce pas — et ne s'exercera pas — partout avec la même intensité

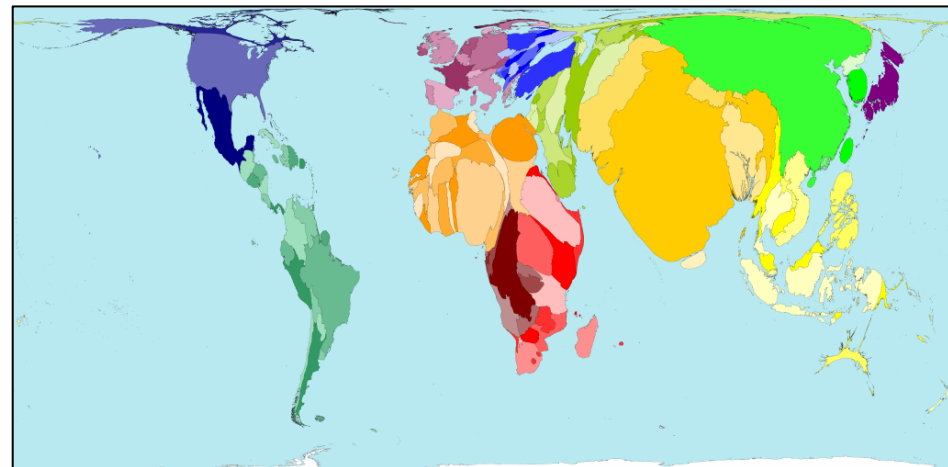
Parts relatives des pays "développés" et "en développement" dans la population mondiale passée et future



Population mondiale **actuelle**, où la surface des pays est représentée proportionnellement à leur contribution démographique relative



Population mondiale **en 2050**, où la surface des pays est représentée proportionnellement à leur contribution démographique relative



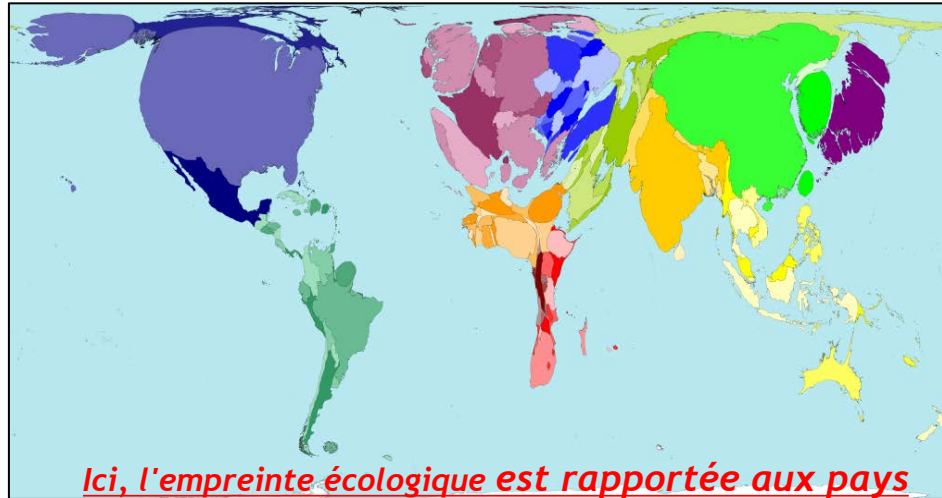
En 2050, la population humaine $\approx 9,7$ milliards

62% des gens vivront en Afrique, Asie du Sud et Asie de l'Est (= toute la population mondiale **actuelle** + 2 milliards répartis ailleurs...)

L'Homme : une espèce dont l'impact sur les Biomes est particulier...

La pression démographique ne s'exerce pas — et ne s'exercera pas — partout avec la même intensité

Carte mondiale, où la surface des pays est représentée
proportionnellement à leur empreinte écologique relative



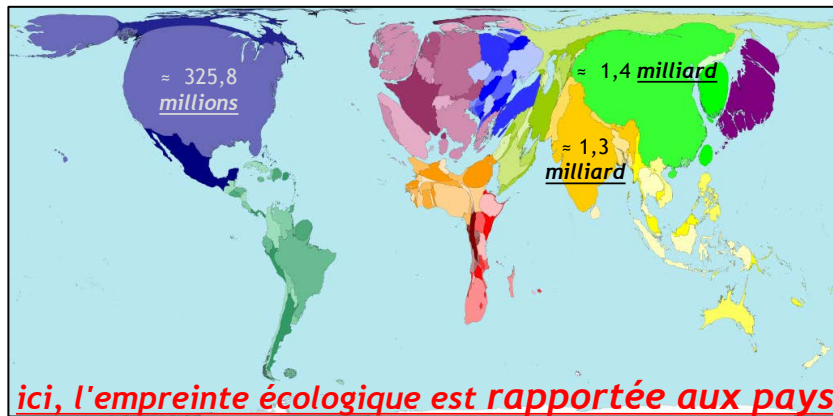
Empreinte écologique : estimation des ressources nécessaires pour soutenir le mode de vie d'une population =

- Consommations de nourriture, carburant, bois et fibres
- Pollutions rejetées (CO₂, CH₄, N₂O, aérosols, ...)

→ Exprimée en surface productive nécessaire par personne et par an ("*ha / habitant / an*") pour soutenir sa consommation en ressources

L'empreinte écologique globale de l'humanité a augmenté de 50 % entre 1970 et 1997

L'Homme : une espèce dont l'impact sur les Biomes est particulier...



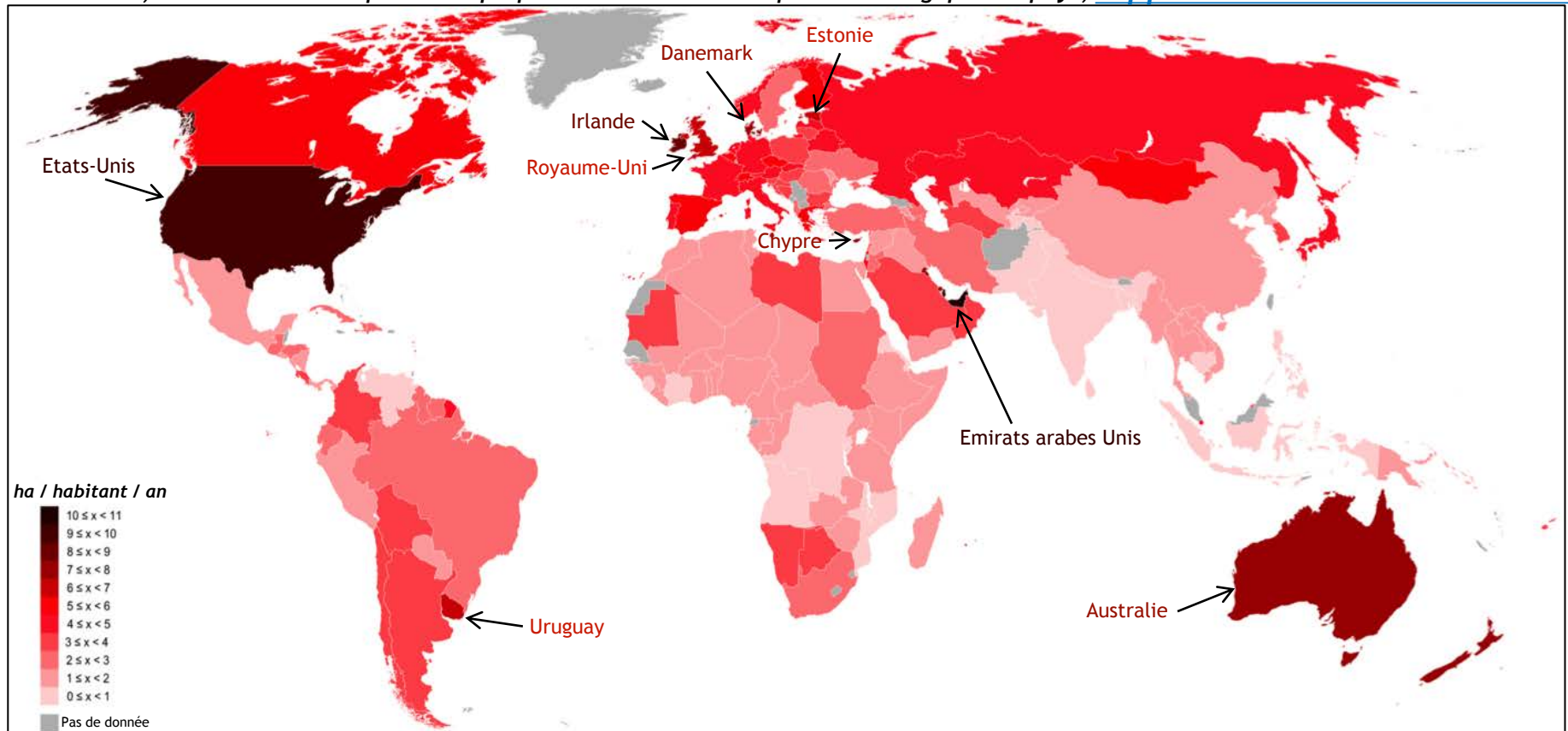
Etats-Unis, Chine, Inde : Pays avec les plus grandes empreintes écologiques

Or, Chine et Inde → pays les plus peuplés de la planète !

→ En réalité, leur utilisation des ressources par habitant est en dessous de la moyenne mondiale

Empreinte des Etats-Unis ≈ 5 fois celle de la moyenne mondiale
≈ 10 fois ce qui serait durable !

Carte mondiale, où la couleur est représentée proportionnellement à l'empreinte écologique des pays, rapportée au nombre d'habitants

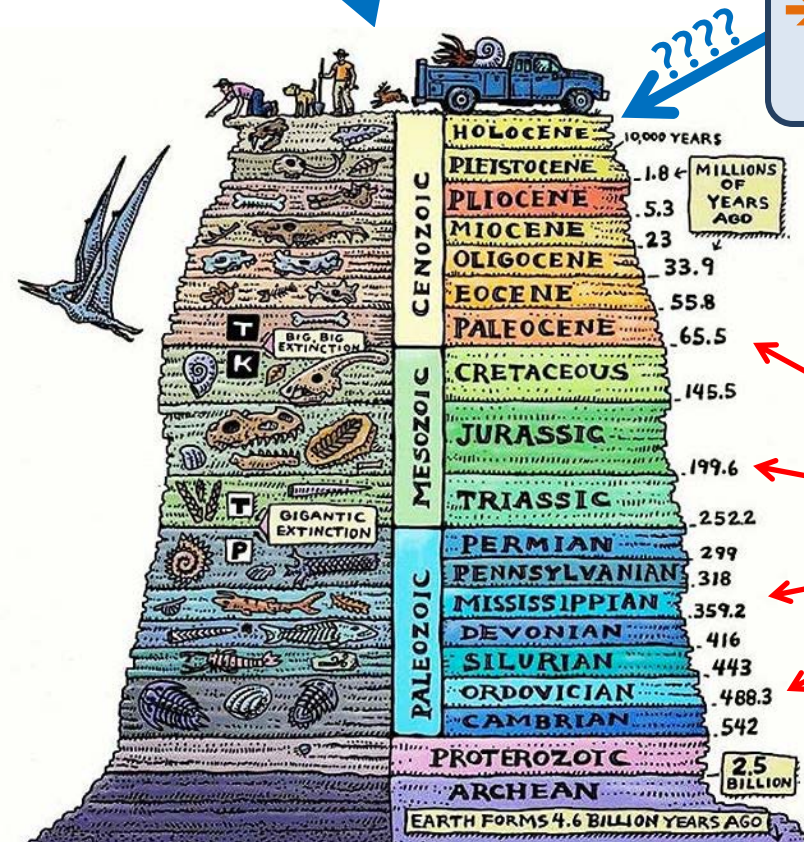


L'Homme : une force majeure à l'origine d'une nouvelle ère géologique

Anthropocène : Période durant laquelle l'influence de l'Homme sur l'Ecosphère a atteint un tel niveau qu'elle est devenue une "force géologique" majeure capable de marquer la lithosphère

A quelle période pourrions-nous envisager son début ?

→ A partir de quand l'Homme est-il devenu une force majeure dans l'histoire de l'Ecosphère ?



Chaque époque est délimitée selon des facteurs tels que des :

- Impacts de météorites
- Eruptions volcaniques soutenues
- Déplacement des continents (tectonique)

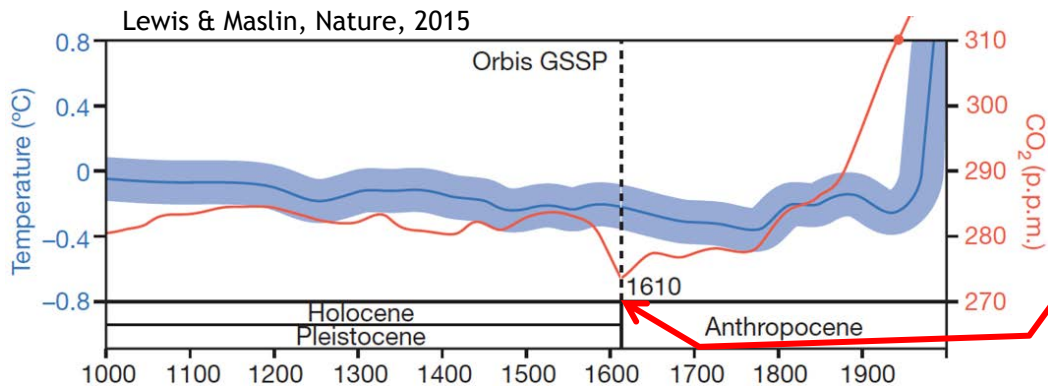
L'Homme : une force majeure à l'origine d'une nouvelle ère géologique

2 critères principaux pour définir une époque géologique :

- Les événements potentiels qui la délimitent doivent être **scientifiquement documentés**
- Un **changement environnemental global**, enregistré dans une section stratigraphique (roches, glace ancienne, sédiments océaniques ...), doit être **identifié et daté** → **Golden spike** ("pic d'or")

Durant les 50 000 dernières années (→ Homme moderne) : 2 dates correspondent

- 1) **1610** (le plus fort) : **Conséquence de la réunion des Ancien et Nouveau Mondes**, 1 siècle plus tôt
16^{ème} siècle = Mondialisation du commerce = déplacement rapide, répété et transocéanique des espèces
→ **Réarrangement global de la Biosphère** (sans précédent dans l'histoire de la Terre)



Golden spike : **forte baisse du CO₂ atmosphérique** (archives antarctiques) → = "**Orbis Spike**"

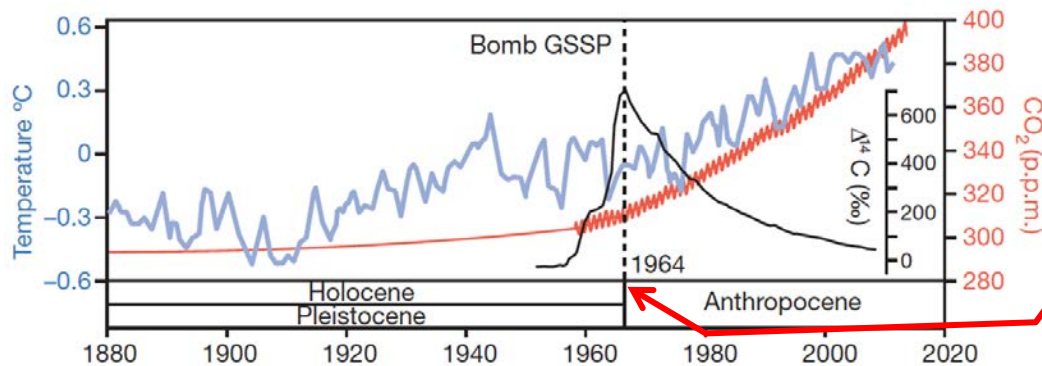
Colonisation du Nouveau Monde = disparition d'environ 50 millions d'indigènes (variole) durant le 16^{ème} siècle
→ Quasi-arrêt de l'agriculture à travers le continent → repousse des forêts → **baisse du CO₂ atmosphérique**

L'Homme : une force majeure à l'origine d'une nouvelle ère géologique

Durant les 50 000 dernières années (→ Homme moderne) : 2 dates correspondent

1) **1610 : Orbis spike**

2) **1964** : Pic dans les **retombées radioactives issues d'essais d'armes nucléaires**, dans de nombreux dépôts géologiques



Golden spike : **forte hausse du ^{14}C dans les cernes annuelles des arbres** → = "**Bomb Spike**"

(Toutefois, même si une guerre nucléaire pourrait radicalement altérer géologiquement la Terre, elle ne l'a pas encore fait : les retombées des essais nucléaires sont un très bon marqueur, mais ils n'ont pas été – en termes géologiques – un événement qui a changé la Biosphère)...

Impacts anthropiques sur le fonctionnement de l'Ecosphère

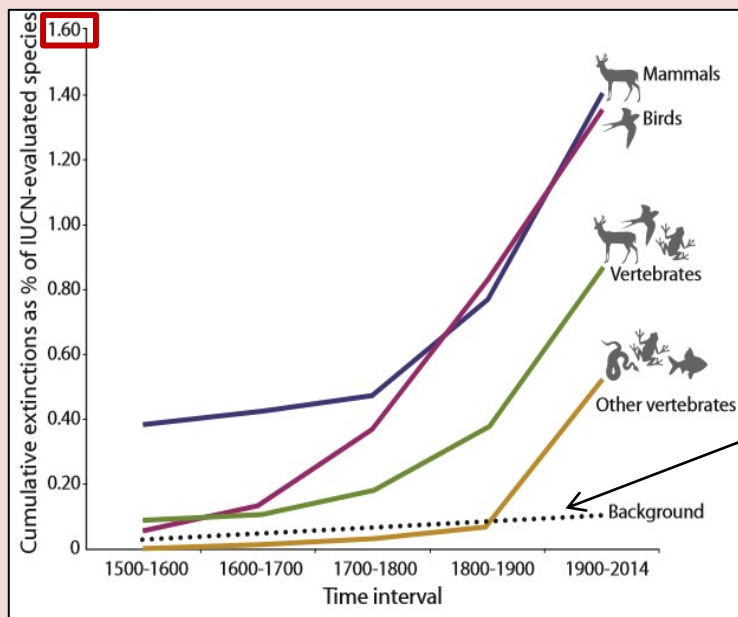
Université du Temps Libre ; 22/01/2018 ; Cambrai

- 1) Démographie humaine, empreinte écologique et entrée dans l'ère de l'*Anthropocène*
- 2) L'*Anthropocène* : l'Homme comme force de transformation majeure de l'Ecosphère**
- 3) Une nouvelle façon de caractériser les biomes : *les Anthromes*
- 4) Les causes du changement climatique
- 5) Reconstitution du climat passé et observations présentes

Taux d'extinctions des vertébrés au cours des derniers siècles

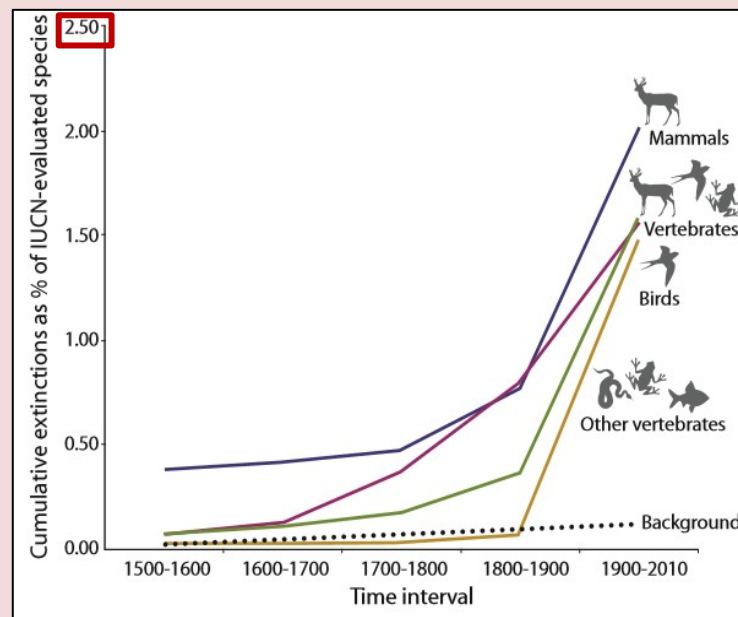
→ **16^{ème} siècle** : l'Homme commence à avoir une action quantifiable en terme de perte de Biodiversité

Ceballos et al., Science Advances, 2015



Taux d'extinction "de fond" : 2 E/MSY

Taux très conservateurs : seules espèces EX ("effectivement éteintes") sont considérées



Taux conservateurs : espèces EX ("effectivement éteintes") ; EW ("éteintes à l'état sauvage") et PE ("probablement éteintes") sont considérées

Depuis 1500, les taux d'extinction modernes des vertébrés varient entre 8 et 100 fois plus (selon les groupes et les époques) que le taux d'extinction de fond !

Depuis 1900, 9 espèces de vertébrés auraient dû s'éteindre selon le taux d'extinction "de fond"

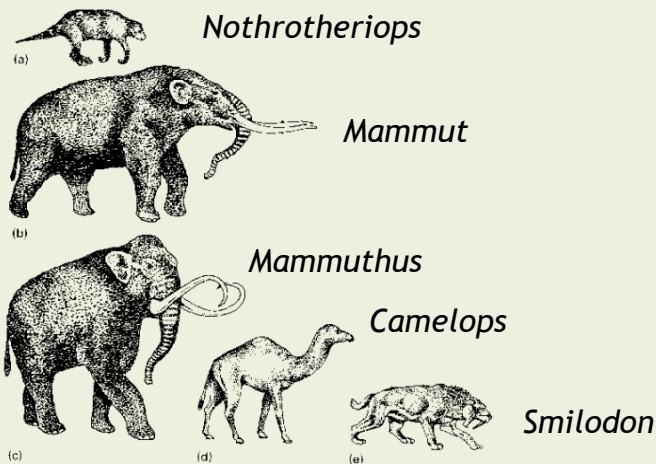
→ **477 espèces se sont éteintes** (69 mammifères, 80 oiseaux, 24 reptiles, 146 amphibiens et 158 poissons)

Extinctions "contemporaines" attribuables aux activités humaines

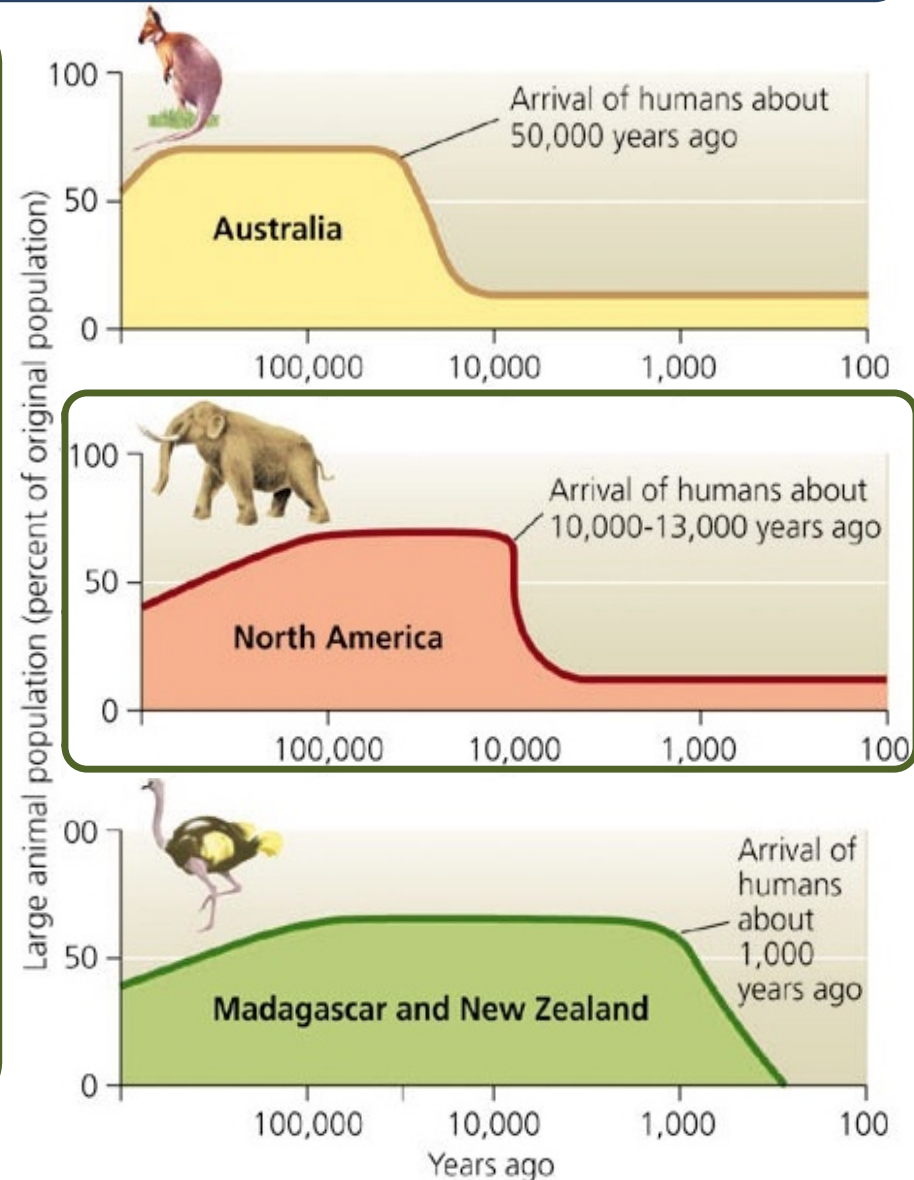
Avant le 16^{ème} siècle :

Extinctions "récentes" associées à la colonisation humaine d'habitats jusqu'alors inoccupés...

Ex. : Il y a 11 000 ans, prairies d'Amérique du Nord :
Grande diversité de gros mammifères (Mastodontes, ...)

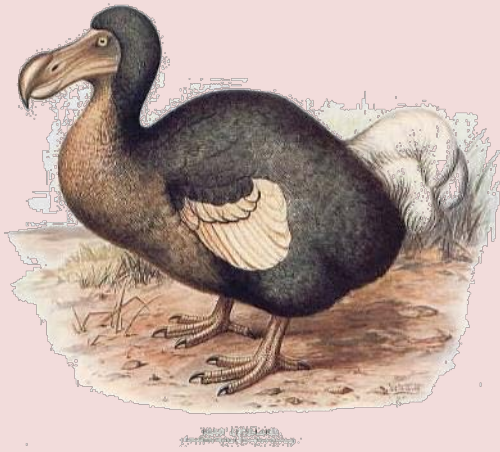


- ➔ **Disparition subite** de la mégafaune = colonisation de l'Amérique du Nord par le détroit de Béring
- ➔ Les sociétés "ancestrales" ont eu un **impact majeur** sur les populations de mammifères



Extinctions "contemporaines" attribuables aux activités humaines

Dodo à Maurice (*Raphus cucullatus*)



Découverte : 1598 ; Extinction : 1681

Rhytine de Steller (*Hydrodamalis gigas*)



8 mètres de long (8 tonnes) ; Pacifique-Nord (Béring)

Découverte: 1741 ; Extinction : 1768

Crapaud doré (*Incilius periglenes*)



Endémique d'une forêt de nuage du Costa Rica

Découverte: 1967 ; Extinction : 1987 (climat ?)

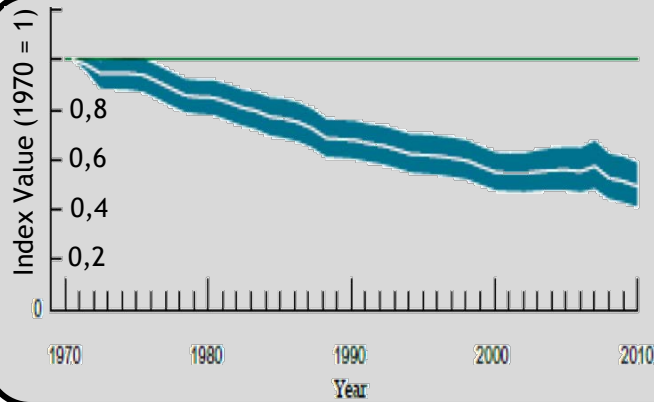
Oiseaux à Hawaï



from left to right
Kauai O'O Extinct, Kauai Akialoa Extinct, O'u Extinct,
Kauai Nukupu'u Extinct, Puaiohi less than 200 remain, Kamao Extinct

Victimes de la prédation d'espèces introduites et
des pathogènes introduits

Les extinctions actuelles s'accélèrent...



L'Indice de Planète Vivante (IPV; "Living Planet Index" = LPI) :

Tendances observées dans 10 380 populations de 3 088 espèces de mammifères, oiseaux, reptiles, amphibiens et poissons

➔ **Baisse de 52% entre 1970 et 2010** (→ tailles des populations de vertébrés ↘ de moitié en 40 ans)



Terrestrial LPI

TERRESTRIAL SPECIES
DECLINED BY 39 PER CENT
BETWEEN 1970 AND 2010

Les espèces terrestres ont diminué de 39%, tendance qui ne semble pas ralentir. La perte d'habitat est due à l'utilisation des sols par l'Homme — en particulier pour l'agriculture, le développement urbain et la production d'énergie — continue d'être une menace majeure, aggravée par la chasse.



Freshwater LPI

THE LPI FOR FRESHWATER
SPECIES SHOWS AN
AVERAGE DECLINE OF
76 PER CENT

Les espèces d'eau douce affichent une baisse moyenne de 76%. Les principales menaces pour ces espèces sont la perte et la fragmentation de l'habitat, la pollution et les espèces invasives. Les changements apportés aux niveaux de l'eau et à la connectivité des systèmes d'eau douce — par exemple par l'irrigation et les barrages hydroélectriques — ont un impact majeur sur les habitats d'eau douce.

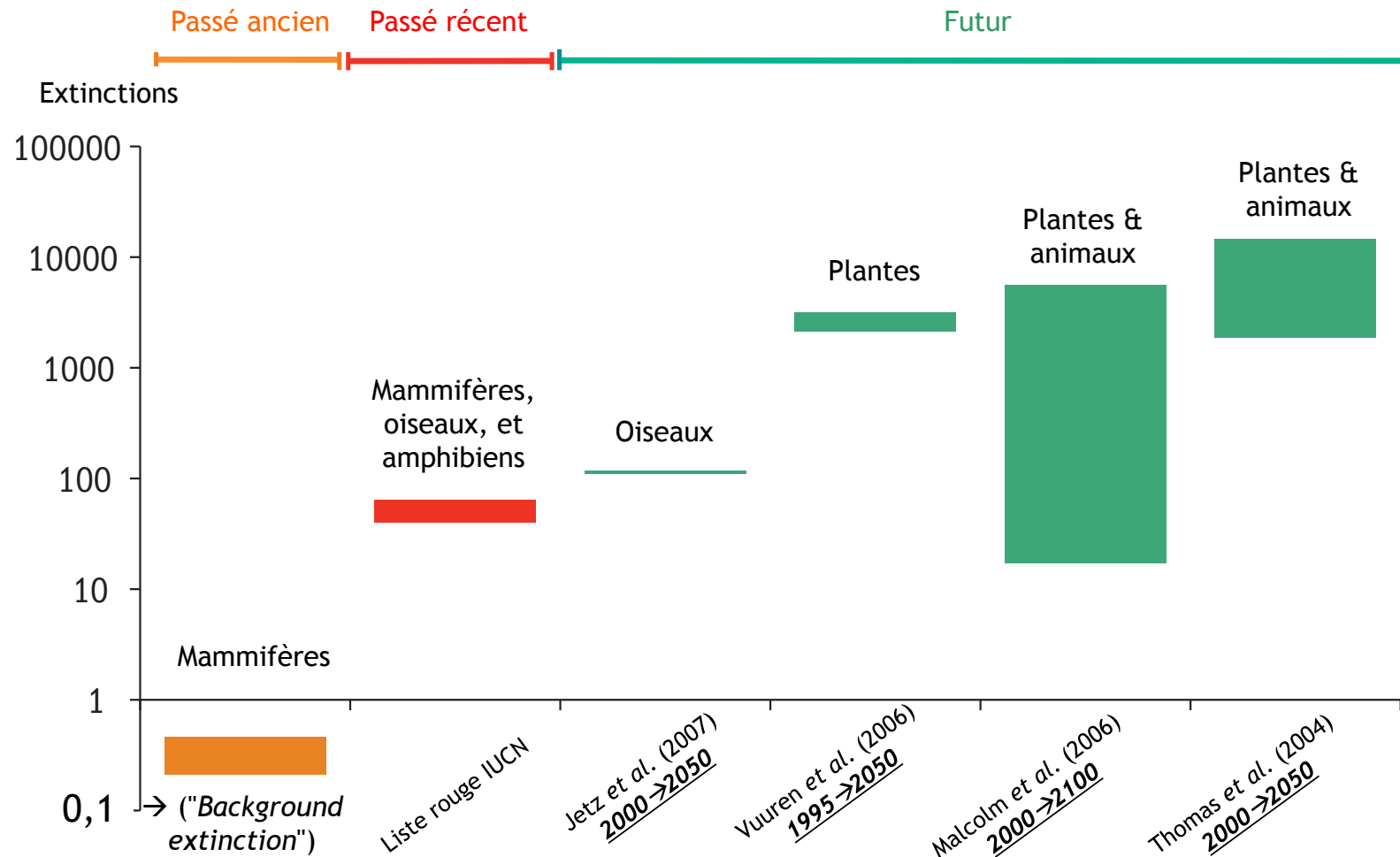


Marine LPI

MARINE SPECIES
DECLINED 39 PER CENT
BETWEEN 1970 AND 2010

Les espèces marines ont diminué de 39%. La période comprise entre 1970 et le milieu des années 1980 a connu la plus forte baisse, suivie d'une certaine stabilité, avant une autre période récente de déclin. Les déclin les plus marqués sont observés dans les régions tropicales et l'océan Austral, et concernent les tortues marines, de nombreux requins et les grands oiseaux migrateurs.

Les extinctions passées, présentes et futures...



Malgré les fortes incertitudes (intra– et inter-études), les taux d'extinction sont toutefois (très) supérieurs à ceux connus jusqu'à présent...

Points communs et différences entre les 5 crises de Biodiversité passées et celle actuelle

Ressemblances

Taux d'extinctions >>> celui "de fond" ($\approx 2 \text{ E / MSY}$)

Nature de la crise :

- Facteurs écologiques abiotiques
- Facteurs écologiques biotiques

Phénomènes bio-géochimiques :

- Augmentation du taux de CO_2 atmosphérique
- Réchauffement climatique à échelle globale
- Acidification des océans

Extinctions "secondaires" dues à des conséquences indirectes (réactions en chaîne)

Différences

Taux d'extinction actuellement constaté (8 à 100 E / MSY, selon le groupe) est encore plus élevé que ceux considérés lors des *Big Five* ($\leftarrow 5$ extinctions majeures de Biodiversité)

Déclencheur = 1 espèce ($\rightarrow$ l'Homme)

- Répartie à l'échelle du globe
- Considérée comme invasive

Durée beaucoup plus courte

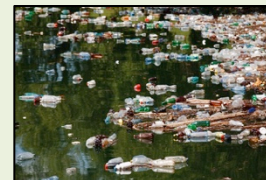
- Disparition se produit sur quelques siècles, plutôt que sur 1 à 2 Ma

Un aspect de l'écologie liée à l'anthropisation : l'écologie appliquée

L'écologie appliquée s'inscrit dans le contexte des changements globaux

= "Modifications actuelles – liées aux activités humaines – des facteurs biotiques, abiotiques et écologiques qui affectent les écosystèmes dans toutes les régions géographiques"

- ↗ [CO₂] atmosphérique et autres gaz à effet de serre (+ 28%*)
- Expansion des terres agricoles au détriment des forêts (- 48%*) et autres habitats terrestres
- ↗ [Azote] (+ 97%*) et [phosphates] dans les sols et les milieux aquatiques
- ↗ des produits toxiques d'origines agricole / industrielle dans l'environnement (→ concentration aux pôles)
- Accumulation de déchets d'origine humaine dans certains habitats



* : depuis l'Holocène (= 10 000 dernières années)

Un aspect de l'écologie liée à l'anthropisation : l'écologie appliquée

Exemple : exploitation durable des écosystèmes

Concerne essentiellement :

- **Agriculture** (→ Gestion des terres arables)



- **Foresterie** (→ Gestion des stocks de bois)



- **Pêche** (stocks de poissons – "halieutique")



Ce sont des ressources renouvelables, mais disponibles en quantités limitées !

Il convient de déterminer leur devenir et leur productivité, afin d'assurer les :

- Maintien et renouvellement des ressources
- Bon fonctionnement général des écosystèmes exploités

Défi majeur du 21^{ème} siècle :

Maintenir des rendements agricoles et halieutiques élevés (→ subvenir aux besoins alimentaires de la population humaine mondiale, qui augmente continuellement)

- sans détruire les habitats concernés (← c'est le cas dans ce contexte des changements globaux rapides)
- dans un espace fini !

Impacts anthropiques sur le fonctionnement de l'Ecosphère

Université du Temps Libre ; 22/01/2018 ; Cambrai

- 1) Démographie humaine, empreinte écologique et entrée dans l'ère de l'*Anthropocène*
- 2) L'*Anthropocène* : l'Homme comme force de transformation majeure de l'Ecosphère
- 3) **Une nouvelle façon de caractériser les biomes : *les Anthromes***
- 4) *Les causes du changement climatique*
- 5) Reconstitution du climat passé et observations présentes

Une nouvelle façon de caractériser les biomes : les Anthromes

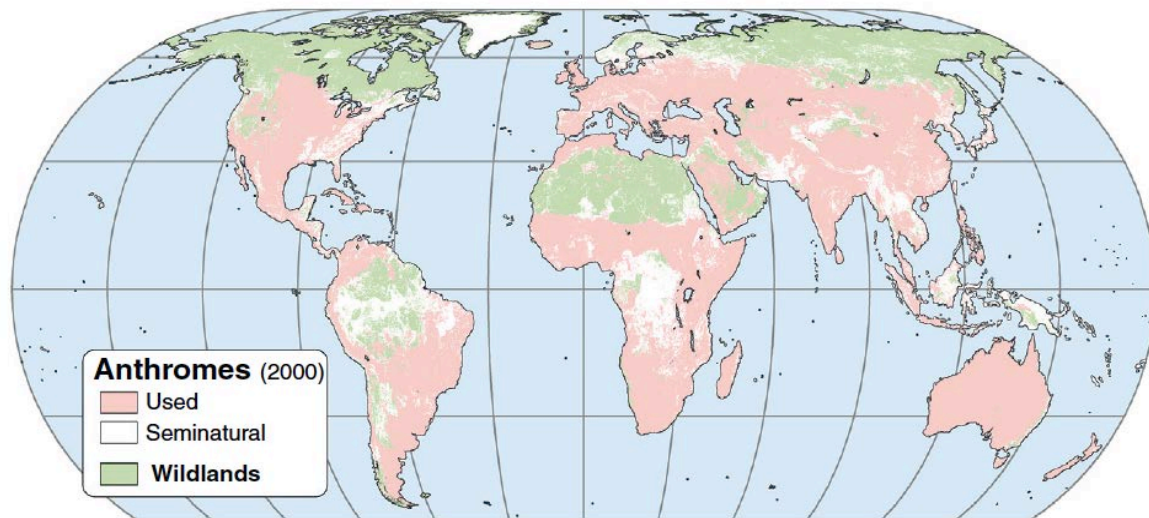
Anthromes (Antropised Biomes ; Biomes Anthropisés = "Biomes issus de l'activité humaine") : Patrons géographiques généraux créés par les interactions durables et directes entre l'Homme et les écosystèmes

- Les différents biomes ne sont pas considérés ici en fonction du type de végétation qui y pousse et des conditions climatiques (≠ de la conception des 9 biomes selon Whitaker [savane, forêt, prairie, ...])
- Il sont considérés ici en fonction de la pression anthropique qui est exercée sur le milieu environnant

3 catégories d'anthromes au regard de leur utilisation par l'Homme :

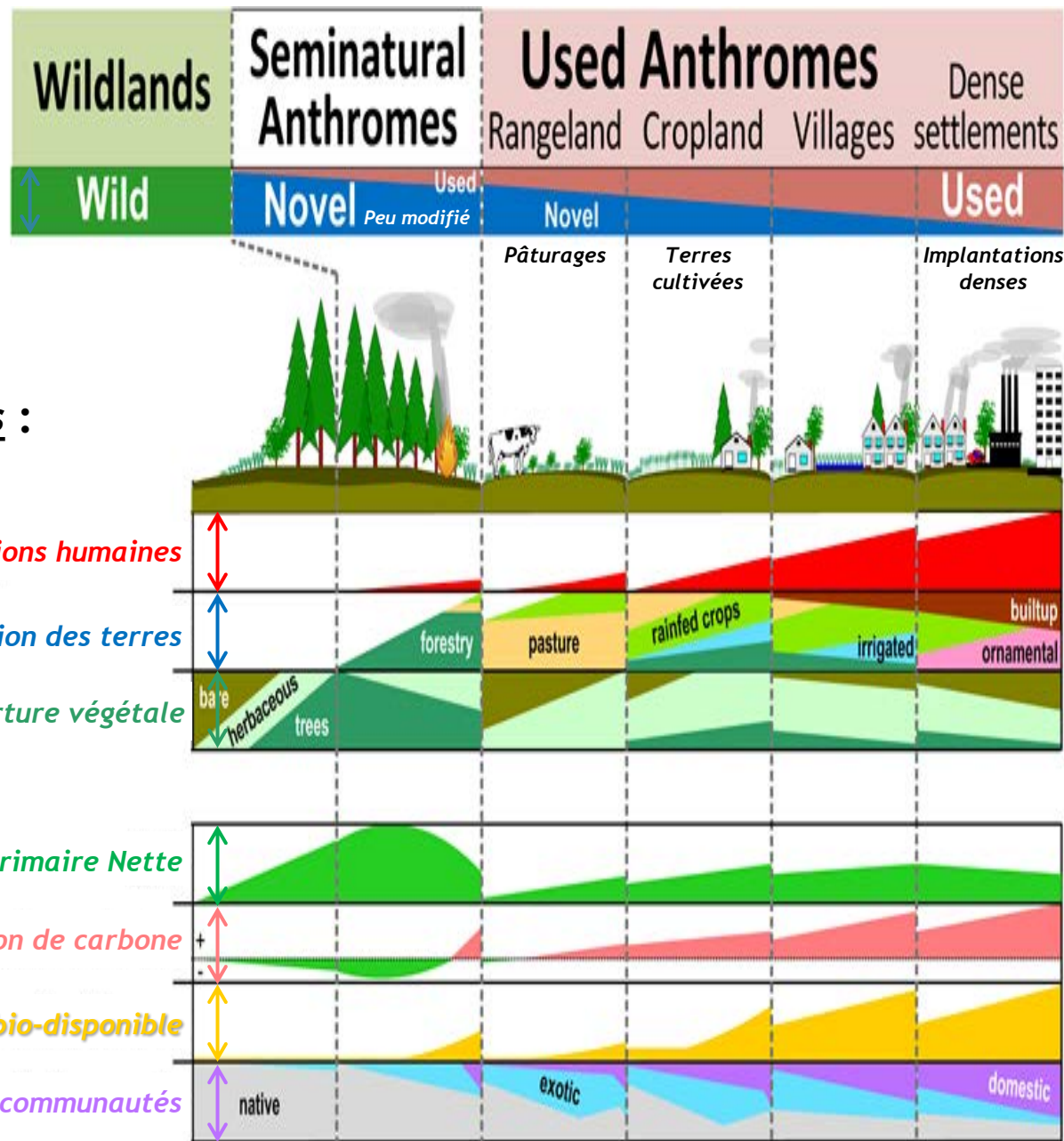
- Utilisé ("Used")
- Semi-naturel ("Seminatural")
- Sauvage ("Wildlands")

Etendue mondiale des Anthromes en 2000,
selon leur taux d'utilisation anthropique



Une nouvelle façon de caractériser les biomes : les Anthromes

- *Catégorie d'anthrome*
- *Taux d'utilisation des terres*



Caractérisation des Anthromes :

- *Densité des populations humaines*
- *Type d'utilisation des terres*
- *Type de couverture végétale*
- *Productivité Primaire Nette*
- *Emissions / absorption de carbone*
- *Azote bio-disponible*
- *Compositions relatives des communautés*

Les 19 types d'Anthromes

(définis selon la pression anthropique supportée)

Taux d'utilisation de l'habitat

- **Implantations denses** (= *Urbanisation et d'autres implantations denses*)

- Urbanisé (= environnements densément construits avec des populations très élevées)
- Implantations mixtes (= banlieue, villes et agglomérations rurales à fortes populations, mais fragmentées)

- **Villages** (= *implantations agricoles denses*)

- Villages de riziculture (= villages dominés par des rizières inondées)
- Villages irrigués (= villages dominés par des cultures irriguées)
- Villages pluviaux (= villages dominés par de l'agriculture pluviale)
- Villages pastoraux (= villages dominés par des pâturages et des terres cultivées)

- **Terres cultivées** (= *terres utilisées principalement pour des cultures annuelles*)

- Terres cultivées irriguées et résidentielles (= terres cultivées irriguées avec d'importantes populations humaines)
- Terres agricoles pluviales et résidentielles (= terres cultivées non irriguées avec d'importantes populations humaines)
- Terres agricoles peuplées (= terres cultivées avec d'importantes populations humaines, et un mélange de cultures irriguées et pluviales)
- Terres cultivées éloignées (= terres cultivées sans population humaine importante)

- **Pâturages** (= *terres principalement utilisées en tant que prairies et pour le pâturage du bétail*)

- Pâturages résidentiels (= pâturages avec d'importantes populations humaines)
- Pâturages peuplés (= pâturages avec des populations humaines moins denses)
- Pâturages éloignés (= exploitation de prairies sans population humaine importante)

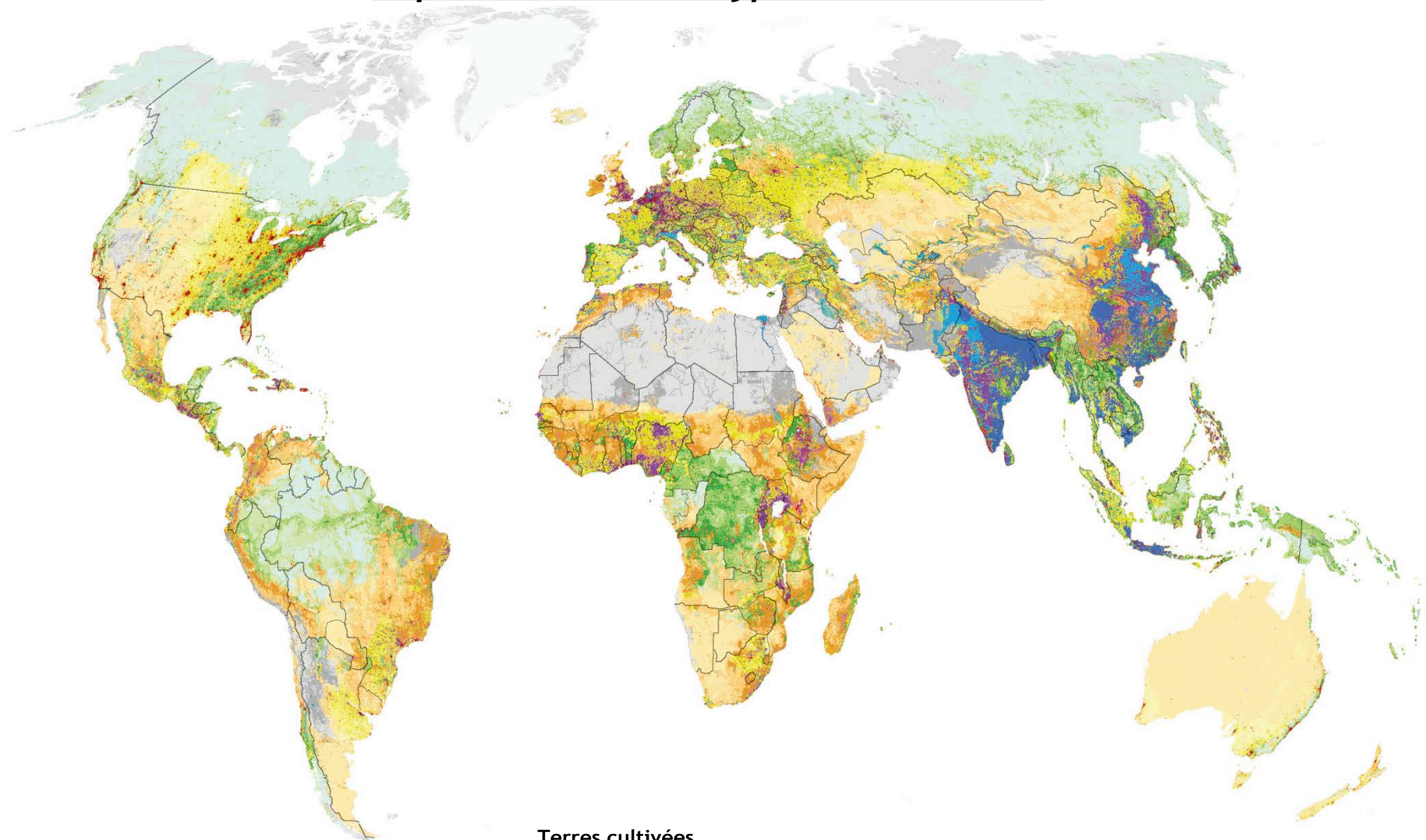
- **Semi-naturelles** (= *terres habitées avec utilisation mineure de l'agriculture et implantation humaine limitée*)

- Forêts résidentielles (= régions forestières avec utilisation mineure des terres et des populations humaines substantielles)
- Forêts peuplées (= régions forestières avec utilisation mineure des terres et des populations humaines significatives)
- Forêts éloignées (= régions forestières avec utilisation mineure des terres et sans population humaine importante)
- Terres habitées, nues et sans arbre (= régions sans couverture arborée, avec une utilisation mineure des terres et de faibles populations)

- **Sauvages** (= *terres sans population humaine ni utilisation significative*)

- Environnements sauvages (= forêts et savanes)
- Terres sauvages, nues et sans arbre (= régions sans couverture arborée : prairies, zones arbustives, toundra, désert, et terres nues)

Répartition des 19 types d'Anthromes



Implantations denses

- Urbanisé
- Implantations mixtes



Villages

- Villages de riziculture
- Villages irrigués
- Villages pluviaux
- Villages pastoraux



Terres cultivées

- Terres cultivées irriguées et résidentielles
- Terres agricoles pluviales et résidentielles
- Terres agricoles peuplées
- Terres cultivées éloignées



Pâturages

- Pâturages résidentiels
- Pâturages peuplés
- Pâturages éloignés



Semi-naturelles

- Forêts résidentielles
- Forêts peuplées
- Forêts éloignées
- Terres habitées, nues et sans arbre

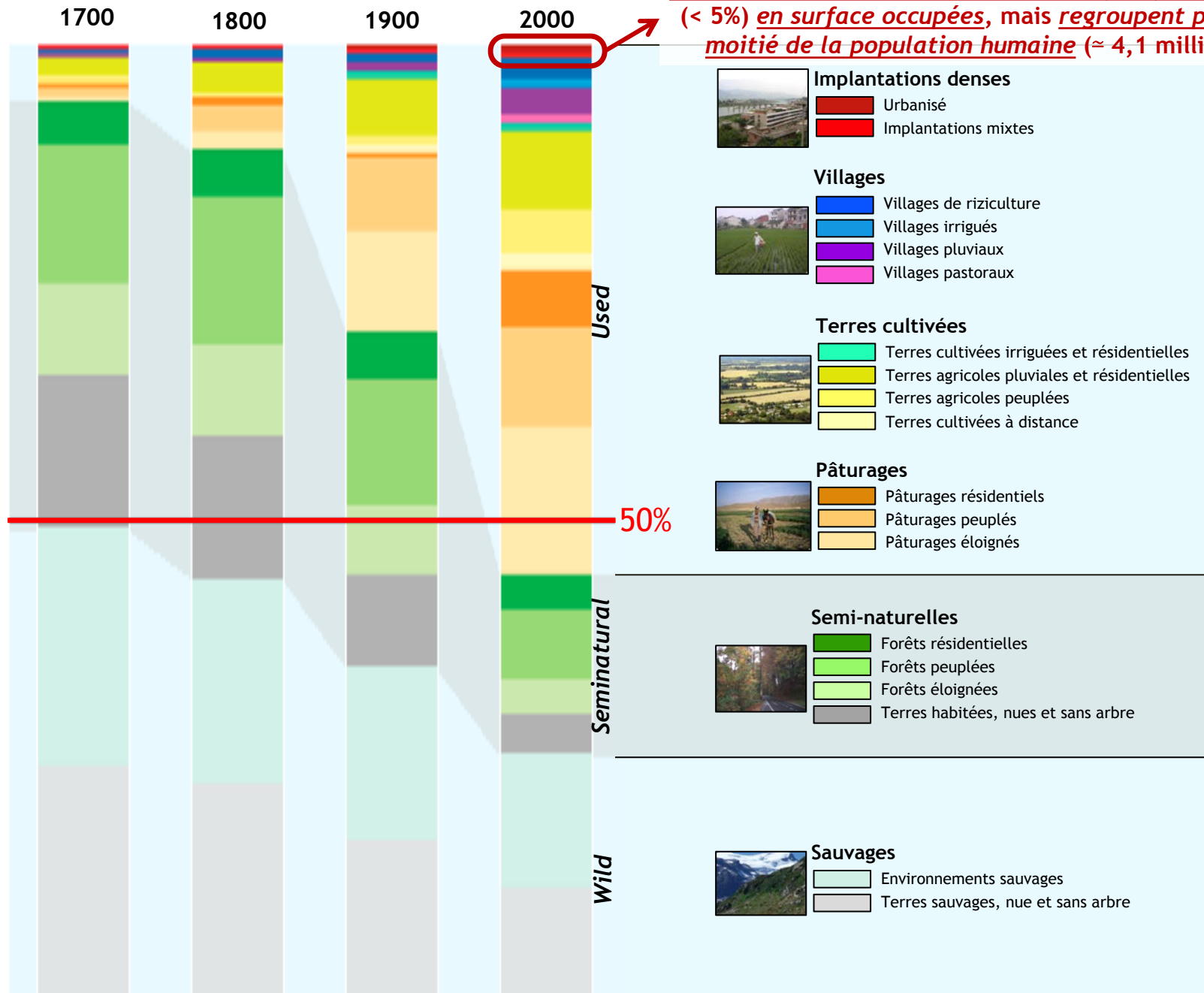


Sauvages

- Environnements sauvages
- Terres sauvages, nue et sans arbre

Proportions relatives des Anthromes durant les 4 siècles passés

Les zones densément urbanisées sont (très) minoritaires (< 5%) en surface occupées, mais regroupent plus de la moitié de la population humaine (≈ 4,1 milliards) !



Zones critiques de richesse ET d'extinction de Biodiversité (Hotspots)

Hotspot : • Au moins 0,5 % de la diversité mondiale des plantes vasculaires en tant qu'endémiques (ie. au moins ≈ 1500 espèces sont endémiques / hotspot)

- A perdu au moins 70% de sa végétation primaire (ie. "sauvage naturelle")

→ Petites régions très diversifiées et très exposées à la destruction d'habitats



40 à 90 % de la Biodiversité est trouvée dans les **forêts tropicales** = (17 / 25 hotspots)

Principales régions où la Biodiversité menacée : "xx%" = Partie restante de la superficie originelle de végétation

Hotspots les plus menacés (≤10 % de surface originelle restante)

Plus d'1 milliard d'habitants vit dans les hotspots, où le taux de croissance de la pop. = 1,8 % / an (moyenne mondiale = 1,1 % / an)

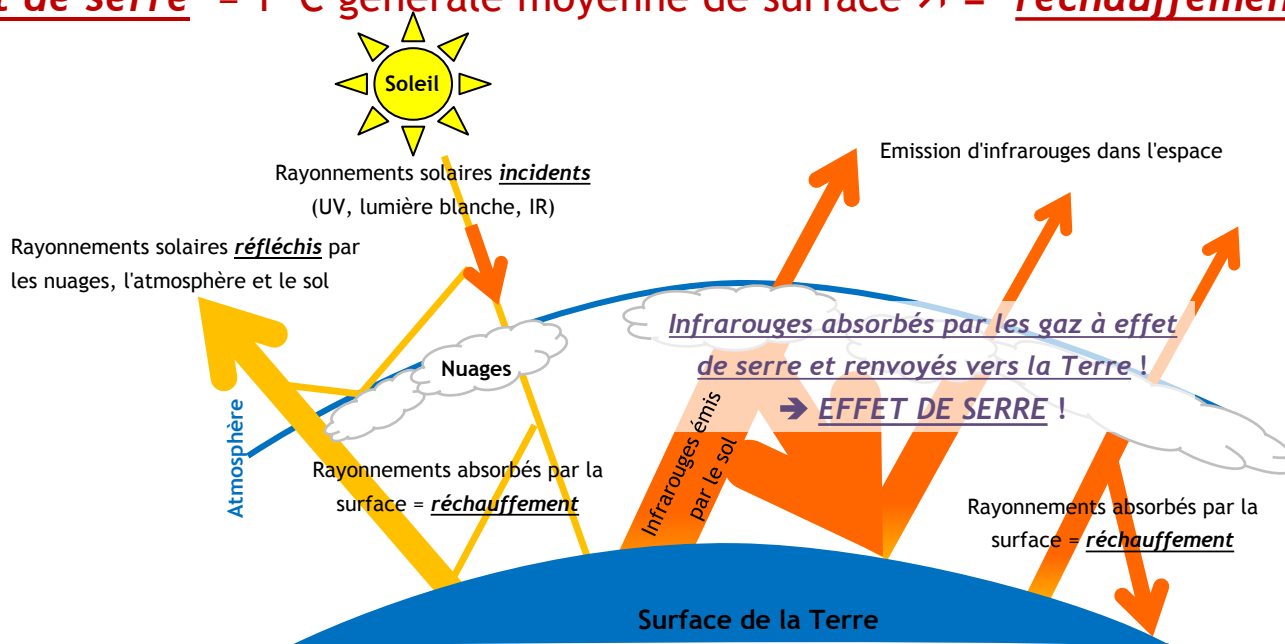
Impacts anthropiques sur le fonctionnement de l'Ecosphère

Université du Temps Libre ; 22/01/2018 ; Cambrai

- 1) Démographie humaine, empreinte écologique et entrée dans l'ère de l'*Anthropocène*
- 2) L'*Anthropocène* : l'Homme comme force de transformation majeure de l'Ecosphère
- 3) Une nouvelle façon de caractériser les biomes : *les Anthromes*
- 4) Les causes du changement climatique**
- 5) Reconstitution du climat passé et observations présentes

Comprendre le réchauffement climatique

"Effet de serre" = T° C générale moyenne de surface ↗ = **"réchauffement du climat"**



Rayonnement solaire : Ondes courtes qui réchauffent la surface de la Terre, puis qui sont réémises sous forme de rayonnement infrarouge (= Chaleur)

Sans effet de serre (ie. sans atmosphère) :

$\theta_{\text{annuelle moyenne}}$ de la Terre serait de -19°C

→ **Impropre à la vie !**

Avec effet de serre : $\theta_{\text{annuelle moyenne}} \approx 15^{\circ}\text{C}$

→ **L'effet de serre (naturel) permet la Vie sur Terre !**

"Effet de serre" = Chaleur piégée dans l'atmosphère par certains gaz (H_2O ; CO_2 ; CH_4 ; fluorocarbones ; ...) issus de diverses sources [naturelle, industrielle, modes de vie "modernes", ...]

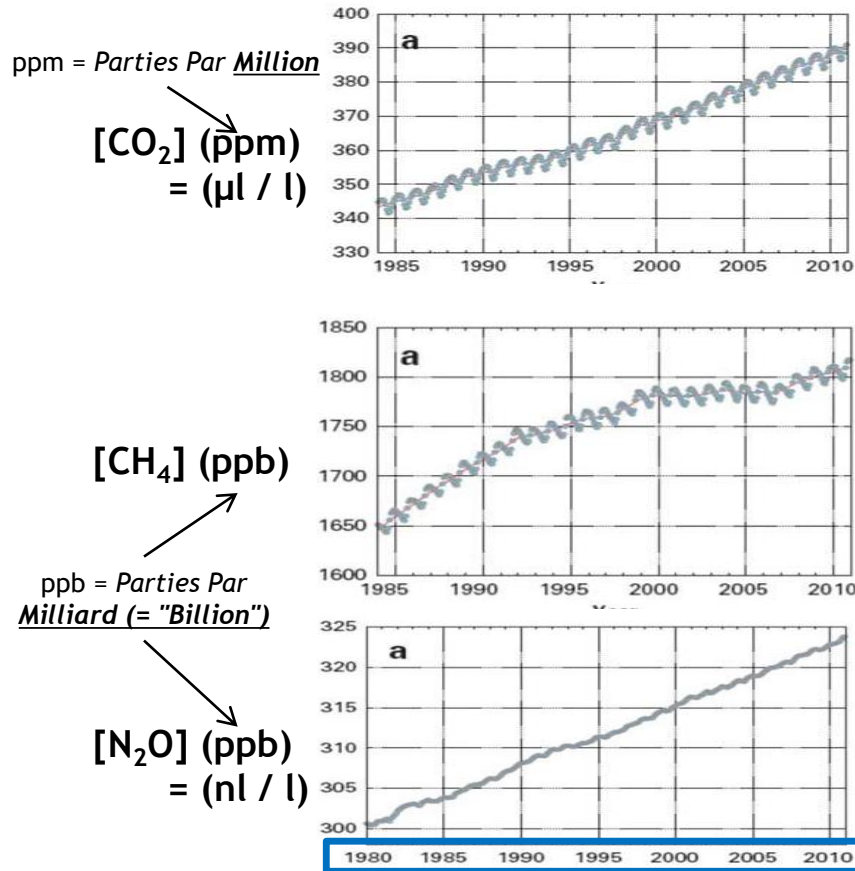
→ Rayonnements infra-rouges qui "rebondissent" sur ces gaz accumulés dans l'atmosphère

→ Sont réémis (= chaleur !) vers la Terre (plutôt que vers l'espace [= permettrait de refroidir le système])

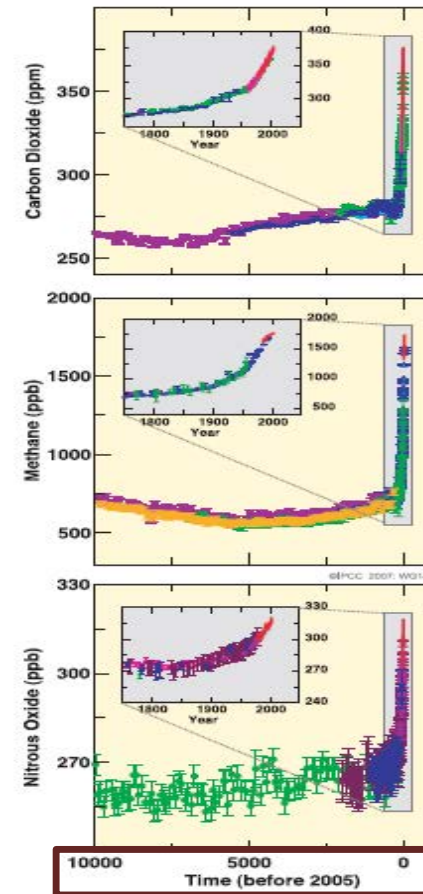
Causes du changement climatique

→ Effet de serre : réémission de chaleur vers la Terre par les nuages et les gaz à effet de serre

Tendances de ces concentrations durant les 30 dernières années



Tendances de ces concentrations durant les 10 derniers millénaires



GIEC 2014

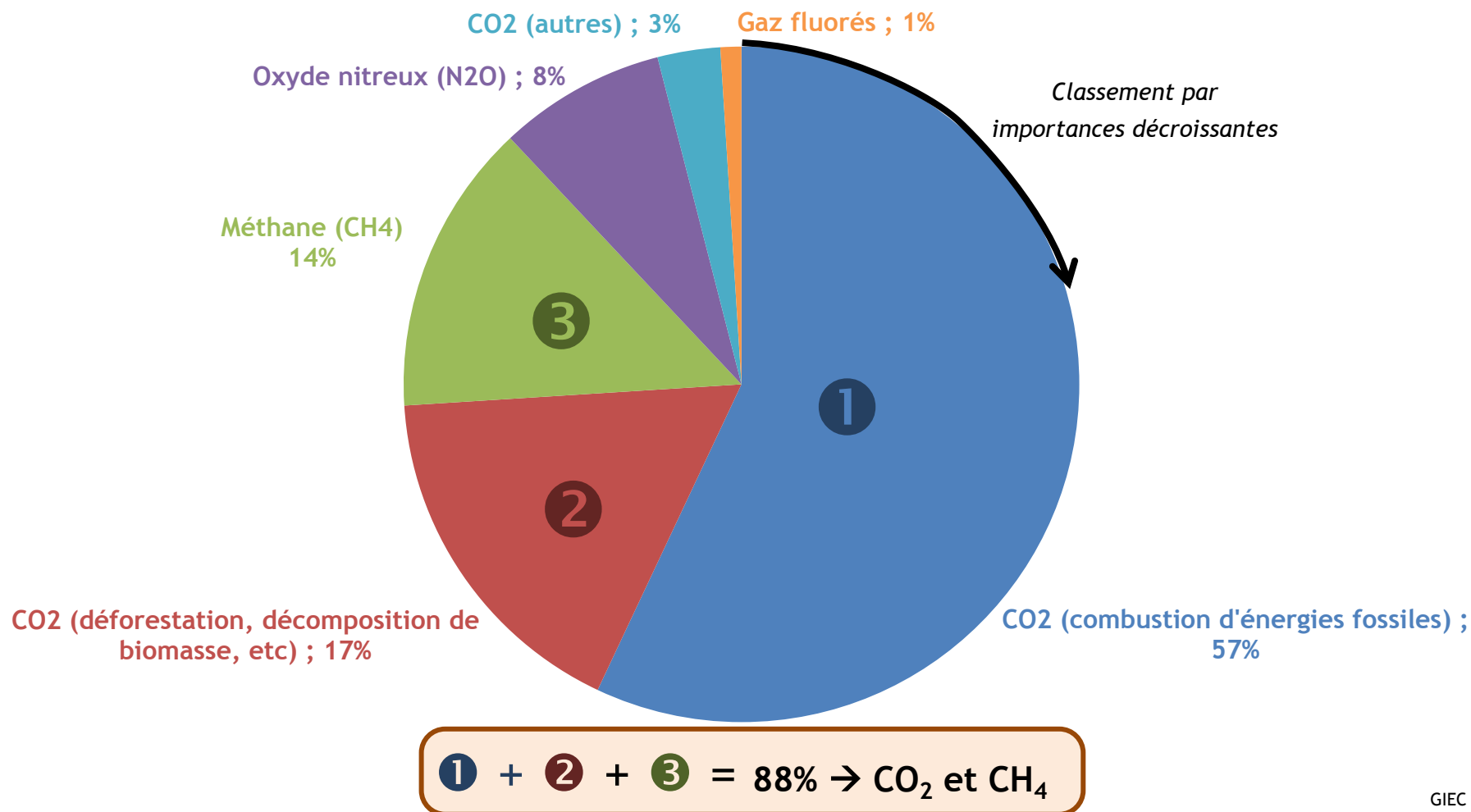
→ Actuellement : l'anthropisation fait augmenter les concentrations atmosphériques de ce type de gaz : essentiellement CO_2 , CH_4 (méthane) et N_2O (oxyde nitreux [ou "protoxyde d'azote"])

D'où proviennent ces gaz à effet de serre ?

→ **Effet de serre** : Réémission de chaleur vers la Terre par les nuages et gaz à effet de serre

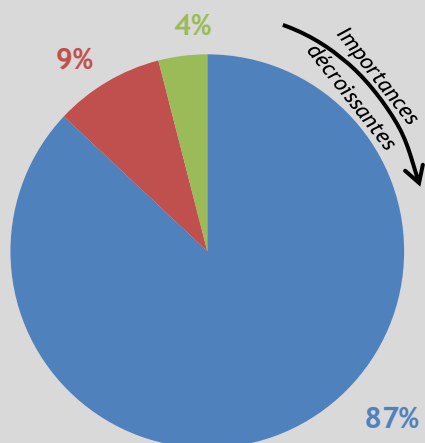
→ **Actuellement** : l'anthropisation impacte les concentrations atmosphériques de tels gaz (→ elles augmentent) : essentiellement CO_2 , CH_4 (méthane) et N_2O (oxyde nitreux)

Contribution de différents gaz qui participent à l'effet de serre (**origine anthropique uniquement**)



D'où proviennent ces gaz à effet de serre ?

Sources anthropiques de dioxyde de carbone (CO₂)



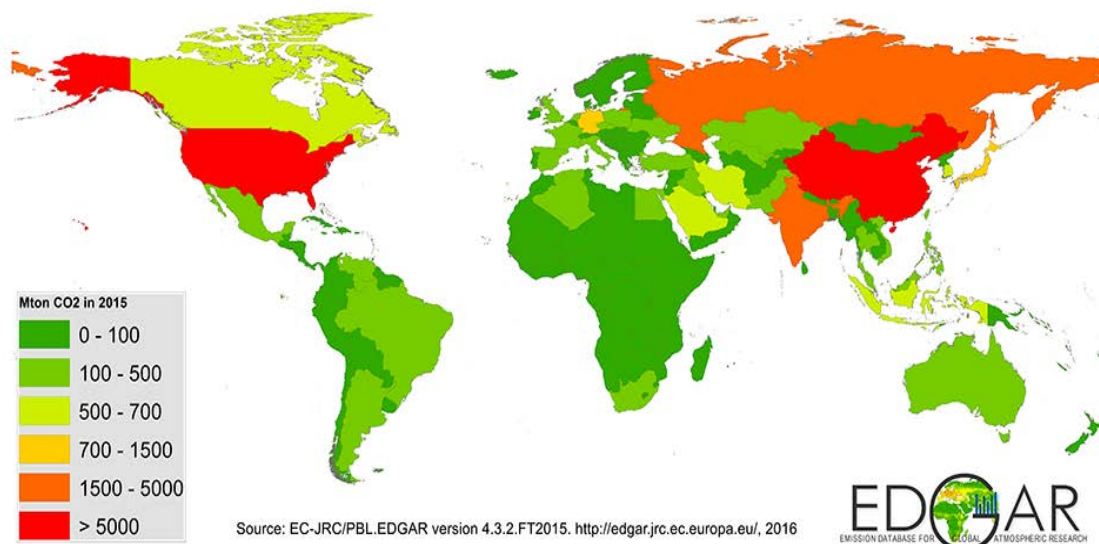
Combustibles fossiles

Changement d'utilisation des terres
(→ Déforestation)

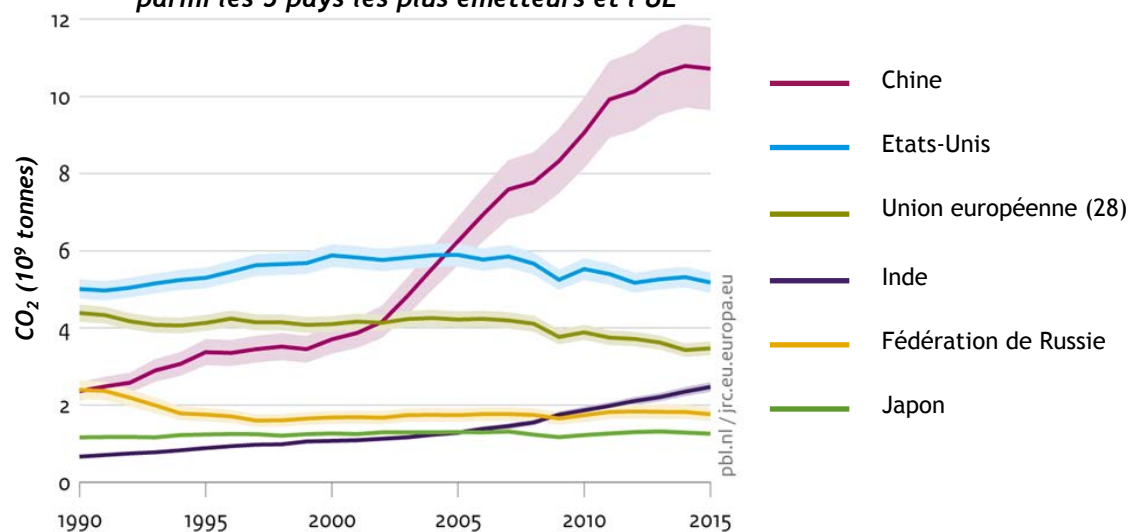
Industrie

Le Quéré et al 2013

Emissions de CO₂ (10⁶ t) sur une année (2015)

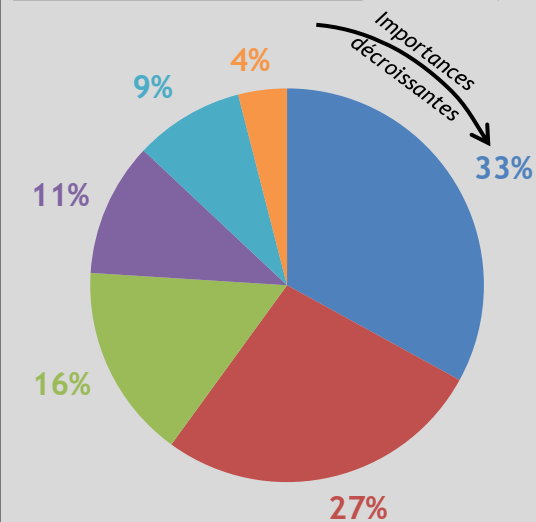


Emissions de CO₂ dues à la combustion d'énergies fossiles, parmi les 5 pays les plus émetteurs et l'UE



D'où proviennent ces gaz à effet de serre ?

Sources anthropiques de méthane (CH_4)



Biocarburants

Production de combustibles fossiles

Bétail

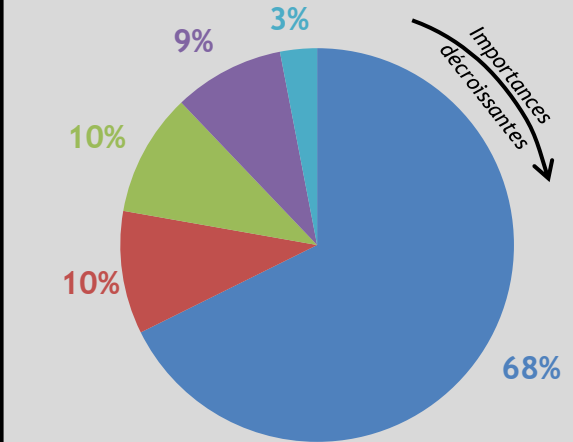
Déchets

Combustion de biomasse

Culture du riz

Bousquet et al Nature 2006

Sources anthropiques d'oxyde nitreux (N_2O)



Agriculture

Combustibles fossiles, processus industriels
(= nylon, engrais, ...)

Combustion de biomasse

Dépôts atmosphériques

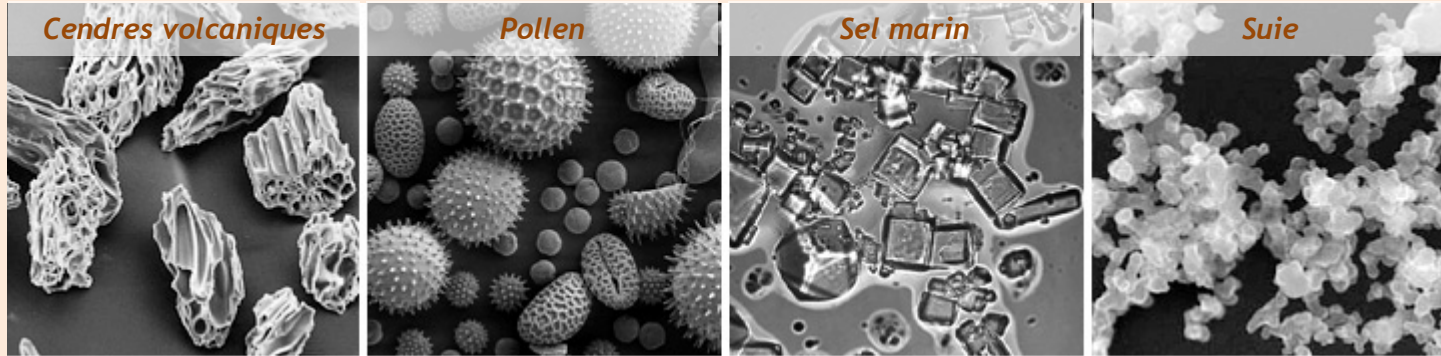
Eaux usées

Moins abondant, mais son effet de serre est 300 fois plus important que celui provoqué par le CO_2 !

GIEC 2014

Rôle des aérosols

Aérosols (= "*petites particules en suspension dans l'atmosphère*") : Nuages, sable, pollen, sel marin, cendres volcaniques, ... **qui peuvent parfois être d'origines anthropiques** ($\leftarrow \approx 10\%$ des aérosols) : suies ; aérosols soufrés (SO_2) issus de la combustion d'hydrocarbures fossiles ; particules fines issues de la combustion de biomasse, ...



La présence d'aérosols dans l'atmosphère a 2 effets majeurs sur le climat :

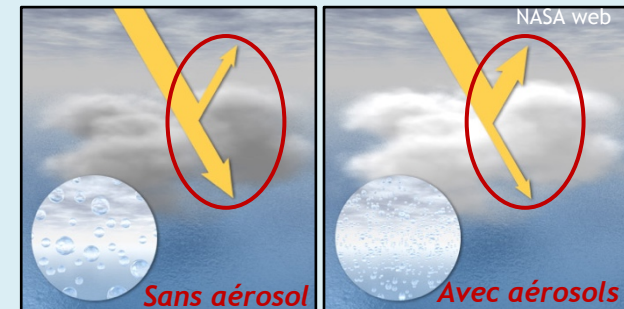
1) Ils reflètent ou absorbent la lumière (en fonction de leur couleur)

- Ex. : • **Suie (sombre) absorbe la lumière (= réchauffe l'atmosphère)**
 • **Sel et sulfates (clairs) reflètent la lumière (= refroidissent l'atmosphère)**

2) Ils favorisent la nucléation de la vapeur d'eau au sein des nuages

Les nuages avec aérosols sont clairs et formés de fines gouttelettes

- Ils reflètent la lumière du soleil (= albédo fort)
- Ils ont un effet refroidissant sur l'atmosphère



Rôle des aérosols

→ L'effet des aérosols dépend de la couche atmosphérique (= altitude) dans laquelle ils se trouvent

Particules fines issus de la pollution anthropique (= suies, de couleur sombre) :

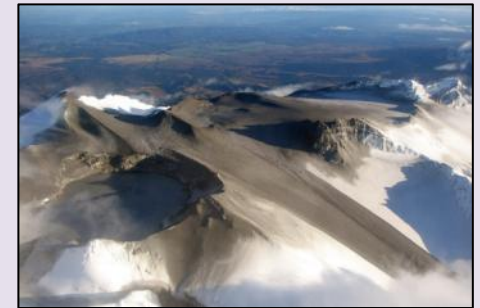
- Réchauffent la haute atmosphère (formation de nuages d'altitude)
- Réduisent les radiations transmises jusqu'à la surface de la Terre → Refroidissement de la surface

Les particules de couleur sombre augmentent la température de la surface où elles se déposent (→ Cendres noires sur le sommet du Mont Ruapehu [Nouvelle-Zélande], après une éruption en 2007)

Nuage de particules fines au dessus de Pékin

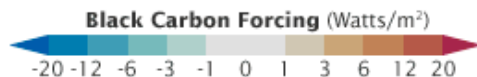
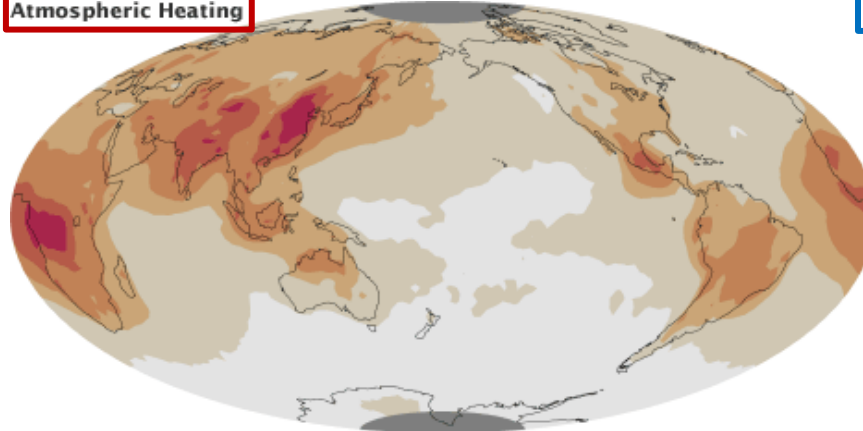


Nuage de particules fines au dessus de Paris

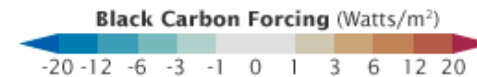
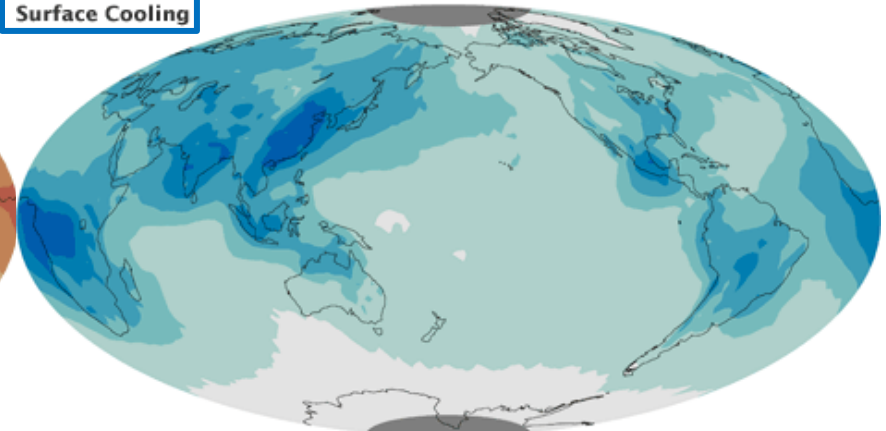


Particules fines anthropiques : **réchauffement en altitude** et **refroidissement en surface**

Atmospheric Heating



Surface Cooling



Rôle des aérosols

Contrairement aux gaz à effet de serre, les aérosols sont peu mobiles

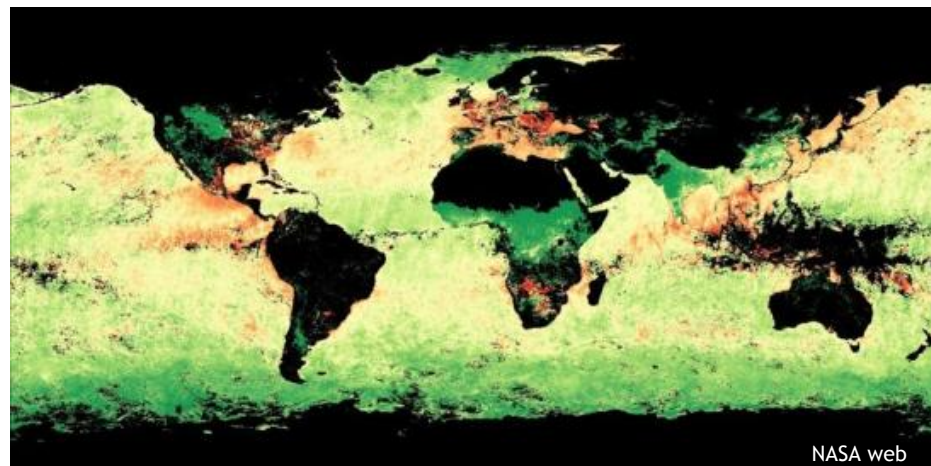
→ Effets qui sont géographiquement plus localisés

→ Ils ont surtout un effet global refroidissant (à la surface de la Terre)

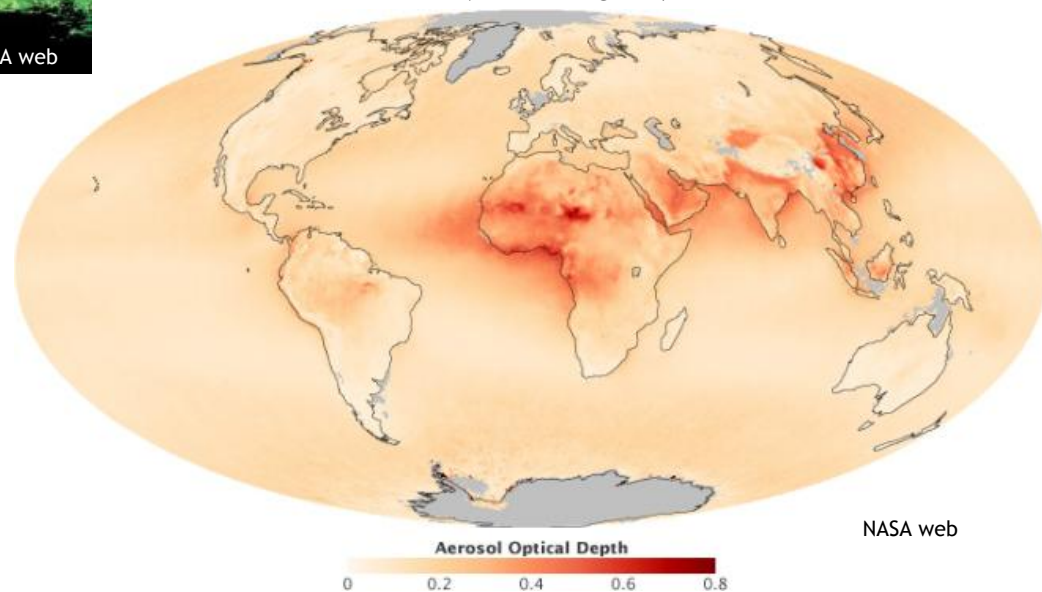
Taille des particules :

Vert : grosses particules d'origine naturelle (sable, sel marin, ...) ;

Rouge : fines particules d'origine humaine (suie, ...)



Localisation des aérosols (toutes origines) entre 2002 et 2011



Rôle des aérosols

Contrairement aux gaz à effet de serre, les aérosols sont peu mobiles

→ Effets qui sont géographiquement plus localisés

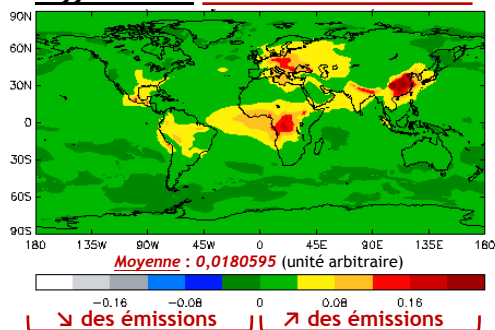
→ Ils ont surtout un effet global refroidissant (à la surface de la Terre)

(Corollaire) : Ils masquent partiellement le réchauffement climatique

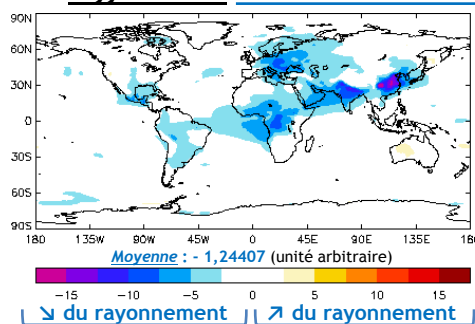
Assombrissement global dû aux aérosols dans l'atmosphère :

Changements d'émissions d'aérosols : Changements de rayonnements reçus :

Différences entre 1950 et 1980



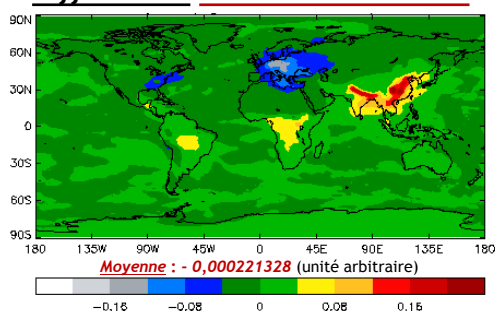
Différences entre 1950 et 1980



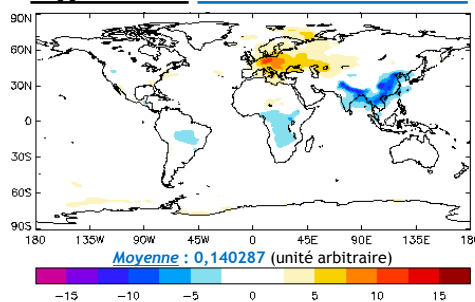
Là où les émissions d'aérosols ↗,
les rayonnements reçus au sol ↘

UK MetOffice web

Différences entre 1980 et 2000



Différences entre 1980 et 2000



Là où les émissions d'aérosols ↘,
les rayonnements reçus au sol ↗

"Assombrissement global de l'atmosphère" → Atténuation de l'effet de serre → Refroidissement de la surface de la Terre → Le réchauffement climatique est amplifié là où les émissions de particules sont réduites...

Impacts anthropiques sur le fonctionnement de l'Ecosphère

Université du Temps Libre ; 22/01/2018 ; Cambrai

- 1) Démographie humaine, empreinte écologique et entrée dans l'ère de l'*Anthropocène*
- 2) L'*Anthropocène* : l'Homme comme force de transformation majeure de l'Ecosphère
- 3) Une nouvelle façon de caractériser les biomes : *les Anthromes*
- 4) Les causes du changement climatique
- 5) Reconstitution du climat passé et observations présentes**

Le climat a déjà changé plusieurs fois dans le passé

Changements précédents : à des vitesses de l'ordre des décennies ou siècles

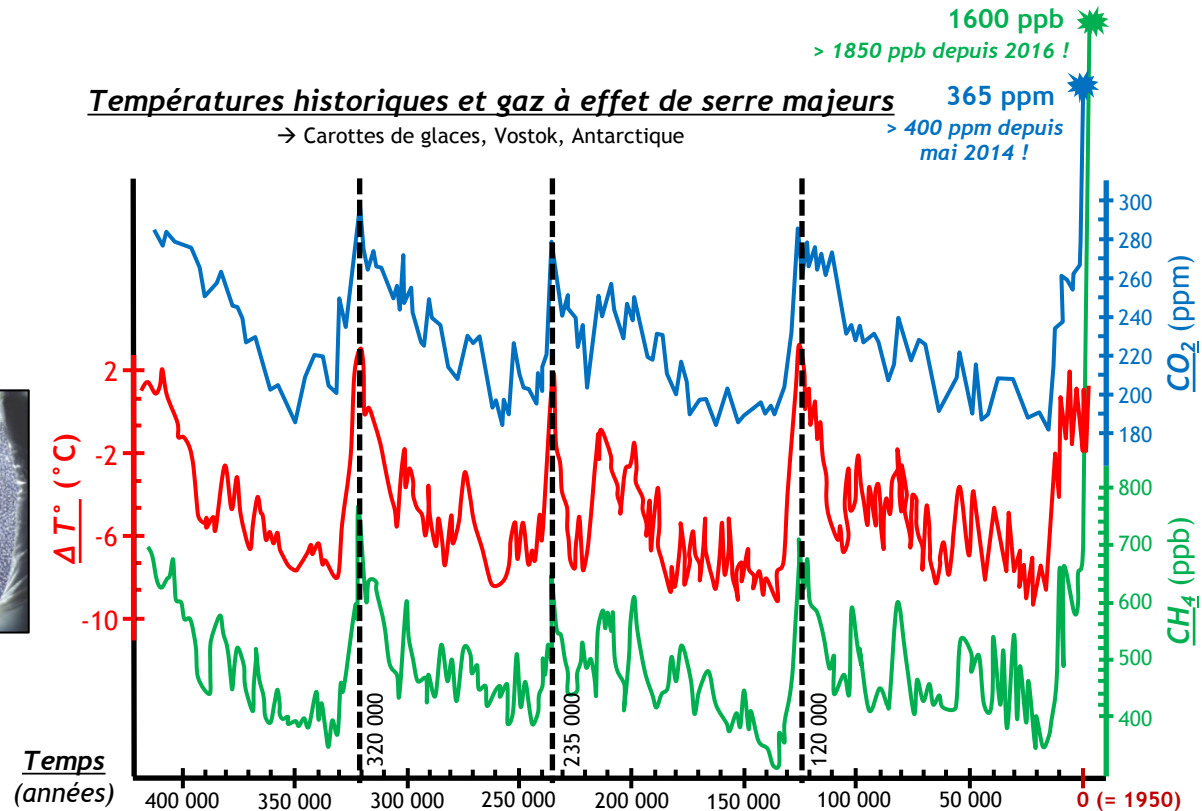
→ Cycles glaciaires (à l'échelle de plusieurs millénaires ; $\approx 100\,000$ ans)

Temp. annuelle moy. actuelle à Vostok : -56°C



Températures historiques et gaz à effet de serre majeurs

→ Carottes de glaces, Vostok, Antarctique



Caractéristiques du réchauffement actuel :

- Il est (beaucoup) plus rapide qu'auparavant
- Les concentrations actuelles de CO₂ et CH₄ atmosphériques atteignent des niveaux sans précédent !
- Des effets "retardés" sont à prévoir → quelles projections climatiques à plus ou moins longs termes ?

Le climat a déjà changé plusieurs fois dans le passé

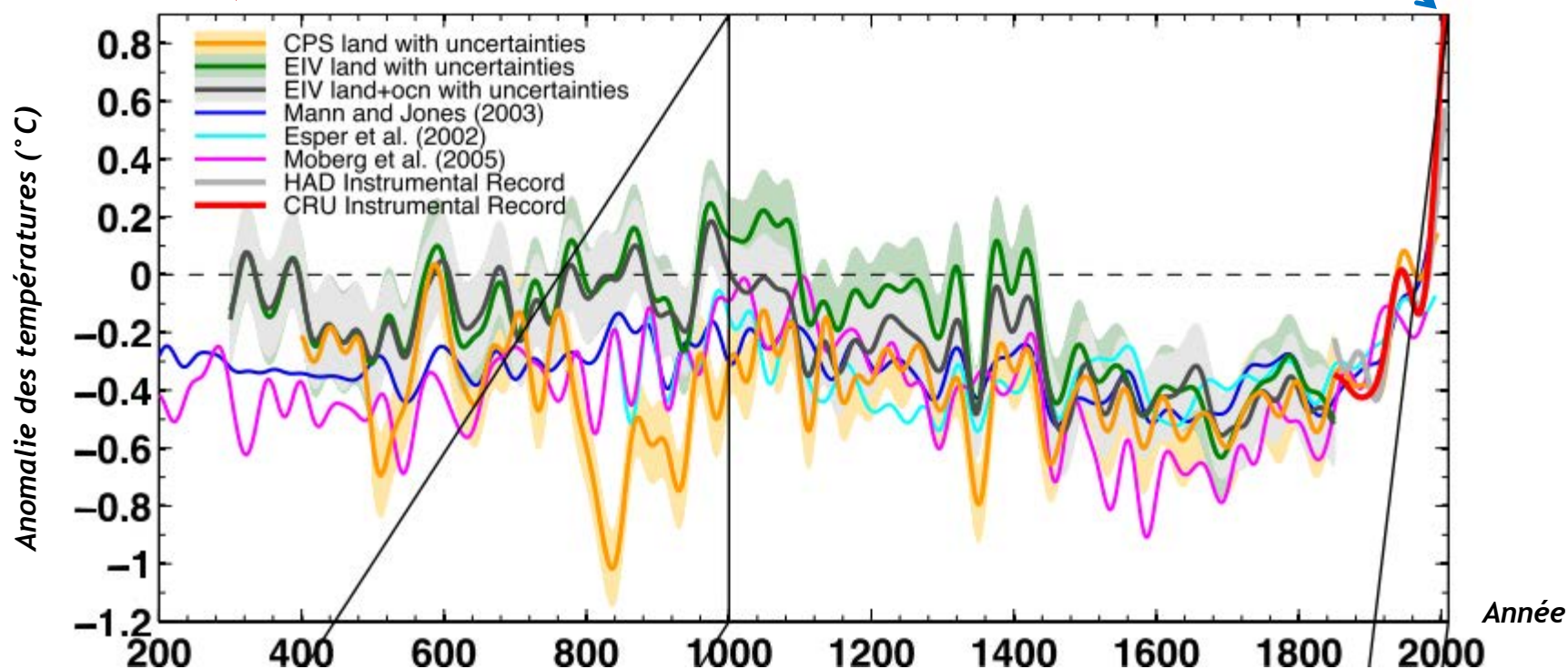


Fluctuations climatiques précédentes à l'échelle des siècles

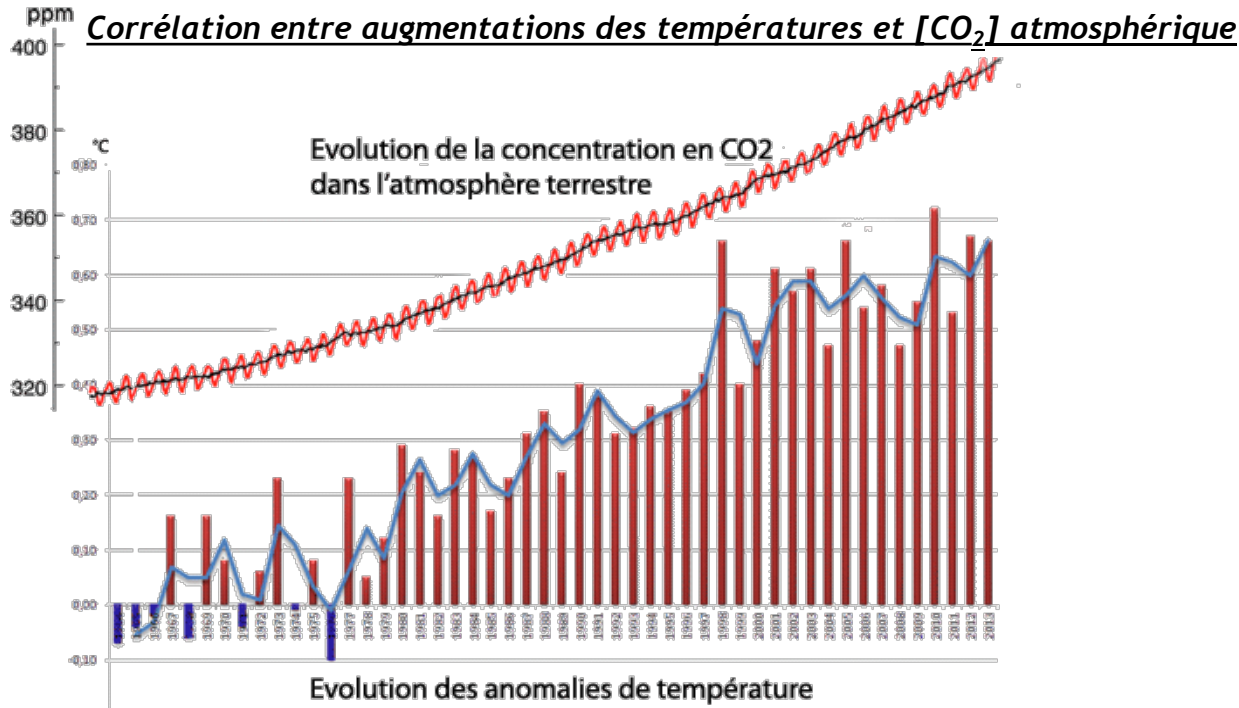
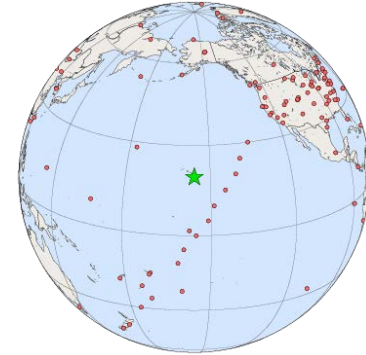
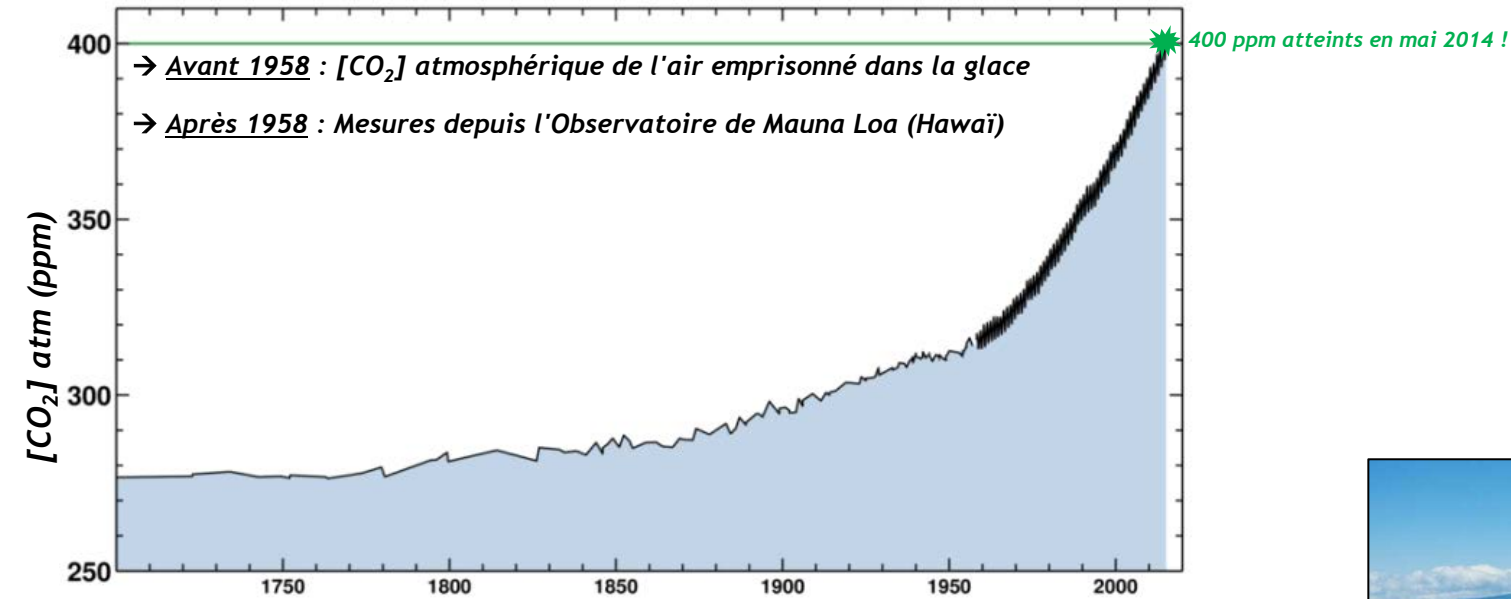
Différents modèles de reconstitutions climatiques

*Changement brusque et sans précédent
(→ issu de l'ère industrielle)*

Hémisphère Nord



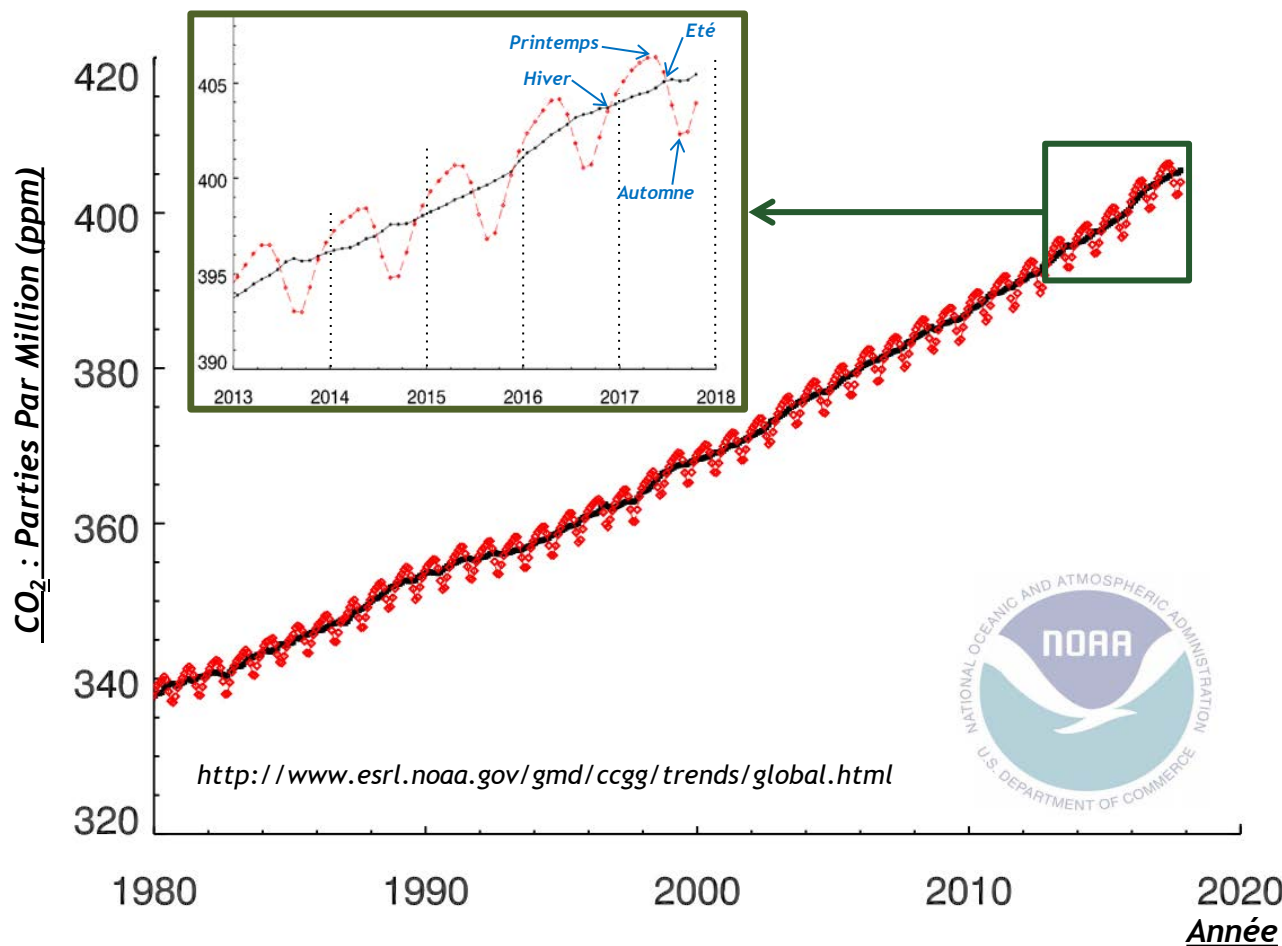
Le réchauffement climatique est perceptible depuis le milieu du 20^{ème} siècle



- Février 2014 : 397,91 ppm
(→ 400 ppm en mai 2014) $\Delta = 2,35$ ppm
- Février 2015 : 400,26 ppm $\Delta = 3,78$ ppm
- Février 2016 : 404,04 ppm $\Delta = 2,38$ ppm
- Février 2017 : 406,42 ppm
- Décembre 2017 : 406,82 ppm**

Influences humaines sur les variations annuelles de $[\text{CO}_2]$ atmosphérique

Pourquoi cette cyclicité annuelle dans la teneur en CO_2 atmosphérique ?

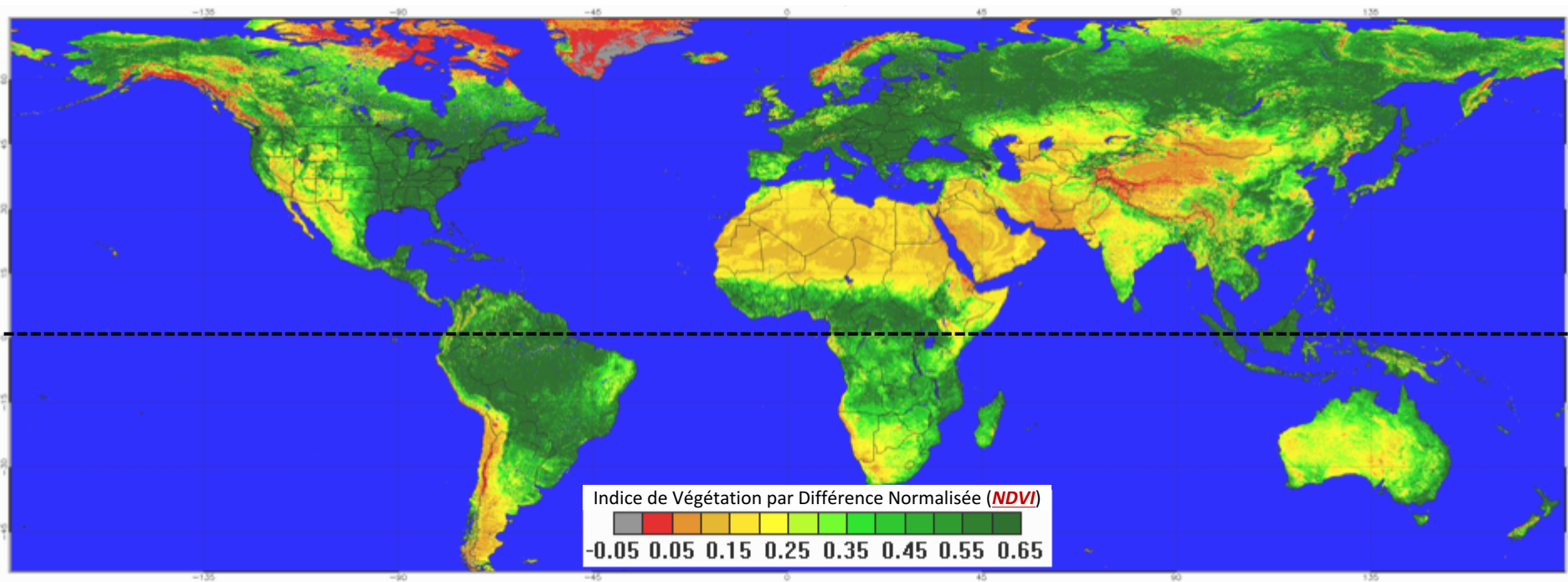


- Février 2014 : 397,91 ppm
(→ 400 ppm en mai 2014) $\Delta = 2,35$ ppm
- Février 2015 : 400,26 ppm $\Delta = 3,78$ ppm
- Février 2016 : 404,04 ppm $\Delta = 2,38$ ppm
- Février 2017 : 406,42 ppm
- Décembre 2017 : 406,82 ppm**

Influences humaines sur les variations annuelles de $[CO_2]$ atmosphérique

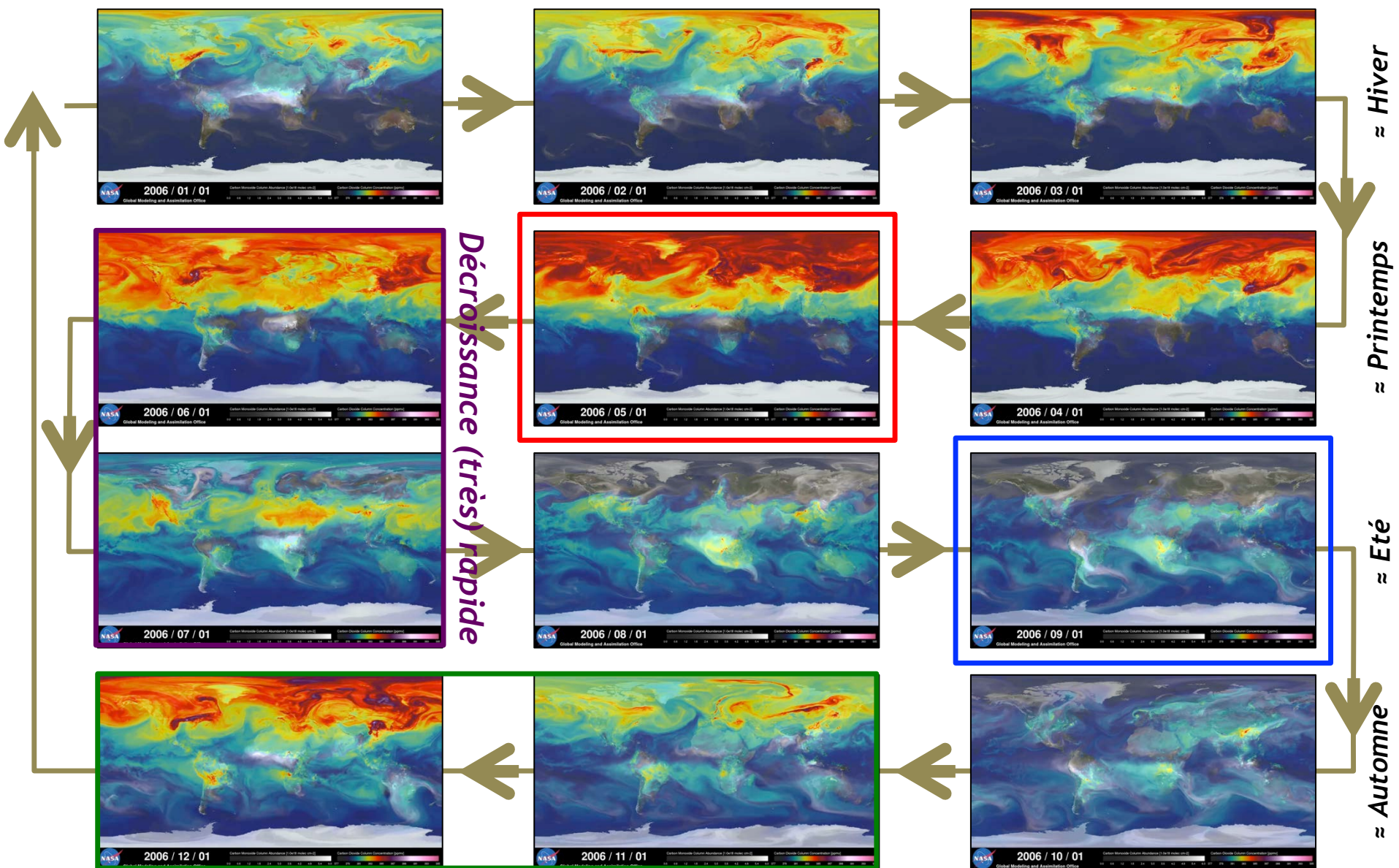
Les terres émergées sont majoritairement situées dans l'hémisphère nord

→ Quel est le bilan-carbone des forêts dans l'hémisphère nord au cours de l'année ?

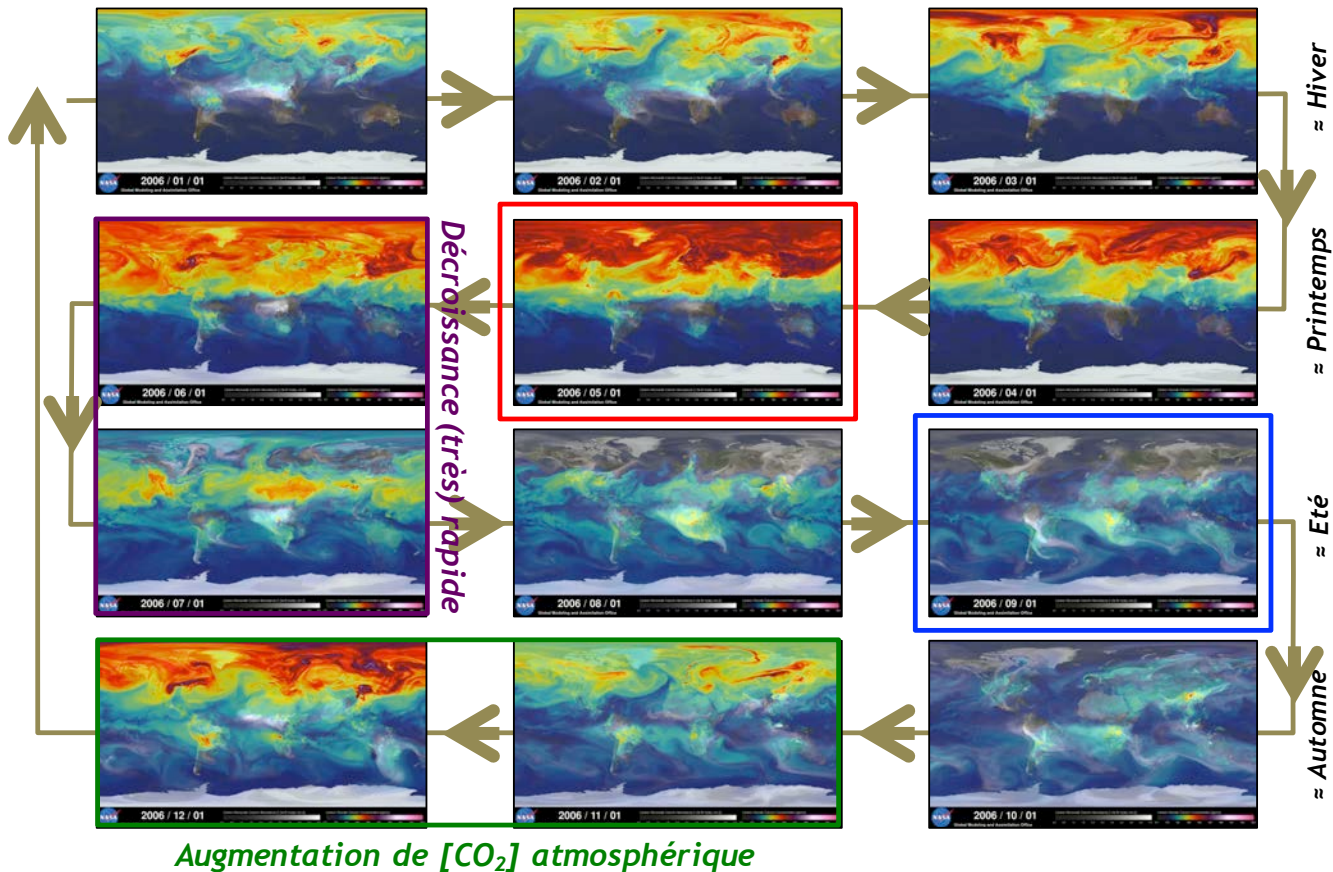


- Le NDVI prend une valeur comprise entre -1 (= pas de végétation) et +1 (= végétation très abondante)
- Le NDVI peut être corrélé à de nombreuses propriétés des plantes :
 - Etat de santé
 - Repérer les changements phénologiques (couvert de la canopée, floraison, sénescence, ...)
 - Estimer la biomasse verte (= des organes photosynthétiques) et les rendements photosynthétiques

Influences humaines sur les variations annuelles de $[CO_2]$ atmosphérique



Influences humaines sur les variations annuelles de $[CO_2]$ atmosphérique



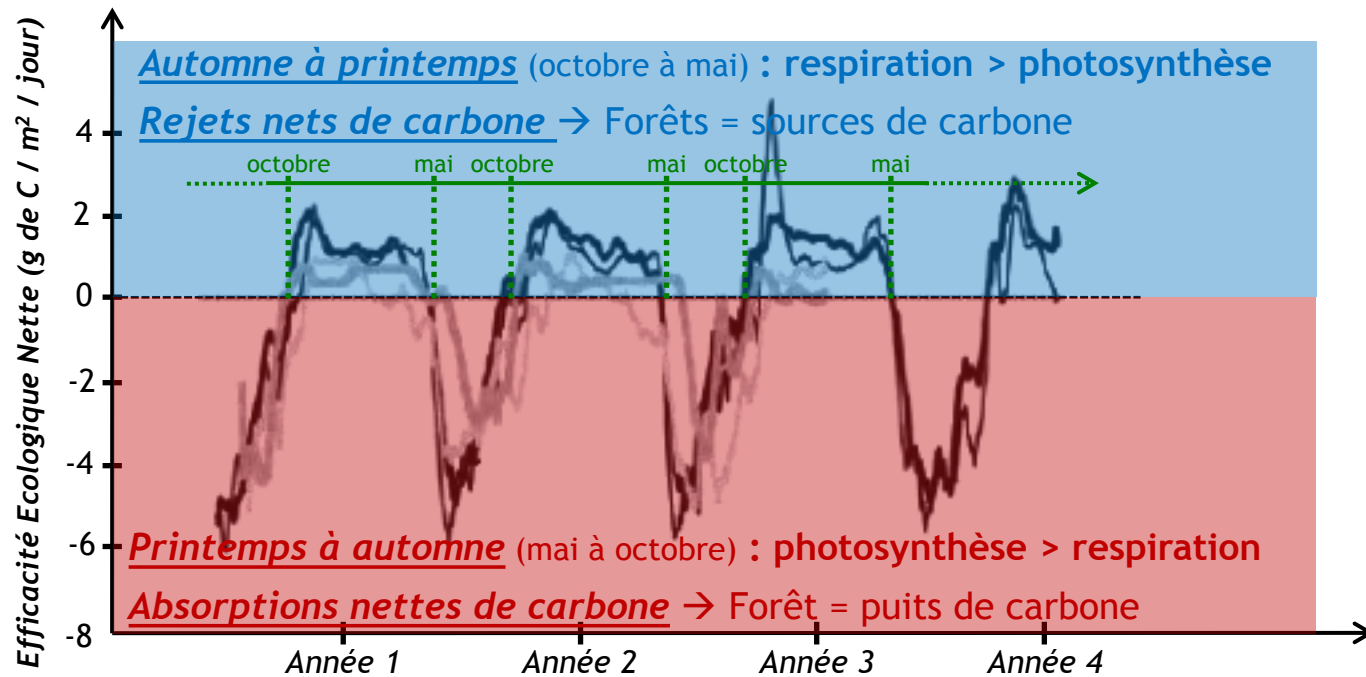
- Les émissions de CO_2 proviennent quasi exclusivement de l'hémisphère Nord (Etats-Unis, Europe, Asie)
- De grandes quantités de CO_2 sont absorbées saisonnièrement (essentiellement par les forêts tempérées) :
 - Fin du printemps-début de l'été : l'action photosynthétique des plantes est maximale
→ $[CO_2]$ atmosphérique commence à $\searrow$ jusqu'en septembre-octobre
 - Début de l'hiver : Végétation disparaît / entre en diapause : le CO_2 se concentre alors dans l'atmosphère
→ $[CO_2]$ atmosphérique commence à $\nearrow$ jusqu'en avril-mai

Influences humaines sur les variations annuelles de $[CO_2]$ atmosphérique

Les terres émergées sont majoritairement situées dans l'hémisphère nord

→ Quel est le bilan-carbone des forêts dans l'hémisphère nord au cours de l'année ?

Echanges de carbone au niveau de 4 hêtraies européennes (Granier et al. 2003)



Influences humaines sur les variations annuelles de $[CO_2]$ atmosphérique

(Toutes) les forêts ne sont donc pas (toujours) les "poumons" de la Terre !

(Expression médiatique mal choisie, pour illustrer la production de O_2 et l'absorption de CO_2 ...

Or, un poumon (biologique) absorbe du O_2 et rejette du CO_2 ...)

- **Forêts tropicales** (feuilles sempervirentes ; activité photosynthétique forte tout au long de l'année) :
→ Sur l'année photosynthèse > respiration : absorption de CO_2 / rejet de O_2 = "Poumon" ("médiatique")
- **Forêts tempérées** (= feuilles caduques ; activité photosynthétique saisonnière au cours de l'année) :
→ Été (photosynthèse > respiration) : absorption de CO_2 / rejet de O_2 = "Poumon" (sens "médiatique")
→ Hiver (respiration > photosynthèse) : absorption de O_2 / rejet de CO_2 = Poumon (sens biologique)

Echanges de carbone entre biosphère et atmosphère :

- **A court terme** (< vie de l'organisme) : stockage de carbone (sous forme de biomasse des individus)
- **A long terme** (> vie de l'organisme) : carbone remis en circulation (dans différentes étapes de son cycle)

Les forêts sont un puits de carbone... temporaire...

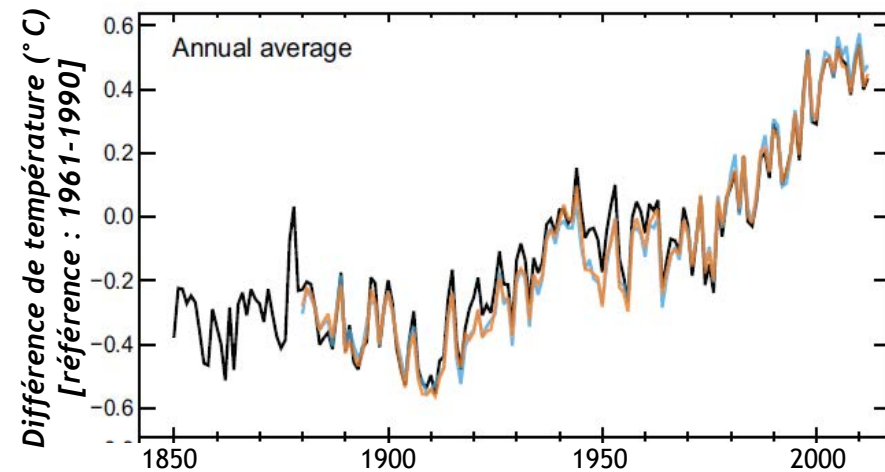
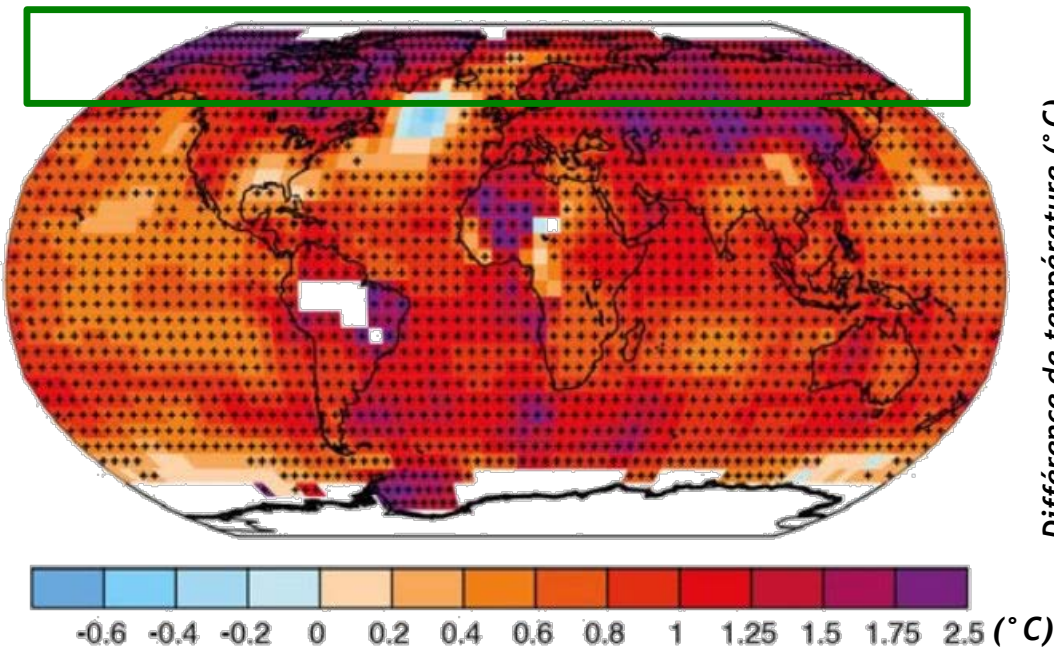
Le carbone peut être stocké durablement sous forme de biomasse (dans le sol, les océans)...

... ou non (combustion de cette biomasse)

Evolution du climat depuis le début du 20^{ème} siècle

Températures moyennes annuelles
(tendance observée entre 1901 et 2012)

Réchauffement général qui est très prononcé dans l'Arctique



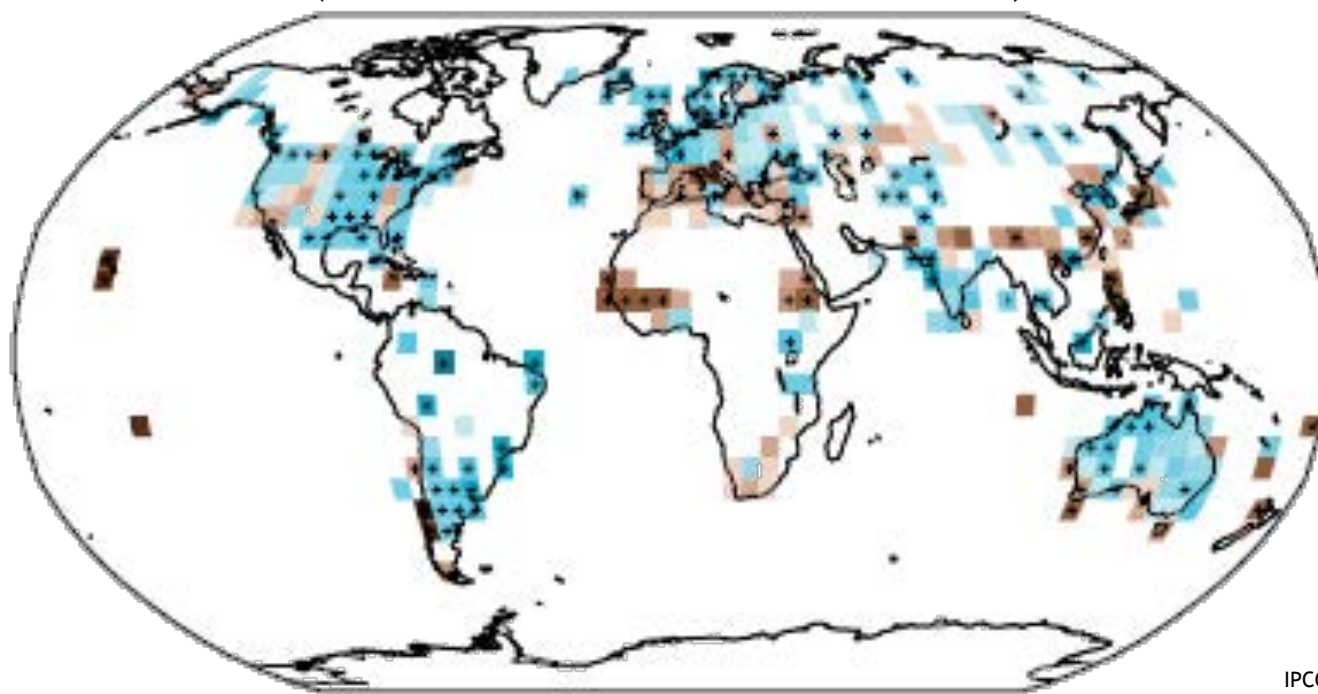
IPCC 2013 (GISS data)

Le réchauffement global de la Terre est :

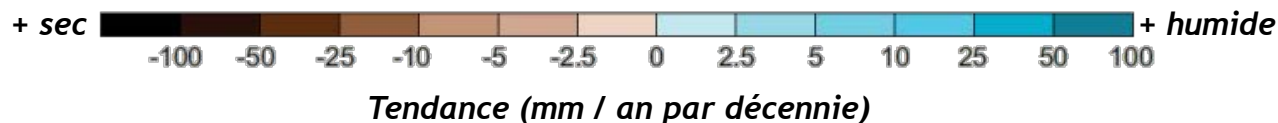
- Hétérogène dans le temps (ie. n'est pas constant [= "linéaire"] au cours du temps)
- Hétérogène dans l'espace (ie. toutes les régions terrestres ne se réchauffent pas avec la même intensité)

Evolution du climat depuis le début du 20^{ème} siècle

*Précipitations moyennes annuelles
(tendance observée entre 1901 et 2012)*



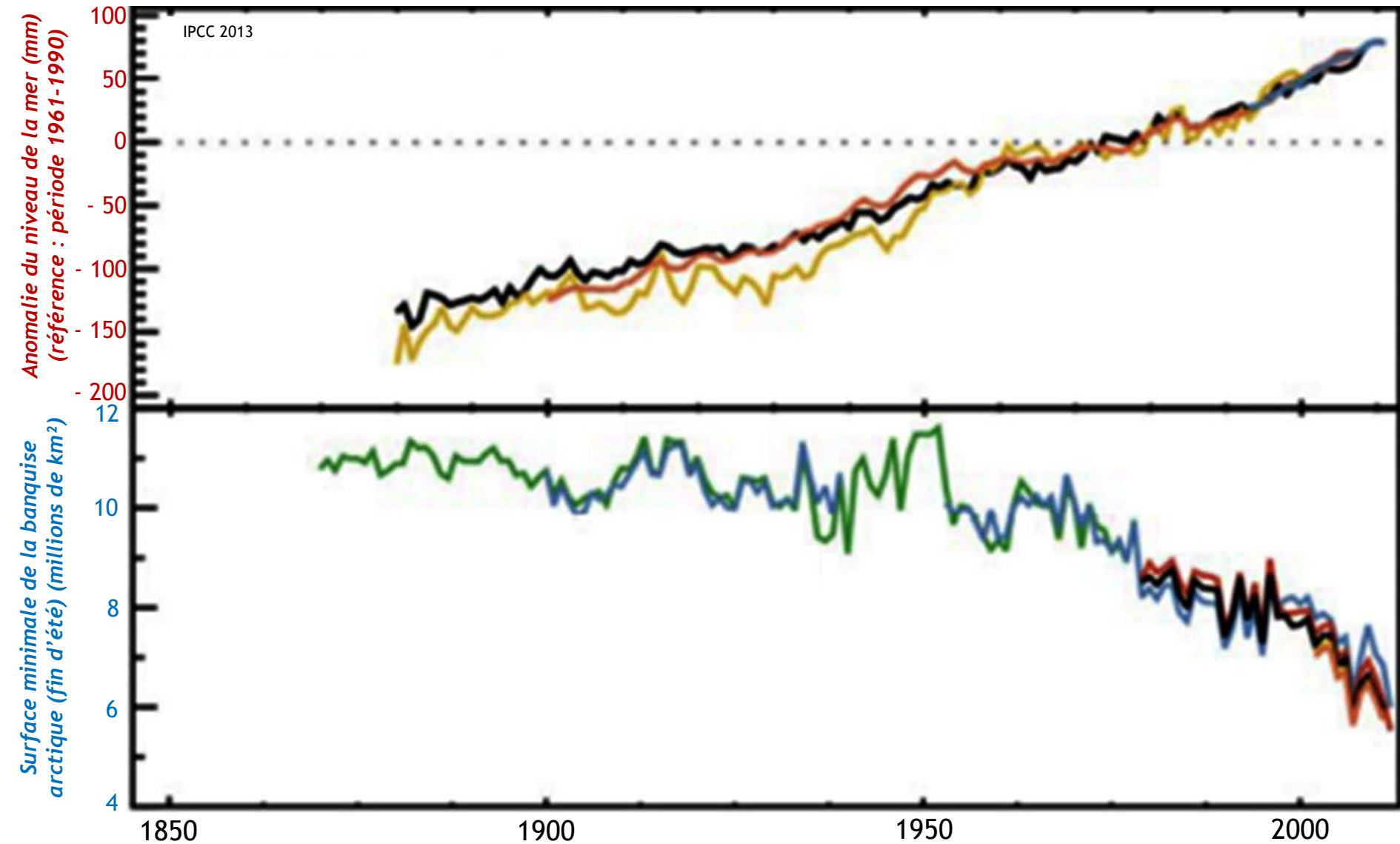
IPCC 2013 (données GISS)



Modification des régimes de précipitations :

- Des épisodes (très) pluvieux sont largement répartis et de plus en plus fréquents
- Augmentation d'épisodes de sécheresses à des échelles géographiques plus locales

Une conséquence de l'évolution du climat : la fonte de la banquise



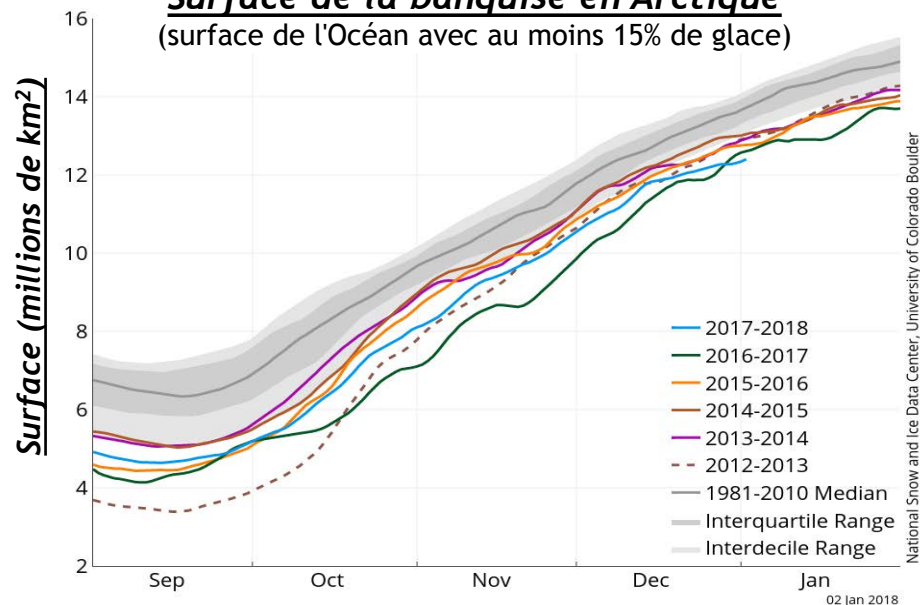
Les fontes de la calotte glaciaire et des glaciers entraînent
une montée du niveau global des mers et océans

Un milieu en grand changement : l'Arctique

Baisse de la surface de la banquise en Arctique

Surface de la banquise en Arctique

(surface de l'Océan avec au moins 15% de glace)

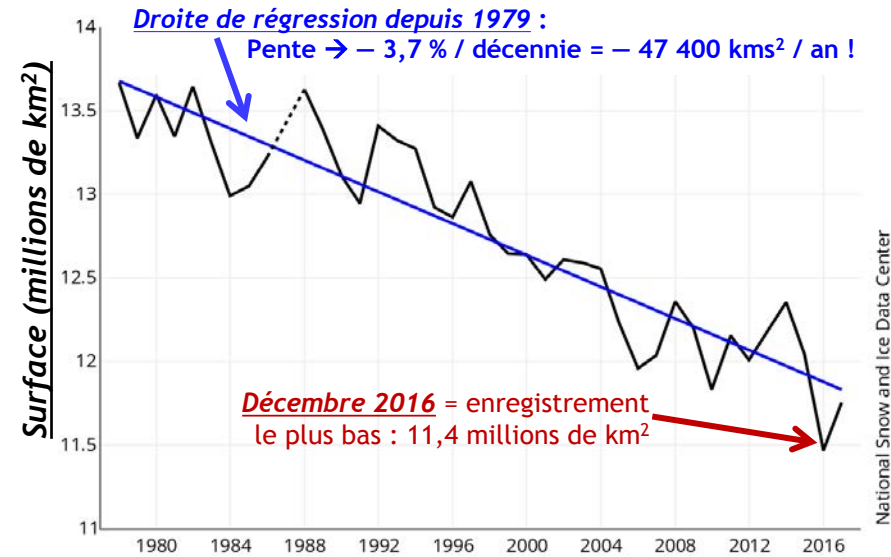


<https://nsidc.org/arcticseaicenews>

Moyennes annuelles aux mois de décembre

Droite de régression depuis 1979 :

Pente → - 3,7 % / décennie = - 47 400 km² / an !



Banquise = lieu de chasse et / ou de reproduction pour de nombreuses espèces locales (ours polaires, manchots, phoques...)

→ Fonte de la banquise et survie de la faune locale sont liées !

Environ 35 000 morses rassemblés sur un rivage d'Alaska (octobre 2014), dû à l'absence de banquise



Un milieu en grand changement : l'Arctique

Conséquence du réchauffement climatique = Surface de la banquise $\searrow$ = Surface et volume de l'Océan $\nearrow$

➔ Ouverture de nouvelles routes maritimes !

➔ Intérêts stratégiques, commerciaux et géopolitiques

Essentiellement 2 nouveaux axes majeurs de passage :

- "Route maritime du Nord(-Est)" (Russie) ———
- "Passage du Nord-Ouest" (Canada) ———



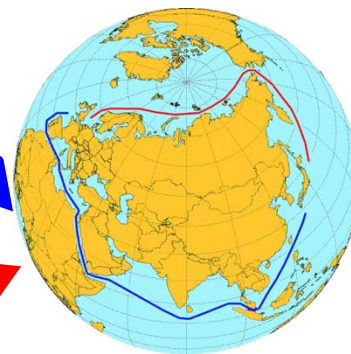
Distances entre ports (kms) selon la route maritime empruntée

<u>Itinéraire via</u> ↓	<u>New York - Yokohama</u>	<u>Hambourg - Vancouver</u>	<u>Rotterdam - Tokyo</u>
<u>Panama</u>	18 560	17 310	23 300
<u>Suez</u>	25 120	29 880	21 200
<u>Cap Horn</u>	31 639	27 200	32 289
<u>Passage du Nord-Ouest</u>	15 220	14 970	15 930
<u>Route du Nord-Est</u>	18 190	13 770	14 062

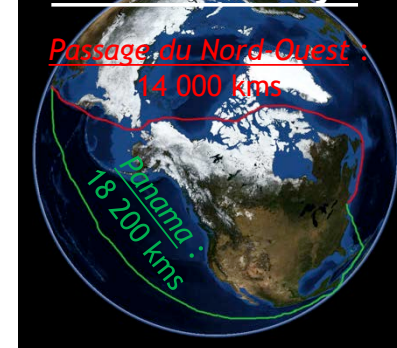
Distance maximale

Distance minimale

Rotterdam - Tokyo :



New York - Tokyo :



Problèmes dus à l'intervention de l'Homme :

- Introduction **d'espèces "exotiques"** (→ rupture de l'équilibre établi dans les communautés natives)
- **Surexploitation des ressources** (pêche, exploitation pétrolière ...) actuelles et futures
- **Pollution** (rejet dus aux activités locales)
- **Réchauffement climatique**

