



**HAL**  
open science

# Fondamentaux de climatologie: réseaux, mesures, factorisation, évolution passée/présente/future, et ressources en ligne (M2)

Romain Courault

## ► To cite this version:

Romain Courault. Fondamentaux de climatologie: réseaux, mesures, factorisation, évolution passée/présente/future, et ressources en ligne (M2). Master. France. 2022. hal-03776663

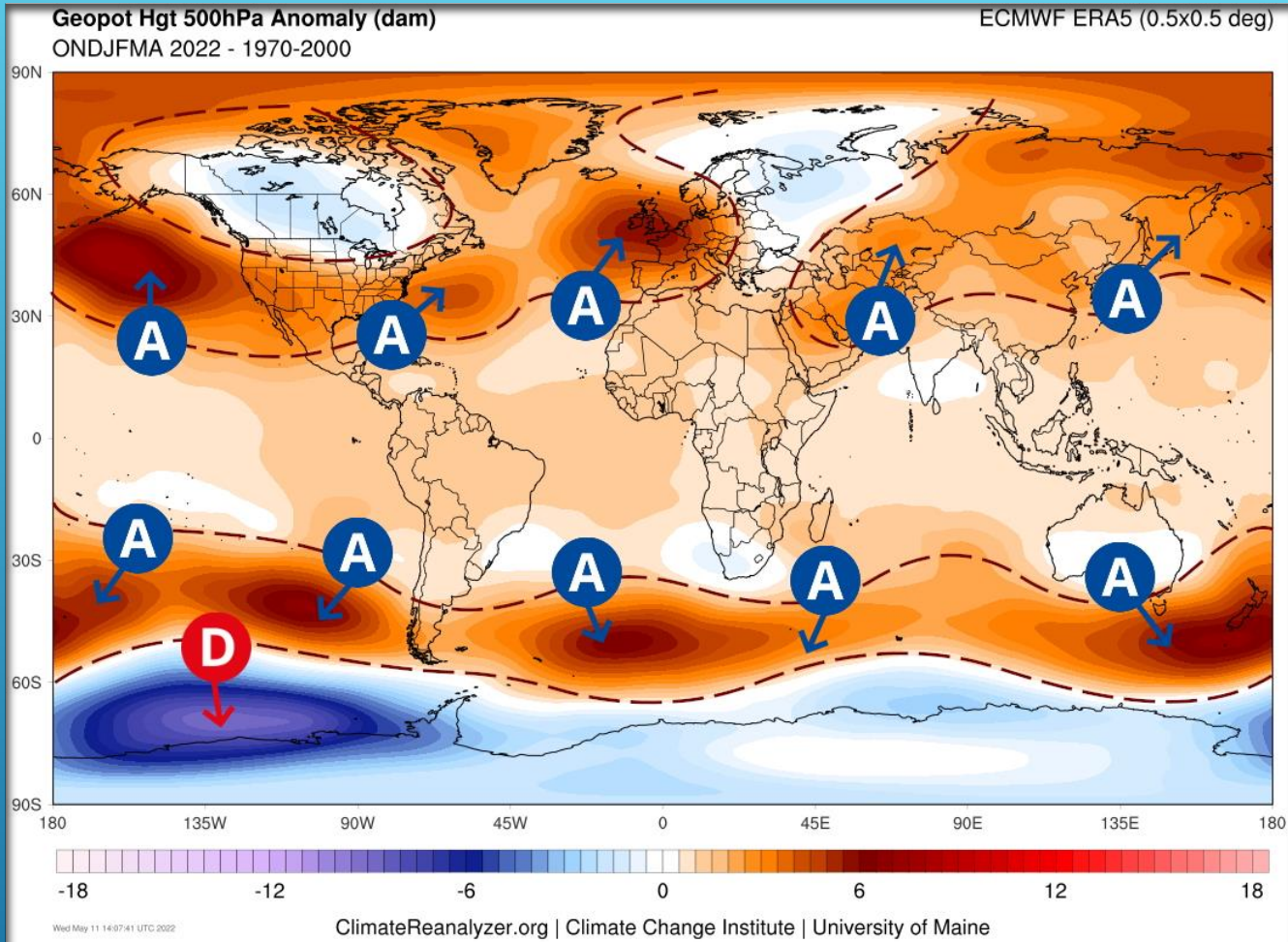
**HAL Id: hal-03776663**

**<https://hal.science/hal-03776663v1>**

Submitted on 14 Sep 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



- ▶ M2 BIOTERRE
- ▶ Année 2022
- ▶ [Romain.Courault@univ-paris1.fr](mailto:Romain.Courault@univ-paris1.fr)

FONDAMENTAUX DE CLIMATOLOGIE

## 1. Bases de géophysiques en climatologie:

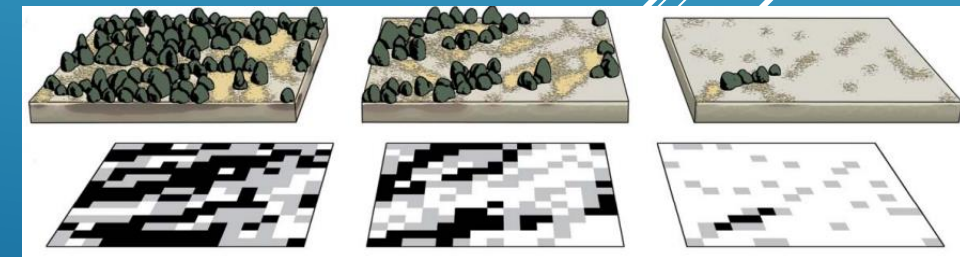
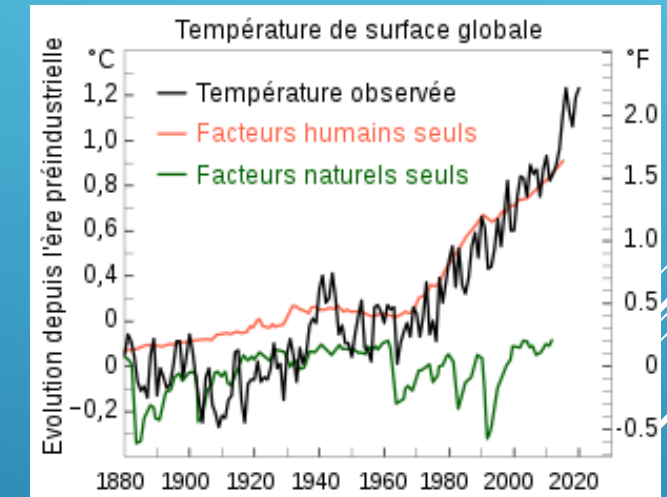
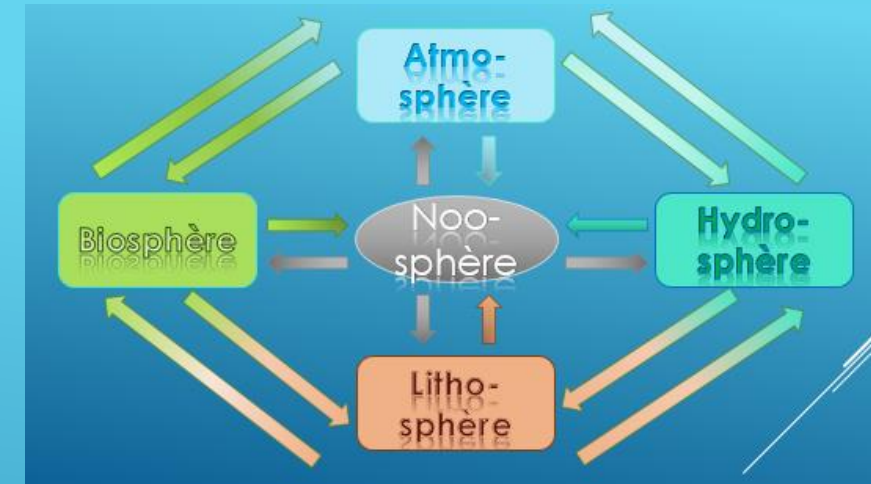
- ▶ Décrire et expliquer la variabilité spatio-temporelle climatique (e.g. phénomènes, durée, magnitude)

## 2. Changement(s) climatique(s) naturels et anthropogénique

- ▶ Mesurer, déceler et vulgariser les causes naturelles et anthropiques associés à la variabilité du climat

## 3. Impacts actuels du changement climatique sur le vivant : répartition passée, présente, future; incertitudes...

- ▶ Associer changements atmosphériques aux réponses biotiques (humain inclus):  
démographie/concentration, migrations/flux



ORGANISATION DE LA SÉANCE



# 1. Bases de géophysiques en climatologie

## 1.1. Réseaux de mesures

## 1.2. Instrumentation

## 1.3. Rappels en géographie physique: différencier climat et météo

# 2. Changement(s) climatique(s) naturels et anthropogénique

## 2.1. Variabilité climatique préhistorique

## 2.2. Variabilité climatique historique

## 2.3. Quantifier et qualifier l'évolution présente/future du climat

# 3. Impacts actuels du changement climatique sur la répartition actuelle du vivant

## 3.1. Régions de montagne tempérée OU région subarctique

## 3.2. Régions de marge méditerranéenne semi-aride : Sahel maghrebin OU Espagne continentale

## 3.3. Régions de forêts équatoriales continentales: Afrique centrale OU fronts de déforestation Amazonie

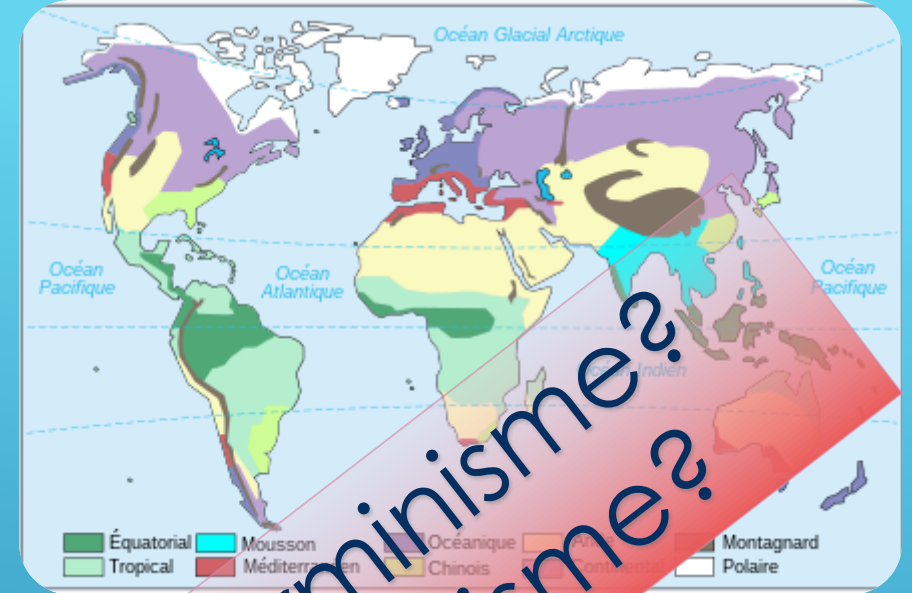
## 3.4. Iles tropicales: îles de l'Océan Indien OU îles du Pacifique

- ▶ 3 choses que vous connaissez sur les 3 sous-thématiques?
  - ▶ 2 choses que vous souhaiteriez apprendre sur 1, 2 ou les 3 sous-thématiques?
  - ▶ 1 question que vous vous posez?
- 5 minutes individuellement, puis discutez de vos réponses à la personne sur votre droite

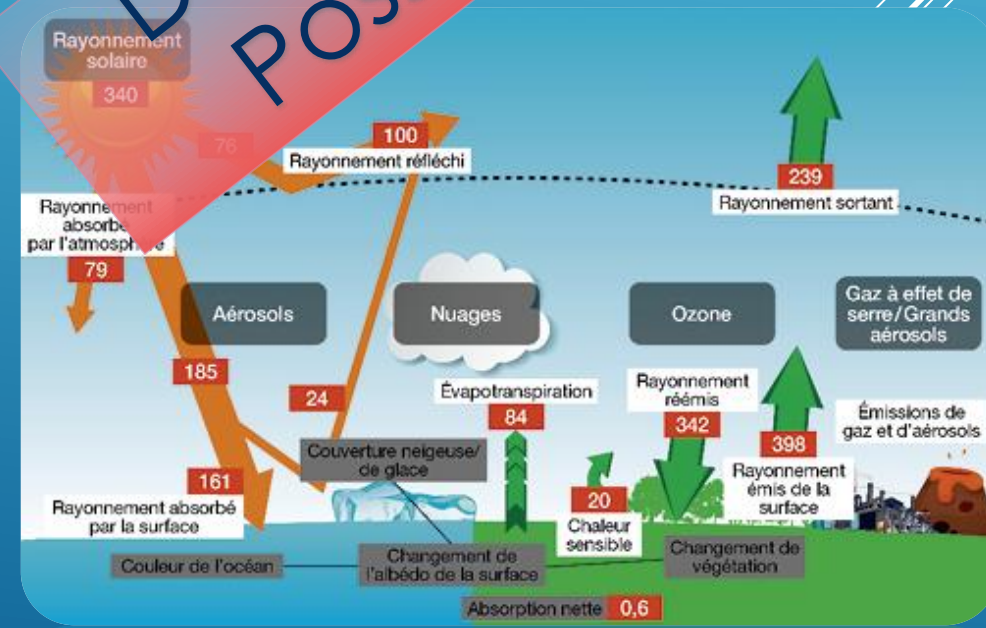
## 0. INTRODUCTION

# Pourquoi étudier le climat?

- Détermine le type, et la localisation des socio-écosystèmes
- Influence l'érosion des roches et sols superficiels, et le type de pédologie en résultant
- Affecte les populations, la société
- Aide à déterminer quantité et qualité d'eau disponible pour les usages humains (irrigation, potabilité, industries...)
- Détermine la sévérité des événements extrêmes (sécheresses, tempêtes, inondations)
- Explique la répartition des biomes terrestres et leurs réponses (communautés végétales dominantes, mammifères, ou autre grand marqueur trophique)



Déterminisme?  
Possibilisme?





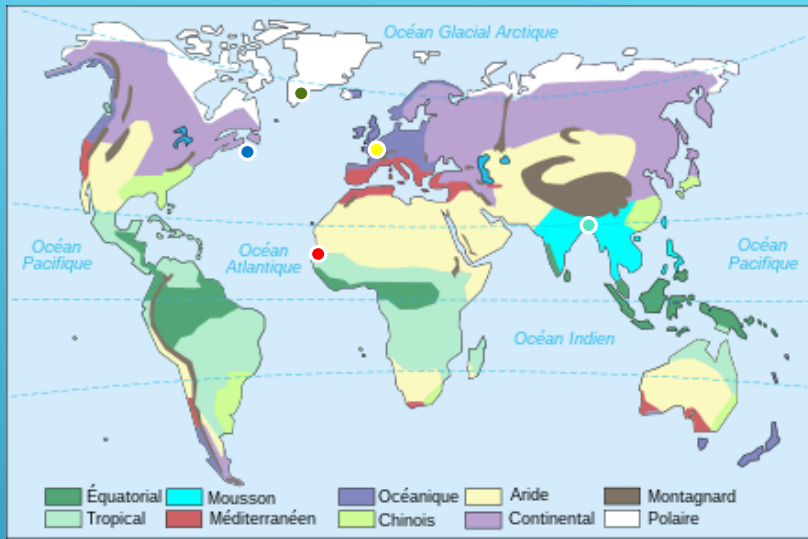


Schéma carto des Climats mondiaux, (livre 5ème)

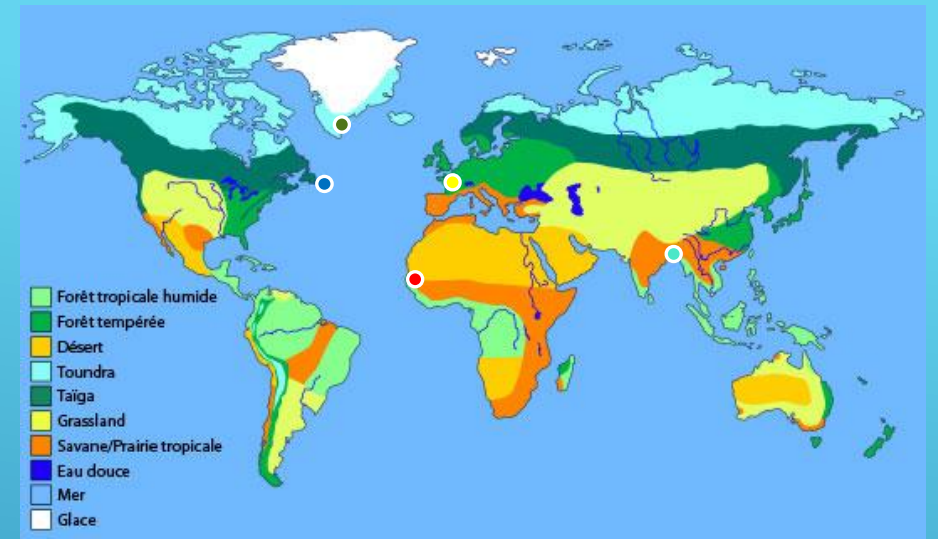
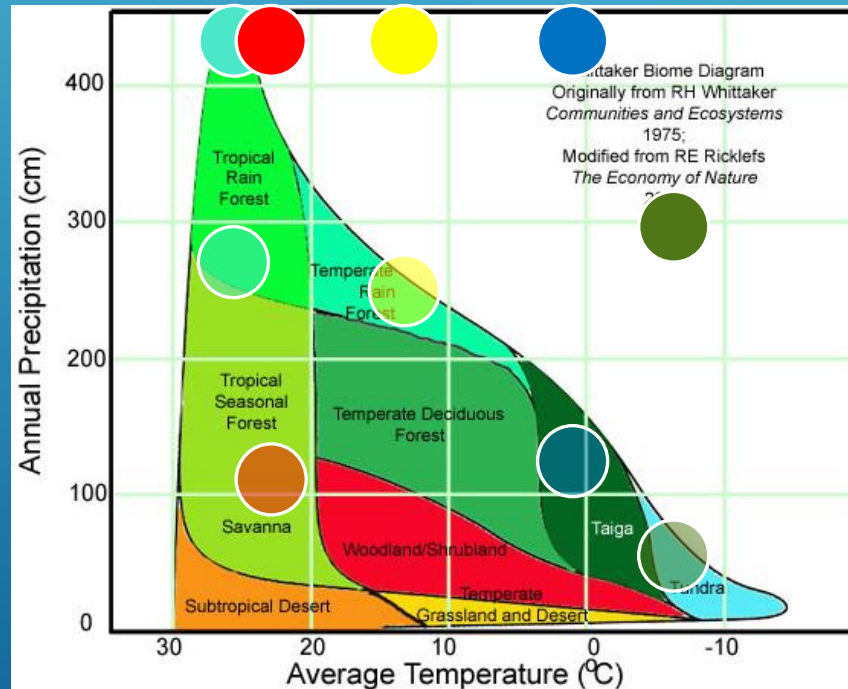


Schéma carto des biomes (livre 5ème)

Dans quelle partie du graphe placer:

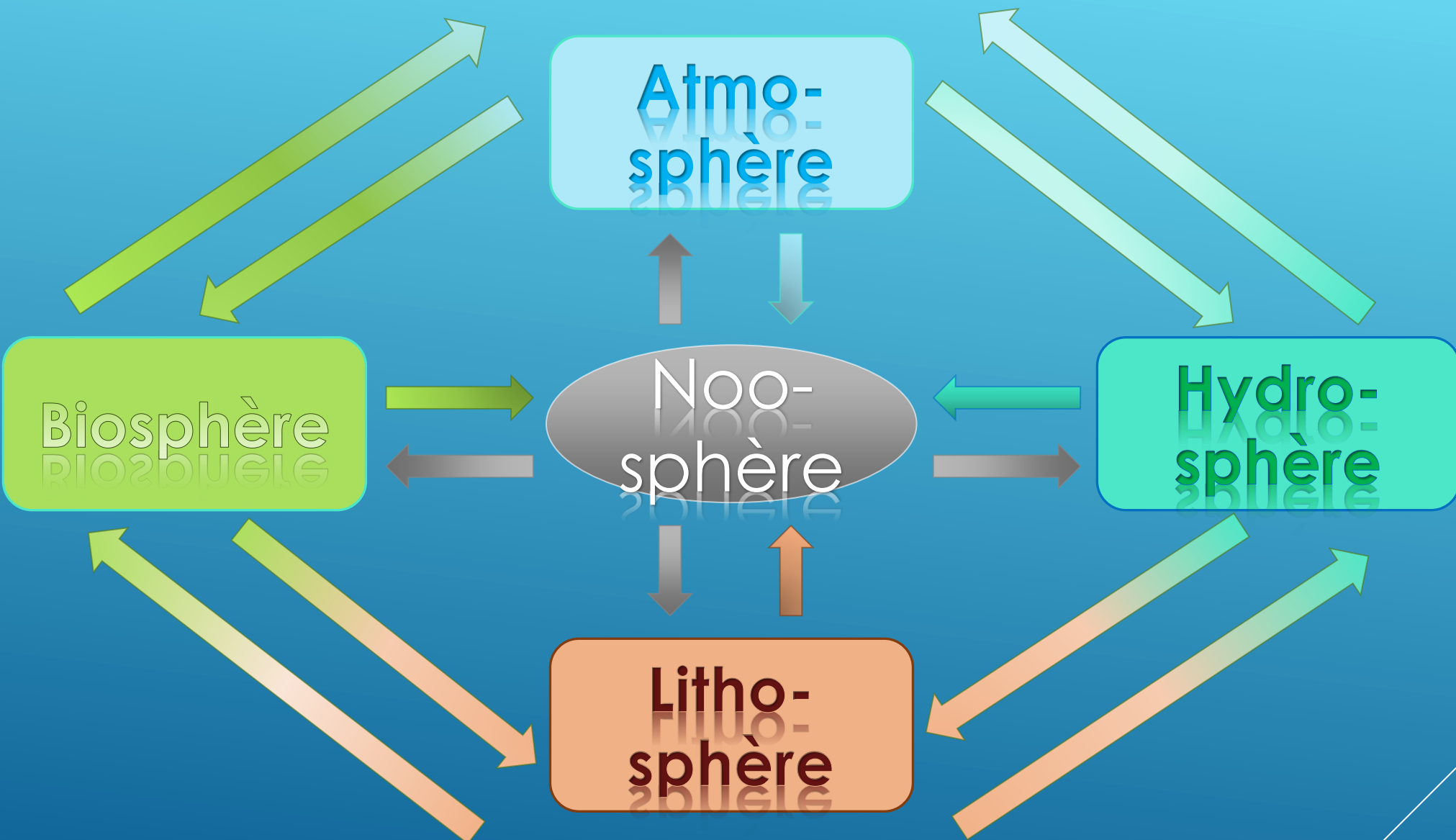
- 1) Plateau briard? ●
- 2) Bengladesh? ●
- 3) Sénégal? ●
- 4) Sud Groenland? ●
- 5) St-Pierre et Miquelon? ●



Répartition des biomes selon T°C/Pmm (schématisé)

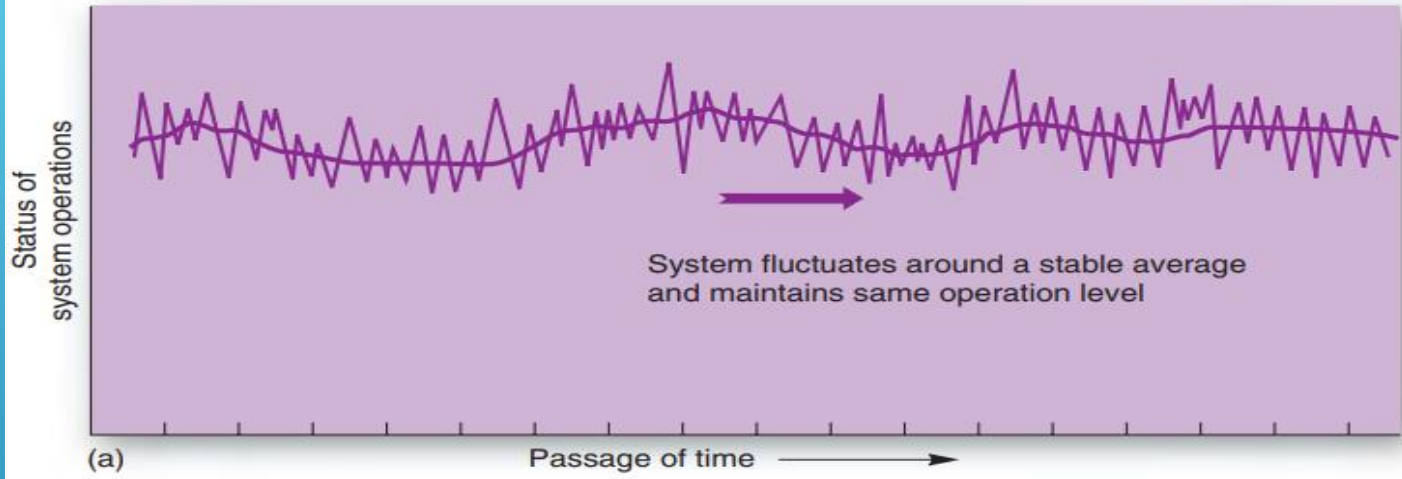
Source: Whittaker

# LIEN RÉPARTITION CLIMAT ET RÉPARTITION ÉCOSYSTÈMES

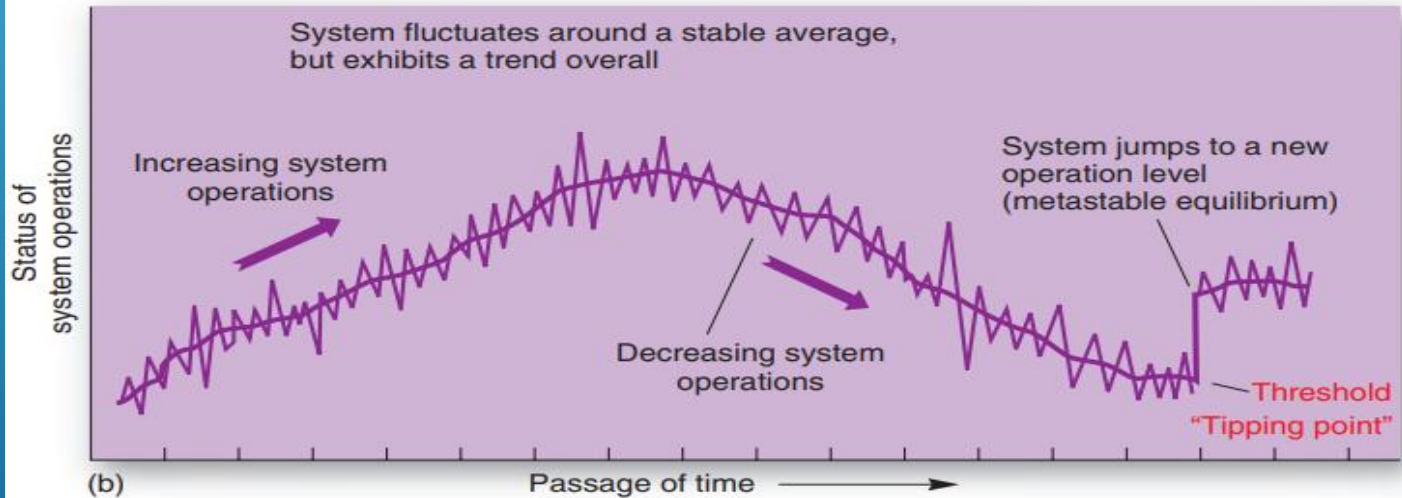


LE SYSTÈME TERRE

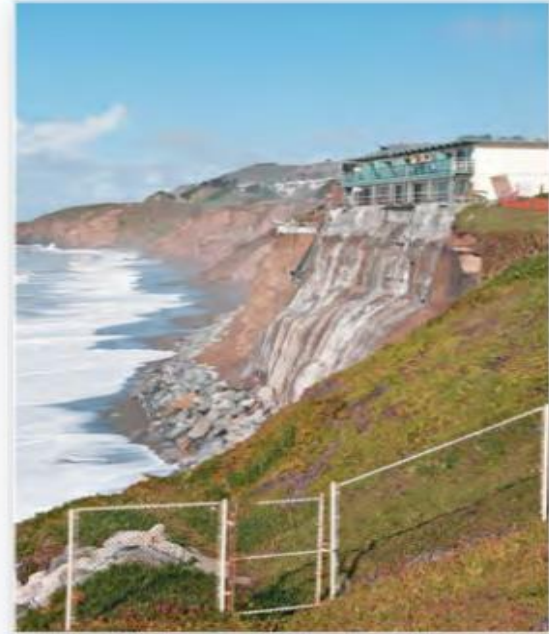




(a)



(b)






Coastal systems pass a threshold.

# EQUILIBRE DYNAMIQUE D'UN SYSTÈME...

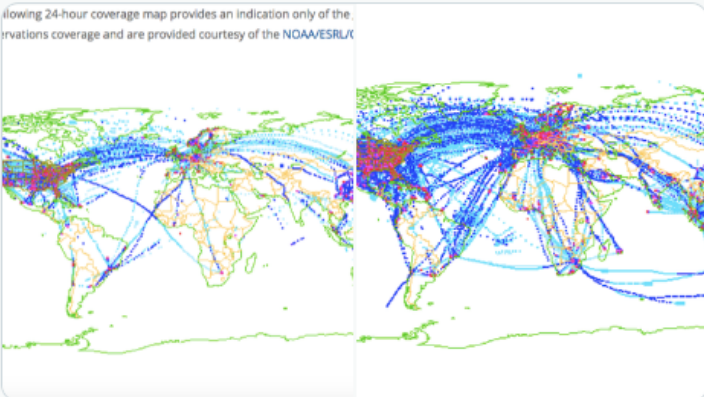
# 1. Bases de géophysiques en climatologie


## 1.1. Réseaux de mesures


 World Meteorological Organization   
@WMO · Follow



**#COVID19** is impacting **#weather** forecasts. Meteorological measurements taken from aircraft have  by average 75-80%, and nearly 90% in southern hemisphere. Aircraft used to supply 800,000 observations per day of air temperature and wind  
[bit.ly/2L7gynF](https://bit.ly/2L7gynF)

Following 24-hour coverage map provides an indication only of the observations coverage and are provided courtesy of the NOAA/ESRL/C

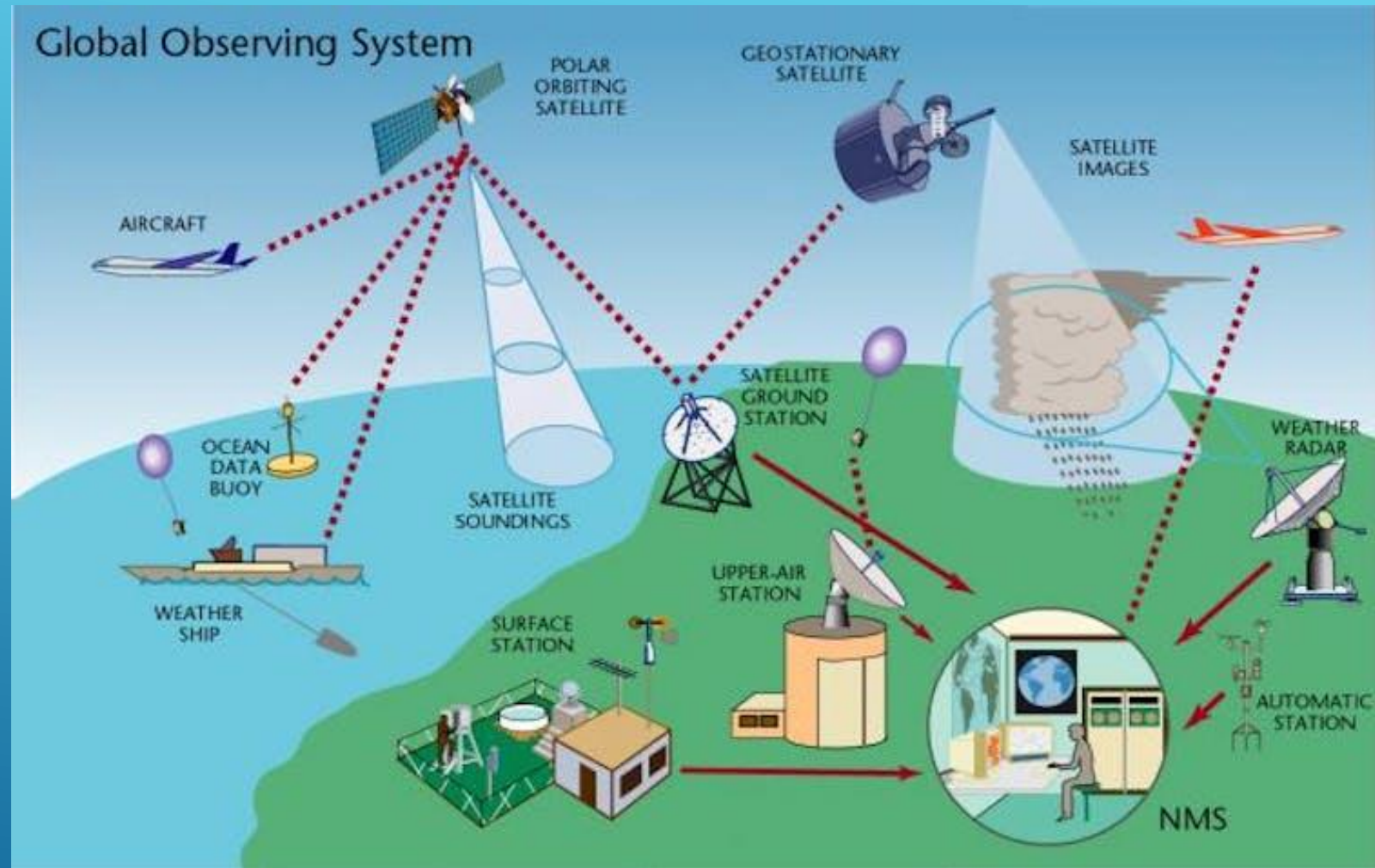


10:48 AM · May 7, 2020 

 [Read the full conversation on Twitter](#)

 109  See the latest COVID-19 information on Twitter

[Read 4 replies](#)





- ▶ Organisation Mondiale Météorologique (OMM), fondée en 1853
- ▶ Organe de l'ONU, règlement 2021 ([https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11181](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11181))
- ▶ Elaboration de normes pour standardisation mesures météo
- ▶ Collaboration internationale (la 1<sup>ère</sup>: début des années 50 et observation de la couche d'ozone // CFCs)

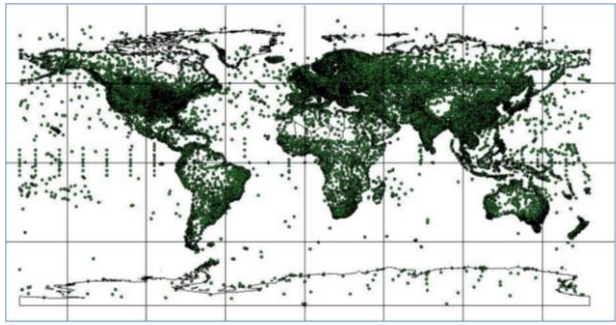
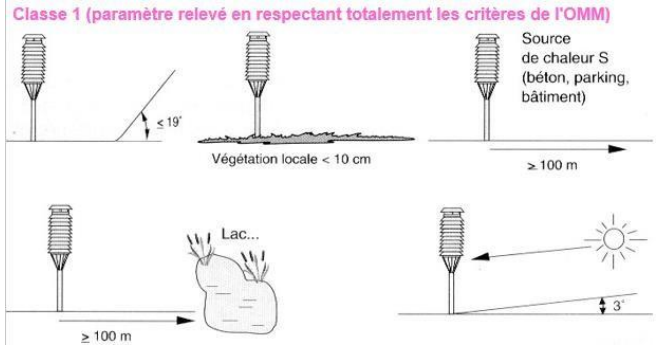


Figure 5 Global map of WMO-GTS synoptic meteorological stations (as from the GSOD or Global Summary of Day database at the NOAA/NCDC; approx. 9000 stations)

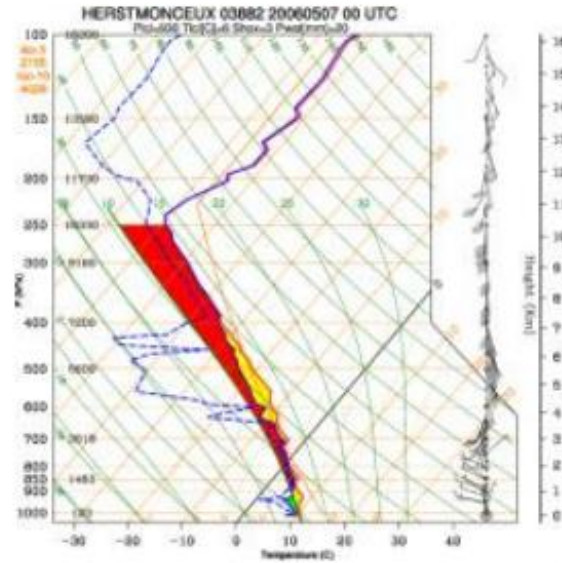


# MESURES INSTRUMENTALES (AU SOL)



# MESURES INSTRUMENTALES (D'ALTITUDE)

- **La structure verticale de l'atmosphère**



12

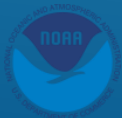
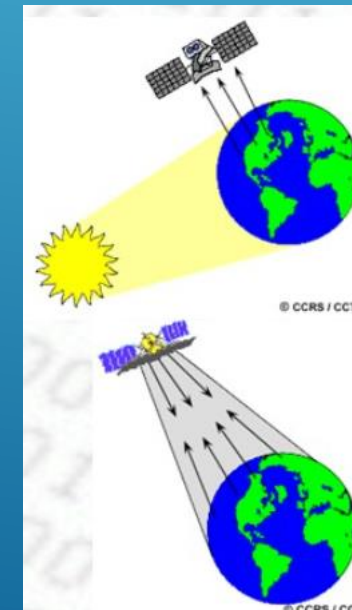
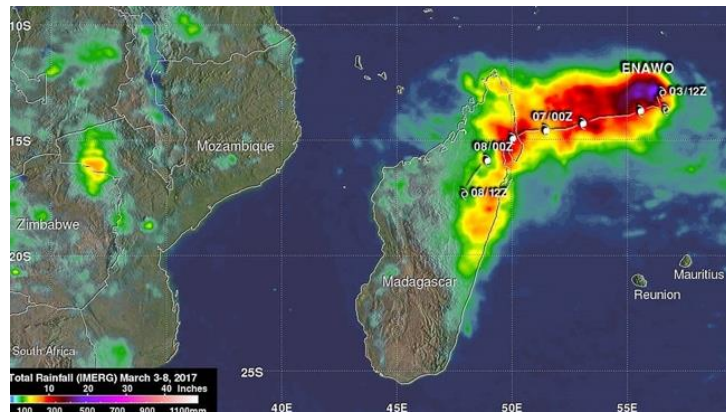
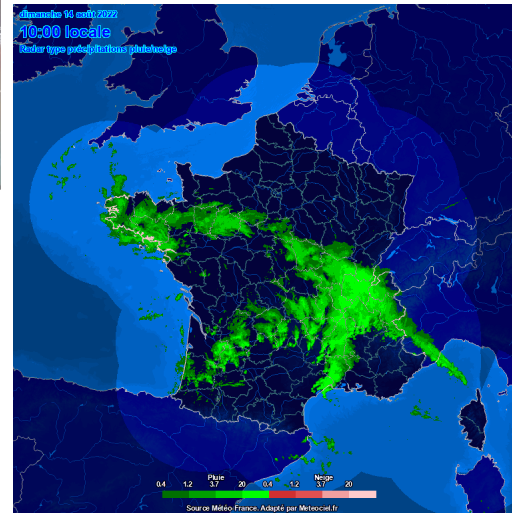
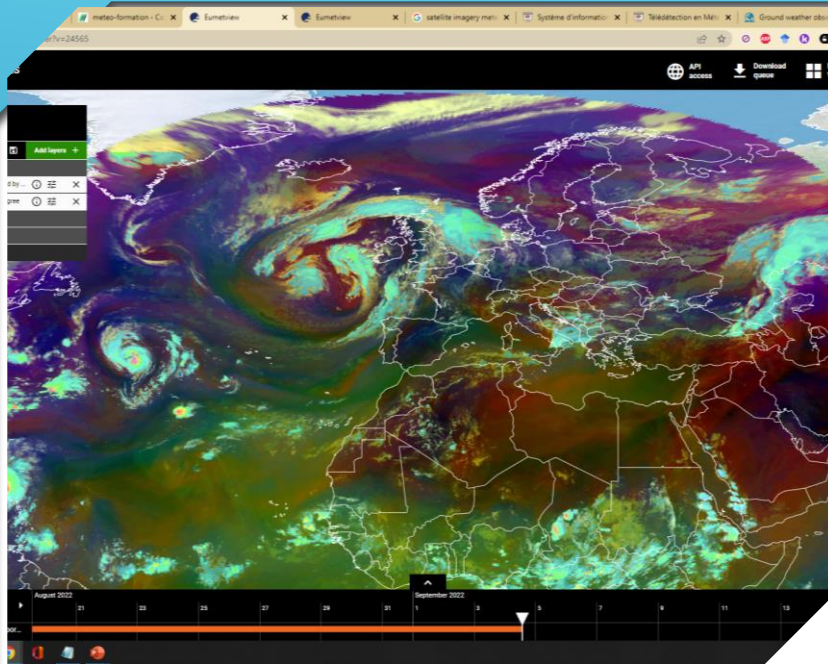
L1-CM-GO1202 BELTRANDO

- ▶ Ballons-sondes, avions => profils verticaux de l'atmosphère
- ▶ Pour connaître T°C, % hygro, turbulences dans la stratosphère

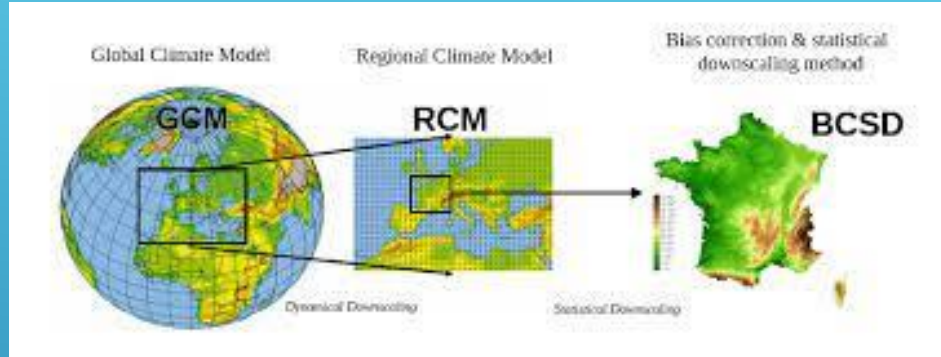
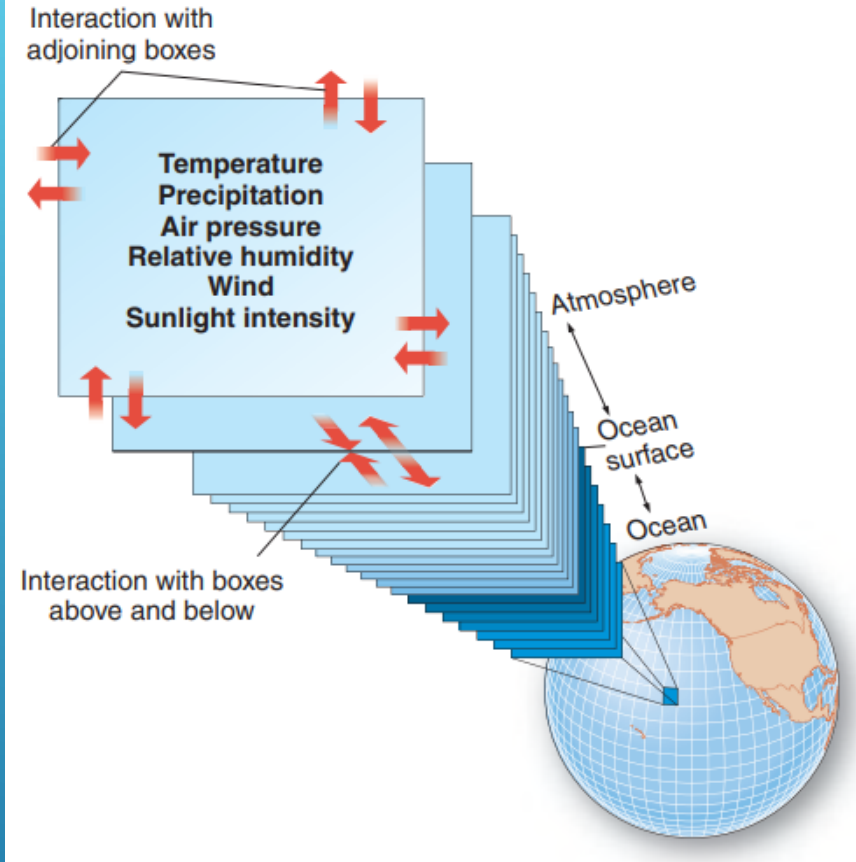


# MESURES A DISTANCE

- ▶ Télédétection passive (=captation rayonnement réfléchi). Par exemple: imagerie infrarouge proche, lointaine.
- National Oceanographic and Atmospheric Administration – Advanced Very High Resolution Radiometer (NOAA-AVHRR)
- MeteoSat (EUMetSat)
- Moderate Resolution Imagery Spectroradiometer (MODIS-GEOS Aqua/Terra, NASA)
- ▶ Télédétection active (émission, puis captation rayonnement). Par exemple: Radar, Lidar

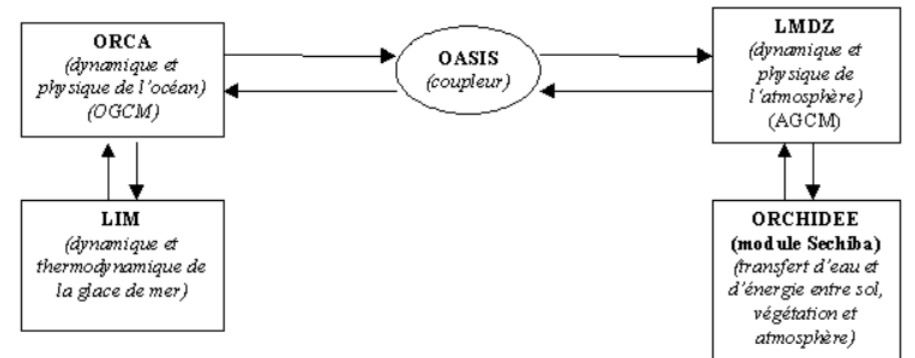


EUMETSAT

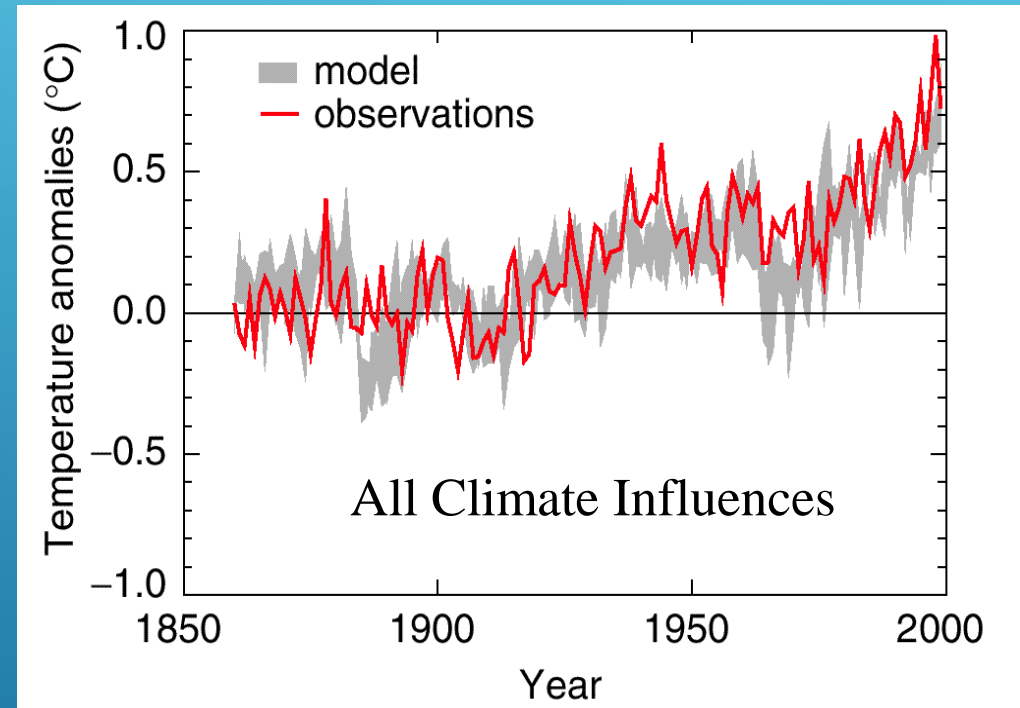
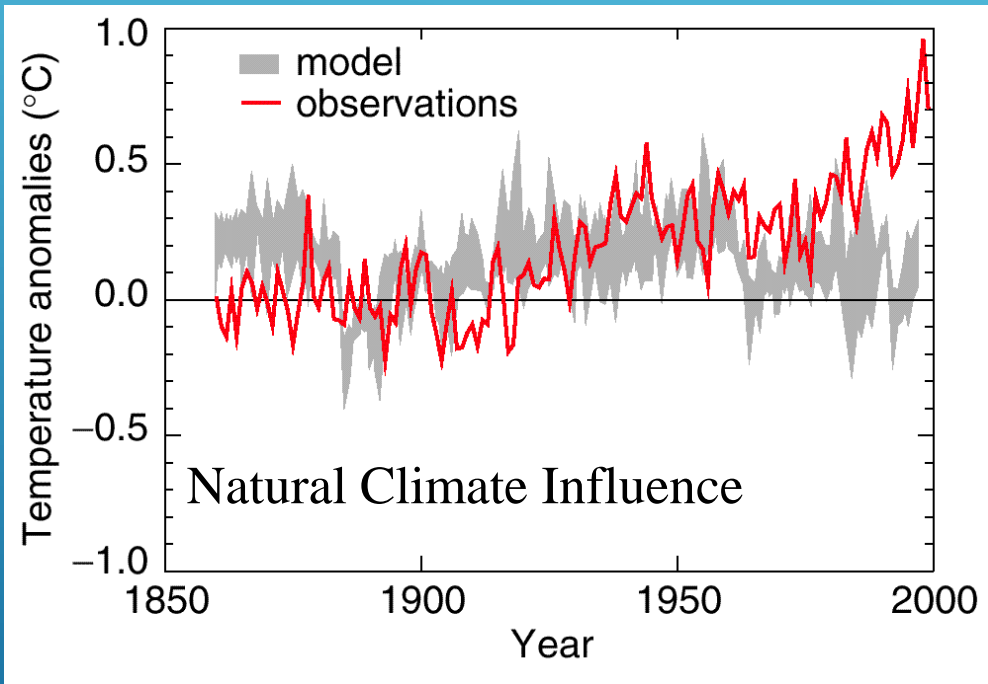


Global Circulation Model (GCM)

Architecture interne du modèle couplé IPSL-CM4v1 (source : IPSL)



# MODÈLES DE L'ATMOSPHÈRE



## 1. Bases de géophysiques en climatologie

1.1. Réseaux de mesures &

1.2. Instrumentation

1.3. 1.3. Rappels en géographie physique: différencier climat et météo

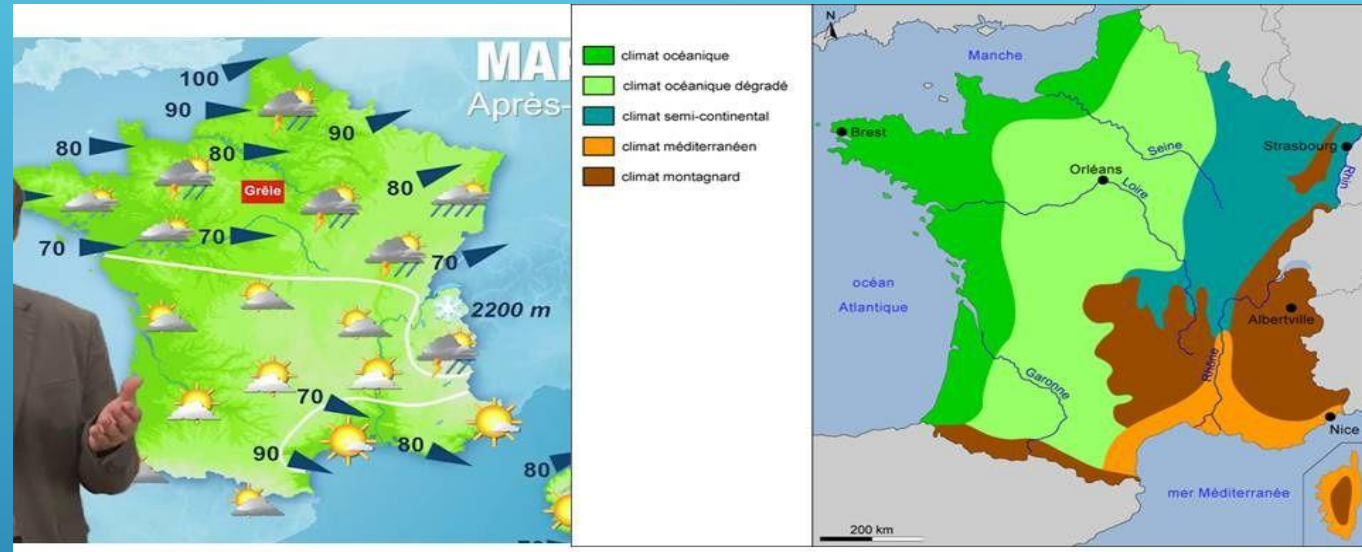


# Météorologie

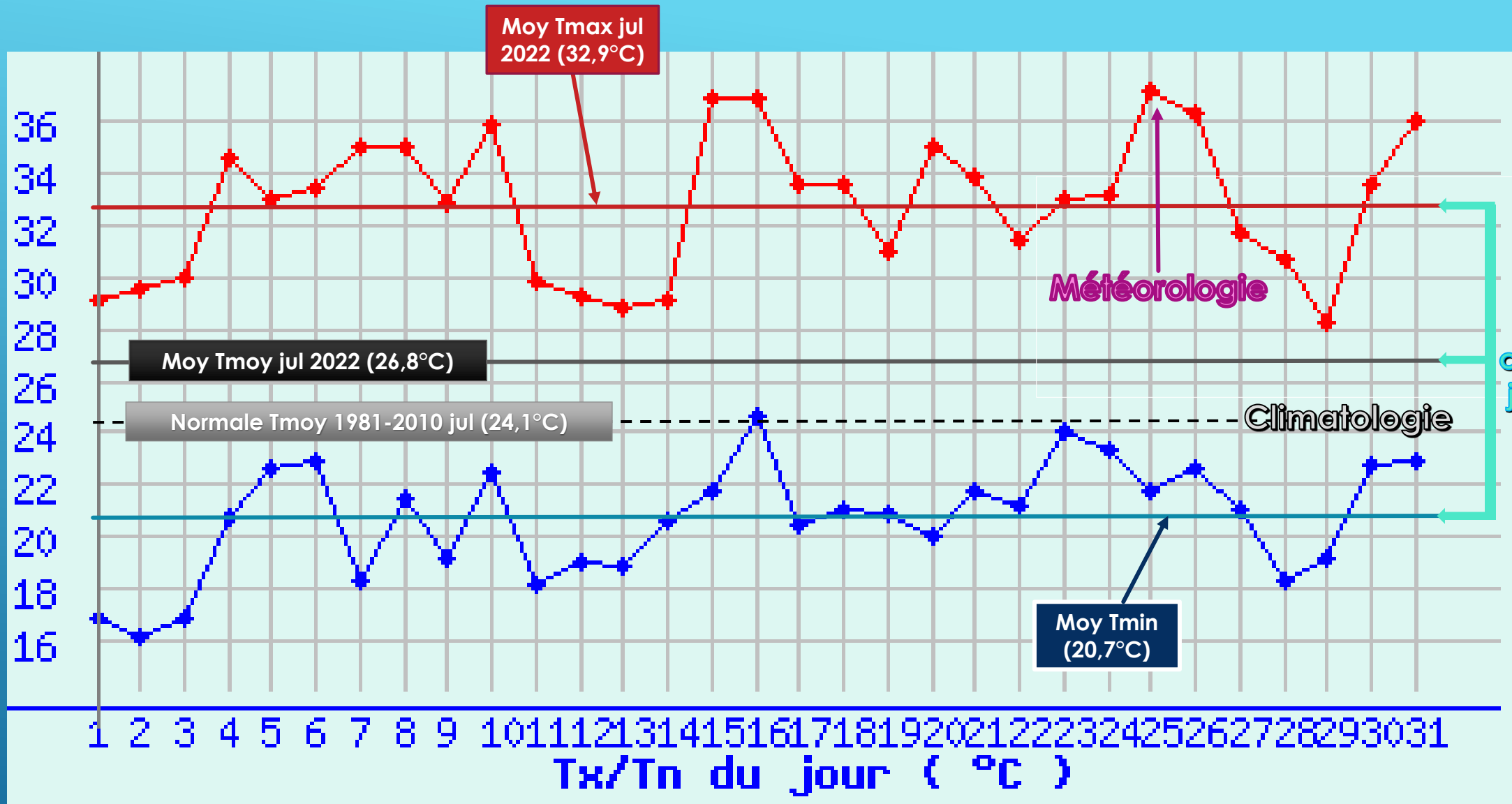
- « The actual state of the atmosphere in a period of several hours up to a few days (in a given place) », Gramelsberger & Feichter, 2011

# Climatologie

- « A statistical description in terms of the mean and variability of relevant quantities over a period ranging from months to thousands or millions of years », IPCC, 2007



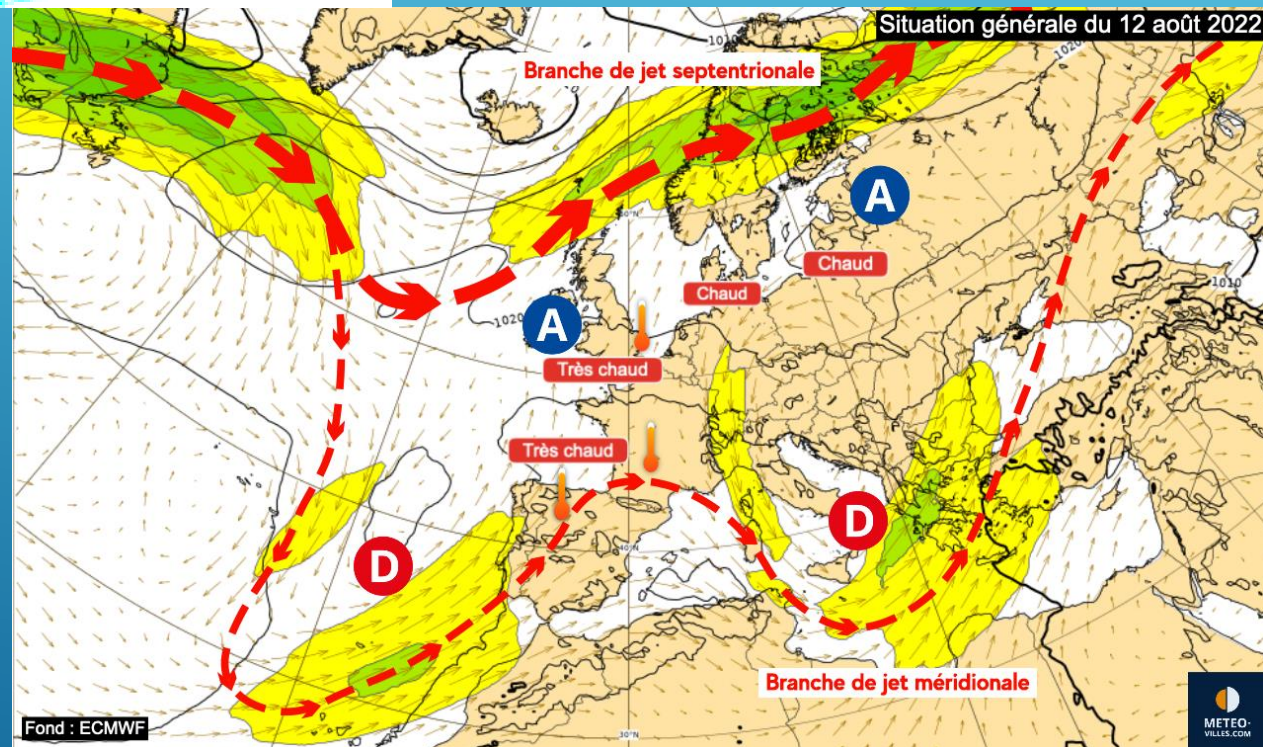
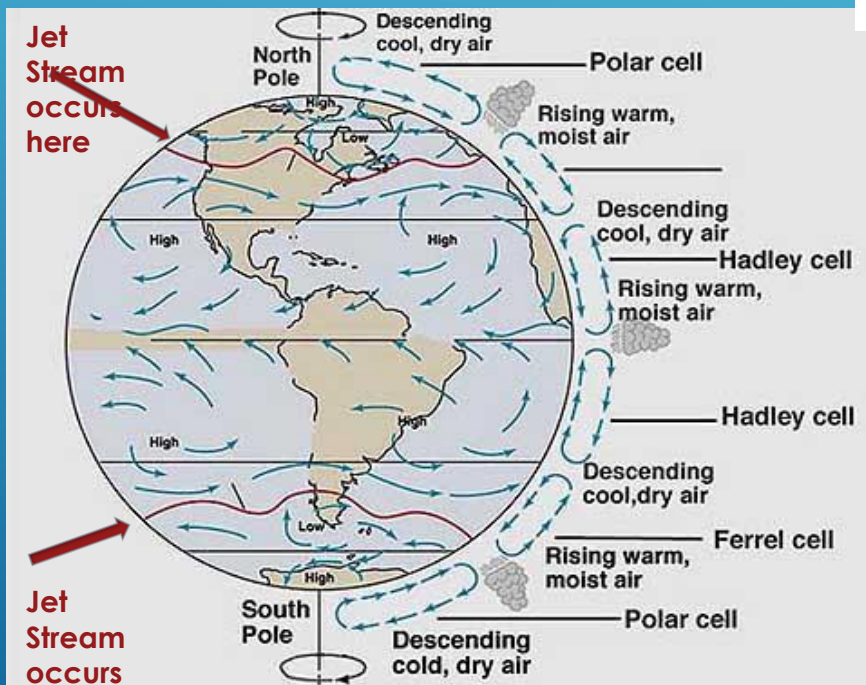
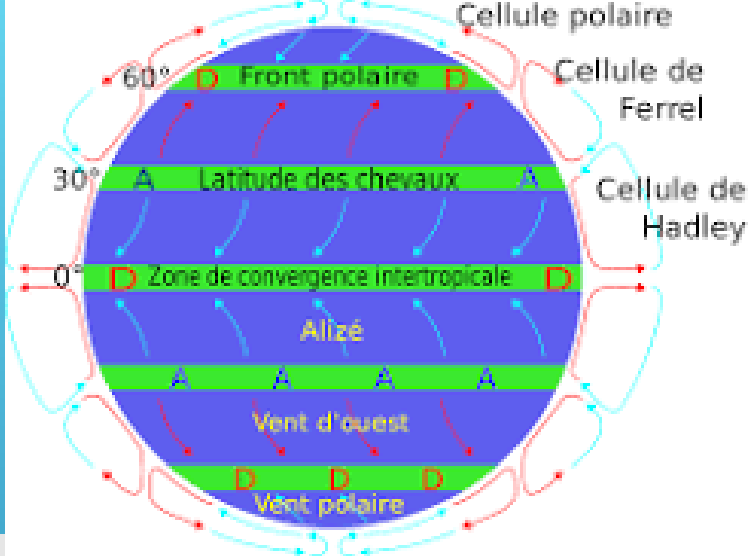
**METEO ≠ CLIMAT**



Valeurs climatiques juillet 2022

Station de Montpellier Fréjorgues – Enregistrements journaliers de T°C en Juillet 2022

**METEO ≠ CLIMAT**



# (2) EXEMPLE RÉGIONAL SYNOPTIQUE (12/08/22)

## 2. Changement(s) climatique(s) naturels et anthropogénique

2.1. Variabilité climatique préhistorique

2.2. Variabilité climatique historique

2.3. Quantifier et qualifier l'évolution présente/future du climat

CHANGEMENTS CLIMATIQUES NATURELS ET  
ANTHROPOGÉNIQUES



## ► ABIOTIQUES

- Latitude
- Altitude
- Courants océaniques
- Topographie
- Radiation solaire/nébulosité
- Evaporation
- Variations orbitales
- Activité volcanique

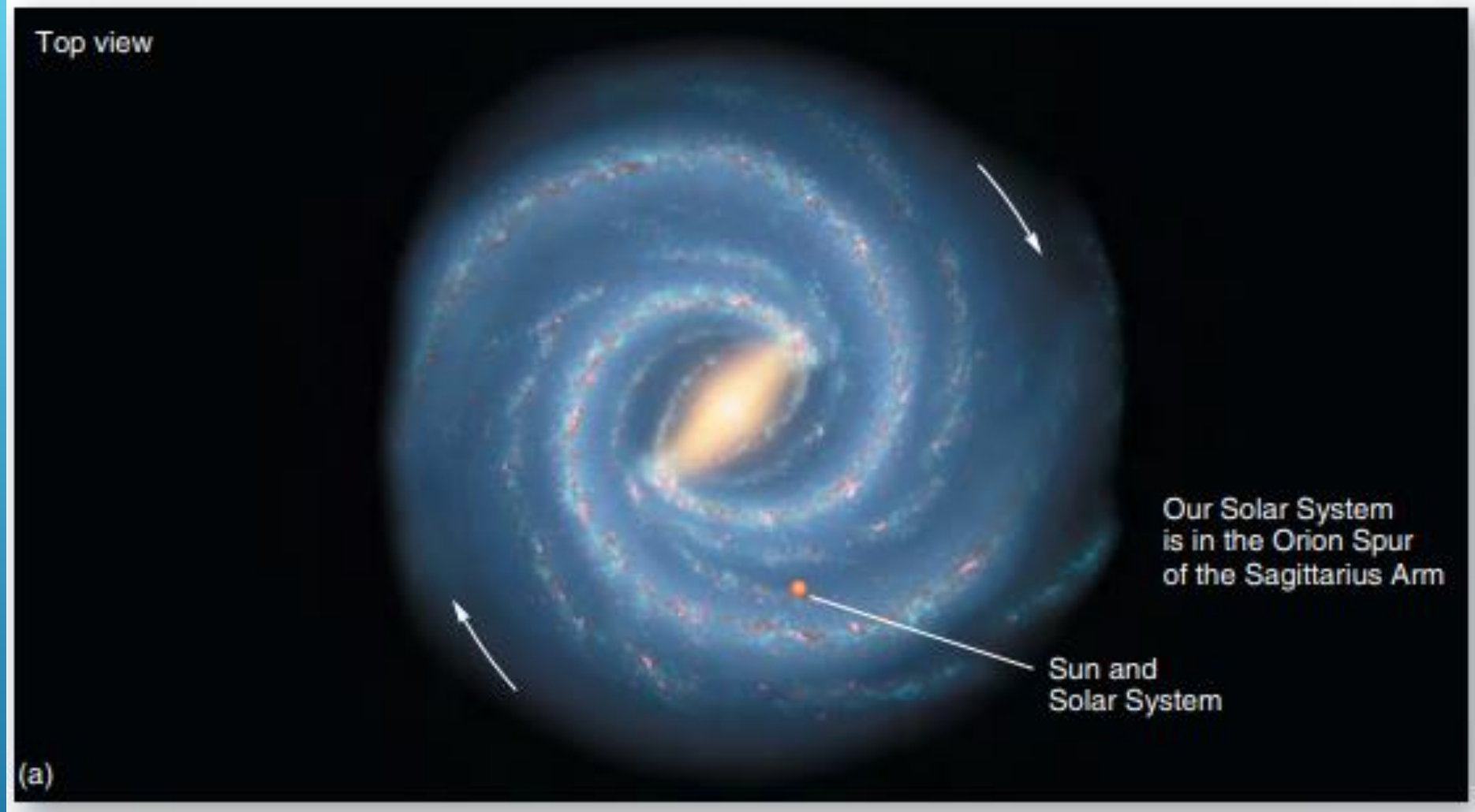
## ► BIOTIQUES

- Transpiration
- Respiration
- Photosynthèse
- Décomposition
- Digestion

FACTEURS INFLUANT SUR LE CLIMAT



# VARIATIONS ORBITALES – LA TERRE, CORPS CELESTE



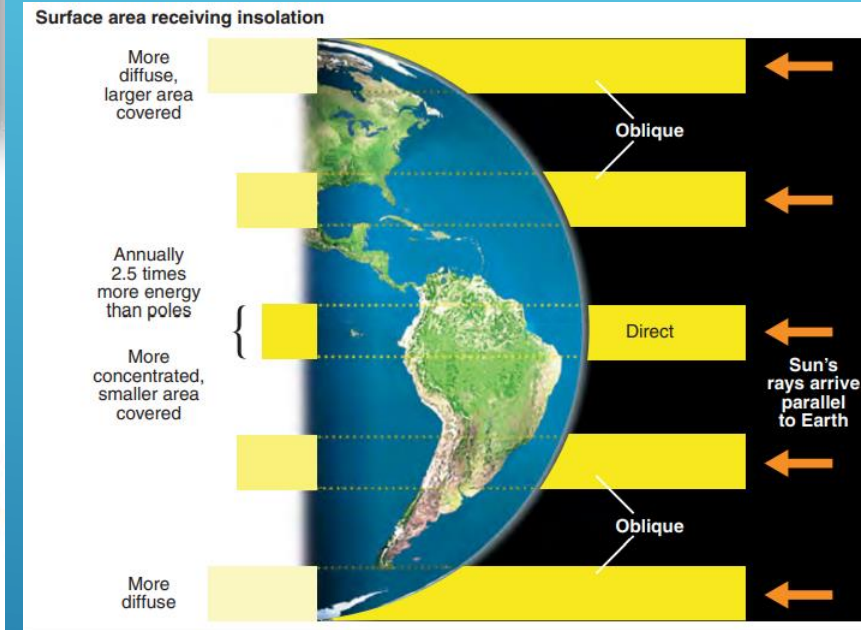
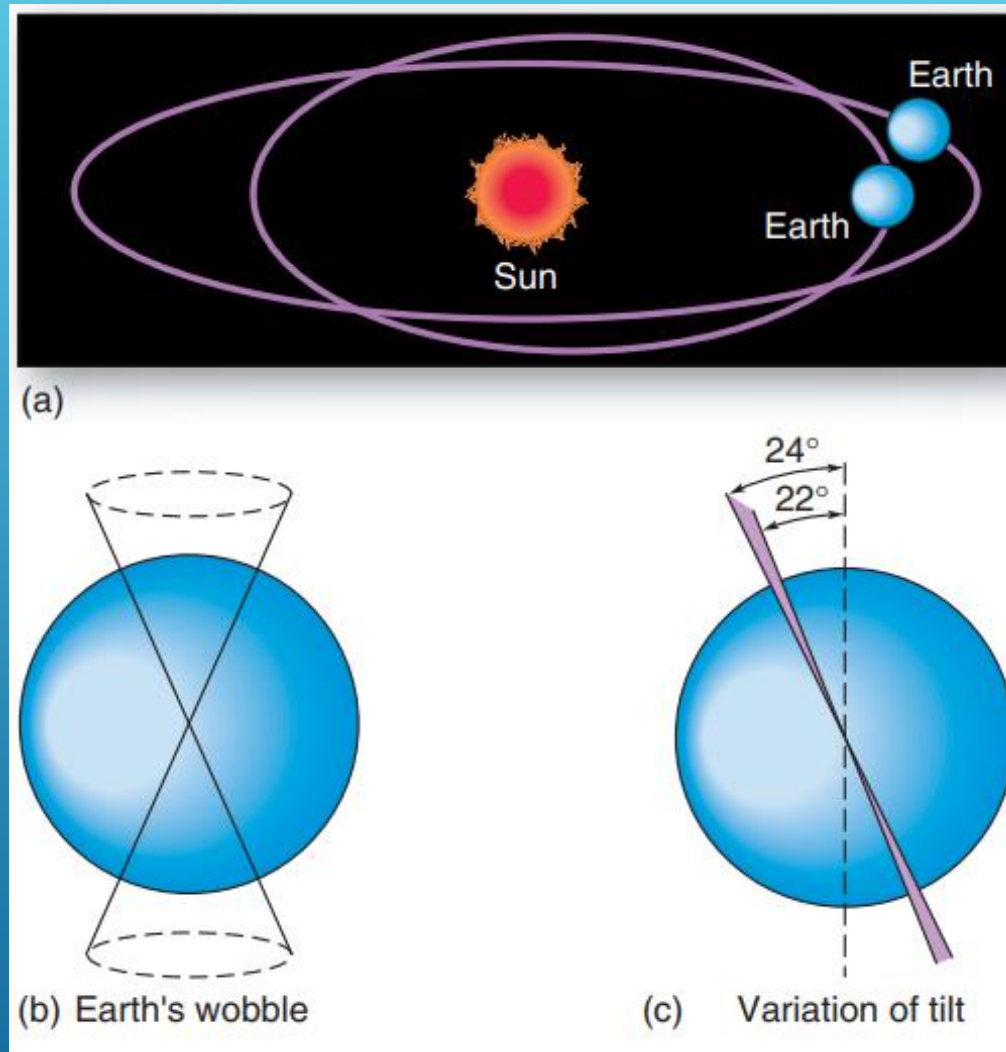
# VARIATIONS ORBITALES: LOCALISATION DANS LA VOIE LACTÉE



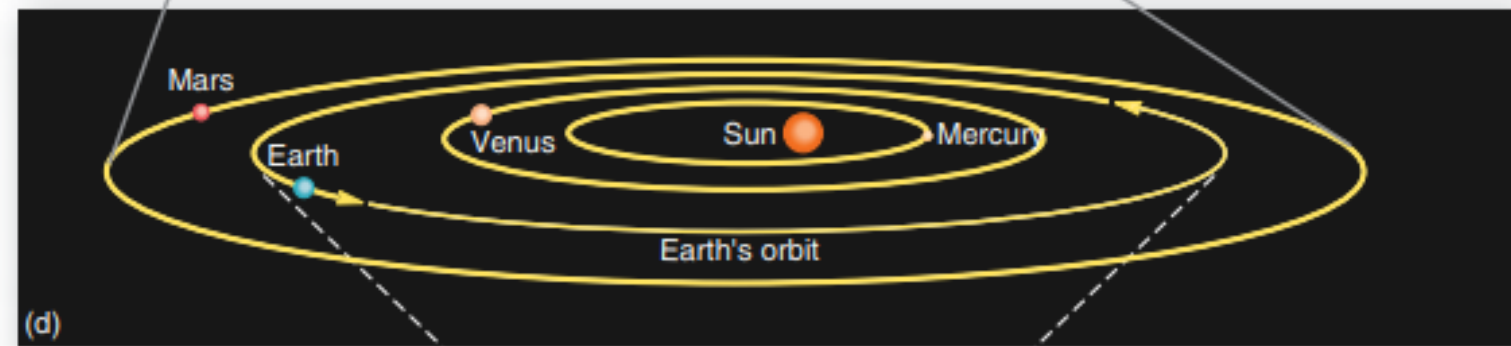
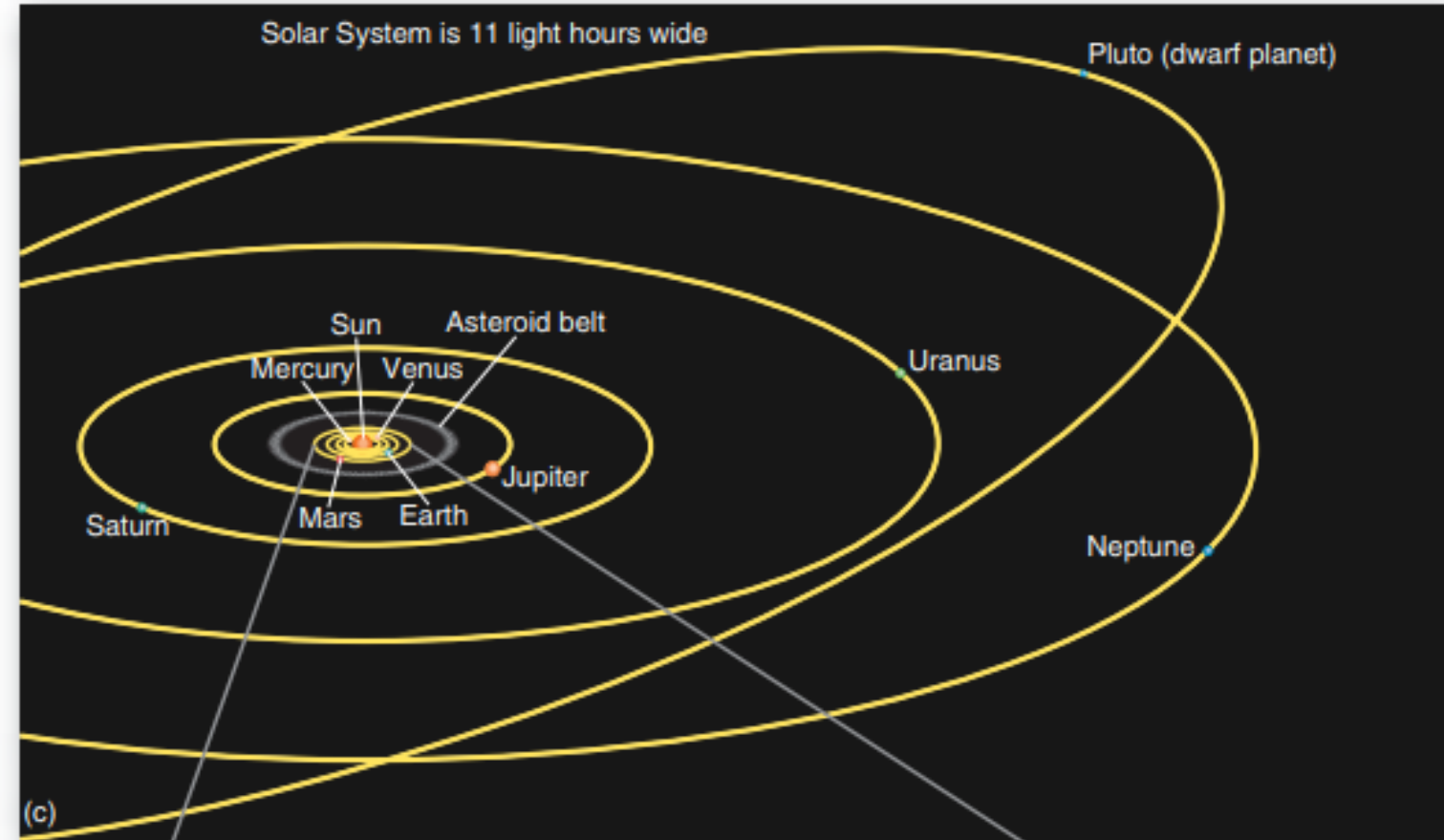
VARIATIONS ORBITALES: LOCALISATION DANS LA  
VOIE LACTEE



# VARIATIONS ORBITALES MILLÉNAIRES: CYCLES DE MILANKOVITCH



# VARIATIONS ORBITALES ANNUELLES: APHÉLIE ET PÉRIHÉLIE



Farthest from Sun—aphelion, July 4  
152,083,000 km  
(94,500,000 mi)

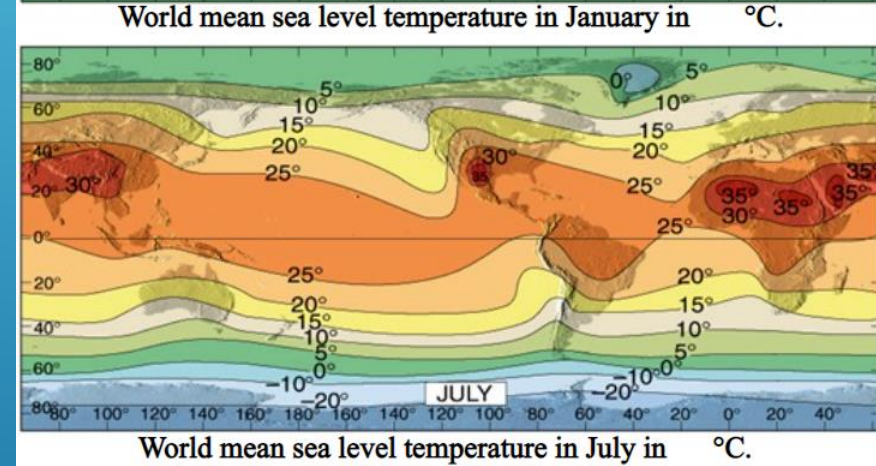
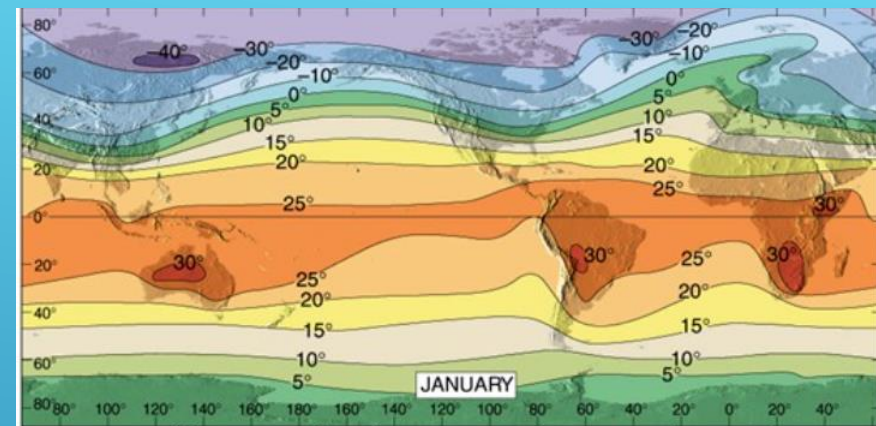
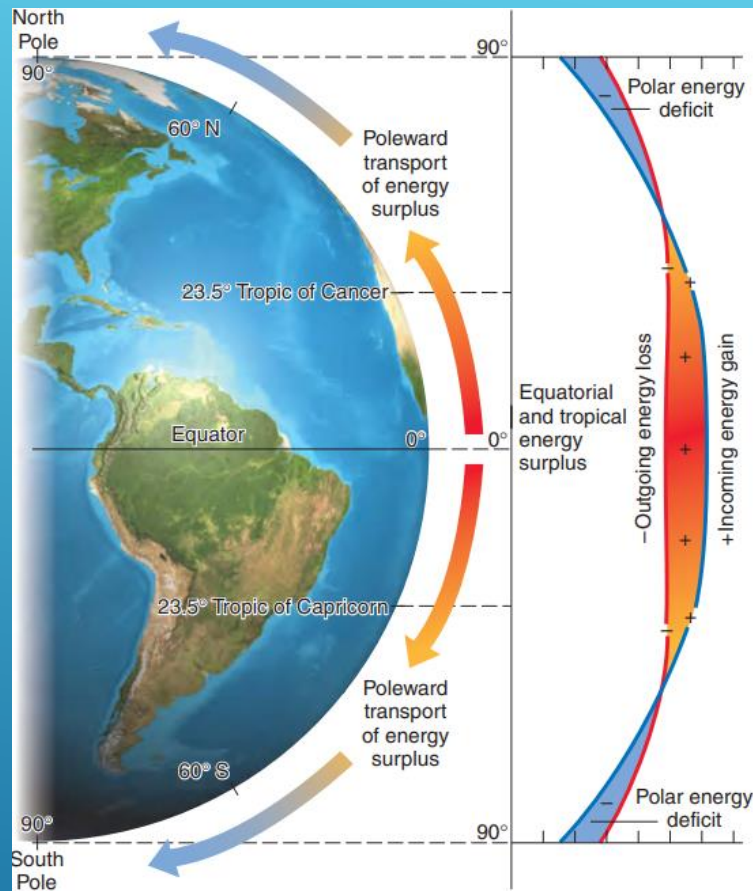
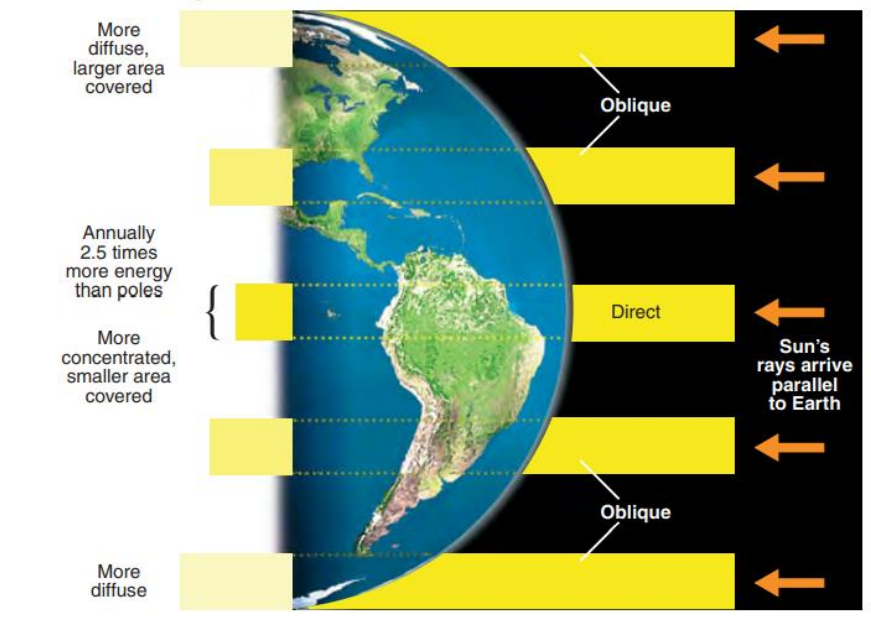
Sun

Focus of Earth's elliptical orbit

Closest to Sun—perihelion, January 3  
147,255,000 km  
(91,500,000 mi)

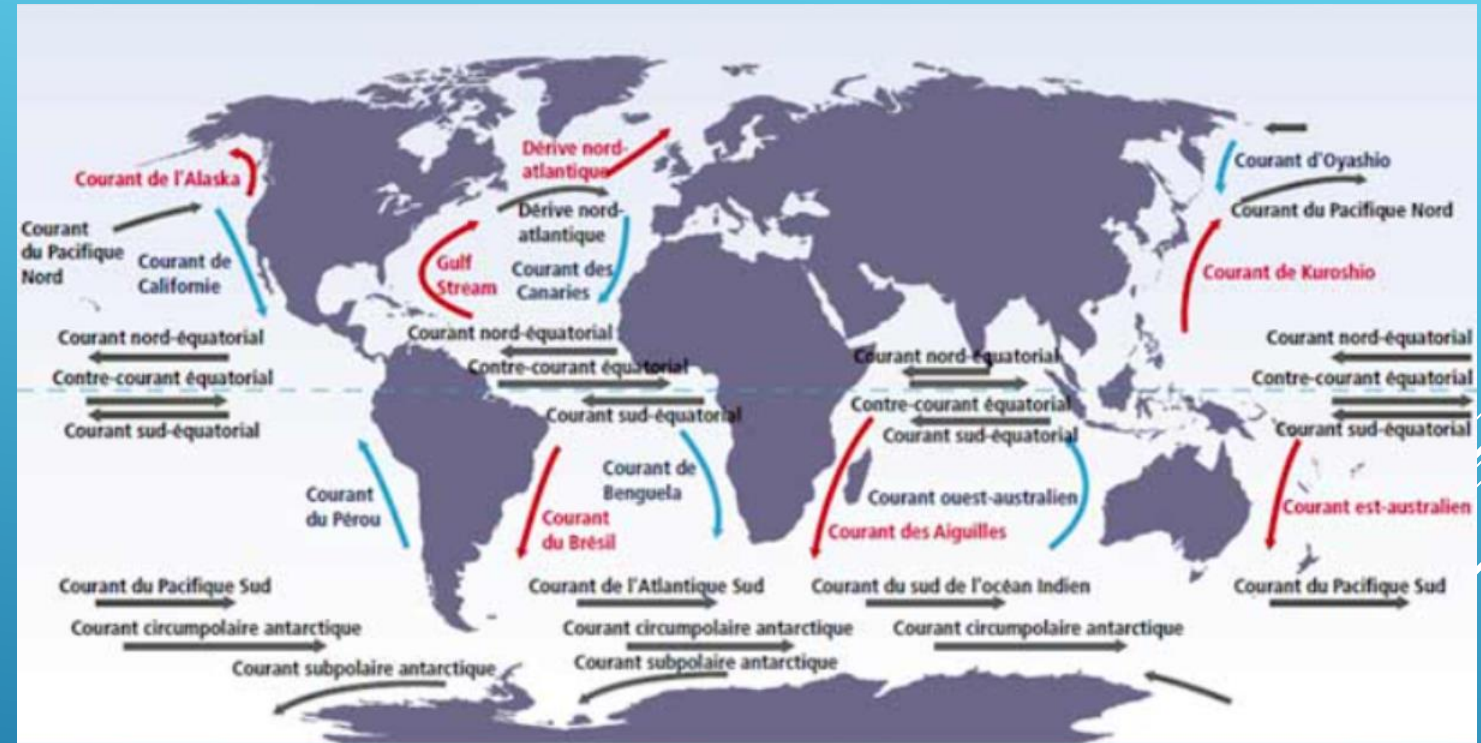
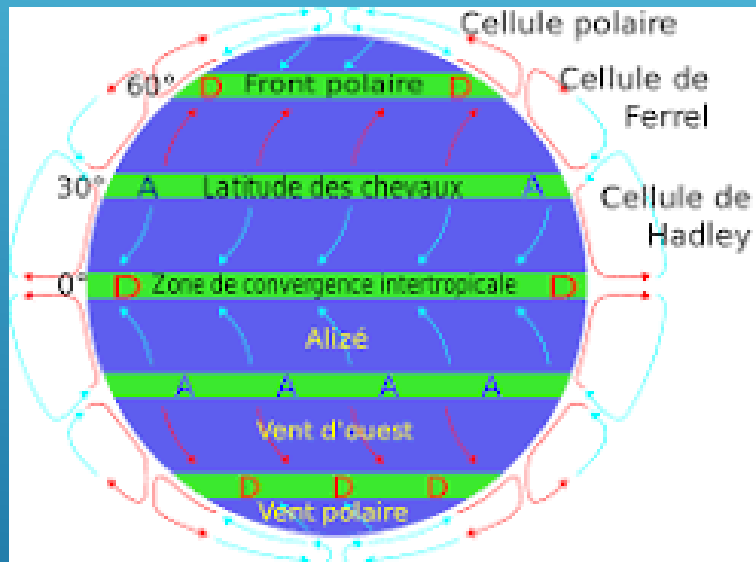
This diagram shows the Earth's elliptical orbit around the Sun. The Sun is at the center, and the orbit is an ellipse. The Earth is shown at two different points in its orbit. The diagram is labeled '(d)' in the bottom left corner.

Surface area receiving insolation

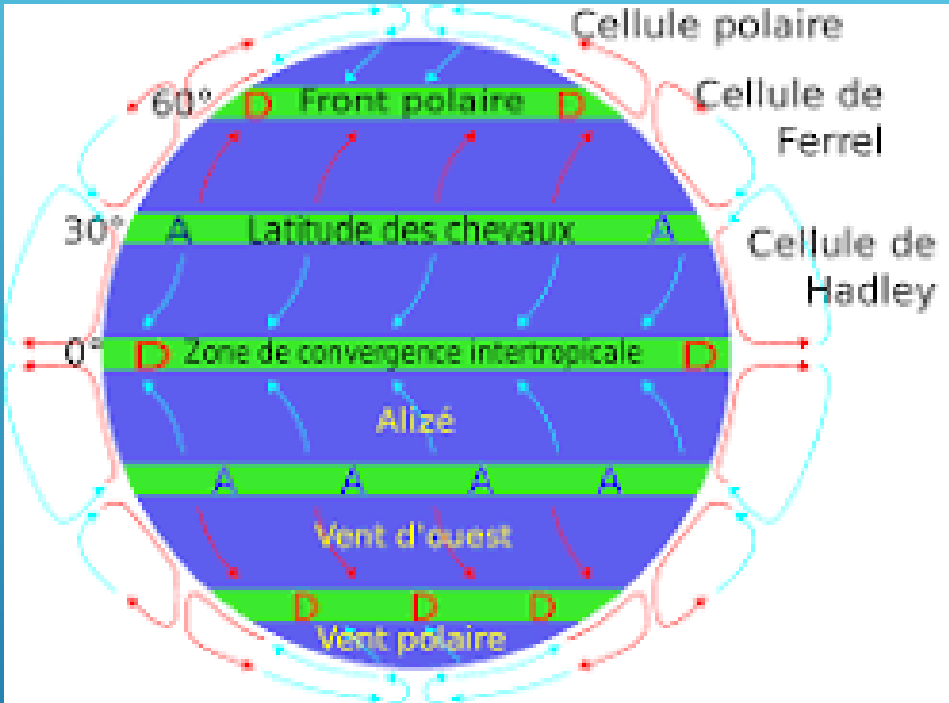


# LATITUDE ET BILAN ÉNERGÉTIQUE GLOBAL



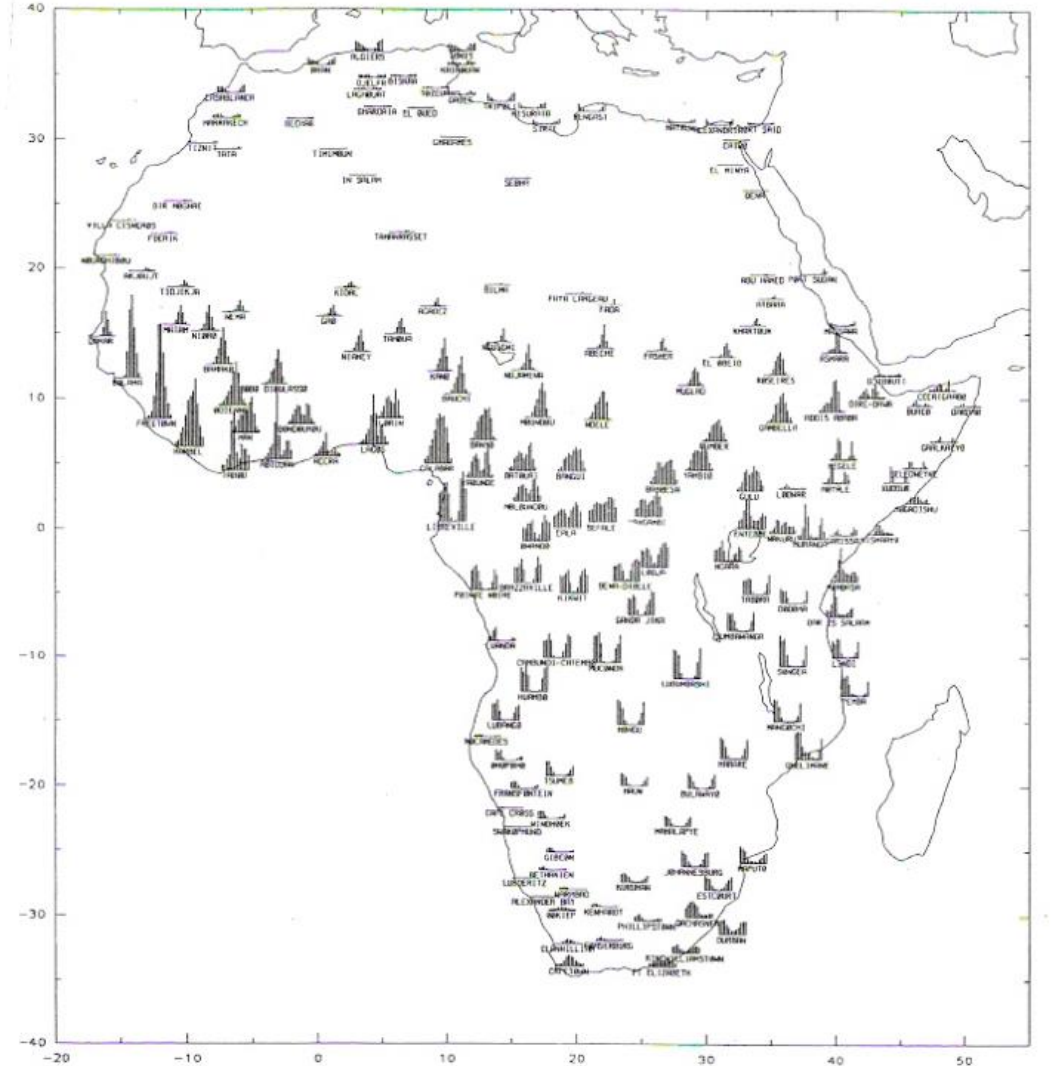


CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE, CIRCULATION OCÉANIQUE (THERMOHALINE)

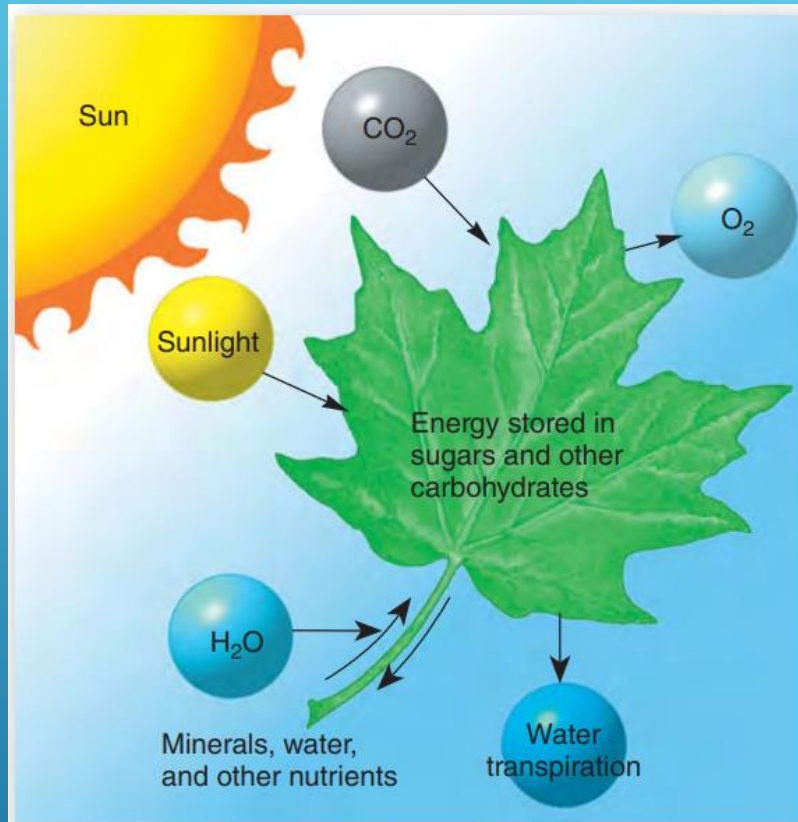


CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE ET  
PRECIPITATIONS (ICI ECHELLE  
CONTINENT AFRICAIN)

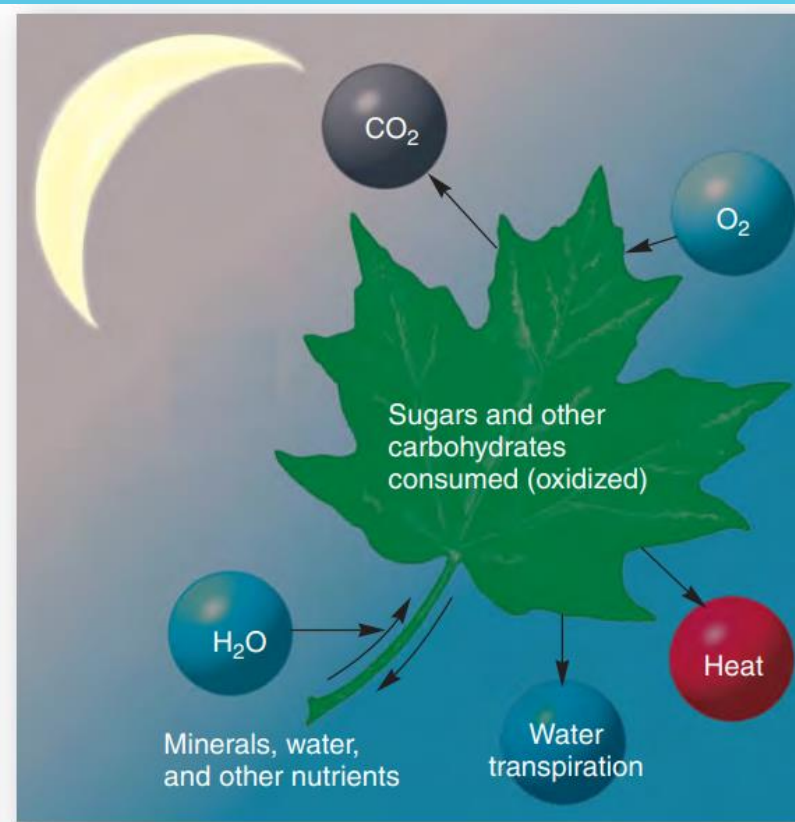
### MONTHLY DISTRIBUTION OF RAINFALL AT SELECTED LOCATIONS



*Atlas of African Rainfall and its interannual variability  
S. E. NICHOLSON et al. 1988*



(a) Plant photosynthesis

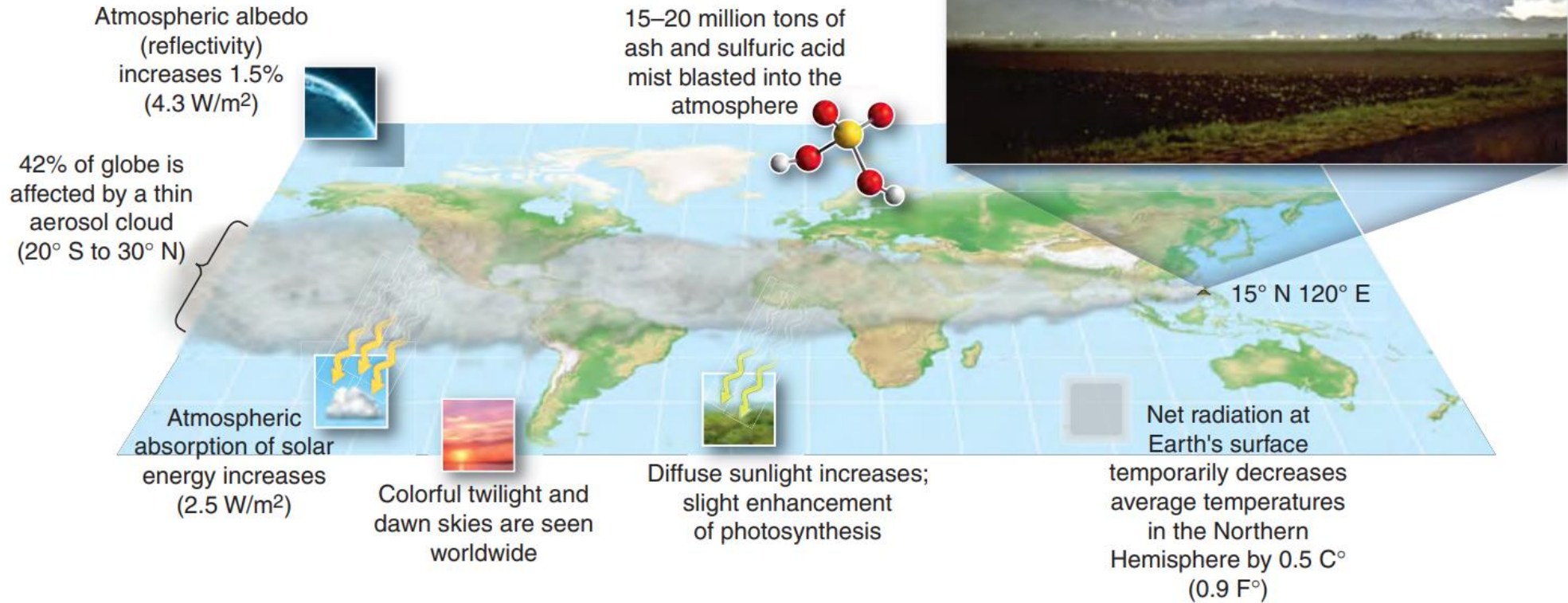


(b) Plant respiration

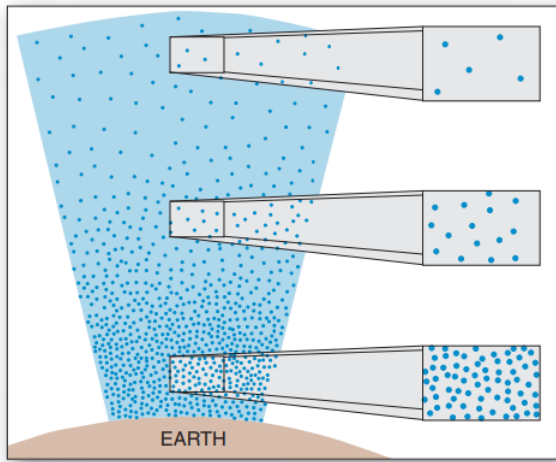
# PHOTOSYNTHESIS, TRANSPIRATION & RESPIRATION



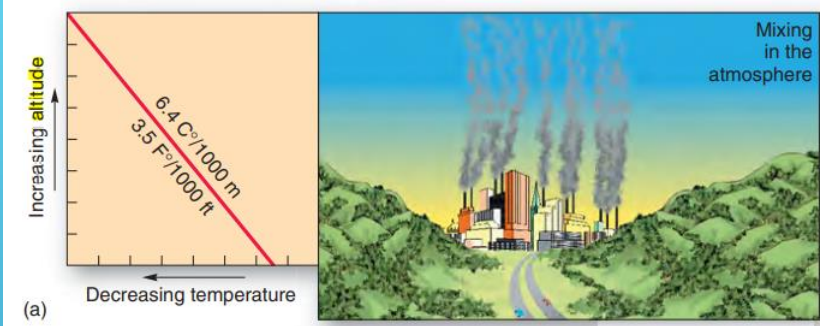
## GLOBAL IMPACTS OF MOUNT PINATUBO ERUPTION—JUNE 15, 1991



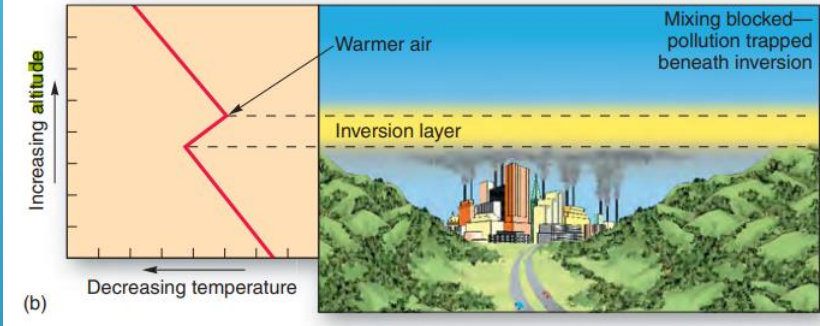
# ACTIVITE VOLCANIQUE



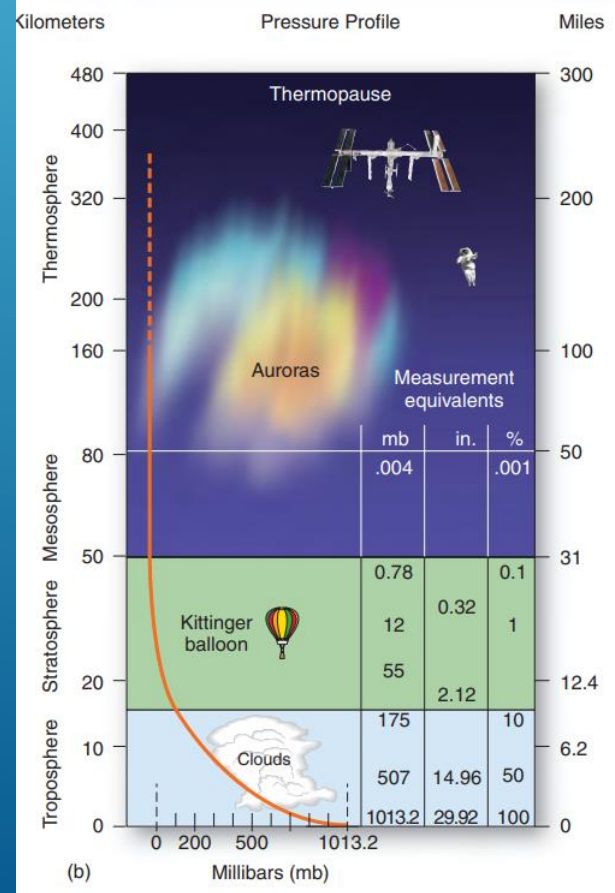
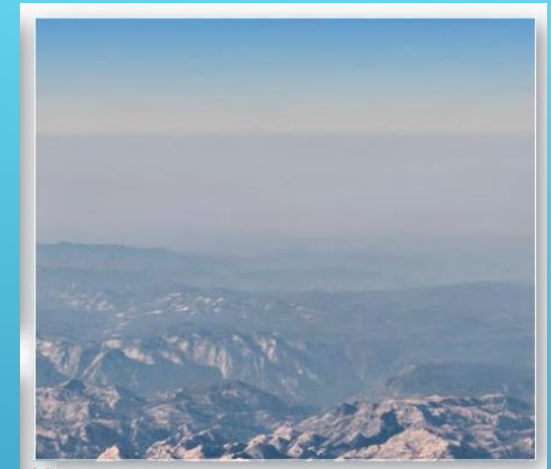
(a)



(a)



(b)



(b)

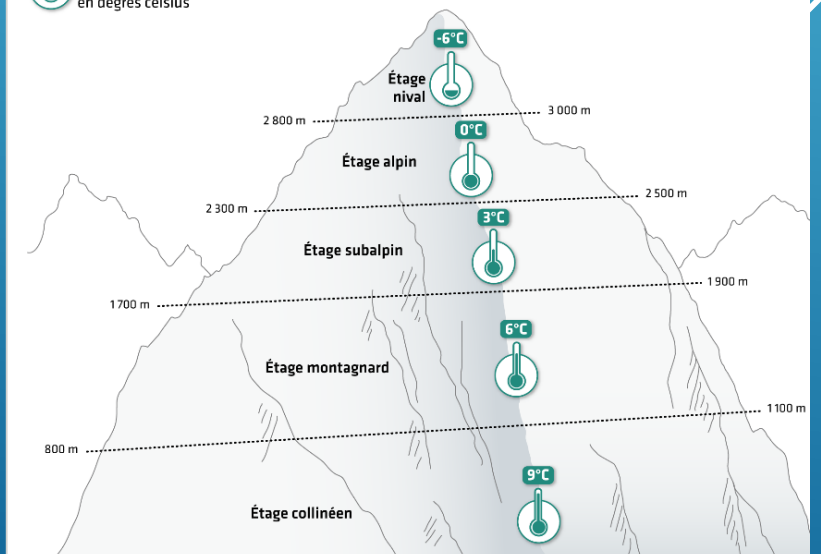
# ALTITUDE

## Étage altitudinal de la température

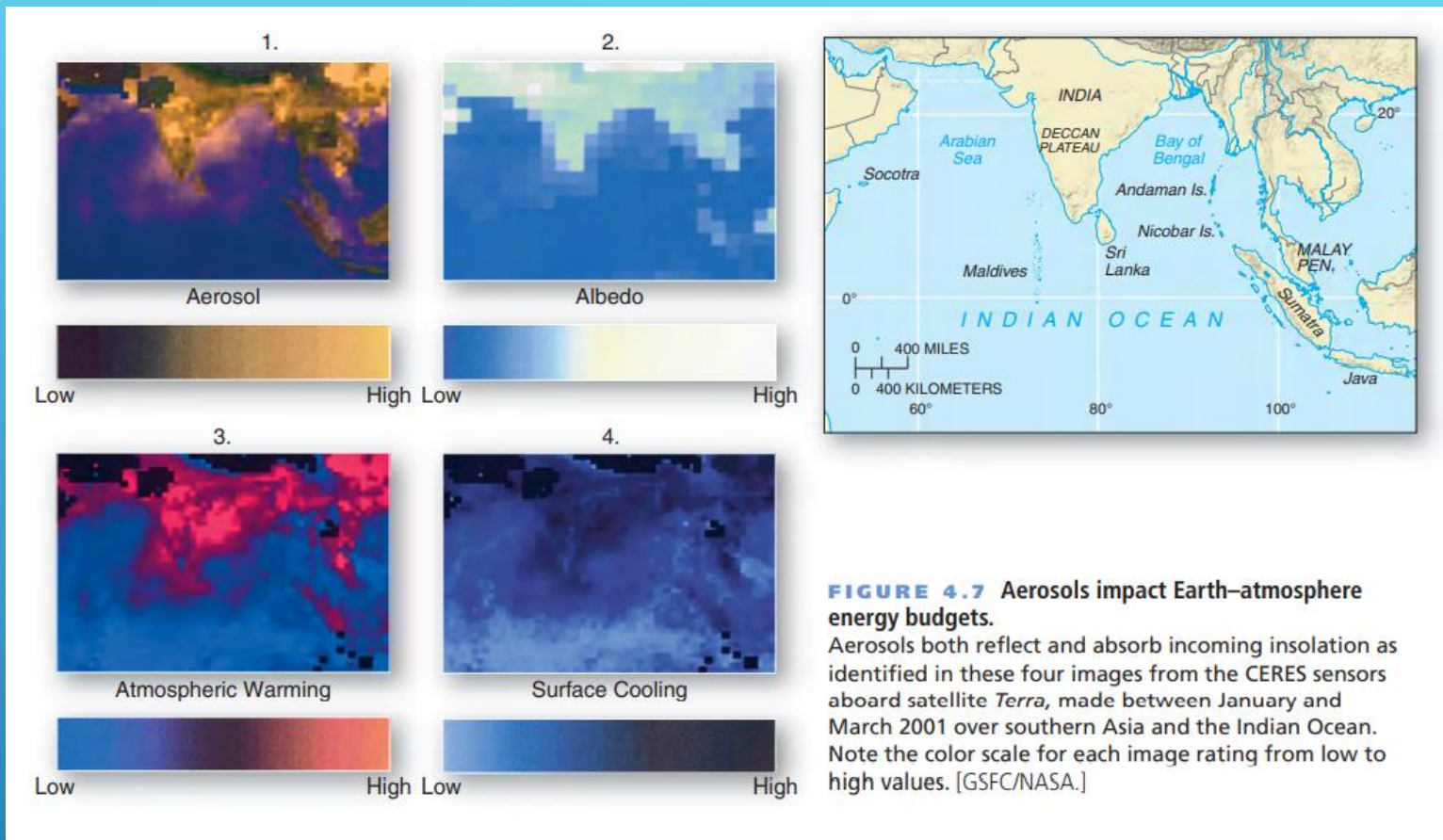
Gradient de températures moyennes selon l'altitude

Température moyenne annuelle en degrés celsius

Versant nord Versant sud







RADIATION SOLAIRE – NÉBULOSITÉ - ALBÉDO



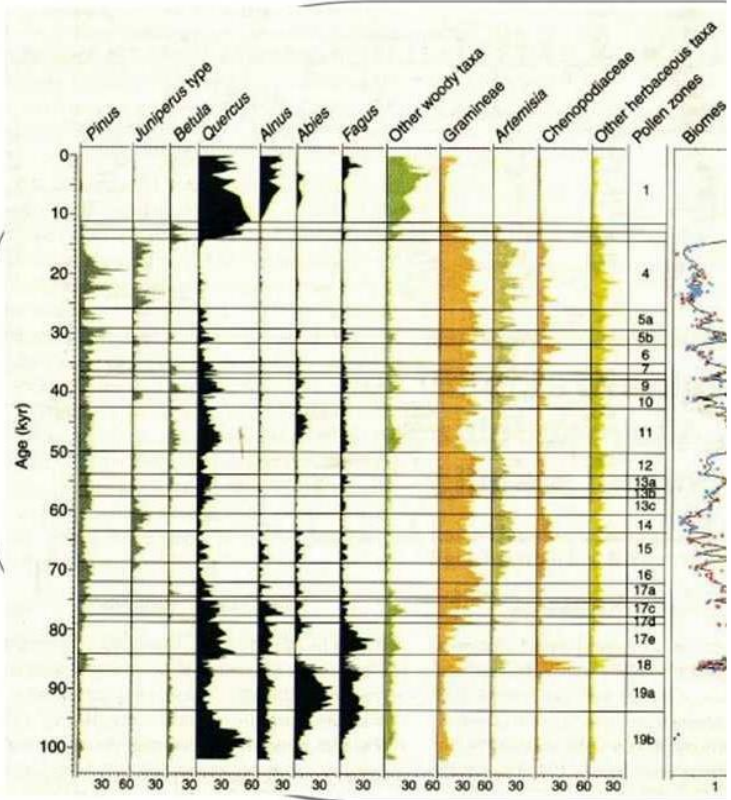
## 2. Changement(s) climatique(s) naturels et anthropogénique

### 2.1. Variabilité climatique préhistorique

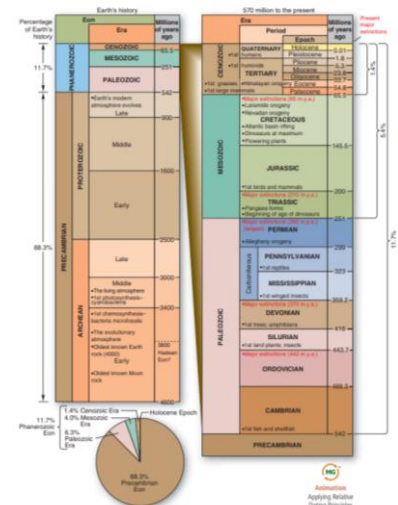
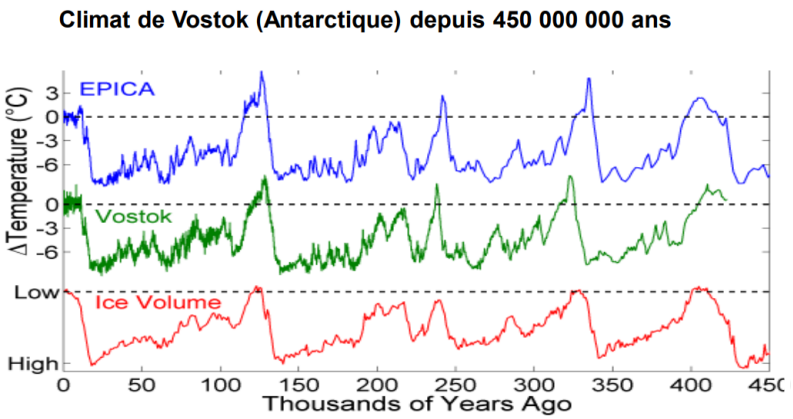
### 2.2. Variabilité climatique historique

### 2.3. Quantifier et qualifier l'évolution présente/future du climat

# CHANGEMENTS CLIMATIQUES NATURELS ET ANTHROPOGÉNIQUES



- ▶ Climatologie des paléoenvironnements
- ▶ Palynologie
- ▶ Glaciologie
- ▶ <https://xkcd.com/1732/>



# PALÉOCLIMATOLOGIE



## 2. Changement(s) climatique(s) naturels et anthropogénique

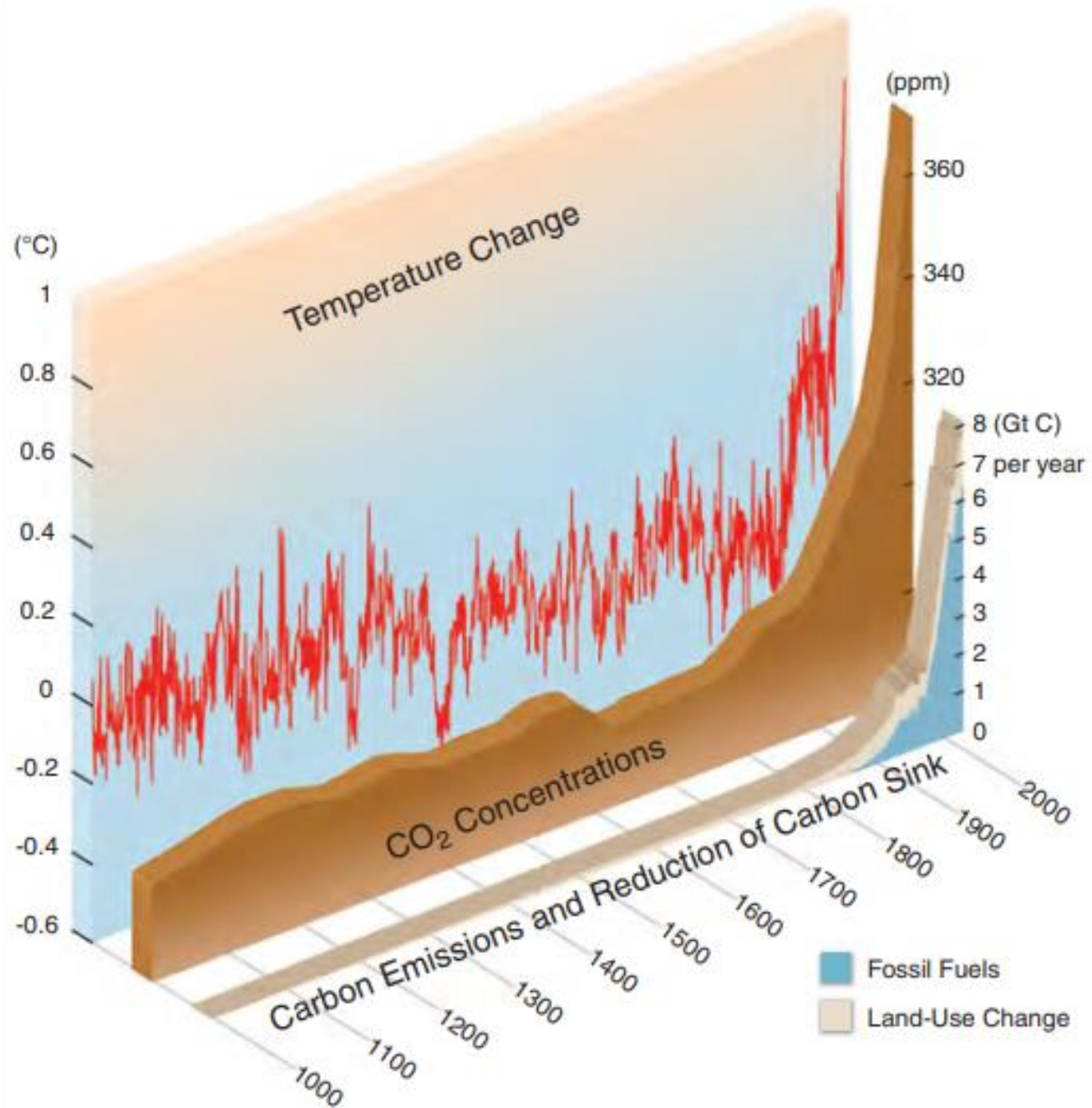
2.1. Variabilité climatique préhistorique

2.2. Variabilité climatique historique

2.3. Quantifier et qualifier l'évolution présente/future du climat

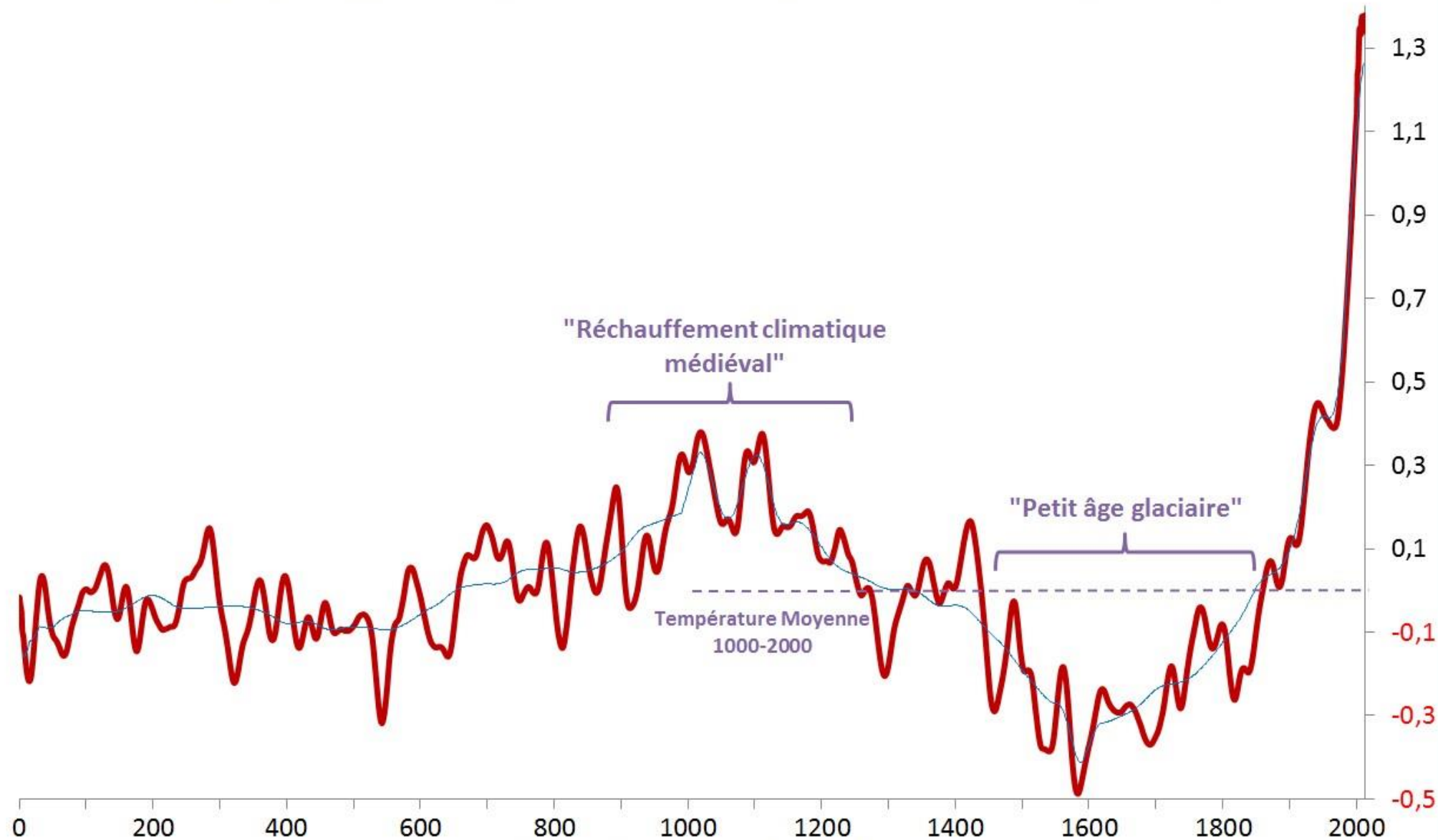
CHANGEMENTS CLIMATIQUES NATURELS ET  
ANTHROPOGÉNIQUES

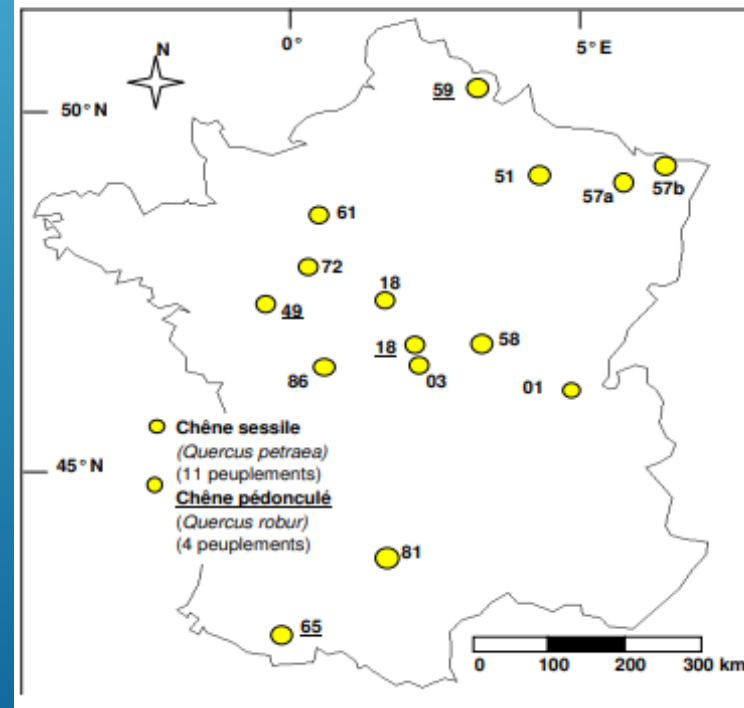
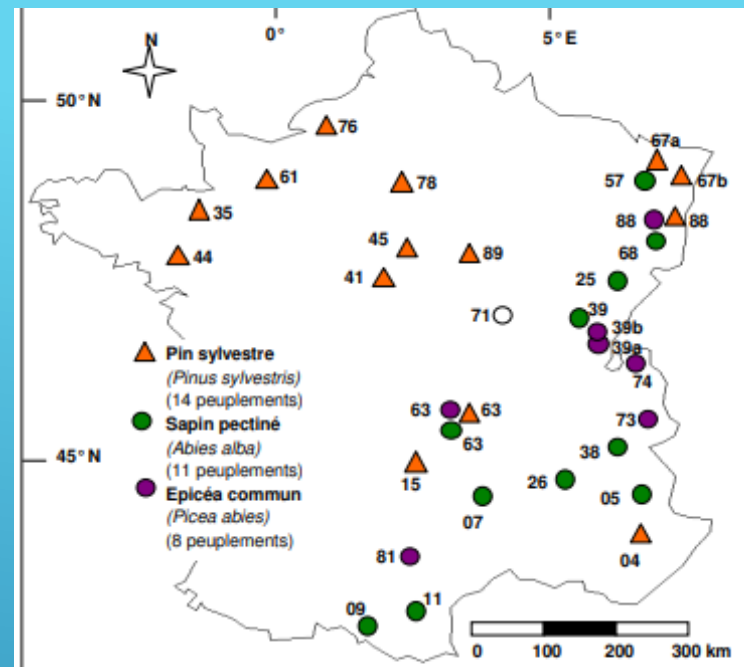
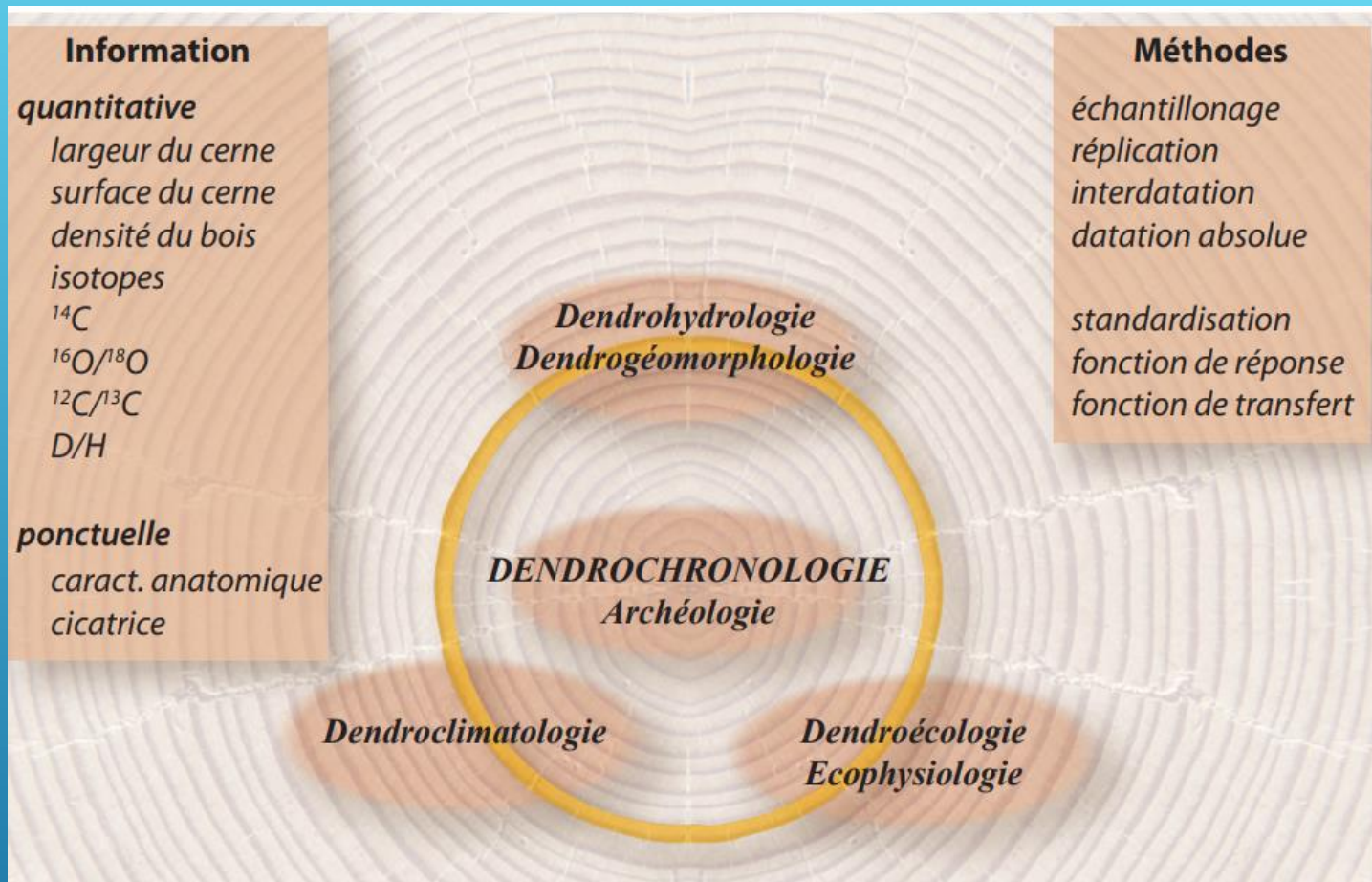




## Évolution de la température de l'Hémisphère Nord depuis 2 000 ans

(écart par rapport à la moyenne 1000-2000, en °C) (Sources : Sonechkin et al. puis NASA)







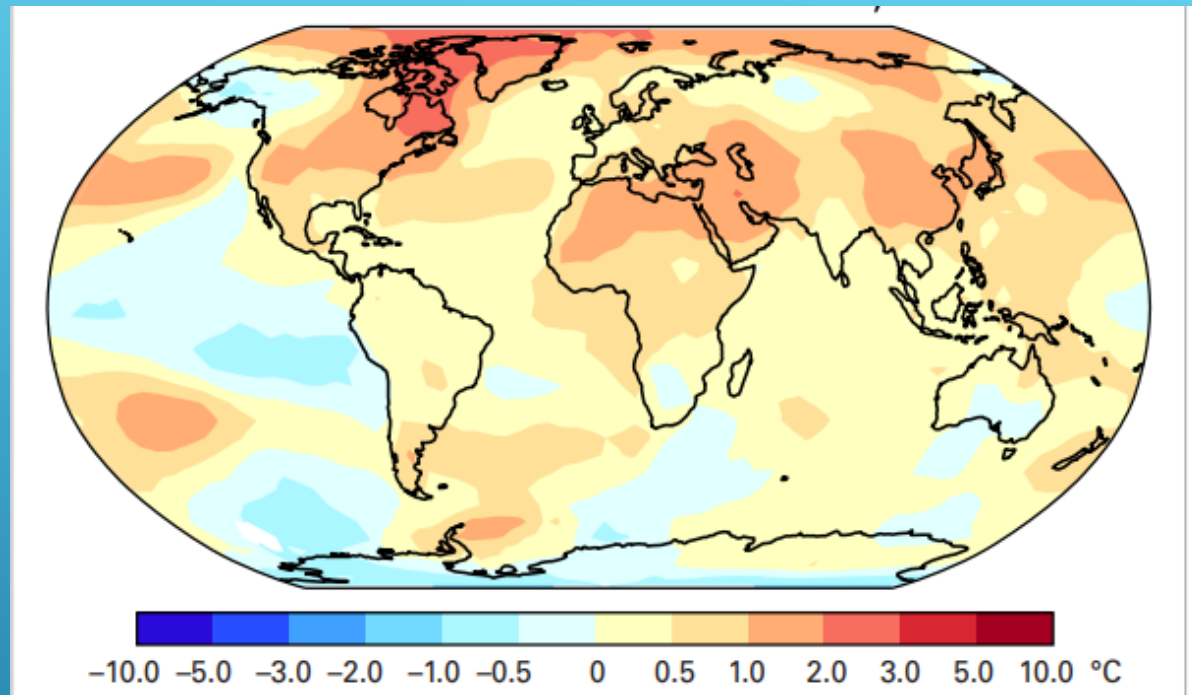
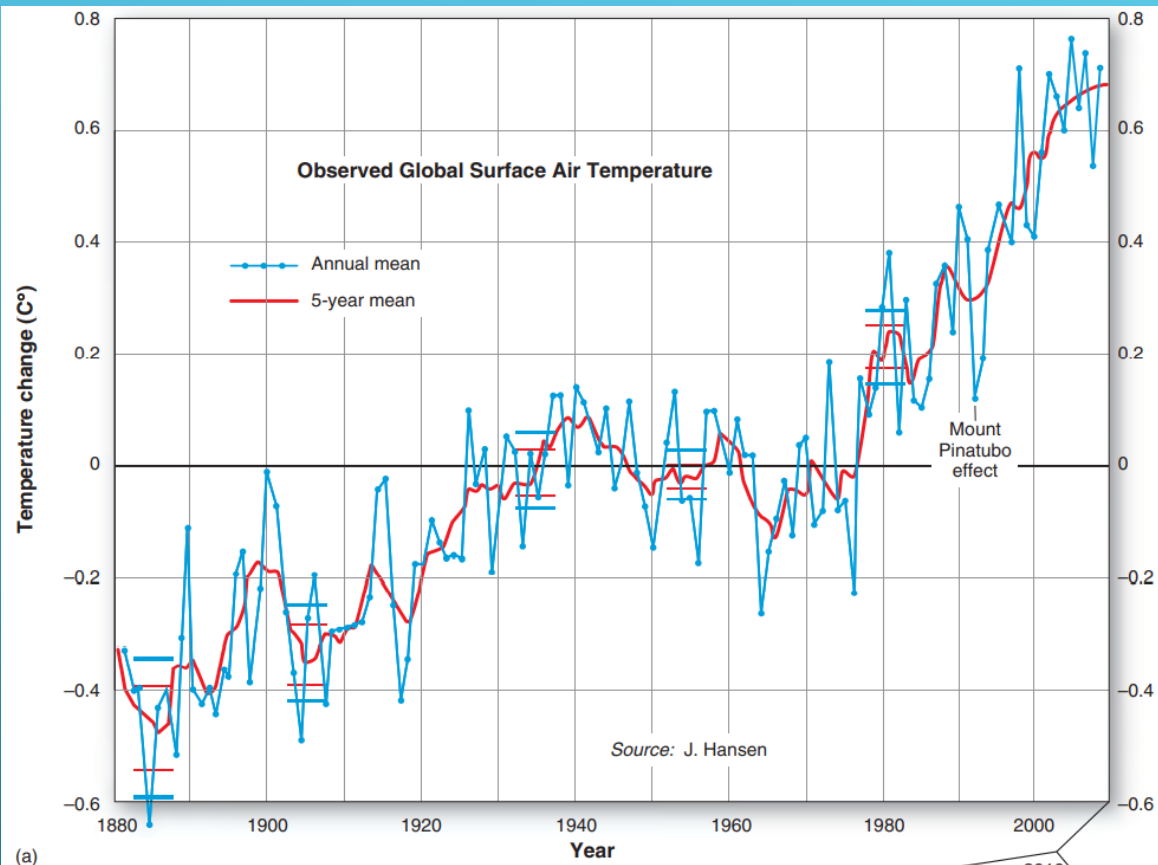
## 2. Changement(s) climatique(s) naturels et anthropogénique

2.1. Variabilité climatique préhistorique

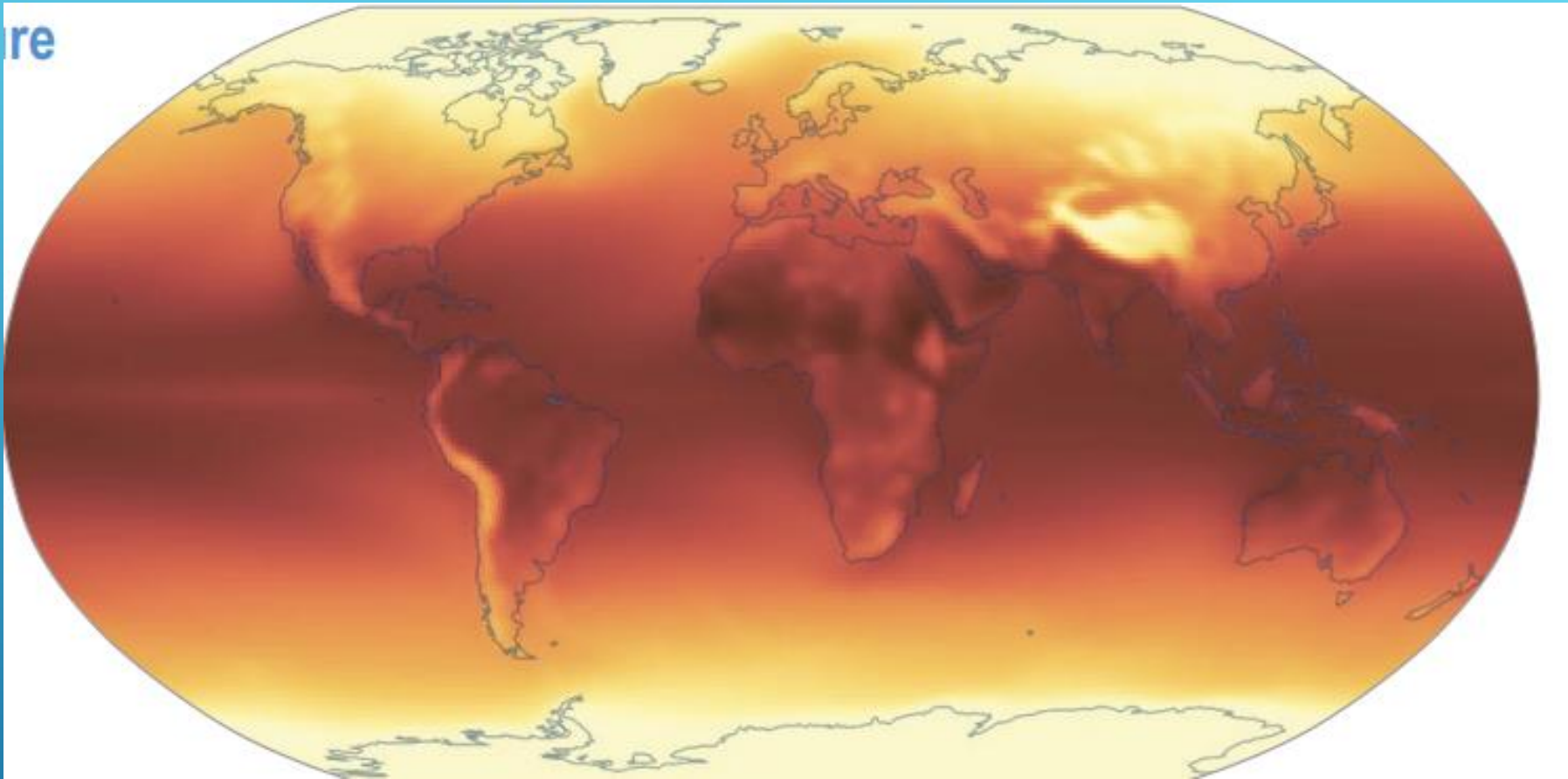
2.2. Variabilité climatique historique

2.3. Quantifier et qualifier l'évolution présente/future du climat

CHANGEMENTS CLIMATIQUES NATURELS ET  
ANTHROPOGÉNIQUES



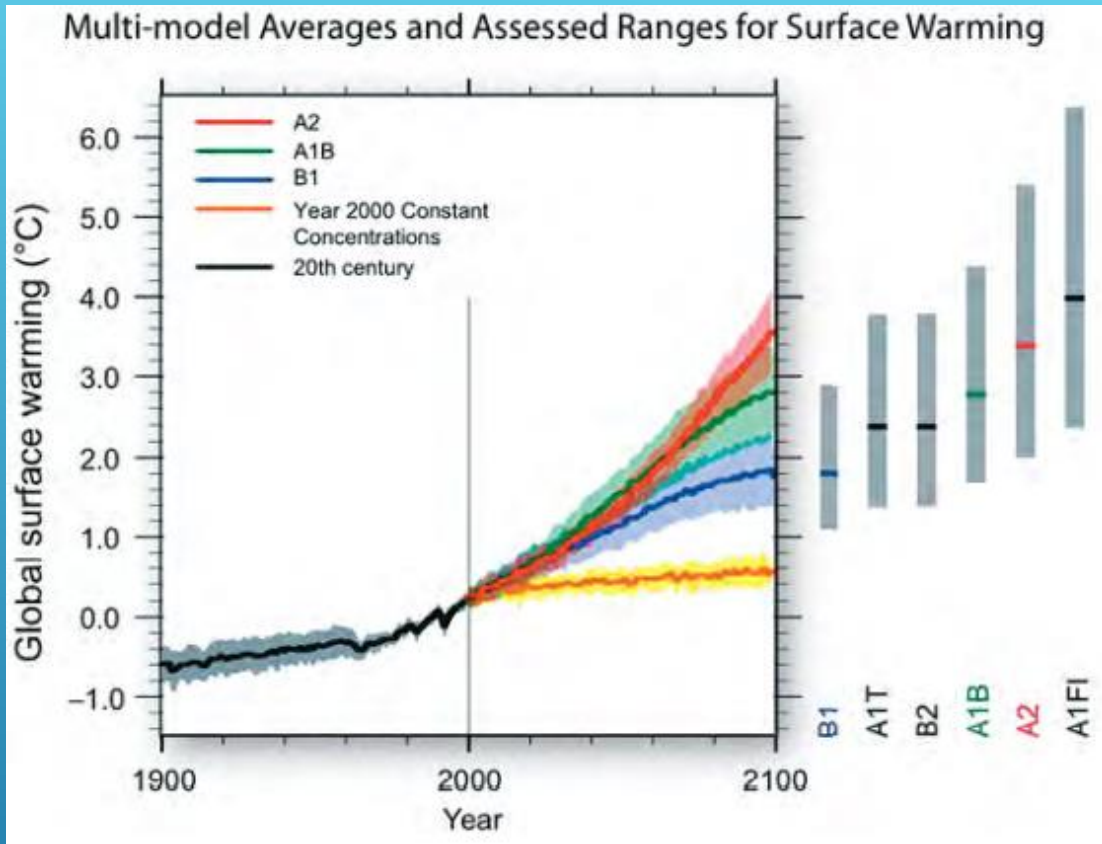
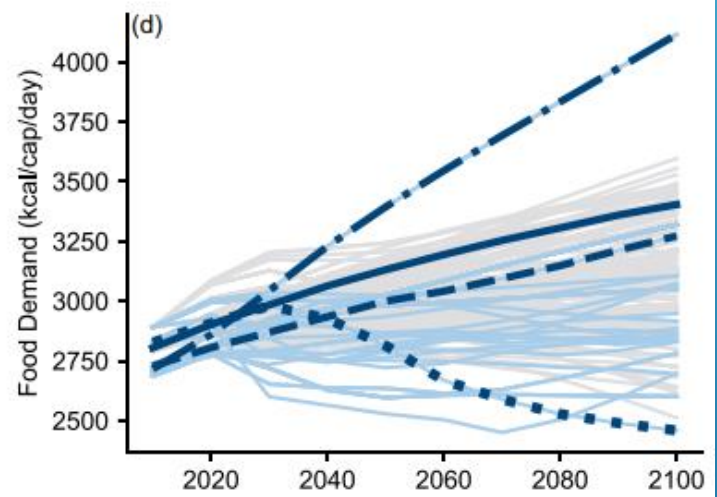
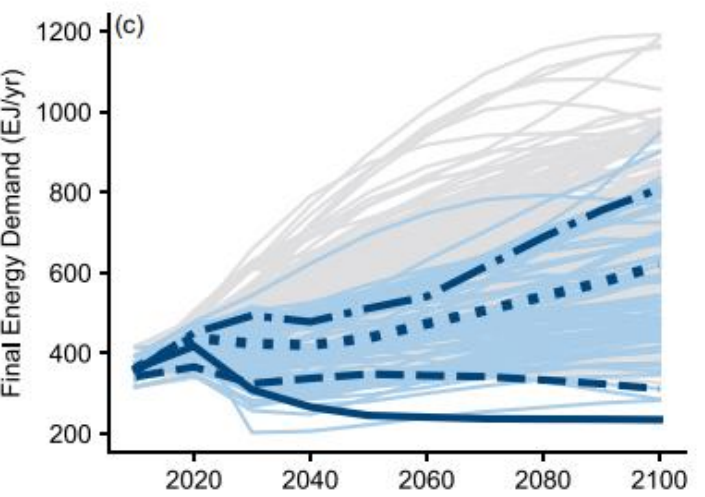
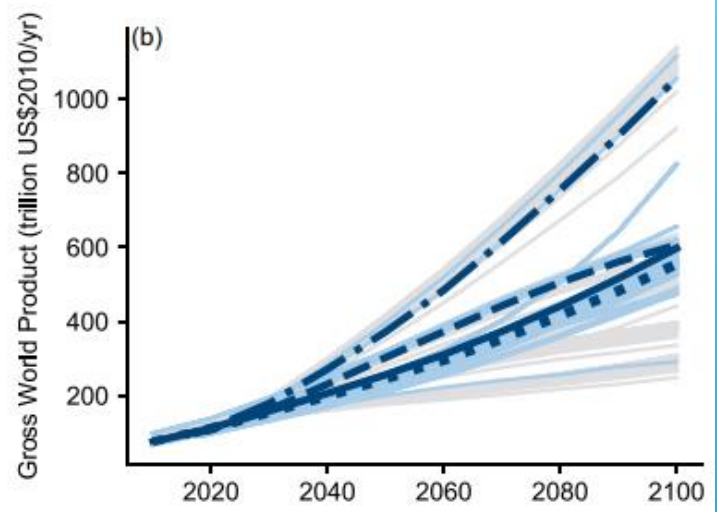
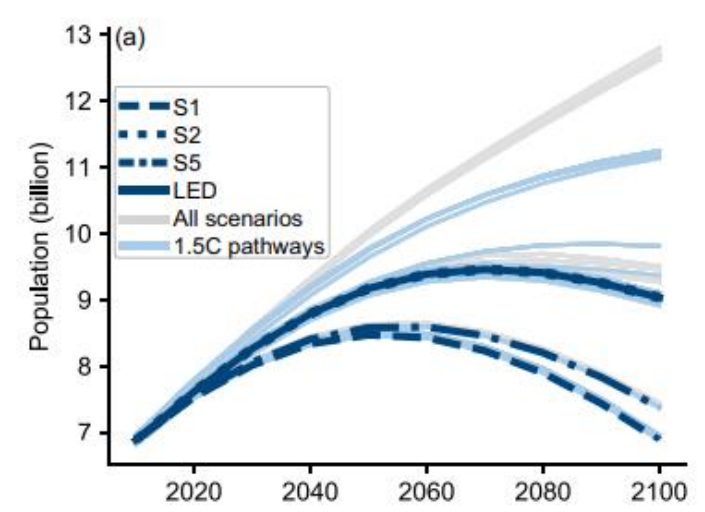
Anomalie médiane de l'écart des T°C pour l'année 2021 par rapport à la moyenne de 1981-2010



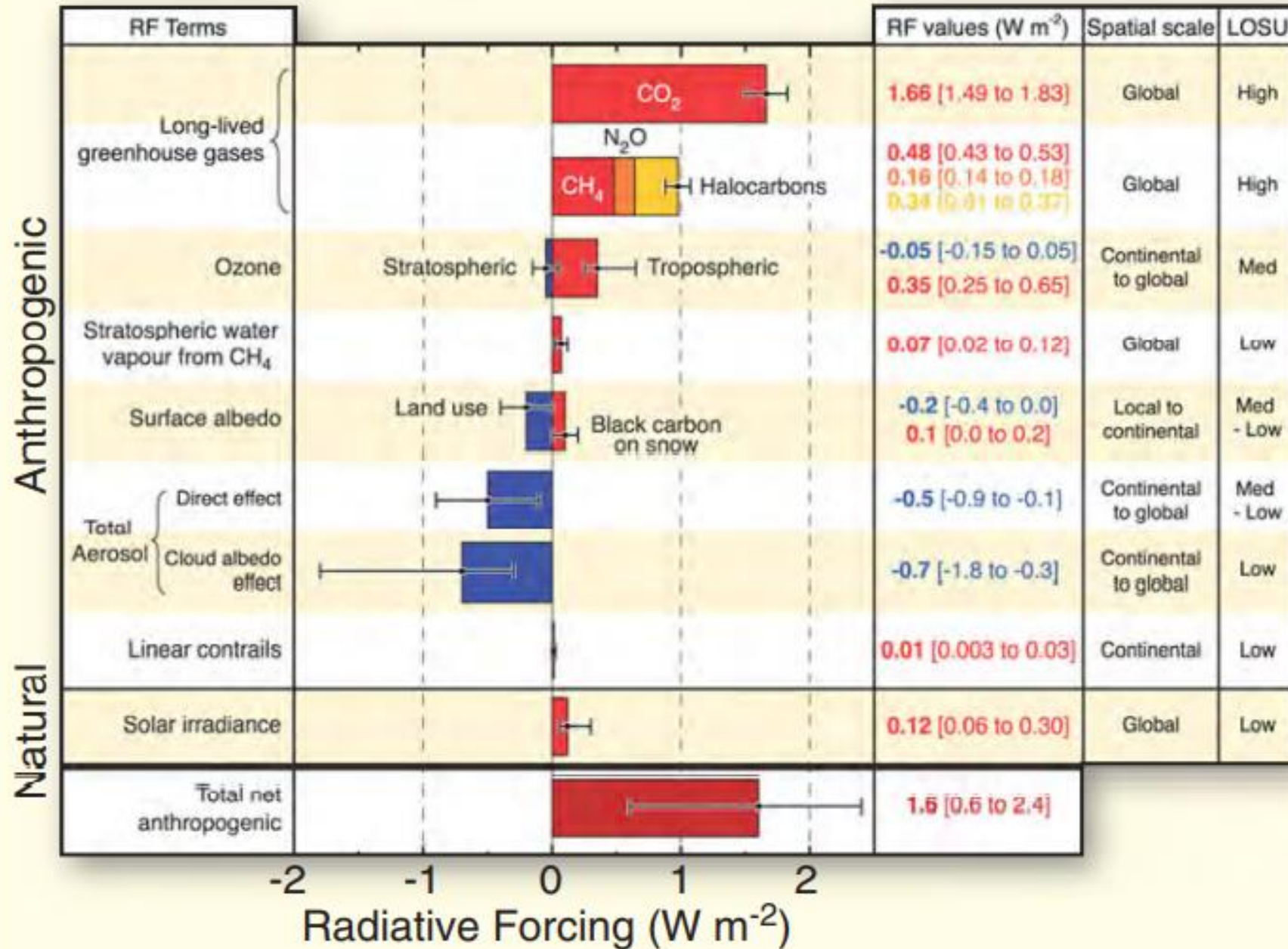
**Observed mean temperature (°C)**  
Period 1995–2014



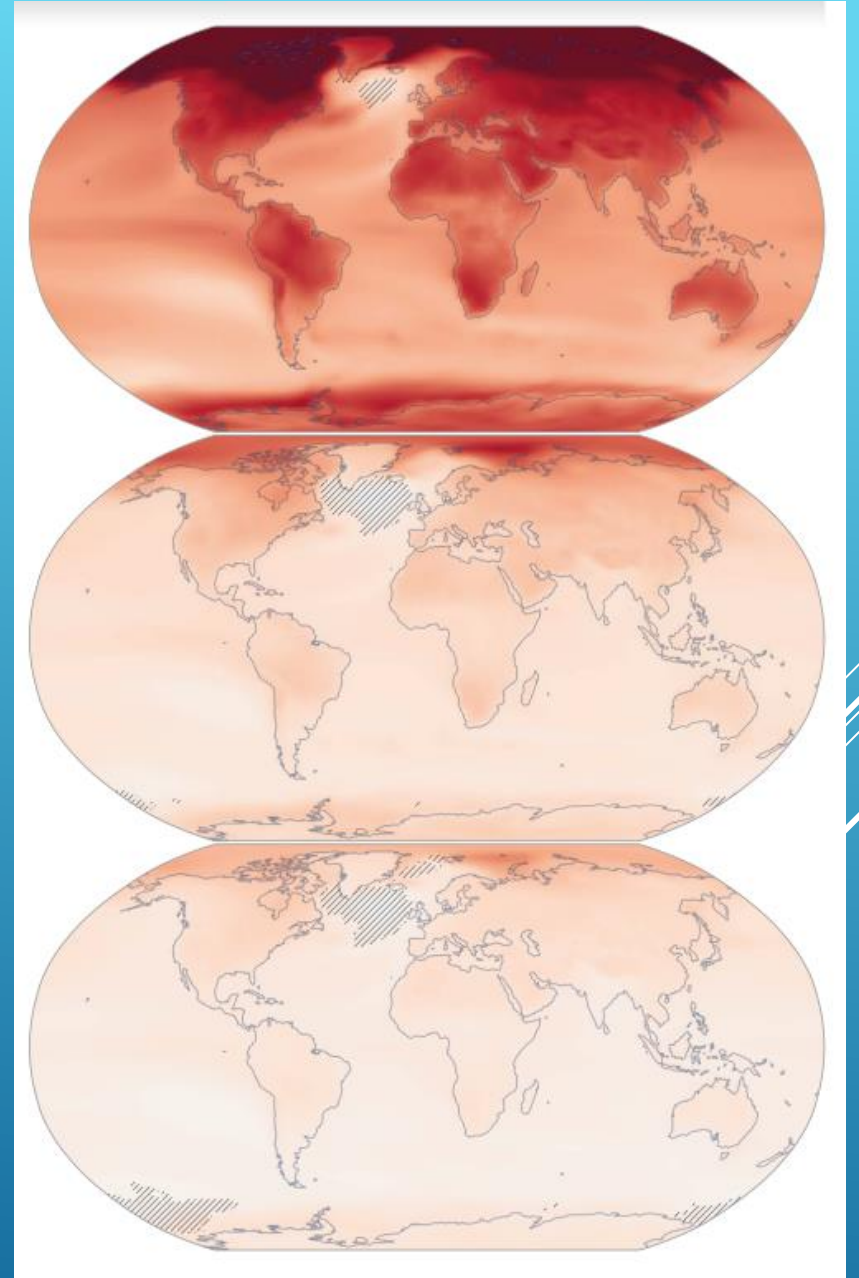




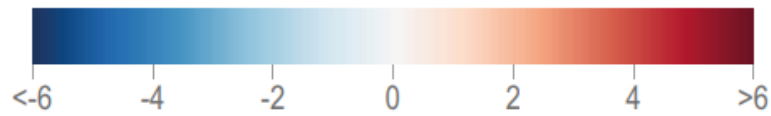
# Analysis of Radiative Forcing of Temperature



Mean temperature change at +4.0°C  
Global Warming SSP5  
8.5 relative to period  
1995–2014 CMIP6 -  
Annual (20 models)



Projected changes (°C)



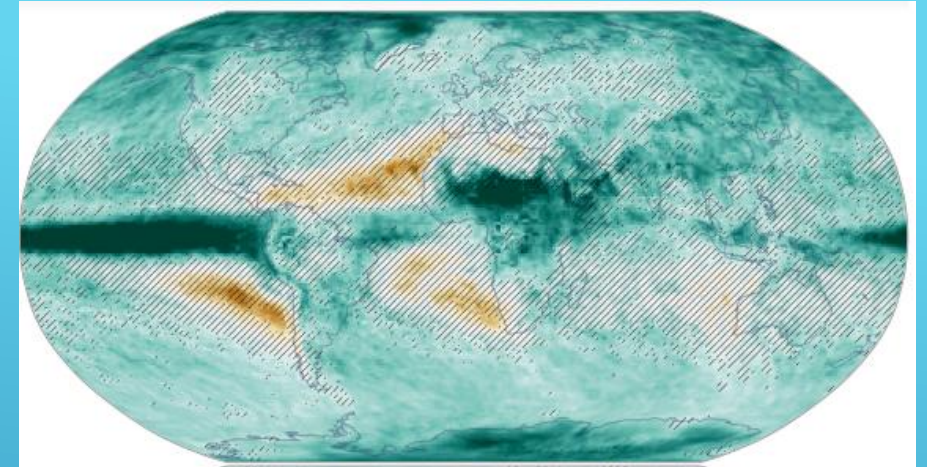
Agreement    
Low High

Mean temperature change at +2.0°C  
Global Warming SSP2  
4.5 relative to period  
1995–2014 CMIP6 -  
Annual (34 models)

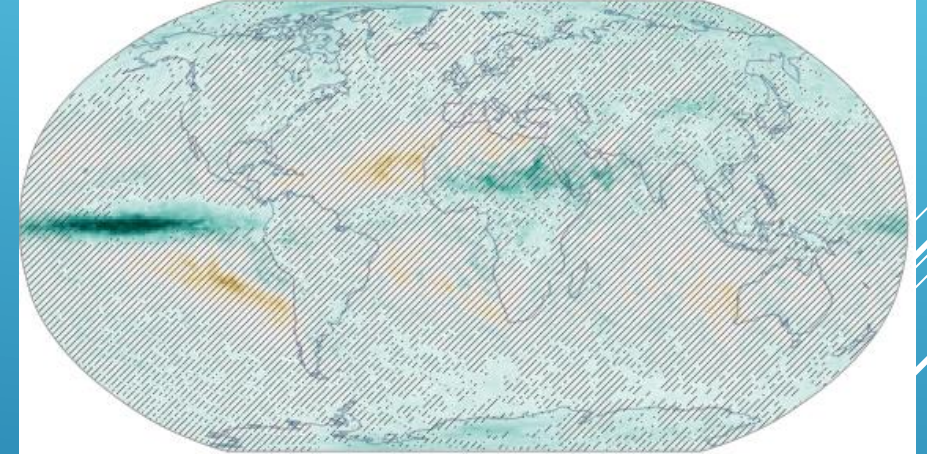
Mean temperature change at +1.5°C  
Global Warming SSP2  
4.5 relative to period  
1995–2014 CMIP6 -  
Annual (34 models)



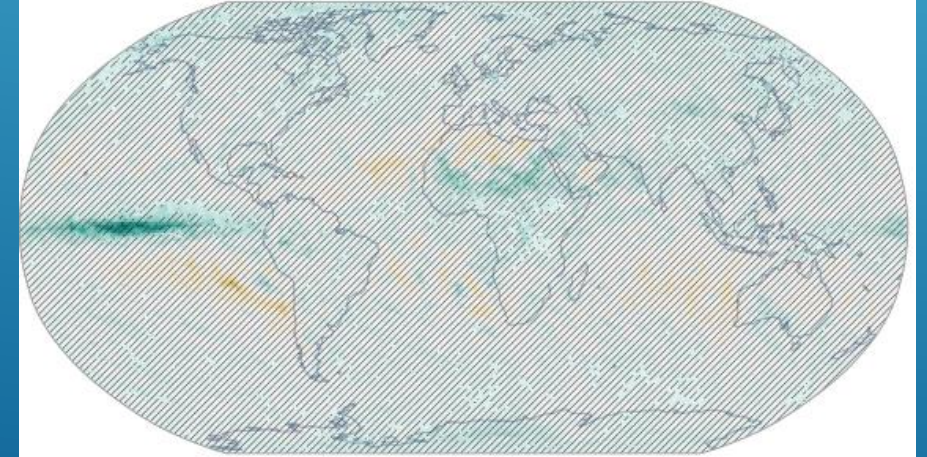
Maximum 1-day precipitation change (RX1day) (%) at +4.0°C Global Warming SSP5 8.5 relative to period 1995–2014 CMIP6 - Annual (19 models)



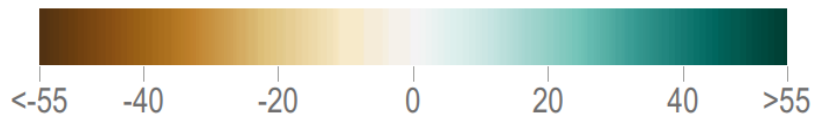
Maximum 1-day precipitation change (RX1day) (%) at +2.0°C Global Warming SSP2 4.5 relative to period 1995–2014 CMIP6 - Annual (32 models)



Maximum 1-day precipitation change (RX1day) (%) at +1.5°C Global Warming SSP2 4.5 relative to period 1995–2014 CMIP6 - Annual (32 models)

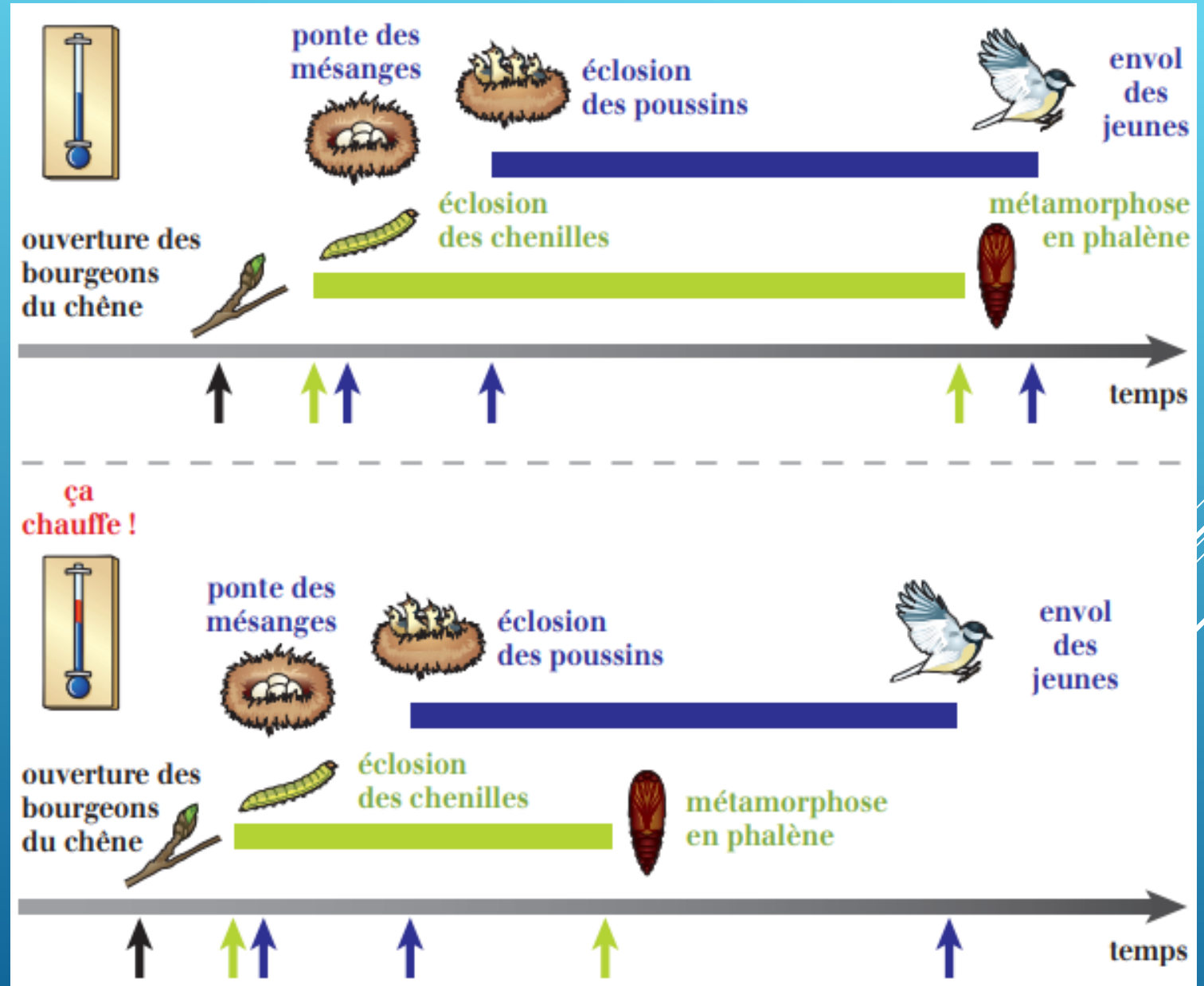


Projected changes (%)



Agreement    
Low High

Les décalages de phénologie du chêne, de la phalène et de la mésange. Source : CREA



## ► **Ouvrages de référence:**

Beltrando G. 2004 : Les climats, processus, variabilité et risques. Armand-Colin

Guyot G. 2013 : Climatologie de l'environnement. De la plante aux écosystèmes. Masson. (2e édition)

Hufy A. 2001 : Introduction à la climatologie. De Boeck

Parcevaux S. de, Huber L. 2007 : Bioclimatologie. Concepts et applications. Quae.

CHRISTOPHERSON, Robert W. et BIRKELAND, Ginger H. Geosystems. Pearson Learning Solutions, 2015.

## ► **Articles de revues scientifiques**

Catry T. et al., 2020, Apports de l'imagerie satellite pour le suivi de l'impact des événements cycloniques à Madagascar, Complémentarité des échelles et des capteurs, num.51, Echogéo (<https://doi.org/10.4000/echogeo.18634>)

# BIBLIOGRAPHIE



# WEBOGRAPHIE, VIDÉOS & PDF EN LIGNE

- ▶ IMMANQUABLE (How Does the Climate System Works?, Vidéo synthétique du MetOffice (UK)

<https://www.youtube.com/watch?v=lrPS2HiYVp8>

- ▶ Climats du globe

<http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/climat/climats-de-la-terre>

- ▶ Atlas du changement climatique

<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

- ▶ Changement climatique et biodiversité:

<https://fondation-lamap.org/sites/default/files/pdf/changement-climatique-et-biodiversite.pdf>

<https://askabiologist.asu.edu/les-biomes>

<https://www.agropolis.fr/pdf/chapitres-dossier-thematique-changement-climatique-2015/changement-climatique-biodiversite-ecosystemes.pdf>

- Causes du changement climatique actuel:

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/2-causes-du-changement-climatique>

➤ Changement climatique alpin  
<https://www.atlasmontblanc.org/survoler/>

➤ INTERREG Alpes:  
<https://www.alpine-space.org/projects/alpes/en/wikialps>

➤ Observation de l'atmosphère par satellite

<https://www.nesdis.noaa.gov/real-time-imagery/imagery-collections>  
<https://view.eumetsat.int/productviewer?v=24565>

<https://journals.openedition.org/echogeo/18634>

<https://slideplayer.fr/slide/1323566/>

➤ Géopotential  
<https://sciencepost.fr/quest-ce-que-le-geopotential/>

➤ Circulation atmosphérique & océanique, grands concepts en climatologie

<http://la.climatologie.free.fr/ocean/ocean.htm>

# WEBOGRAPHIE (2)

- ▶ **Modèles globaux, régionaux**

[http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/paleo/systemclim/gulf-stream/pages\\_gulfstream/dosstech/modele/simulationgcm](http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/paleo/systemclim/gulf-stream/pages_gulfstream/dosstech/modele/simulationgcm)

- ▶ **Simulations et projections futures**

<https://www.wcrp-climate.org/JSC40/12.9-CORDEX-JSC40.pdf>

- ▶ **Palynologie & variations climatiques anciennes**

<https://www.youtube.com/watch?v=esUGBLiUXSU>

- ▶ **Dendroclimatologie**

[https://hal.archives-ouvertes.fr/halsde-00786410/file/Collection\\_Edytem\\_11\\_Dendrochronologie\\_.pdf](https://hal.archives-ouvertes.fr/halsde-00786410/file/Collection_Edytem_11_Dendrochronologie_.pdf)